

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

Marlon R. Diniz

**ESTUDO DE POPULAÇÕES ESTELARES EM GALÁXIAS ATIVAS A
PARTIR DE CUBOS DE DADOS NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO**

Santa Maria, RS
2017

Marlon R. Diniz

**ESTUDO DE POPULAÇÕES ESTELARES EM GALÁXIAS ATIVAS A PARTIR DE
CUBOS DE DADOS NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física, Área de Concentração em Astrofísica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Física**.

ORIENTADOR: Prof. Rogemar A. Riffel

Santa Maria, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Diniz, Marlon R.
ESTUDO DE POPULAÇÕES ESTELARES EM GALÁXIAS ATIVAS A
PARTIR DE CUBOS DE DADOS NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO /
Marlon R. Diniz.- 2017.
97 p.; 30 cm

Orientador: Rogemar A. Riffel
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Física, RS, 2017

1. Galáxias Ativas 2. Espectroscopia de campo
integral 3. Infravermelho 4. Populações estelares I.
Riffel, Rogemar A. II. Título.

©2017

Todos os direitos autorais reservados a Marlon R. Diniz. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

End. Eletr.: diniz.mr@gmail.com

Marlon R. Diniz

**ESTUDO DE POPULAÇÕES ESTELARES EM GALÁXIAS ATIVAS A PARTIR DE
CUBOS DE DADOS NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física, Área de Concentração em Astrofísica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Física**.

Aprovado em 30 de agosto de 2017:

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

Alan Alves Brito, Dr. (UFRGS)

Marcos André Carara, Dr. (UFSM)

Sandro Barboza Rembold, Dr. (UFSM)

Tiago Vecchi Ricci, Dr. (UFFS)

Santa Maria, RS
2017

DEDICATÓRIA

A minha mãe Juraci.

AGRADECIMENTOS

- *Ao meu amigo e orientador Rogemar Riffel, por todos esses anos de dedicação, incentivo e muuuuuita paciência.*
- *A minha mãe, que serviu como fonte de inspiração para que eu completasse essa longa jornada.*
- *A minha namorada Ana Luiza, pelo imenso amor e carinho, enorme compreensão e que sempre esteve ao meu lado.*
- *Aos colegas e amigos de laboratório, pelas diversas conversas e muitas risadas.*
- *Ao meu amigo Rogério Riffel, que assim como seu irmão sempre estava pronto para sanar qualquer dúvida ou resolver qualquer probleminha de programação.*
- *Aos Professores do Curso de Física da UFSM.*
- *Ao Programa de Pós-Graduação em Física, em especial a Saionara.*
- *Ao CNPq, pelo apoio financeiro durante a realização desta pesquisa.*
- *Enfim, agradeço a todos que me apoiaram e colaboraram na realização deste trabalho.*

RESUMO

ESTUDO DE POPULAÇÕES ESTELARES EM GALÁXIAS ATIVAS A PARTIR DE CUBOS DE DADOS NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

AUTOR: Marlon R. Diniz

ORIENTADOR: Rogemar A. Riffel

A correta caracterização das componentes que contribuem para a distribuição espectral de energia (SED – *Spectral Energy Distribution*) em Núcleos Ativos de Galáxias (AGN – *Active Galactic Nuclei*) é de fundamental importância para o entendimento desses objetos e seus papéis na evolução das galáxias que os hospedam. Na região do infravermelho próximo, a SED de regiões centrais de AGNs, além da contribuição de populações estelares (SPs – *Stellar Populations*), apresenta componentes devido ao disco de acreção (do tipo lei de potência) e de emissão de poeira (representado por uma lei de Planck). Neste trabalho utilizamos o código *Starlight* para realizar a síntese espectral com dados de espectroscopia de campo integral para os $\sim 1.''5$ (poucas centenas de parsecs) centrais de uma amostra de seis galáxias Seyfert próximas. Os dados foram obtidos com o instrumento NIFS (*Near-infrared Integral Field Spectrograph*) instalado no telescópio Gemini Norte e compreendem observações nas bandas J e K com uma resolução angular de poucas dezenas de parsecs. Até o momento essa metodologia havia sido implementada somente para quatro galáxias, cujos resultados estão disponíveis na literatura e, dessa forma, o presente trabalho representa um acréscimo de 150% na amostra. Obtemos mapas bidimensionais para a cinemática estelar a partir do ajuste das bandas de absorção do CO presentes nos espectros das galáxias da amostra, com exceção de Mrk 3, cujas bandas não são detectadas. Os campos de velocidades das estrelas para todas as galáxias apresentam um padrão de disco em rotação típico e os mapas de dispersão de velocidades (σ) apresentam estruturas de mais baixos valores ($50\text{--}80\text{ km s}^{-1}$) imersos em regiões de maiores valores ($\sigma > 100\text{ km s}^{-1}$). Foram construídos mapas bidimensionais para as contribuições em fluxo na banda K e massa para SPs jovem (idade ≤ 100 Manos), jovem-intermediária ($100 < \text{idade} \leq 700$ Manos), intermediária-velha ($700\text{ Manos} < \text{idade} \leq 2$ Ganos) e velha ($2 < \text{idade} \leq 13$ Ganos). Observa-se que as populações de idades intermediárias estão associadas a estruturas com menores valores de σ , sugerindo que estas são originadas por populações relativamente jovens, as quais ainda não atingiram o equilíbrio orbital com o potencial gravitacional do bojo. Os mapas bidimensionais e os perfis radiais para as contribuições em fluxo de cada SP mostram que as populações intermediária-velha e velha apresentam as maiores contribuições na região central, decrescendo com a distância ao núcleo. Já os perfis radiais para as contribuições das populações jovem e jovem-intermediária apresentam o comportamento oposto, com valores aumentando com a distância ao núcleo. Isso sugere o cenário *inside-out* de formação de estrelas nas regiões centrais das galáxias analisadas, no qual as estrelas se formam de dentro para fora na galáxia e, portanto, são esperadas SPs mais velhas no núcleo e mais jovens a grandes distâncias dele.

No núcleo das galáxias verificou-se uma contribuição devido à emissão de corpo negro em cinco objetos (Mrk 3, Mrk 573, Mrk 607, NGC 2110, NGC 3227), e uma contribuição devido a componentes tipo lei de potência em quatro deles (Mrk 3, Mrk 573, NGC 2110, NGC 3227). Naquelas onde a componente de corpo negro foi detectada, a massa de poeira quente foi calculada e resultou valores da ordem de $10^{-2} M_{\odot}$, consistentes com valores disponíveis na literatura. Essa massa de poeira representa somente a poeira quente, que emite no infravermelho próximo, possivelmente associada a região interna do toroide de poeira previsto pelo modelo unificado de AGNs. Finalmente, observa-se uma tendência de que nas regiões centrais as galáxias mais luminosas apresentam populações estelares mais velhas do que galáxias pouco luminosas, resultado esse, distinto do encontrado em comprimentos de onda óticos.

Palavras-chave: AGNs. Espectroscopia de campo integral. Infravermelho. Populações estelares.

ABSTRACT

PROBING STELLAR POPULATIONS IN ACTIVE GALAXIES FROM NEAR INFRARED DATA CUBES

AUTHOR: Marlon R. Diniz

ADVISOR: Rogemar A. Riffel

The correct characterization of the spectral energy distribution (SED) components in Active Galactic Nuclei (AGN) is the key for their understanding and their role in the evolution of the host galaxies. In the near-infrared (NIR) spectral range, the SED of AGNs, besides the contribution of stellar populations (SPs), presents also components due to the accretion disk (represented by a power law function) and dust emission (represented by a Planck's function). In this work we have used the *Starlight* code to perform spectral synthesis using integral field spectroscopy for the inner $1''.5$ (few hundreds of parsecs) of a sample of six nearby Seyferts galaxies, with $0.004 \leq z \leq 0.017$. The data were obtained with the NIFS (Near-infrared Integral Field Spectrograph) instrument installed on the Gemini North telescope and comprise observations in the J and K bands with an angular resolution of a few tens of parsecs. So far, the methodology used here has been previously used to study the SED of four galaxies and thus, the present work represents an increase of 150% in the sample of studied galaxies. We obtained two-dimensional maps for stellar kinematics by fitting the CO absorption bandheads at $2.3\mu\text{m}$ present in the spectra of five galaxies of the sample. The exception is Mrk 3, for which the CO bands were not detected by our observations. The stellar velocity fields for all galaxies show a disk rotation pattern, and the velocity dispersion maps (σ) present structures of low values ($50\text{--}80\text{ km s}^{-1}$) merged in regions of greater values ($\sigma > 100\text{ km s}^{-1}$). Two-dimensional maps were constructed for the contributions to the K-band flux and mass of SPs in four age bins: young (age ≤ 100 Myr), young-intermediate ($100 < \text{age} \leq 700$ Myr), intermediate-old ($700\text{ Myr} < \text{age} \leq 2$ Gyr) e old ($2 < \text{age} \leq 13$ Gyr). The intermediate age populations are associated to low- σ structures, suggesting that these structures are originated by stars recently formed, that are not still viralized with the bulge stars. The two-dimensional maps and radial profiles for the flux contributions of each SP show that the intermediate-old and old populations present the highest contributions in the central region of the galaxy, decreasing with distance to the nucleus, while the young and young-intermediate populations present the opposite behavior, with values increasing with distance to the nucleus. This result supports the “inside-out” star formation scenario, in which stars are first formed at the nucleus and then successively at larger distances from it. Therefore, older SPs are expected to being located at the nucleus and younger populations at larger distances from it. A contribution of blackbody emission was detected at the nucleus of five objects (Mrk 3, Mrk 573, Mrk 607, NGC 2110, NGC 3227), while the power law component was necessary to fit the nuclear spectrum of four galaxies (Mrk 3, Mrk 573, NGC 2110, NGC 3227). We estimated the hot dust masses for the object with detected blackbody components, resulting in

values of the order of $10^{-2} M_{\odot}$, consistent with the range of values available in the literature. It should be noticed that the estimated mass represents only the hot dust component, that presents continuum emission in the NIR, and is possibly associated with the inner region of the dusty torus, predicted by the AGN unified model. Finally, we found a trend of more luminous AGN to present older stellar populations as compared to less luminous objects, contradicting results obtained at optical wavelengths.

Keywords: AGNs. IFU spectroscopy. Near-infrared. Stellar populations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Diagrama HR	19
Figura 1.2 – Esquema de evolução estelar para diferentes massas	22
Figura 1.3 – Mrk 1066 – Dispersão de velocidades estelar e contribuições das SPs	28
Figura 1.4 – NGC 1068 – Distribuição do fluxo de H ₂ e contribuições das SPs	29
Figura 3.1 – Ilustração do princípio do AIS equipado com três <i>slices</i>	38
Figura 3.2 – Imagem <i>flat-field</i> típica obtida com o NIFS	40
Figura 3.3 – Imagem da máscara de <i>ronchi</i> obtida com o NIFS	41
Figura 3.4 – Imagem da lâmpada padrão – ArXe	42
Figura 4.1 – Espectros das 48 SSPs utilizados na base de elementos	50
Figura 5.1 – Mrk 3 – Resultados da síntese espectral	53
Figura 5.2 – Mrk 3 – Mapas de FC, BB, $E(B - V)$ e Adev	54
Figura 5.3 – Mrk 573 – Emissão contínua e cinemática estelar	55
Figura 5.4 – Mrk 573 – Idem à Figura 5.1	57
Figura 5.5 – Mrk 573 – Idem à Figura 5.2	58
Figura 5.6 – Mrk 607 – Idem à Figura 5.3	59
Figura 5.7 – Mrk 607 – Idem à Figura 5.1	60
Figura 5.8 – Mrk 607 – Mapas de BB, $E(B - V)$ e Adev	61
Figura 5.9 – NGC 2110 – Idem à Figura 5.3	62
Figura 5.10 – NGC 2110 – Idem à Figura 5.1	63
Figura 5.11 – NGC 2110 – Idem à Figura 5.2	64
Figura 5.12 – NGC 3227 – Idem à Figura 5.3	65
Figura 5.13 – NGC 3227 – Idem à Figura 5.1	66
Figura 5.14 – NGC 3227 – Idem à Figura 5.2	67
Figura 5.15 – NGC 5929 – Idem à Figura 5.3	68
Figura 5.16 – NGC 5929 – Idem à Figura 5.1	69
Figura 5.17 – NGC 5929 – Mapas para $E(B - V)$ e Adev	70
Figura 6.1 – Mapas das idades médias das SPs das galáxias da amostra	72
Figura 6.2 – Logaritmo das idades médias das SPs das galáxias da amostra	73
Figura 6.3 – Gráfico da idade média das SPs vs. luminosidade em raios-X	74
Figura 6.4 – Mrk 3 – Perfis radiais para as contribuições de cada SP	75
Figura 6.5 – Idem à Figura 6.4 para Mrk 573	76
Figura 6.6 – Idem à Figura 6.4 para Mrk 607	77
Figura 6.7 – Idem à Figura 6.4 para NGC 2110	77
Figura 6.8 – Idem à Figura 6.4 para NGC 3227	78
Figura 6.9 – Idem à Figura 6.4 para NGC 5929	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – A amostra	32
Tabela 3.1 – Log das observações	39
Tabela 4.1 – Conjunto de SSPs	49
Tabela 6.1 – Valores da massa de poeira quente para os objetos da amostra	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGN: Núcleos ativos de galáxias (*Active Galactic Nuclei*).

BB: Corpo negro (*Blackbody*).

CMD: Diagrama Cor-Magnitude (*Color-Magnitude Diagram*).

EPS: Síntese evolutiva de população estelar (*Evolutionary Population Synthesis*).

FC: Emissão contínua (*Featureless Continuum*).

FIR: Infravermelho distante (*Far-Infrared*).

FWHM: Largura à meia altura (*Full Width at Half Maximum*).

GMC: Nuvem molecular gigante (*Giant Molecular Cloud*).

HB: Ramo horizontal (*Horizontal Branch*).

HR: Hertzsprung-Russell.

IFU: Unidade de campo integral (*Integral Field Unit*).

IMF: Função de massa inicial (*Initial Mass Function*).

IR: Infravermelho (*Infrared*).

ISM: Meio interestelar (*Interstellar Medium*).

λ : Comprimento de onda.

LINER: Região nuclear de linhas de emissão de baixa ionização (*Low-ionization Nuclear Emission-line Region*).

LOSVD: Distribuição da velocidade ao longo da linha de visada (*Line-of-Sight Velocity Distribution*).

M_B : Magnitude absoluta na banda B.

Mrk: *Markarian*.

MW: Via-láctea (*Milky Way*).

NGC: *New General Catalog*.

NIFS: *Near-infrared Integral Field Spectrograph*.

NIR: Infravermelho próximo (*Near-Infrared*).

NLR: Região de linhas estreitas (*Narrow Line Region*).

PA: Ângulo de posição (*Position Angle*).

pc: parsec.

PI: Potencial de ionização.

RGB: Ramo das Gigantes Vermelhas (*Red Giant Branch*).

RSG: Supergigante Vermelha (*Red Supergiant*).

SED: Distribuição espectral de energia (*Spectral Energy Distribution*).

SFH: Histórico de formação estelar (*Star Formation History*).

SFR: Taxa de formação estelar (*Star Formation Rate*).

SMBH: Buraco negro supermassivo (*Supermassive Black Hole*).

SNe: Supernova.

SNR: Razão sinal-ruído (*Signal-to-Noise Ratio*).

SP: População estelar (*Stellar Population*).

SSP: População estelar simples (*Simple Stellar Population*).

Sy: Galáxia Seyfert.

T: Temperatura

t: Idade.

TP-AGB: Pulsos térmicos do ramo assintótico das gigantes (*Thermally Pulsing Asymptotic Giant Branch*).

UV: Ultravioleta (*Ultraviolet*).

WD: Anã branca (*White Dwarf*).

ZAMS: Idade zero da sequência principal (*Zero Age Main Sequence*).

Z: Metalicidade.

z: *redshift*.

LISTA DE SÍMBOLOS

Å: Angström (10^{-10}m).

μ : *Micro* (10^{-6}).

M: Mega (10^6).

G: Giga (10^9).

M_{\odot} : Massa solar.

σ : Dispersão de velocidades estelar.

arcsec ($''$): Segundo de arco.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	GALÁXIAS ATIVAS	15
1.2	EVOLUÇÃO ESTELAR.....	17
1.3	POPULAÇÕES ESTELARES.....	23
1.4	SÍNTESE DE SPS	26
1.5	OBJETIVOS	30
2	A AMOSTRA	31
2.1	MRK 3.....	32
2.2	MRK 573	33
2.3	MRK 607	34
2.4	NGC 2110.....	34
2.5	NGC 3227.....	35
2.6	NGC 5929.....	35
3	OBSERVAÇÕES E REDUÇÃO DOS DADOS	37
3.1	OBSERVAÇÕES.....	37
3.2	REDUÇÃO DOS DADOS	38
3.2.1	<i>Flat-field</i>	39
3.2.2	Corrente de escuro	40
3.2.3	<i>Ronchi</i>	40
3.2.4	Lâmpadas de calibração	41
3.2.5	Estrelas padrão telúricas	42
3.2.6	Calibração em fluxo	42
3.2.7	O cubo de dados	43
4	MÉTODOS	44
4.1	O CÓDIGO PPXF	44
4.2	O CÓDIGO <i>STARLIGHT</i>	46
4.3	A BASE DE ELEMENTOS	48
5	RESULTADOS: CINEMÁTICA E POPULAÇÕES ESTELARES	51
5.1	MRK 3.....	52
5.2	MRK 573	54
5.3	MRK 607	58
5.4	NGC 2110.....	61
5.5	NGC 3227.....	65
5.6	NGC 5929.....	67
6	DISCUSSÕES	71
6.1	IDADE MÉDIA DAS SPS	71
6.2	PERFIS RADIAIS	74
6.3	CONTRIBUIÇÕES DAS COMPONENTES DE EMISSÃO DE CORPO NEGRO E LEI DE POTÊNCIA	79
7	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	82
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
	APÊNDICE A – PUBLICAÇÕES	94
A.1	ARTIGO PUBLICADO: FISCHER ET AL. (2017).....	94
A.2	ARTIGO PUBLICADO: DINIZ ET AL. (2017).....	94
A.3	ARTIGO PUBLICADO: RIFFEL ET AL. (2017A).....	94

A.4	ARTIGO EM FASE DE SUBMISSÃO: RIFFEL ET AL. (2017B).....	94
-----	---	----

1 INTRODUÇÃO

1.1 GALÁXIAS ATIVAS

Núcleos ativos de galáxias representam um grupo de objetos com características bastante peculiares, como uma intensa luminosidade da ordem de $10^{40} \text{erg s}^{-1}$ (Schmidt; Green, 1983), a qual é, muitas vezes, maior que a luminosidade de todas as estrelas da galáxia hospedeira (Peterson, 1997). A alta luminosidade central é uma das diferenças entre galáxias que possuem um AGN (chamadas de galáxias ativas) e galáxias normais¹ como a Via-Láctea (MW – *Milky Way*) (Schneider, 2006).

Espectros da região central de galáxias normais e galáxias ativas, em geral, mostram diferenças quanto às larguras dos perfis das linhas de emissão. Algumas galáxias ativas apresentam perfis com larguras maiores que 10000kms^{-1} em linhas de emissão, produzidas por transições eletrônicas permitidas (Osterbrock; Ferland, 2006). O espectro contínuo de um AGN na faixa visível do espectro eletromagnético pode ser aproximado por uma lei de potência (FC – *Featureless Continuum*) (Frank; King; Raine, 2002), do tipo $F_\nu \propto \nu^{-\alpha}$, onde F_ν é o fluxo em uma dada frequência ν com um índice espectral dado por α . Já em galáxias normais, a emissão contínua se deve, basicamente, a emissão estelar. Em comprimentos de onda distintos do ótico a forma da distribuição espectral de energia de um AGN luminoso apresenta uma série de desvios como depressões e protuberâncias em relação a uma simples FC (Koratkar; Blaes, 1999; Wilkes, 1999; Kawaguchi; Shimura; Mineshige, 2000; Nemmen; Storchi-Bergmann; Eracleous, 2014). Enquanto que, para AGNs poucos luminosos como os LINNERS a SED é ligeiramente diferente, inclusive é difícil detectar a FC nesses objetos.

A intensa emissão detectada no ótico, ultravioleta (UV) e rádio nas regiões centrais de galáxias ativas está associada a presença de um Buraco Negro Supermassivo (SMBH – *Supermassive Black Hole*) central com massa entre 10^6 e $10^9 M_\odot$ (Ferrarese; Merritt, 2000; Gebhardt et al., 2000), que está sendo alimentado pela matéria presente em sua vizinhança. Acredita-se que todas as galáxias que formam uma componente estrutural esferoidal (como o bojo de galáxias espirais ou galáxias elípticas) também formem em seu centro um SMBH (Ferrarese; Merritt, 2000; Gebhardt et al., 2000), o qual aumenta sua massa de maneira proporcional ao crescimento do bojo (Ferrarese; Ford, 2005; Tremaine et al., 2002). Esses trabalhos sugerem que uma galáxia e seu SMBH evoluem juntos e que a presença da atividade nuclear desempenha um papel importante na evolução da galáxia. Simulações cosmológicas de evolução de galáxias mostram que elas teriam mais massa estelar se não existisse o SMBH em seus núcleos (Springel; Di Matteo; Hernquist, 2005; Di Matteo; Springel; Hernquist, 2005; Bower et al.,

¹Galáxias onde o buraco negro central não está ativo.

2006). Durante o processo de evolução da galáxia e do SMBH são produzidos jatos de partículas e ventos do disco de acreção. Os jatos se estendem a grandes distâncias do núcleo e freiam o crescimento da galáxia, pois impedem a acreção de gás extragaláctico durante as fases de atividade nuclear da galáxia.

O material localizado nas proximidades do SMBH escoar em direção ao centro da galáxia, onde parte dele é ejetado pelo disco de acreção, formando jatos de partículas relativísticas e ventos de partículas e a outra parte é capturada pelo SMBH. Assim, a principal diferença entre galáxias ativas e normais é que nas primeiras o SMBH está acreando matéria, enquanto que nas últimas ele está quiescente. Compreender a origem da fonte de energia responsável pelo contínuo e pelas linhas de emissão observadas nos espectros nucleares de AGNs é uma das questões mais importantes para o entendimento dessa classe de objetos.

Baseado em características espectrais, luminosidade nuclear, orientação do AGN em relação a nossa linha de visada e intensidade do jato rádio, as galáxias ativas podem ser classificadas em Seyferts, Quasares, Rádio galáxias, LINERs e Blazares. A amostra de AGNs deste trabalho é composta por galáxias do tipo Seyfert, portanto, discutiremos essa classe em detalhes.

Os núcleos do tipo Seyfert são divididos em Seyfert 1 (Sy 1) e Seyfert 2 (Sy 2), devido à presença ou ausência de linhas de emissão permitidas largas. Em núcleos Sy 1, as linhas permitidas podem ter larguras da ordem de $10\,000\text{ km s}^{-1}$, e seus espectros mostram intensa emissão no contínuo, varrendo o espectro eletromagnético desde os raios-X até o infravermelho distante (FIR – *Far-Infrared*). As galáxias Sy 2 apresentam somente linhas estreitas (proibidas e permitidas) com largura à meia altura (FWHM – *Full Width at Half Maximum*) de $\sim 500\text{ km s}^{-1}$ (Osterbrock; Ferland, 2006), semelhantes àquelas encontradas em galáxias Sy 1. Possuem núcleos de aparência estelar com menor emissão no contínuo, quando comparadas às Sy 1. Cerca de 90% dos núcleos Seyfert estão em galáxias espirais e menos de 10% em elípticas, mas apenas 1% de todas as espirais observadas são classificadas como Seyfert (Peterson, 1997).

Em geral, as galáxias Seyfert apresentam linhas de emissão com transições proibidas, com um alto potencial de ionização ($PI > 100\text{ eV}$), denominadas linhas coronais, que podem ser utilizadas para classificar o tipo de atividade nuclear da galáxia. Elas são detectadas em regiões que se estendem a distâncias de centenas de parsecs² (pc) a partir do núcleo, ao longo da região de formação de linhas estreitas (NLR – *Narrow Line Region*), são excitadas por choques (Oliva et al., 1994) ou por fotoionização devido a radiação UV (Ferguson; Korista; Ferland, 1997). Algumas das linhas coronais que podem ser detectadas no infravermelho próximo (NIR – *Near-Infrared*) correspondem às transições do [Ca VIII] $\lambda 2.3220\ \mu\text{m}$, [Si VI] $\lambda 1.9640\ \mu\text{m}$, [Si X] $\lambda 1.4300\ \mu\text{m}$ e [S IX] $\lambda 1.2523\ \mu\text{m}$ (Rodríguez-Ardila et al., 2006).

A classe Seyfert apresenta um tipo intermediário de classificação proposta por Osterbrock (1981), que vai de Seyfert 1.5 a Seyfert 1.9. Nas Seyfert 1.5 são detectadas linhas de emissão com intensidades semelhantes para perfis largos e estreitos, nas Seyfert 1.8 são detectadas componentes largas para o $H\alpha$ e $H\beta$, enquanto que, para as Seyfert 1.9 a componente

²1 pc = $3.086 \times 10^{16}\text{ m}$ = 3.261 anos-luz.

larga é observada apenas em $H\alpha$.

Estudos mostram que regiões com intensa formação estelar são frequentemente observadas na região central de galáxias ativas (Mizutani; Suto; Maihara, 1994; Imanishi; Dudley, 2000; Storchi-Bergmann et al., 2000; Imanishi, 2002; Rodríguez-Ardila; Viegas, 2003; Riffel et al., 2007; Dors JR. et al., 2008). Portanto, a atividade nuclear e a intensa formação estelar coexistem nas regiões centrais de galáxias ativas. De fato, evidências observacionais indicam que tanto o AGN quanto a formação estelar podem estar associados ao escoamento de gás (*inflows*) em direção às regiões centrais de galáxias (Shlosman; Frank; Begelman, 1989; Shlosman; Begelman; Frank, 1990; Maiolino et al., 1997; Knapen; Shlosman; Peletier, 2000; Raimann et al., 2003; Fathi et al., 2006; Riffel et al., 2008), sugerindo uma conexão entre o núcleo ativo e a formação estelar (circum)nuclear, denominada conexão AGN-*Starburst* (Norman; Scoville, 1988; Terlevich; Diaz; Terlevich, 1990; Heckman et al., 1997; González Delgado et al., 1998; Heckman, 2004; Riffel et al., 2008). Entretanto, existem trabalhos que sugerem que a conexão AGN-*Starburst* pode ser ocasional, já que muitas galáxias Seyfert não apresentam evidências de atividade nuclear *Starburst* (Filippenko; Ho; Sargent, 1993) e estudos espectroscópicos na região ótica de grandes amostras de objetos não indicam que as populações estelares jovens são mais comuns em galáxias ativas do que em galáxias normais (Pogge, 1989; Kauffmann et al., 2003).

Portanto, determinar se a formação estelar circumnuclear e a presença do AGN são fenômenos relacionados ou ocasionais é de fundamental importância para a correta caracterização do conteúdo estelar, uma vez que uma fração significativa da energia emitida por uma galáxia, desde o ótico até o infravermelho próximo, é devido às estrelas.

Para estudar essa possível relação é necessário o uso de dados com cobertura e resolução espacial grandes³ a fim de possibilitar a separação das componentes do AGN e das estrelas, da emissão contínua e também selecionar uma amostra estatisticamente relevante. Esses requisitos podem ser atingidos utilizando-se espectroscopia de campo integral, em particular obtida com espectrógrafos instalados em grandes telescópicos que operam no NIR e utilizam ótica adaptativa (Riffel et al., 2010).

1.2 EVOLUÇÃO ESTELAR

Três parâmetros são determinantes para a evolução de uma estrela: sua massa, sua composição química e sua participação ou não em um sistema múltiplo.

A produção de energia das estrelas advém de reações nucleares que, com o passar do

³Resolução espacial de poucos parsecs.

tempo, alteram a composição química da mesma. Devido às reações nucleares, elementos são formados tanto no interior da estrela como nas camadas mais externas, dependendo da fase evolutiva na qual a estrela se encontra.

Ao longo de sua evolução, as estrelas perdem massa devido a ventos e ejeções de suas camadas externas, preenchendo o meio interestelar (ISM – *Interstellar Medium*) com diferentes elementos químicos e modificando a abundância química de sua vizinhança. Um dos principais componentes das galáxias são as estrelas. Logo, compreender os processos evolutivos estelares têm um papel fundamental quanto ao entendimento da evolução química das galáxias e, portanto, do nosso próprio Universo. Junto com o material lançado para o ISM está presente uma enorme quantidade de poeira, estima-se que cerca de 90% da poeira no ISM da nossa Galáxia foi produzida por estrelas de $\sim 1 M_{\odot}$ e os outros 10% por estrelas massivas (Sloan et al., 2008).

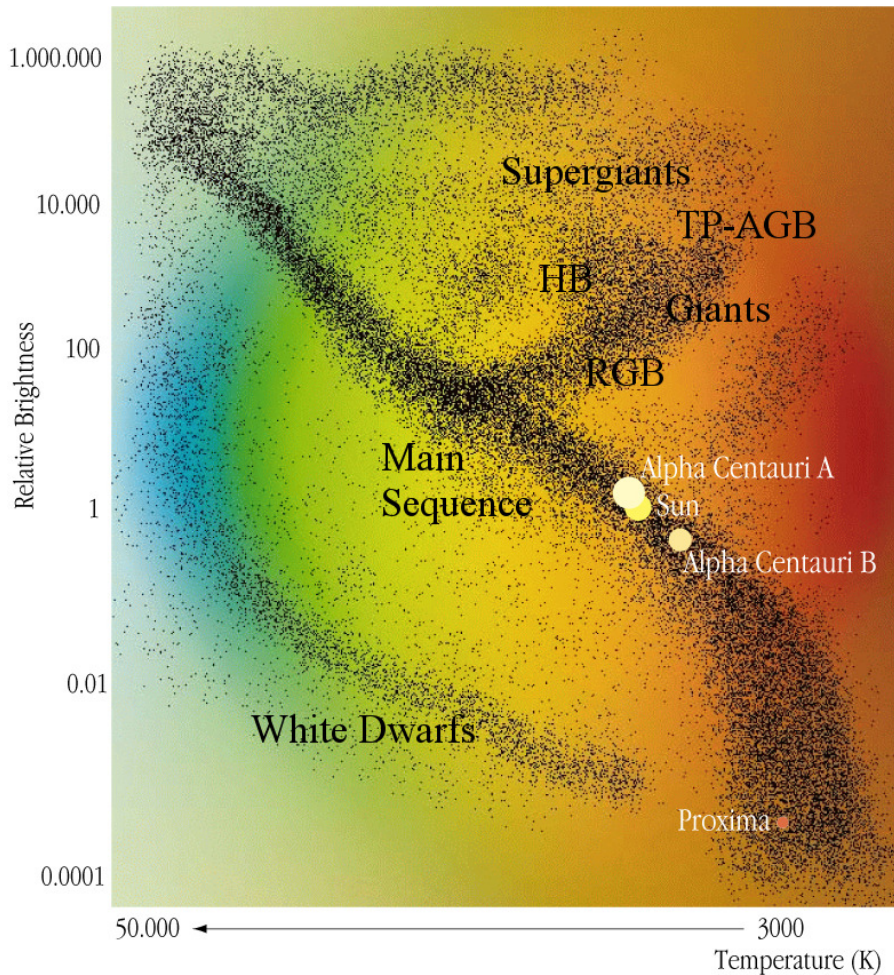
O primeiro estágio evolutivo de estrelas recém-formadas é a sequência principal (MS – *Main Sequence*) onde, em geral, elas passam 90% do tempo de suas vidas, dependendo de suas massas iniciais e metalicidade⁴ (Z), definidas na Idade zero da sequência principal (ZAMS – *Zero Age Main Sequence*). Nessa fase, o principal meio de produção de energia é a fusão nuclear do hidrogênio (H) em hélio (He) e a maneira como isso ocorre depende da temperatura do núcleo da estrela.

A Figura 1.1 mostra um diagrama de Hertzsprung-Russell (diagrama HR) na forma de um gráfico de Brilho Relativo *versus* Temperatura para milhares de estrelas da nossa Galáxia localizadas próximas ao Sol. Cada ponto preto representa uma estrela, os círculos identificam quatro estrelas, entre elas o Sol, que estão na MS, a qual se estende do canto inferior direito ao canto superior esquerdo. Outras fases evolutivas das mesmas também são mostradas, tais como, o Ramo das Gigantes Vermelhas (RGB – *Red Giant Branch*), a fase das Gigantes (*Giants*), o Ramo Horizontal das Gigantes (HB – *Horizontal Branch*), a fase dos Pulsos Térmicos no Ramo Assintótico das Gigantes (TP-AGB – *Thermally Pulsing Asymptotic Giant Branch*), a fase das Supergigantes Vermelhas (RSGs – *Red Supergiants*) e as Anãs Brancas (WDs – *White Dwarfs*). O diagrama HR é comumente expresso por um diagrama do tipo Cor-Magnitude (CMD – *Color-Magnitude Diagram*).

O motivo pelo qual se observa na Figura 1.1 muito mais estrelas na MS, deve-se ao fato de que o tempo de vida das estrelas na fase das gigantes é muito curto, aproximadamente 10^7 anos. No entanto, estudos de estrelas na fase das gigantes e supergigantes concluem que para obter um cenário confiável da evolução química de galáxias e do Universo é necessário a inclusão de modelos evolutivos dessas estrelas nos modelos de evolução de galáxias, pois só assim são reproduzidas as abundâncias observadas para carbono (C), nitrogênio (N), flúor (F), magnésio (Mg) e isótopos do oxigênio (O) e neônio (Ne) (Fenner et al., 2004; Kobayashi et al., 2011; Kobayashi; Karakas; Umeda, 2011). Além disso, Funções de Massa Inicial (IMF –

⁴Fração em massa de todos os elementos mais pesados que o He. No caso do Sol $Z \sim 0.02$ (Asplund et al., 2009), indicando que 2% da massa do Sol corresponde a elementos mais pesados que o He. A notação espectroscópica padrão para um elemento qualquer X é definida como: $[X/H] = \log(X/H)_* + \log(X/H)_{\odot}$.

Figura 1.1 – Diagrama HR mostrando milhares de estrelas representadas por pontos pretos (exceto quatro delas, que estão representadas por círculos) e algumas de suas fases evolutivas (gigantes, supergigantes e anãs brancas). A faixa de pontos que se estende do canto inferior direito ao canto superior esquerdo hospeda as estrelas que estão da sequência principal, chamadas de Anãs. Após essa etapa a maioria das estrelas entram no RGB e seguem seu caminho evolutivo.



Fonte: Diagrama HR obtido do banco de dados do ESO (<https://www.eso.org/public/imagens/eso0307e/>).

Initial Mass Function) indicam que quanto mais massiva for a estrela, em menor número ela existirá (Salpeter, 1955). Portanto, uma vez que se formam mais estrelas de baixa massa e essas demoram mais tempo para evoluir, é natural que a maioria delas esteja na MS.

Os processos de nucleossíntese mais importantes⁵ em estrelas com massas entre $0.8 M_{\odot}$ e $10 M_{\odot}$ ocorrem quando elas entram no ramo das gigantes vermelhas, indicado no diagrama HR da Figura 1.1. Nesse estágio evolutivo iniciam-se os processos de dragagens, quando zonas de convecção mais externas penetram camadas mais internas da estrela, trazendo elementos até as camadas mais externas e alterando de forma significativa sua composição química superficial (Marigo et al., 2008; Karakas; Lattanzio, 2014; Melbourne; Boyer, 2012; García-Hernández; Manchado, 2016). Alguns processos de mistura nos envoltórios de estrelas gigantes são de-

⁵No que diz respeito a alteração da abundância química na superfície da estrela.

vido, além da convecção, a processos de circulação meridional de Eddington, ao cisalhamento dinâmico entre as camadas e a processos magnetohidrodinâmicos.

Na fase RGB o processo de convecção torna-se dominante e ocorre a primeira dragagem, modificando a composição química das camadas internas e externas da estrela. Uma segunda etapa de dragagem também pode ocorrer após o esgotamento do He em seu núcleo.

Essa fase evolutiva é caracterizada quando a estrela entra no ramo assintótico das gigantes (AGB – *Asymptotic Giant Branch*). Nesse estágio tanto o H quanto o He são sintetizados em camadas distintas, tornando a luminosidade da estrela variável. Dessa maneira, as reações nucleares são devido a instabilidades térmicas na camada onde o He está sendo processado. Iniciam-se os pulsos térmicos, caracterizando a fase TP-AGB.

A grande quantidade de carbono sintetizada durante essa etapa torna a estrela rica em carbono, com uma razão entre o número de C e O maior que uma unidade⁶. O carbono, então, mistura-se à superfície da estrela por processos convectivos após cada pulso térmico, caracterizando a terceira dragagem e, assim, também são produzidos elementos pesados, como o bário (Ba) (Wallerstein; Knapp, 1998).

A precisão dos modelos de evolução química estelar durante a fase das gigantes depende de suposições associadas aos processos convectivos e perda de matéria das estrelas para o meio interestelar, o que as caracteriza como agentes poluidores, já que alteram a abundância química do meio no qual estão localizadas (Fenner et al., 2004; Karakas et al., 2006; Ventura; D'Antona, 2009; Gratton; Carretta; Bragaglia, 2012). Em Blöcker e Schoenberner (1991), Lattanzio (1992), Boothroyd, Sackmann e Wasserburg (1995), os autores mostram que ocorre uma intensificação na produção de carbono, oxigênio, nitrogênio, sódio e alumínio nas estrelas durante seus complexos processos de dragagens, nos quais ocorre o aquecimento da base de uma camada e, devido a convecção, seu material penetra o topo da camada inferior onde o hidrogênio está sendo sintetizado.

Embora estrelas com massas maiores que $10 M_{\odot}$ sejam raras, elas também têm um papel fundamental na evolução de galáxias, pois terminam suas vidas explodindo como supernovas (SNe) e liberando no ISM uma grande quantidade de energia e elementos químicos que foram sintetizados por elas. Os remanescentes dessas estrelas são estrelas de Nêutrons ou Buracos Negros Estelares. Uma revisão completa para estrelas com massas dessa ordem pode ser encontrada em Nomoto, Kobayashi e Tominaga (2013).

A Figura 1.2 apresenta um esquema para a evolução de estrelas de diferentes limites de massas. A seguir descrevemos, resumidamente, os processos evolutivos para cada uma das faixas de massa indicadas:

- **Estrelas de mais baixa massa (*lowest mass stars*):** as reações de nucleossíntese do He não ocorrem, restando um núcleo de He que se resfria com o passar do tempo resultando em uma WD.

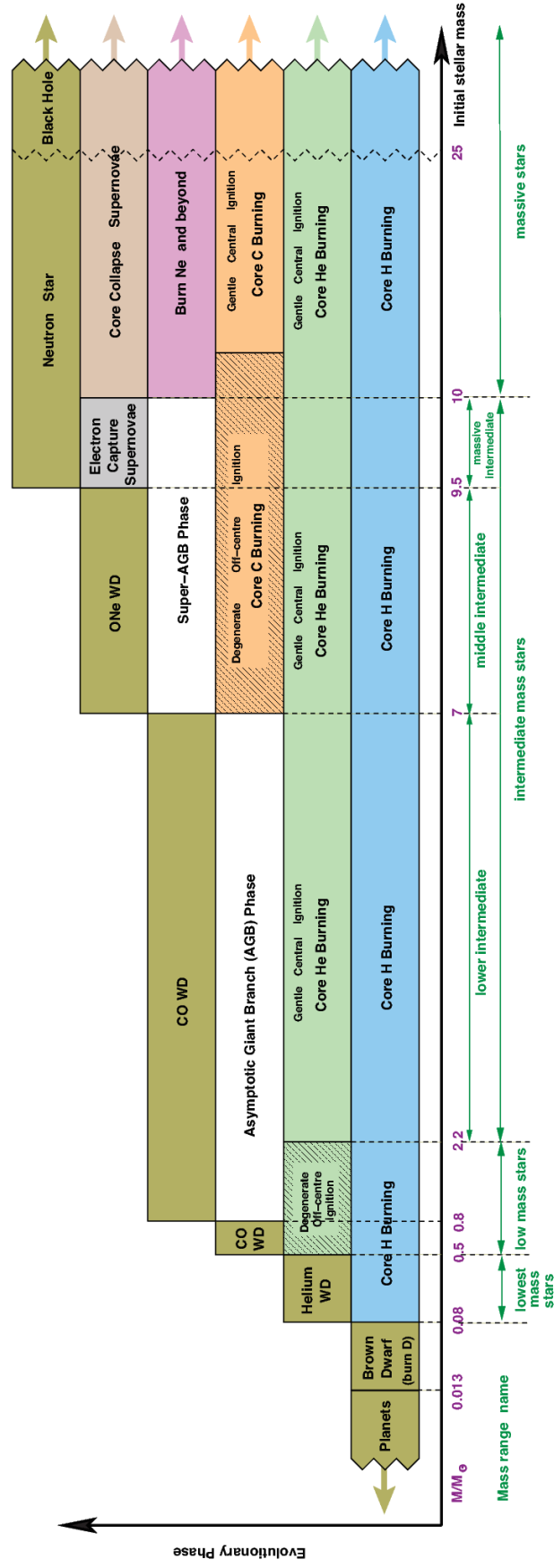
⁶Ao ingressarem na MS a razão entre a quantidade de C e O observada nas estrelas é menor que 1.

- **Estrelas de baixa massa** (*low mass stars*): particularmente aquelas com $0.8 \leq M/M_{\odot} \leq 2.2$ alcançam a fase das gigantes vermelhas com a queima de He em seu núcleo. Nesse caso, observa-se apenas a etapa de primeira dragagem nas camadas da estrela. Por fim, resta um núcleo de C e O que se resfria até a estrela se tornar uma WD.
- **Estrelas de massas intermediárias inferiores** (*lower intermediate*): também terminam como uma WD com um núcleo de C e O, no entanto, observa-se uma segunda dragagem durante a ascensão ao ramo das gigantes.
- **Estrelas de massas intermediárias médias** (*middle intermediate*): apresentam processos de nucleossíntese do C em camadas externas ao núcleo e chegam até a fase dos pulsos térmicos do ramo assintótico das gigantes, representado na Figura 1.2 pela fase super-AGB, terminam suas vidas como uma WD com um núcleo de O e Ne, desde que a massa da estrela não ultrapasse o Limite de Chandrasekhar, que representa a maior massa possível para que uma estrela do tipo WD não entre em colapso gravitacional.
- **Estrelas de massas intermediárias altas** (*massive intermediate*): têm aproximadamente entre 9.5 e 10 M_{\odot} . Se o Limite de Chandrasekhar for excedido, terminam como supernovas em um núcleo composto por O, Ne e Mg.
- **Estrelas massivas** (*massive stars*): a nucleossíntese de elementos como o Ne e O continua no interior das estrelas até restar um núcleo de ferro, que sofre um colapso gravitacional tornando-se uma SNe e, por fim, uma estrela de Neútrons. Para massas estelares maiores que 25 M_{\odot} , restará um Buraco Negro Estelar.

No entanto, as estrelas não se formam sozinhas, mas em grupos que se formam no interior de nuvens moleculares gigantes (GMCs – *Giant Molecular Clouds*). Um conjunto de estrelas recém formado é denominado aglomerado imerso. Considerando que as estrelas de um aglomerado se formam a partir da mesma nuvem de gás e poeira, então, elas têm aproximadamente a mesma idade⁷ e a mesma composição química inicial, ambas definidas na ZAMS, mas possuem massas diferentes e, portanto, evoluem de maneiras distintas. O estudo de aglomerados estelares é fundamental para obter detalhes relacionados às estruturas, composição química e evolução da nossa e de outras galáxias (Friel, 1995; Bonatto et al., 2006; Bica et al., 2006).

⁷Se o aglomerado ainda estiver formando estrelas, então, a diferença entre as idades das estrelas é igual a idade do aglomerado.

Figura 1.2 – Esquema de evolução estelar para diferentes massas.



Fonte: Extraído de Karakas e Lattanzio (2014).

Embora as estrelas se formem em grupos, a maioria delas, observadas no disco da Galáxia, está isolada, indicando que os aglomerados ao evoluírem sofrem perturbações externas. O gás primordial é expulso devido a ventos e explosões das estrelas mais massivas, que evoluem mais rápido e tornam-se supernovas. Além disso, há choques do material do disco galáctico com as GMCs, e a presença de fatores externos, como efeitos de maré do disco e do bojo (Bonatto; Bica, 2007).

Os conjuntos de estrelas que formam os aglomerados estelares possuem características próprias, tais como, idade, composição química, cor, cinemática, avermelhamento, histórico de formação estelar (SFH – *Star Formation History*) e taxa de formação estelar (SFR – *Star Formation Rate*). Dessa maneira, pode-se dividi-los em diferentes populações estelares (SPs – *Stellar Populations*) e, então, buscar compreender como cada SP se forma e evolui.

No contexto evolutivo de galáxias é vital entender os mecanismos de formação estelar em aglomerados estelares, bem como sua evolução, pois, esses conjuntos de estrelas são considerados os alicerces da construção de galáxias. Entretanto, os modelos de evolução de galáxias não são tão robustos quanto modelos de evolução estelar. Além disso, modelos de evolução estelar são confiáveis em se tratando de estrelas individuais e não em estrelas que possuam companheiras, tais como estrelas binárias. Portanto, ainda há um longo caminho para que, de fato, entendamos com precisão o processo pelo qual as galáxias se formam e evoluem.

1.3 POPULAÇÕES ESTELARES

A fim de explicar o fato de que os aglomerados globulares se encontram praticamente imóveis em relação ao movimento de rotação do disco da Galáxia o astrônomo Bertil Lindblad introduziu, ainda nos anos 1920, o conceito de “subsistema”. Estudos observacionais da época mostravam que a Via-Láctea era constituída de duas ou mais estruturas que, do ponto de vista cinemático, apresentavam comportamentos diferentes.

Após 20 anos, Baade (1944) utilizou o conceito de populações estelares em seus estudos sobre propriedades evolutivas das estrelas, baseando-se em análises de CMDs. Ele percebeu que as estrelas próximas ao Sol originam a MS no diagrama HR, na qual as estrelas assumem uma coloração azulada proporcional à intensidade de seu brilho intrínseco. Já as estrelas que compõem os aglomerados globulares, se distribuem de maneira complexa pelos CMDs. A partir dessas constatações podia-se deduzir que a natureza física das estrelas que formam o disco e os aglomerados globulares apresentava características completamente diferentes daquelas que compõem a MS. Então, ele introduziu o conceito de populações estelares, dividindo as estrelas em População I ($10^7 - 10^8$ anos) e População II (10^{10} anos).

Embora o conceito adotado por Walter Baade não seja preciso, pois hoje sabemos que ele não se aplica apenas a duas classes de SPs, mas sim a um grande conjunto de SPs, ele

ainda é utilizado quando caracterizamos propriedades físicas (idade, metalicidade, SFH, SFR, avermelhamento, massa) de estrelas em galáxias.

Estrelas individuais não são resolvidas em galáxias mais distantes do que as pertencentes ao Grupo Local. E, considerando que uma galáxia é constituída por diversas populações de estrelas. A distribuição dessas populações estelares pode ser observada em um CMD permitindo obter informações das propriedades das SPs. Neste trabalho vamos salientar o estudo de SPs em AGNs, pois a formação de estrelas é um fenômeno comumente observado nesses objetos.

O estudo do conteúdo estelar na região central de galáxias fornece informações sobre importantes processos que ali ocorrem, tais como episódios de formação estelar. Em galáxias ativas, a caracterização de SPs é de fundamental importância para verificar se há alguma relação entre atividade nuclear e formação estelar, fornecendo ingredientes (como SFH e SFR) para modelos de evolução de galáxias.

Vários estudos de SPs de galáxias têm sido realizados nas últimas décadas, baseados, principalmente, em dados espectroscópicos no ultravioleta e ótico. Esses estudos encontram grandes variações nas idades e metalicidades de SPs (Bica; Alloin, 1986; Alloin et al., 1998; Schmitt; Bica; Pastoriza, 1996; Raimann et al., 2000a, 2000b; Jablonka; Gorgas; Goudfrooij, 2002; Cid Fernandes et al., 2005; Rembold; Pastoriza, 2007). Entretanto, estudos detalhados das SPs de galáxias ativas no NIR ainda são raros na literatura (Origlia; Moorwood; Oliva, 1993; Oliva et al., 1995; Davies et al., 2007; Riffel et al., 2009). Uma vantagem do uso de observações no NIR em relação a observações óticas é que as primeiras permitem o estudo de regiões obscurecidas, uma vez que a extinção é menor no NIR. Entretanto, a detecção de características espectrais de estrelas jovens nessa região do espectro eletromagnético não é uma tarefa fácil (Pastoriza et al., 2009; Riffel et al., 2008, 2009).

Com as novas gerações de modelos evolutivos de síntese evolutiva de população estelar (EPS – *Evolutionary Population Synthesis*), que incluem um tratamento adequado das estrelas na fase TP-AGB (Maraston, 2005), é possível estudar em mais detalhes a população estelar que domina a emissão no NIR das galáxias. De acordo com esses modelos, são esperadas contribuições importantes de estrelas que estão nessa fase nos espectros das galáxias. São observadas absorções do CN (Riffel et al., 2007), TiO, VO e ZrO (Riffel et al., 2015), cujas detecções são evidências inequívocas da presença de populações estelares jovens/intermediárias (idades < 2 Ganos). Resultados de síntese de SPs no NIR de galáxias ativas próximas, utilizando o código *Starlight* (discutido na Sec. 4.2), sugerem que as SPs que dominam a emissão no ótico e NIR são distintas (Cid Fernandes et al., 2004; Cid Fernandes et al., 2005; Riffel et al., 2009), com uma grande contribuição de populações de idade intermediária, confirmando resultados sugeridos pelas detecções das bandas moleculares mencionadas acima.

A maioria dos trabalhos listados acima são baseados em espectroscopia de fenda longa, a qual não possui a cobertura espacial necessária para mapear em detalhes as diferentes populações estelares na região central de galáxias ativas. Essa lacuna pode ser preenchida com o uso de espectroscopia de campo integral – obtida com Unidades de Campo Integral (IFUs – *Integral*

Field Units). Trabalhos recentes, utilizando dados obtidos com instrumento NIFS (que é uma IFU) do telescópio Gemini Norte, encontram frequentemente populações estelares de idades intermediárias (~ 700 Manos) na região circumnuclear de galáxias Seyfert próximas (Riffel et al., 2010, 2011; Storchi-Bergmann et al., 2012).

Foi encontrada uma correlação entre as populações de idades intermediárias e anéis de baixa dispersão de velocidades das estrelas para as galáxias Mrk 1066 (Riffel et al., 2010) e Mrk 1157 (Riffel et al., 2011) e uma correlação entre populações estelares jovens e um anel de gás molecular em NGC 1068 (Storchi-Bergmann et al., 2012). Essas correlações apoiam a interpretação acima, de que o gás molecular que chega até a região central também é consumido por formação de novas estrelas (Diniz et al., 2015), além de, possivelmente, servir de alimento para o SMBH.

As estrelas que contribuem, de maneira mais significativa, para a emissão contínua do UV, ótico e infravermelho (IR) são diferentes. Estrelas massivas e quentes ($20000 \lesssim T \lesssim 50000$ K) emitem muito mais no UV do que no IR e são associadas a surtos de formação estelar, ou seja, presença de SPs jovens. Em poucos milhões de anos as estrelas massivas evoluem, entram na fase TP-AGB e aumentam a emissão na região espectral do NIR, o que caracteriza SPs jovens e intermediárias pouco evoluídas, com idades entre 200 milhões e 3 bilhões de anos (Maraston, 2005; Riffel et al., 2007).

Estudos de galáxias na faixa do NIR mostram que uma grande contribuição da sua emissão contínua é devido a SPs um pouco mais evoluídas que estão na fase TP-AGB, com idades intermediárias ($100 \lesssim t \lesssim 700$ Manos) (Maraston, 2005; Maraston et al., 2006; Melbourne et al., 2012; Riffel et al., 2007, 2011, 2015). Nessa faixa do espectro, a emissão contínua em AGNs está, muitas vezes, relacionada à emissão de radiação devido a poeira quente, pois os grãos de poeira absorvem a radiação UV do disco de acreção e a reemitem no IR (Barvainis, 1987a; Sales; Pastoriza; Riffel, 2010).

Uma das ferramentas mais utilizadas atualmente para estudar SPs em galáxias é a espectroscopia de campo integral. Com ela entendemos muitas características importantes das SPs. Entre elas, registramos o seu SFH a fim de verificar se existe alguma conexão entre o AGN e a formação estelar (conexão AGN-*Starburst*) observada na região central⁸ de muitas galáxias ativas (Norman; Scoville, 1988; Imanishi; Dudley, 2000; Imanishi, 2002; Storchi-Bergmann et al., 2000; Rodríguez-Ardila; Viegas, 2003; Davies et al., 2007; Riffel et al., 2007; Dors JR. et al., 2008; Riffel et al., 2009).

Para o estudo de espectros integrados de galáxias podemos utilizar modelos de populações estelares simples (SSPs), que consistem em um conjunto de estrelas que nasceram ao mesmo tempo e apresentavam a mesma composição química inicial, porém com massas diferentes, assim como em um aglomerado de estrelas. Portanto, pode-se utilizar espectros integrados de aglomerados estelares para criar uma base espectral de SSPs.

Neste trabalho a base é composta por espectros sintéticos de SSPs. Eles são feitos

⁸Região com dezenas a centenas de parsecs de raio.

através de modelos evolutivos (isócronas ou teorema do consumo de combustível) assumindo uma função de massa inicial. Para fazer um espectro integrado teórico utiliza-se um diagrama HR teórico e substitui-se cada ponto por um espectro de uma estrela, então, os espectros são somados para formar o espectro integrado do aglomerado teórico.

Na faixa do NIR, mesmo com instrumentos com resolução espacial de poucas dezenas de parsecs, o estudo espectral para verificar a presença de populações estelares em regiões centrais de galáxias ativas deve levar em conta possíveis contribuições tipo lei de potência e poeira quente, devido a emissão do disco de acreção e toroide de poeira previstos pelo modelo unificado de AGNs (Urry; Padovani, 1995). Além disso, os modelos de SSPs têm resoluções espectrais piores no NIR do que no ótico. Contudo, o estudo de SPs na faixa do NIR é importante porque há SPs que emitem a maior parte de sua radiação nessa região do espectro.

1.4 SÍNTESE DE SPS

O processo de síntese de populações estelares combina diversos espectros de SSPs resultando no espectro da população estelar que melhor modela o espectro da galáxia e, a partir dele, são obtidas informações físicas das SPs presentes na galáxia, tais como suas idades e metalicidades.

Um dos primeiros trabalhos realizados na região espectral do NIR, com resolução espacial de poucas centenas de parsecs e resolução espectral de 360 km s^{-1} , para estudar SPs utilizando o método de síntese espectral em galáxias foi apresentado por Riffel et al. (2008), a partir de observações de fenda longa cobrindo a região entre 0.8 e $2.4 \mu\text{m}$. Os autores analisaram os espectros de quatro galáxias *Starburst* (SB) – NGC 34, NGC 1614, NGC 3310 e NGC 7714 – e sugeriram que a contribuição em brilho das SPs observada no NIR é diferente da observada no ótico.

Em um trabalho seguinte, Riffel et al. (2009) aplicaram a técnica de síntese de SPs para estudar uma amostra de galáxias ativas a partir de dados espectroscópicos semelhantes aos dos utilizados em Riffel et al. (2008). Intensas linhas de absorção foram detectadas nos espectros das galáxias da amostra, mostrando que há uma importante contribuição de estrelas para a emissão contínua central de AGNs. Os autores introduziram na base de modelos (Maraston, 2005), utilizada na síntese espectral, componentes de função de Planck, com temperaturas entre $700 - 1400 \text{ K}$, a fim de estimar uma possível contribuição devido a emissão pela poeira quente. Detectou-se SPs jovens (idade $< 100 \text{ Manos}$), intermediárias ($100 \text{ Manos} \lesssim \text{idades} \lesssim 1 \text{ Ganos}$) e velhas (idades $> 1 \text{ Ganos}$), sendo que as SPs que dominam a emissão contínua no NIR são as populações de idades intermediárias.

A componente de poeira quente ($T \sim 2000 \text{ K}$) é associada ao toroide de poeira que circunda o AGN. Assim como esse trabalho, outros estudos (Imanishi, 2002; Rodríguez-Ardila;

Viegas, 2003; Dors JR. et al., 2008; Riffel; Storchi-Bergmann; McGregor, 2009; Riffel et al., 2015) sugerem que populações estelares jovens ou intermediárias em regiões centrais de galáxias podem ser originadas por escoamentos de gás em direção ao centro que, além de formar estrelas, também alimenta o SMBH. Esse cenário, apóia a conexão AGN-*Starburst*.

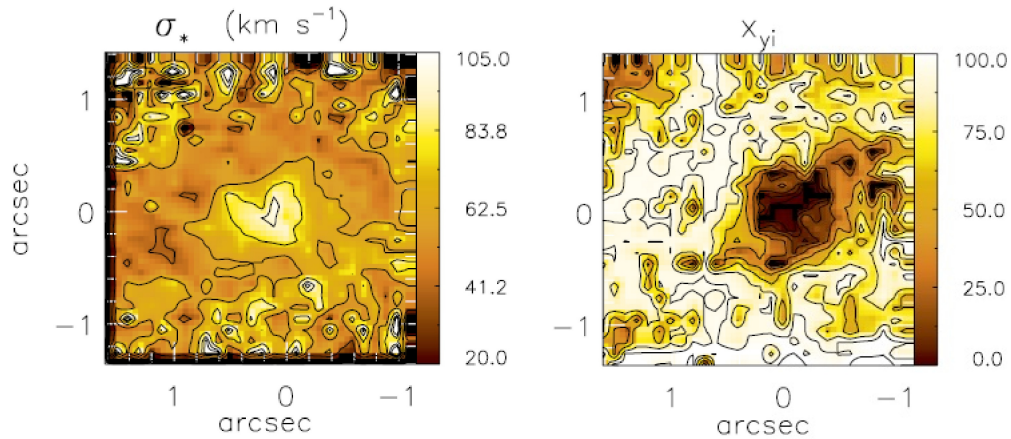
Davies et al. (2007) realizaram uma análise da formação estelar nuclear de nove galáxias Seyfert utilizando espectroscopia de campo integral no NIR com resolução espacial de dezenas de parsecs. Os autores encontraram, para todas as galáxias da amostra, uma população estelar com idade “característica” na faixa de 10 – 300 Manos.

Até o momento a técnica de síntese de populações estelares foi aplicada somente para quatro galáxias Seyferts utilizando espectroscopia de campo integral no NIR com o objetivo de se estudar as SPs, todas elas por nosso grupo, que foi precursor do uso dessa técnica no NIR (Riffel et al., 2010, 2011; Storchi-Bergmann et al., 2012; Schönell JR. et al., 2017). Alguns trabalhos, como o de Davies et al. (2007) utilizam dados de IFU no NIR para estudar as populações estelares, porém não realizam a síntese de SPs e são capazes de determinar apenas uma idade característica para as populações (baseados em medidas de larguras equivalentes e intensidades de linhas espectrais). Como discutido acima essa região espectral é importante pois grande parte da emissão contínua é associada a estrelas gigantes de idades intermediárias e velhas, que não são facilmente mapeadas no ótico. A espectroscopia de campo integral tem cobertura e resolução espacial necessárias para mapear a região circumnuclear de AGNs em detalhes.

O trabalho precursor na síntese espectral bidimensional de AGNs na faixa do NIR foi realizado por Riffel et al. (2010), a partir de espectroscopia de campo integral da região central da galáxia Mrk 1066 nas bandas J e K. Os autores encontraram uma correlação espacial entre estruturas de menor dispersão de velocidades estelar (σ_*) com populações de idades intermediárias (entre 300 e 700 milhões de anos). A correlação espacial entre essas duas componentes é apresentada na Figura 1.3, extraída do trabalho original. Nela podemos notar claramente que a região com valores de dispersão de velocidades estelar em torno de 50 km s^{-1} (no painel esquerdo) se encaixa perfeitamente na região com grande contribuição em fluxo para populações estelares de idades intermediárias (no painel direito).

Com dados de mesma qualidade para a galáxia Mrk 1157, Riffel et al. (2011) detectaram componentes de populações estelares velhas com idades maiores que 5 bilhões de anos, próximas ao centro da galáxia, em regiões internas a 130 pc. Foi observada uma correlação espacial entre a queda da dispersão de velocidade das estrelas e a presença de uma população estelar com idades intermediárias, semelhante a detectada em Mrk 1066. Essa correlação sugere que estruturas de baixa dispersão de velocidades, observadas comumente na região central de AGNs, são originadas por estrelas de idades intermediárias, as quais ainda compartilham da cinemática da nuvem de gás que as formou (Riffel et al., 2017). Nesse cenário, as estrelas podem ter se formado a partir do gás acretado na região central da galáxia, o qual também pode ter dado origem a atividade nuclear. Outro possível cenário sugere que a origem da atividade

Figura 1.3 – Mrk 1066 – Esquerda: Mapa da dispersão de velocidades estelar em unidades de km s^{-1} . Direita: mapa das contribuições percentuais em fluxo para populações estelares com idades intermediárias (0.3-0.7 Ganos). Nota-se uma correlação espacial em forma de anel entre a diminuição de σ_* e a intensa contribuição em fluxo de SPs intermediárias (x_{yi}).



Fonte: Figura extraída de Riffel et al. (2010).

nuclear é devido a ventos de estrelas recém formadas (Davies et al., 2007; Riffel et al., 2009). No entanto, é necessário aumentar a amostra de objetos para verificar o quão comum é a relação entre a presença de estrelas de idades intermediária/jovem e estruturas de baixa dispersão de velocidades estelar.

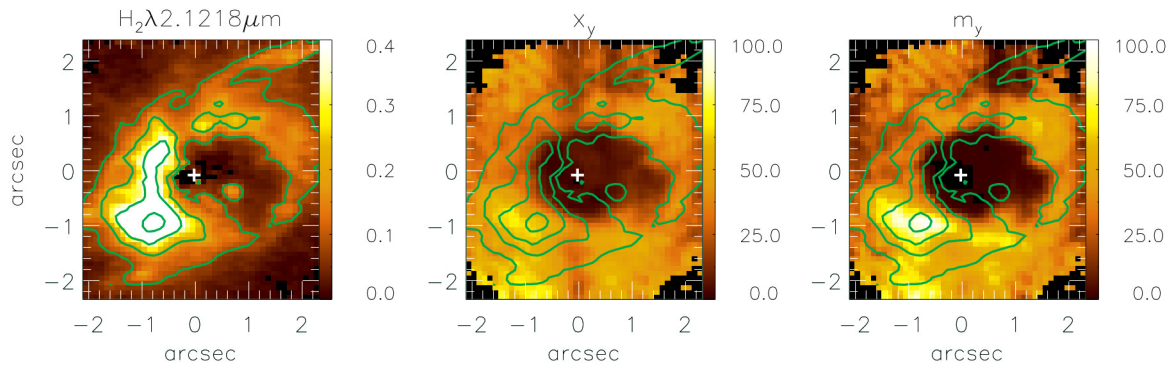
O terceiro trabalho utilizando espectroscopia de campo integral, de Storchi-Bergmann et al. (2012)⁹, encontrou uma correlação entre uma estrutura de gás molecular e populações estelares jovens, com idades de poucas dezenas de milhões de anos, para a NGC 1068. A Figura 1.4 mostra a distribuição de fluxos para a linha $\text{H}_2 \lambda 2.1218 \mu\text{m}$ (painel da esquerda) e as contribuições percentuais em fluxo (x_y – painel do centro) e massa (m_y – painel da direita) para populações jovens, com os contornos do H_2 sobrepostos. Essa correlação pode representar um estágio anterior ao observado para Mrk 1066 e Mrk 1157, onde o H_2 é excitado por estrelas jovens, porém, não jovens/massivas o suficiente para ionizar o hidrogênio atômico, uma vez que não se observa emissão de linhas de recombinação do hidrogênio nessas regiões (Storchi-Bergmann et al., 2012).

Em Schönell Jr. et al. (2017) foi verificada uma contribuição de SPs de idades intermediárias ($50 \text{ M} \lesssim \text{idade} \lesssim 2 \text{ Ganos}$) de 4% em uma estrutura em forma de anel (com raio de $\sim 160 \text{ pc}$) em torno do núcleo Seyfert 1 de NGC 5548. Também verificou-se uma contribuição de SPs velhas ($2 \lesssim \text{idade} \lesssim 15 \text{ Ganos}$) de 60% mais estendida, cobrindo uma região com raio de $\sim 350 \text{ pc}$. Contribuições do tipo lei de potência e de corpo negro também foram detectadas e associadas a emissão do AGN e de poeira quente, respectivamente.

Para determinar se existe alguma relação entre a formação estelar circumnuclear e o

⁹O autor desta tese é co-autor desse artigo, tendo realizado as medidas para a cinemática estelar.

Figura 1.4 – NGC 1068 – Medidas de fluxo para a linha de emissão do $H_2 \lambda 2.1218 \mu\text{m}$ (painel da esquerda). Contribuições percentuais em fluxo (painel do centro) e em massa (painel da direita) para a população estelar jovem, com idades menores que 100 Manos. Os contornos em verde nesses dois painéis indicam a distribuição em fluxo do H_2 .



Fonte: Figura extraída de Storchi-Bergmann et al. (2012).

AGN central, precisa-se caracterizar de maneira correta as populações estelares, pois elas emitem uma quantidade significativa de energia que contribui para o espectro integrado¹⁰ da galáxia. Portanto, a análise detalhada das SPs circumnuclear, do gás e da poeira para um número maior de galáxias resulta numa maneira de verificar uma possível conexão AGN-*Starburst* e também a tentativa de responder questões como:

- Qual a contribuição da componente da população estelar e da poeira para o espectro integrado dos núcleos de galáxias?
- As SPs observadas no óptico e UV são equivalentes às detectadas no NIR?
- Como é a estrutura formada pela poeira? Qual temperatura ela emite?
- Qual a idade e metalicidade das SPs que contribuem de forma significativa para o brilho em AGNs?
- Como as SPs se distribuem na região circumnuclear dos AGNs?

Para obter informações sobre SPs pode-se utilizar o processo de síntese de população estelar, com bibliotecas empíricas de espectros estelares de idades e metalicidades conhecidas ou modelos evolucionários de populações estelares construídos com SSPs teóricos.

Neste trabalho utilizamos os modelos de Maraston (2005) para caracterizar populações na região central de galáxias Seyfert, pois eles incluem dados empíricos de estrelas do ramo

¹⁰Espectro composto pela soma de todas as componentes presentes na galáxia (estrelas, gás, poeira e uma fonte de FC).

das supergigantes vermelhas, ricas em oxigênio e carbono, responsáveis por algumas bandas de absorção observadas no NIR, como por exemplo a banda do CN em $1.1 \mu\text{m}$, que está associada a presença de populações estelares com idades jovens e intermediárias (Riffel et al., 2007, 2015). Estrelas que estão no AGB emitem a maior parte de sua radiação no NIR não contribuindo muito para a emissão ótica. Dessa forma, um correto tratamento da contribuição dessas estrelas deve ser incluído na análise da distribuição das SPs que contribuem para a emissão no NIR.

1.5 OBJETIVOS

Neste trabalho direcionamos os esforços no estudo das SPs e caracterização de possíveis regiões de formação estelar e de possíveis correlações das SPs com a cinemática do gás e das estrelas, a partir de dados obtidos com o instrumento NIFS do telescópio Gemini Norte. Os principais objetivos deste trabalho são:

- Mapear as idades e metalicidades das populações estelares que compõem o espectro no infravermelho próximo na região central de galáxias ativas.
- Mapear a cinemática estelar na região central das galáxias estudadas.
- Estimar a contribuição “típica” da população estelar, da fonte central e da poeira na distribuição espectral de energia dos AGNs.
- Determinar as propriedades físicas da poeira quente presentes no núcleo das galáxias.
- Verificar possíveis correlações entre a distribuição das populações estelares e a cinemática das estrelas e distribuição de gás molecular quente.
- Procurar por relações entre as idades das populações estelares com propriedades do núcleo ativo.
- Propor um cenário para a distribuição e formação das populações estelares presentes no kiloparsec central das galáxias da amostra.

Este texto está organizado na seguinte forma: no Capítulo 2 definimos e caracterizamos a amostra. As observações e o processo de redução de dados são apresentados no Capítulo 3. Os métodos aplicados para obter a cinemática estelar e a síntese de populações estelares, assim como, a base de elementos utilizada, são definidos no Capítulo 4. Os resultados são apresentados no Capítulo 5 e discutidos no Capítulo 6. As conclusões e perspectivas são descritas no Capítulo 7. Por fim, os artigos publicados estão no Apêndice A.

2 A AMOSTRA

As galáxias analisadas neste trabalho fazem parte da amostra de uma proposta observacional de longo prazo (LLP) aprovada pela Comissão Nacional de Programas do Observatório Gemini e com observações ainda em andamento. A LLP tem como investigadora principal a Dra. Thaisa Storchi-Bergmann (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) e tem o objetivo de observar uma amostra representativa de galáxias Seyfert próximas com o instrumento NIFS.

A amostra da LLP é constituída por 20 galáxias selecionadas do catálogo Swift-BAT (Ajello et al., 2012). Essas galáxias apresentam luminosidades em raios-X (14–195 keV) $L_X \geq 10^{41.5} \text{ erg s}^{-1}$ e *redshift* $z \leq 0.015$. A banda de raios-X duros do *survey* Swift-BAT foi utilizada porque detecta diretamente a emissão do AGN ao invés de emissão espalhada ou reprocessada (vista em menores energias) e é menos sensível à extinção na linha de visada do que observações em raios-X moles ou em bandas óticas, permitindo assim uma seleção baseada somente em propriedades dos AGNs. Os objetos também devem ser acessíveis pelo Gemini Norte ($-30^\circ < \delta < 73^\circ$) e apresentar emissão estendida para a linha [O III] λ 5007 em observações prévias. Esse critério foi incluído para garantir a detecção de emissão estendida de linhas, permitindo o mapeamento da cinemática do gás e verificar a existência de possíveis escoamentos de gás em direção ao centro e/ou ejeções de matéria a partir do núcleo (que é um dos objetivos da LLP).

Adicionalmente, incluíram-se 9 galáxias próximas observadas previamente com o instrumento NIFS, para complementar as observações, totalizando 29 galáxias. As observações estão em andamento com cerca de 2/3 (20 objetos) da amostra já observada e os dados já encontram-se reduzidos. A caracterização da amostra é apresentada em Riffel et al. (em preparação), anexado no Apêndice A.4.

A amostra deste trabalho é constituída por todas as galáxias já observadas em pelo menos duas bandas espectrais¹ (banda J e K), cujos espectros possuem razão sinal/ruído (SNR) alta o bastante para a realização da síntese espectral. Foram excluídas quatro galáxias (NGC 1068, Mrk 1066, Mr 1157 e NGC 5548), cujos resultados para as populações estelares foram publicados anteriormente, sendo a amostra deste trabalho constituída por 6 galáxias, cujas informações básicas são apresentadas na Tabela 2.1.

¹As bandas J e K cobrem um intervalo espectral de aproximadamente 1.1 – 1.3 μm e 1.9 – 2.5 μm , respectivamente.

Tabela 2.1 – Galáxia, tipo morfológico, classificação do AGN, *redshift* z , escala (parsec por segundo de arco), resolução angular e luminosidade em raios-X (2–10 keV).

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Galáxia	Morfologia	Ativ. nuclear	<i>redshift</i> (z)	Escala (pc/arcsec)	$\log(L_X)$ (2–10keV)
Mrk 3	S0?	Sy 2	0.013	277	42.3 ^a
Mrk 573	(R)SAB(rs)	Sy 2	0.017	346	41.2 ^b
Mrk 607	Sa:edge-on	Sy 2	0.008	175	40.7 ^c
NGC 2110	SAB0 ⁻	Sy 2	0.008	146	42.7 ^d
NGC 3227	SAB(s)a pec	Sy 1.5	0.004	72	41.9 ^d
NGC 5929	Sab? pec	Sy 2	0.008	178	41.3 ^e

Informações extraídas de Riffel et al (em preparação) e Diniz et al. (2017). Valores da luminosidade em raio-X (2-10 keV) obtidos em: a - Bianchi et al. (2005); b - Bianchi et al. (2010); c - LaMassa et al. (2011); d - Shu, Yaqoob e Wang (2010); e - Cardamone, Moran e Kay (2007).

Todas as galáxias da amostra deste trabalho foram estudadas em diferentes bandas espectrais, possibilitando uma análise detalhada das SPs presentes na região central (centenas de parsecs) desses objetos. A seguir, resumiremos algumas características e os principais estudos encontrados na literatura sobre as populações estelares das galáxias deste trabalho.

2.1 MRK 3

É uma galáxia lenticular classificada como S0?. Está localizada a ~ 57 Mpc de distância e $1''$ corresponde a 277 pc na galáxia. Hospeda um núcleo ativo do tipo Sy 2. Entretanto, observações polarimétricas na região ótica indicam a presença de um núcleo Sy 1 (Miller; Goodrich, 1990; Tran, 1995; Kishimoto et al., 2002).

Boisson et al. (2000) utilizaram observações de fenda longa na região visível do espectro e compararam a fração de SPs em AGNs de diferentes tipos de atividade nuclear. Mapeou-se a distribuição radial dessas populações através da síntese de SP realizada a partir de medidas de largura equivalente (EW – Equivalent Width) das absorções estelares. González Delgado, Heckman e Leitherer (2001) utilizaram espectroscopia de fenda longa desde o ultravioleta até o infravermelho próximo para investigar a conexão AGN-*Starburst* em uma amostra de 20 objetos, procurando por assinaturas espectrais de estrelas massivas a partir da presença de linhas de

emissão de estrelas Wolf-Rayet em $\sim 4680 \text{ \AA}$ e pela detecção de linhas de absorções de Balmer de altas ordens e de linhas do He I. Para Mrk 3, encontraram a presença de uma população velha na região central, interna a $630 \times 880 \text{ pc}^2$. Esse resultado foi confirmado por Raimann et al. (2003), que mapearam uma população estelar dominante no interior dos 3 kpc centrais da galáxia com idade de cerca de 10 Ganos.

2.2 MRK 573

É uma galáxia com núcleo ativo do tipo Sy 2 (Tsvetanov; Walsh, 1992), cuja classificação morfológica é RSAB(rs⁺) e está localizada a $\sim 73 \text{ Mpc}$, onde $1''$ equivale a 350 pc na galáxia. O eixo maior está ao longo do ângulo de posição $PA \approx 97^\circ$ (Fischer et al., 2017).

Schmitt, Storchi-Bergmann e Cid Fernandes (1999) realizaram síntese de populações estelares para 20 galáxias Sy 2 a partir de espectros óticos obtidos para uma abertura de $2 \times 2 \text{ arcsec}^2$ centrados no núcleo das galáxias. Utilizaram medidas de largura equivalente e de razões entre a emissão contínua em diferentes comprimentos de onda e uma base de elementos formada por espectros de aglomerados estelares de diferentes idades e metalicidades. Eles também adicionaram uma componente de lei de potência para representar a emissão do AGN. Para Mrk 573, esses autores encontraram uma população estelar velha ($> 10 \text{ Ganos}$) dominante, contribuindo com cerca de 80% para a emissão observada.

Com dados na faixa espectral do ultravioleta próximo Storchi-Bergmann et al. (2000) analisaram a região central de 20 Sy 2 e sugeriram a presença de um *Starburst* recente no núcleo de Mrk 573 devido a detecção de uma componente de lei de potência. Estimaram uma idade maior que 10 Manos para este *Starburst* nuclear.

No trabalho de González Delgado, Heckman e Leitherer (2001), já mencionado na Sec. 2.1, uma população velha ($> 10 \text{ Ganos}$) foi detectada na região central da galáxia Mrk 573, a partir da comparação de espectros nucleares na faixa do ótico e ultravioleta próximo de 35 galáxias Sy 2 (incluindo Mrk 573) com espectros de populações estelares com idades e metalicidades conhecidas. Esses resultados estão em boa concordância com os de Storchi-Bergmann et al. (2001).

Raimann et al. (2003) estudaram as populações estelares na região interna a 2.7 kpc da galáxia e verificaram que o contínuo ótico é dominado por uma população estelar velha (10 Ganos) na região interna a 700 pc, enquanto que, em regiões mais externas a população dominante é de idades intermediárias (1 Ganos).

No infravermelho próximo, Ramos Almeida, Pérez García e Acosta-Pulido (2009) identificaram a presença de SP de idades intermediárias e não detectaram a presença da componente de FC no espectro nuclear. Já em Riffel et al. (2009), foi mapeada a região central da galáxia interna a 270 pc onde foi detectada uma componente de FC e componentes de SPs jovem, inter-

mediária e velha, com contribuições para o fluxo na banda J de aproximadamente 20%, 12%, 50% e 12%, respectivamente.

2.3 MRK 607

Situa-se a ~ 36 Mpc de distância, onde $1''$ corresponde a 175 pc na galáxia. Apresenta o disco galáctico bastante inclinado ($\sim 67^\circ$) com o eixo maior orientado ao longo do $PA = -43^\circ$. É uma galáxia espiral classificada como Sa? edge-on.

Storchi-Bergmann et al. (2000), a partir de observações da região central da galáxia (interna a 600 pc) no ultravioleta próximo (3500–4100 Å), detectaram assinaturas de SPs de idades intermediárias (< 1 Ganos) através da comparação de modelos de SPs construídos a partir da combinação do espectro de uma SP do bojo (~ 10 Ganos) e SPs jovens/intermediárias (3 Manos – 1 Ganos). Já no trabalho de Storchi-Bergmann et al. (2001), comparando espectros no ótico com templates de SPs com idades conhecidas, foi encontrada uma componente velha (> 1 Ganos) na região central da galáxia interna a 600 pc.

2.4 NGC 2110

É uma galáxia early-type do tipo $SAB0^-$ (fracamente barrada), abriga um núcleo Sy 2 e está a ~ 30 Mpc de distância para a qual $1''$ equivale a 146 pc na galáxia.

Com observações na banda J, obtidas com o espectrógrafo de campo integral OSIRIS instalado no Telescópio Keck I, Durré e Mould (2014) detectaram uma barra alongada nuclear a partir de medidas de $[Fe II]\lambda 1.2570 \mu m$ e detectaram populações estelares jovens (~ 3 Manos) em uma região semicircular a 90 pc do núcleo da galáxia.

A galáxia também está presente na amostra estudada por Boisson et al. (2000), para a qual foi mapeada a região central interna a 440 pc, detectando contribuições de populações jovens e mais evoluídas, pertencentes a MS e a fase das gigantes vermelhas, respectivamente. No estudo de González Delgado, Heckman e Leitherer (2001) citado acima, foi encontrada a presença de linhas de absorção estelares na região central da galáxia similares às aquelas encontradas em populações estelares velhas e também foi observada uma pequena contribuição de FC devido a emissão contínua ótica.

A partir da espectroscopia de campo integral no ótico, obtida com o espectrógrafo *Wide Field Fiber Optic* acoplado ao Telescópio William Herschel, observações de fenda longa obtidas com o espectrógrafo Richey-Chretien acoplado ao Telescópio Mayall e ainda com imagens do Telescópio Espacial Hubble (HST) González Delgado et al. (2002) não encontraram nenhuma

evidência de *Starburst* circumnuclear. A galáxia também foi estudada por Raimann et al. (2003), onde foi verificada a presença de uma população estelar velha (> 10 Ganos) dominante e uma população jovem (< 1 Manos) na região central, interna a ~ 1500 pc.

Cid Fernandes et al. (2004), a partir de observações espectroscópicas no ultravioleta (3500–5200 Å) obtidas com o espectrógrafo Boller & Chivens montado do Telescópio de 1.52 m do ESO², estudaram a região interna a 200 pc da galáxia e encontraram uma contribuição de SPs jovens (≤ 25 Manos) e velhas (≥ 2.5 Ganos). Riffel et al. (2009), a partir de dados no infravermelho próximo, analisaram a região central, interna a 240 pc, e verificaram um domínio de SP de idade intermediária ($\sim 40\%$) seguida por população estelar velha ($\sim 20\%$) e jovem ($\sim 10\%$).

2.5 NGC 3227

Está em interação com a galáxia elíptica anã NGC 3226. Abriga um núcleo ativo do tipo Sy 1.5, morfologicamente é classificada como SAB(s)a pec e localiza-se a ~ 15 Mpc, onde $1''$ corresponde a 72 pc na galáxia. O disco em grande escala da galáxia está inclinado em 56° e o eixo maior está ao longo do PA = 158° (Mundell et al., 1995).

Observações na região ótica e NIR indicam a presença de um *Starburst* circumnuclear e uma barra estelar com tamanho entre 100–1000 pc ao longo de PA = -16° (González Delgado; Perez, 1997; Chapman; Morris; Walker, 2000). Schinnerer, Eckart e Tacconi (2001) utilizando observações no NIR encontraram uma componente de FC não resolvida e pelo menos duas SPs de idades diferentes na região central da galáxia, uma SP jovem (25–50 Manos) e outra intermediária (500 Manos).

Riffel et al. (2009) utilizaram espectroscopia cobrindo toda a faixa do infravermelho próximo e encontraram na região central da galáxia (interna 67×67 pc²) uma contribuição de 30% para o fluxo observado na banda J de uma componente não estelar e uma contribuição de emissão tipo corpo negro de cerca de 2%. Também verificou-se a presença de SPs jovens (< 50 Manos) que contribuem com $\sim 40\%$ e intermediárias (entre 100 Manos e 2 Ganos) que contribuem com cerca de 30% da emissão contínua observada.

2.6 NGC 5929

É uma galáxia espiral que possui uma companheira, a NGC 5930 (Kennicutt JR. et al.,

²European Southern Observatory

1987). Apresenta atividade nuclear do tipo Sy 2, morfologia Sab?pec e está distante ~ 36 Mpc com uma relação de 174 pc/arcsec na galáxia. A orientação do eixo maior é $PA \sim 45^\circ$ (Schmitt et al., 1997).

A partir da comparação do espectro da galáxia com espectros templates de SPs com idades conhecidas, uma população estelar velha com idade maior que 1 Ganos foi detectada nos 250 pc centrais da galáxia, através de observações espectroscópicas na região do UV-próximo (3500–4100 Å) (Storchi-Bergmann et al., 2001). González Delgado, Heckman e Leitherer (2001) verificaram que as linhas de absorção estelares no ótico eram similares àquelas observadas em SPs velhas e Raimann et al. (2003) encontraram uma população estelar velha (> 10 Ganos) dominante e uma população jovem (< 3 Manos) na região central de raio de ~ 1 kpc, também detectaram uma pequena contribuição em fluxo ($\sim 5\%$) de uma componente de lei de potência atribuída ao AGN.

Em comprimentos de onda do infravermelho, Imanishi e Alonso-Herrero (2004) investigaram a região central da galáxia com espectroscopia de fenda longa na banda K e sugerem que há um *Starburst* nuclear. Entretanto, resultados de síntese espectral utilizando espectros que cobrem toda a região do infravermelho próximo mostram que populações jovens contribuem somente com uma pequena fração do fluxo observado nos 200 pc centrais da galáxia (Riffel et al., 2009). Esses autores também detectaram uma contribuição em fluxo na banda J de aproximadamente 70%, 25% e 7%, correspondendo a SPs velha, intermediária e jovem, respectivamente.

3 OBSERVAÇÕES E REDUÇÃO DOS DADOS

3.1 OBSERVAÇÕES

Seu poder de resolução (R) está entre 4990 e 6040 dependendo da banda espectral, onde R é dado por $R = \lambda/\Delta\lambda$, com $\Delta\lambda$ igual ao tamanho de 2 pixels espectrais e λ é o comprimento de onda central do filtro utilizado.

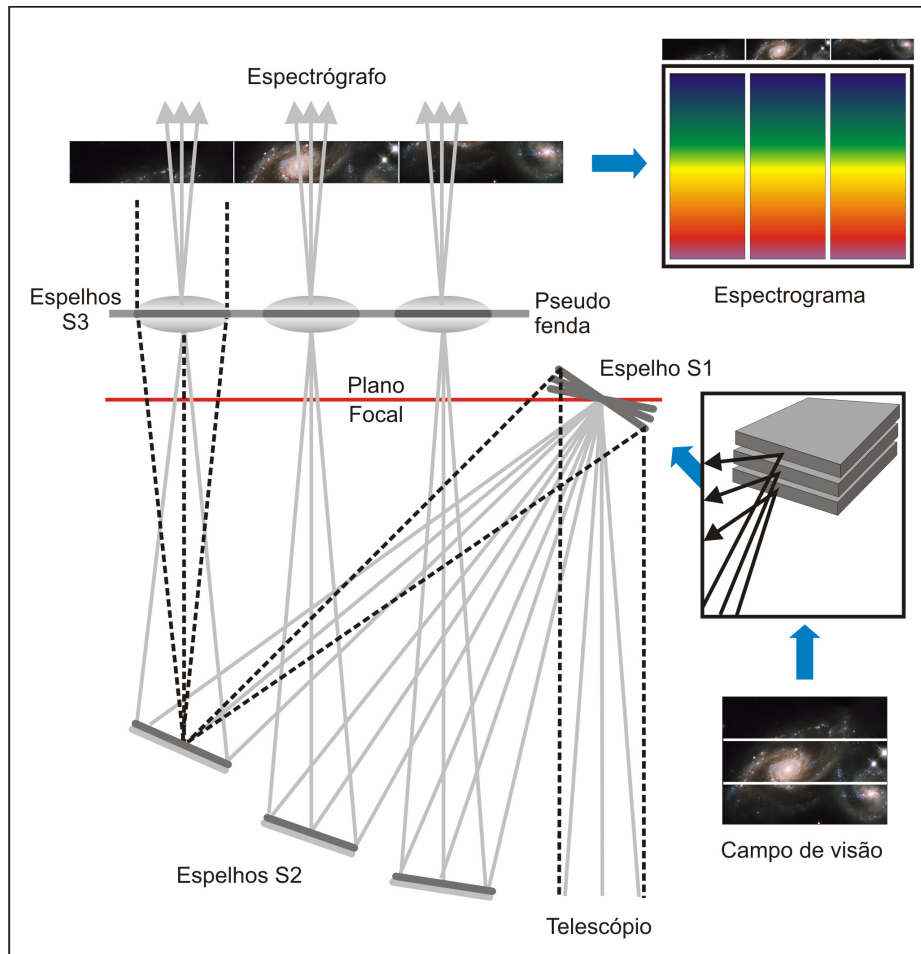
Para galáxias ativas próximas, as observações realizadas com esse instrumento apresentam dados espectroscópicos de alta qualidade, com resolução espacial de poucas dezenas de parsecs e resolução espectral de poucos *Angströms*, fornecendo uma espectroscopia 3D com duas dimensões espaciais (x e y) e uma espectral (λ), permitindo que seja mapeada a distribuição, excitação e cinemática do gás e das estrelas simultaneamente (Riffel et al., 2010; Storchi-Bergmann et al., 2012; Diniz et al., 2015).

A ótica do NIFS é baseada no método AIS (*Advanced Image Slicer*) proposto por Content (1997), onde uma imagem bidimensional é dividida em sub-imagens, que são re-imageadas lado a lado na entrada do espectrógrafo. O NIFS é composto por 29 espelhos (*slices*), cada um deles com largura de $0''1$ e com $0''04$ medida ao longo das *slices*. A Figura 3.1 esquematiza esse método para uma IFU com apenas 3 *slices*, onde os espelhos S1 dividem a imagem 2D em sub-imagens que são refletidas pelos espelhos S2 em direção ao conjunto de espelhos S3 na superfície focal da entrada do espectrógrafo.

A Tabela 3.1 apresenta algumas informações sobre os dados utilizados neste trabalho. As observações foram realizadas nas bandas J e K a fim de possibilitar a obtenção de informações sobre as populações estelares em cada objeto. Na banda K encontram-se absorções proeminentes, tais como as bandas do CO em $\sim 2.3 \mu\text{m}$, já a banda J é importante para incluir um vínculo adicional à forma do contínuo. A banda H, embora apresente uma série de absorções estelares não foi incluída nas observações para reduzir a demanda de tempo de telescópio, considerando que em trabalhos anteriores foi mostrado que somente com observações de boa qualidade nas bandas J e K é possível caracterizar as populações estelares em galáxias ativas próximas, utilizando o método de síntese espectral (Riffel et al., 2010, 2011; Storchi-Bergmann et al., 2012; Schönell JR. et al., 2017).

Além dos arquivos referentes às observações dos objetos de ciência (as galáxias) apresentados na Tabela 3.1, as observações fornecem também arquivos do tipo *flat-field*, corrente de escuro (*dark*), *ronchi*, espectros das lâmpadas de calibração e de estrelas padrão telúricas, os quais são utilizados no processo de redução de dados astronômicos, descrito a seguir.

Figura 3.1 – Ilustração do princípio do AIS equipado com três *slices*.



Fonte: Figura extraída de Allington-Smith et al. (2006) com algumas modificações.

3.2 REDUÇÃO DOS DADOS

O processo de redução de dados para as galáxias Mrk 607, Mrk 573, Mrk 3 e NGC 2110 foi realizado pelo autor deste trabalho, enquanto as demais foram reduzidas por colaboradores do projeto.

Esse processo foi executado para cada uma das bandas (J e K) observadas para cada galáxia com o *software* IRAF (*Images Reduction And Analysis Facility*)¹, o qual é composto de diversos pacotes e tarefas para a redução e análise de dados astronômicos. A seguir apresenta-se uma breve descrição dos arquivos e procedimentos utilizados nas diferentes etapas de redução de dados.

¹Disponível em <http://iraf.noao.edu/>

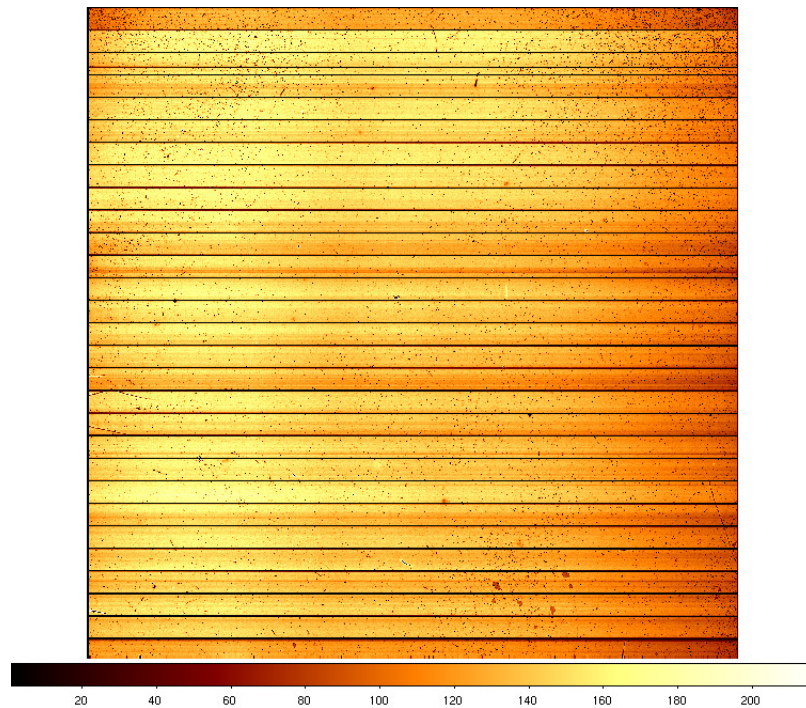
Tabela 3.1 – Log das observações. (1) Galáxia; (2) Código do Projeto; (3) Tempo de exposição do objeto de ciência nas bandas J e (4) K; (5) Resolução angular na banda J e (6) K obtida a partir da medida da FWHM da distribuição do fluxo da estrela padrão telúrica; (7) Resolução espectral na banda J e (8) K obtida a partir da medida da FWHM da lâmpada de calibração utilizada para realizar a calibração em comprimento de onda dos cubos de dados.

(1) Galáxia	(2) Programa	(3) T. Exp. (J) (segundos)	(4) T. Exp. (K) (segundos)	(5) PSF _J (arcsec)	(6) PSF _K (arcsec)	(7) FWHM _J (Å)	(8) FWHM _K (Å)
Mrk 3	GN-2010A-Q-5	6×600	6×600	0.13	0.13	2.0	3.2
Mrk 573	GN-2010B-Q-8	6×600	6×600	0.13	0.13	1.8	3.6
Mrk 607	GN-2012B-Q-45	10×500	12×500	0.14	0.14	2.0	3.2
NGC 2110	GN-2015B-Q-29	6×400	6×600	0.13	0.15	1.9	3.4
NGC 3227	GN-2016A-Q-6	6×400	6×400	0.13	0.12	1.8	3.5
NGC 5929	GN-2011A-Q-43	10×600	10×600	0.12	0.12	1.7	3.2

3.2.1 *Flat-field*

A Figura 3.2 apresenta uma imagem *flat-field* obtida com o NIFS, na qual podemos verificar as 29 slices que compõe a sua IFU. Essas imagens são utilizadas para corrigir a diferença de resposta das fotocélulas do detector CCD do telescópio para uma mesma quantidade de radiação recebida. Faz-se uma média desses arquivos com a tarefa *gemcombine* do IRAF, então, o *flat-field* médio é normalizado com a tarefa *nreduce*. Por fim, divide-se as demais imagens pelo *flat-field* normalizado, eliminando-se assim a diferença de resposta pixel a pixel do detector para essas imagens.

Figura 3.2 – Imagem *flat-field* típica obtida com o NIFS.



Fonte: Autor.

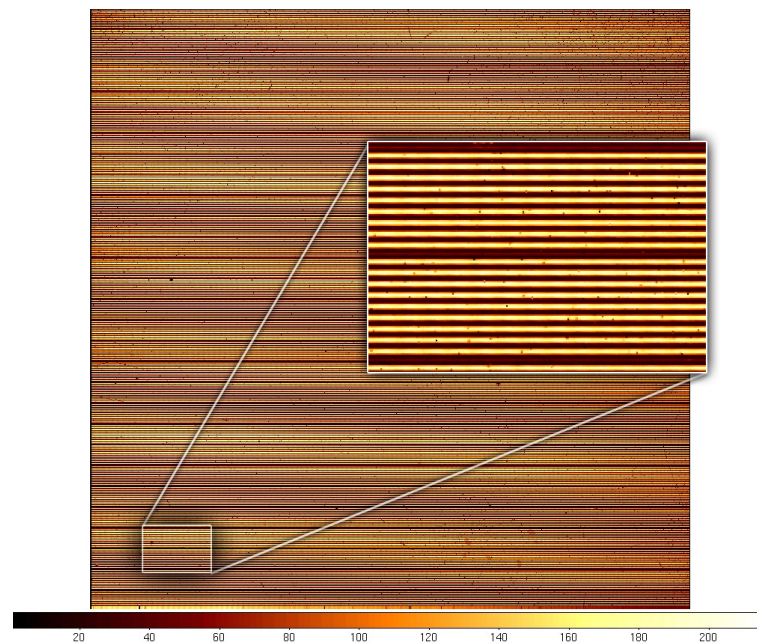
3.2.2 Corrente de escuro

As observações da corrente de escuro (*dark*) são imagens obtidas com o obturador do CCD fechado, em um mesmo intervalo de tempo que o utilizado na obtenção da imagem bruta. Dessa maneira, detecta-se o ruído térmico intrínseco do detector. Então, faz-se uma média dessas imagens e subtrai-se essa média das demais imagens, eliminando a contribuição do ruído térmico para as mesmas. No caso de observações de galáxias, onde se faz necessário a observação de um campo de céu, não é necessário realizar a subtração do *dark*, uma vez que essa contribuição é a mesma para a imagem da galáxia e do campo de céu e dessa forma, ao subtrair a imagem para o campo do céu da imagem da galáxia, a contribuição do *dark* é automaticamente eliminada.

3.2.3 Ronchi

Trata-se de uma rede de dispersão iluminada pela lâmpada de *flat-field*, que produz nove traços espectrais em cada uma das 29 *slices* do NIFS. Esses traços são utilizados para corrigir efeitos de distorções e curvaturas entre as diferentes *slices*, resultando na calibração espacial dos dados. Na Figura 3.3 apresenta-se uma imagem típica para o arquivo de *ronchi* do instrumento NIFS, com a ampliação para duas *slices*, onde se pode ver os 9 traços espectrais para cada uma delas.

Figura 3.3 – Imagem da máscara de *ronchi* com detalhe para duas *slices* mostrando os 9 traços espectrais de fontes pontuais para cada *slice*.

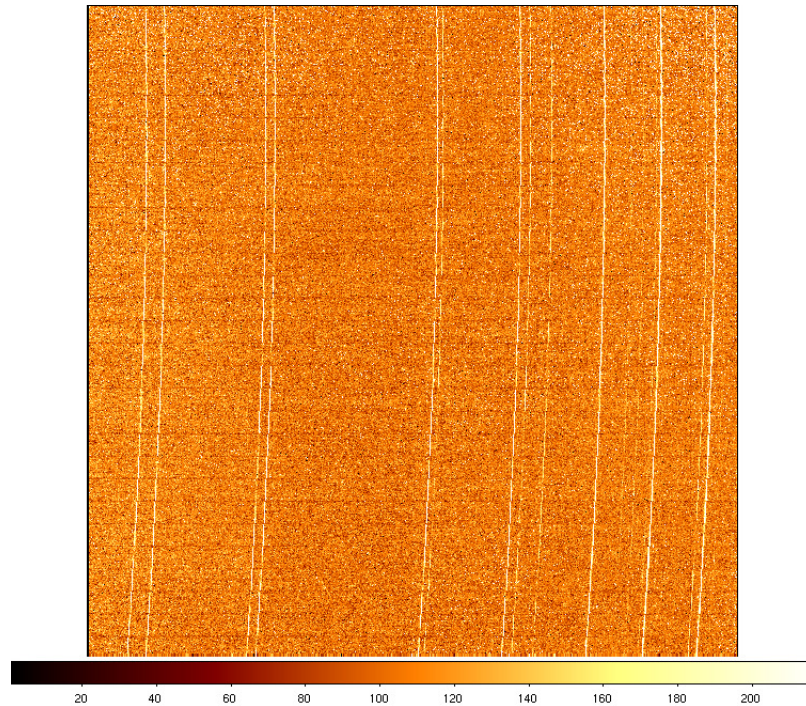


Fonte: Autor.

3.2.4 Lâmpadas de calibração

São espectros de emissão com comprimentos de onda bem conhecidos, apresentando uma precisa relação entre o comprimento de onda (conhecido de laboratório) e o pixel onde cada linha de emissão é detectada. Nas bandas J e K utilizam-se lâmpadas de argônio (Ar) e argônio-xenônio (ArXe), respectivamente. Os espectros de referência são utilizados para calibrar os espectros dos objetos investigados, ou seja, fazer a conversão da escala de pixels espectrais para comprimento de onda. A Figura 3.4 apresenta uma imagem típica da lâmpada de ArXe, utilizada para a calibração de dados na banda K do NIFS.

Figura 3.4 – Imagem típica da lâmpada padrão de ArXe.



Fonte: Autor.

3.2.5 Estrelas padrão telúricas

Correspondem a espectros de referência obtidos a partir da observação de uma estrela específica, geralmente de tipo espectral A. Esses espectros são utilizados para corrigir absorções causadas pela atmosfera terrestre, dividindo-se o espectro do objeto de ciência pelo espectro normalizado da estrela telúrica, após a realização da remoção de absorções intrínsecas das estrelas como as linhas $\text{Pa}\beta$ e $\text{Br}\gamma$, nas bandas J e K, respectivamente.

3.2.6 Calibração em fluxo

Ajusta-se uma função tipo corpo negro ao espectro da estrela telúrica em uma determinada banda, fornecendo-se como entrada a temperatura efetiva da estrela. O resultado desse ajuste é utilizado para criar a curva de sensibilidade com a tarefa *sensfunction* do software IRAF, a qual serve de referência para a calibração em fluxo dos dados de ciência utilizando-se a tarefa

calibrate. Esse procedimento converte o número de contagens de fótons detectado pelo CCD em cada pixel espectral em unidades de fluxo ($\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$).

3.2.7 O cubo de dados

No final do processo de redução dos dados, obtém-se um cubo de dados, o qual representa um conjunto de dados tridimensional com duas dimensões espaciais (x e y) e uma espectral (λ), a qual corresponde aos comprimentos de onda na qual a observação foi realizada. Dessa forma, para cada posição espacial da galáxia observada, obtém-se um espectro, o que permite a obtenção de informações tanto da cinemática do gás e das estrelas, quanto de suas distribuições espaciais.

Para cada exposição da galáxia é obtido um cubo no final do processo de redução de dados. O cubo de dados final para cada banda espectral é obtido a partir da realização da média de todos os cubos individuais, utilizando-se a tarefa *imcombine* do IRAF e fazendo uso de um algoritmo do tipo *sigclip* para remoção de dados espúrios. Para a combinação desses cubos, utiliza-se a posição do pico do contínuo observado em cada exposição como referência para a realização da astrometria entre os cubos.

Uma vez que o método de síntese de populações estelares utilizado neste trabalho modela, além das linhas de absorção, o contínuo do espectro observado, esse deve possuir uma calibração em fluxo confiável. Utilizamos espectros de fenda longa obtidos no modo de dispersão cruzada, a qual consiste na observação das bandas J, H e K simultaneamente, disponíveis na literatura (Riffel; Rodríguez-Ardila; Pastoriza, 2006) para verificar a calibração em fluxo dos dados do NIFS. Para isso, extraímos espectros dos cubos do NIFS para a mesma abertura dos espectros de fenda longa e comparamos os mesmos, corrigindo a calibração relativa entre as bandas J e K, quando necessário. Essa correção foi pequena na maioria dos dados (menor do que 15%). A calibração em fluxo obtida em espectros de dispersão cruzada é mais robusta do que em espectros em bandas espectrais separadas, já que esta é baseada no ajuste de uma função de Planck ao espectro da estrela padrão telúrica e o uso de um intervalo espectral maior resulta em um ajuste mais representativo do contínuo estelar.

Finalmente, os cubos das bandas J e K foram combinados em um único cubo para cada objeto, utilizando-se novamente a posição do pico do contínuo observado em cada banda como referência e rebinando os dados espectrais para pixels de tamanho 5\AA . Esse cubo final é utilizado para a realização da síntese espectral. Já as medidas da cinemática estelar são realizadas utilizando-se somente os cubos da banda K, a partir do ajuste das bandas do CO em $\sim 2.3 \mu\text{m}$.

4 MÉTODOS

Neste capítulo apresentamos os métodos utilizados para a realização das medidas da cinemática estelar e execução da síntese espectral nas galáxias de nossa amostra.

4.1 O CÓDIGO PPXF

Para realizarmos medidas da cinemática estelar nos objetos da amostra utilizamos o método pPXF (*Penalized Pixel-Fitting*) de Cappellari e Emsellem (2004), que fornece a distribuição de velocidades das estrelas ao longo da linha de visada (LOSVD – *Line-of-Sight Velocity Distribution*). O método utiliza uma base de espectros *templates*, a qual deve ser representativa das populações estelares que produzem o espectro de absorção da galáxia.

Neste trabalho, utilizamos uma base de espectros de estrelas de tipo tardio de Winge, Riffel e Storchi-Bergmann (2009), atualizada por Diniz e Riffel (2011) e composta por espectros de 60 estrelas de tipos espectrais desde F7 até M5. O método pPXF foi utilizado para ajustar as bandas de absorção do CO na banda K, as quais são originadas por esse tipo de estrelas (Maraston, 2005; Cushing; Rayner; Vacca, 2005; Rayner; Cushing; Vacca, 2009). Os espectros estelares foram obtidos com os instrumentos GNIRS (*Gemini Near-infrared Integral Field Spectrograph*) no telescópio Gemini Sul, no modo IFU e com o NIFS no telescópio Gemini Norte e estão disponíveis no site do Observatório Gemini¹.

O código pPXF realiza um ajuste pixel a pixel entre os espectros da base e o espectro da galáxia, dessa maneira obtém-se medidas da velocidade estelar (V), dispersão de velocidades (σ) e momentos de Gauss-Hermite h_3 e h_4 . Primeiro, cria-se um modelo para o espectro da galáxia $G_{\text{mod}}(x)$, obtido a partir da convolução de um espectro da base de *templates* $T(x)$ com a LOSVD, em seguida, rebina-se os espectros da base e da galáxia para uma escala linear em $x = \ln\lambda$, onde λ é o comprimento de onda. Pela minimização do χ^2 são obtidos os parâmetros que melhor ajustam a LOSVD:

$$\chi^2 = \sum_{n=1}^N r_n^2, \quad (4.1)$$

onde os resíduos são definidos como:

$$r_n = \frac{G_{\text{mod}}(x_n) - G(x_n)}{\Delta G(x_n)}, \quad (4.2)$$

¹Em <http://www.gemini.edu/sciops/instruments/nearir-resources/spectral-templates>

onde $\Delta G(x_n)$ é a incerteza em $G(x_n)$.

Matematicamente, o modelo para o espectro da galáxia é escrito como:

$$G_{\text{mod}}(x) = \sum_{k=1}^K w_k [B \otimes T_k](x) + \sum_{l=0}^L b_l P_l(x), \text{ com } w_k \geq 0, \quad (4.3)$$

onde T_k é o *template* k da base de *templates*, $B(x) = L(cx)$ é a função de alargamento, $L(v)$ é a LOSVD, $v = cx$, c é o módulo da velocidade da luz e \otimes denota a operação de convolução. As funções $P_l(x)$ são polinômios de Legendre de ordem l e reproduzem diferenças em baixas frequências entre os espectros da galáxia e dos *templates*. Dada a $L(v)$, o melhor ajuste é obtido minimizando os resíduos entre o espectro observado e o modelo através de ajustes por mínimos quadrados não-lineares dos pesos ($w_1, \dots, w_k, b_0, \dots, b_L$).

Matematicamente, a LOSVD é escrita em termos das séries de Gauss-Hermite:

$$L(v) = \frac{e^{-(1/2)y^2}}{\sigma \sqrt{(2\pi)}} \left[1 + \sum_{m=3}^M h_m H_m(y) \right], \quad (4.4)$$

onde H_m são os polinômios de Hermite, $y = (v - V)/\sigma$, V é a velocidade radial, σ é a dispersão de velocidades e h_3, \dots, h_M são momentos de Gauss-Hermite de maiores ordens, que medem os desvios da LOSVD em relação a uma distribuição de velocidades gaussianas. Os parâmetros h_3 e h_4 medem, respectivamente, desvios assimétricos e simétricos da LOSVD em relação a perfis gaussianos. Neste trabalho utilizamos a versão do pPXF escrita em linguagem IDL e a série da Eq. 4.4 é truncada em $m = 4$, resultando valores para os parâmetros cinemáticos V , σ , h_3 e h_4 das estrelas.

Para obter a LOSVD de cada galáxia ajustamos os espectros no intervalo espectral de 2.26 a 2.40 μm , o qual inclui as absorções do CO entre 2.29 e 2.40 μm (Winge; Riffel; Storchi-Bergmann, 2009). Essas bandas moleculares estão entre as absorções estelares mais proeminentes vistas em espectros da região central de galáxias no NIR (Riffel; Rodríguez-Ardila; Pastoriza, 2006; Riffel et al., 2015). Além das bandas do CO, o intervalo espectral utilizado inclui também linhas de absorção do Mg I e Ca I em 2.26–2.28 μm .

Espectros da região central de algumas galáxias apresentam a linha de emissão do [Ca VIII] em $\lambda 2.321 \mu\text{m}$, a qual é coincidente com a localização da banda de absorção $(3-1)^{12}\text{CO}$ e pode afetar as medidas da cinemática estelar (Davies et al., 2006; Riffel et al., 2008). Para a maioria das galáxias de nossa amostra, a linha do [Ca VIII] está presente somente no núcleo e foi excluída do ajuste. Adicionalmente, utilizamos o parâmetro *clean* do código pPXF para excluir todos os pixels espectrais que desviam mais do que 3σ em relação ao melhor ajuste, repetindo o ajuste sem esses pixels até que nenhum pixel satisfaça esse critério. Esse procedimento é importante para a exclusão de linhas do céu remanescentes, bem como de dados espúrios presentes nos espectros das galáxias.

Mais detalhes sobre o processo de medidas da cinemática estelar, não somente das galáxias desta amostra, mas de todas as galáxias da amostra da LLP já observadas, encontram-se

em Riffel et al. (2017). Neste trabalho os mapas para a cinemática estelar são utilizados somente com o objetivo de compará-los com os mapas obtidos a partir da síntese espectral para as populações estelares.

4.2 O CÓDIGO *STARLIGHT*

O espectro integrado de uma galáxia é composto pela soma das contribuições de todas suas componentes, tais como, estrelas, gás, extinção por poeira, emissão de corpo negro e tipo lei de potência. Uma maneira de separar e quantificar a contribuição de cada uma dessas componentes é aplicando a técnica de síntese espectral.

Um código bastante utilizado é o *Starlight* (Cid Fernandes et al., 2004; Cid Fernandes et al., 2005; Mateus et al., 2006; Asari et al., 2007), o qual ajusta o espectro observado O_λ , através da combinação linear de espectros de diferentes SSPs que formam a base de elementos utilizada pelo código. Assim, a peça chave para obter resultados confiáveis a partir da síntese espectral é fornecer uma base de elementos que inclua todas as componentes observadas na galáxia (Riffel et al., 2009).

A faixa espectral analisada é o NIR, a qual possui certas absorções características, associadas a presença de bandas moleculares, tais como CN, CO, VO, ZrO e TiO, que são atribuídas a estrelas evoluídas pertencentes as fases RGB e TP-AGB (Maraston, 2005; Riffel et al., 2007, 2015). Portanto, os modelos de SSPs que compõem a base de elementos utilizada no NIR devem incluir tais características espectrais. Por essa razão escolhemos os modelos de SSPs propostos por Maraston (2005), uma vez que eles incluem dados empíricos associados a fase TP-AGB.

O código ajusta o contínuo e as linhas de absorção presentes no espectro. As linhas de emissão e regiões ruidosas são excluídas da região ajustada através de uma máscara informada pelo usuário. A extinção do fluxo devido a poeira é modelada assumindo uma distribuição uniforme da poeira no meio interestelar, com lei de extinção dada por Cardelli, Clayton e Mathis (1989). O código tem como saída o espectro modelo (M_λ) para o número de espectros (N_*) disponíveis na base de elementos, resolvendo a seguinte equação:

$$M_\lambda = M_{\lambda_0} \left[\sum_{j=1}^{N_*} x_j b_{j,\lambda} r_\lambda \right] \otimes G(v_*, \sigma_*), \quad (4.5)$$

onde M_{λ_0} é o fluxo médio obtido em uma faixa livre de qualquer linha de absorção ou emissão; x_j ($j = 1 \dots N_*$) é a contribuição em fluxo da j -ésima SSP da base de elementos com uma determinada idade t_j e metalicidade Z_j ; $b_{j,\lambda}$ é o espectro da j -ésima população estelar normalizado em λ_0 , $r_\lambda = 10^{-0.4(A_\lambda - A_{\lambda_0})}$ é a extinção no comprimento de onda λ da população estelar j ; \otimes é o operador convolução; os movimentos estelares em relação a linha de visada são modelados

por uma distribuição gaussiana $G(v_*, \sigma_*)$ centrada na velocidade v_* e com uma dispersão σ_* . Como todos os espectros de base são normalizados em $\lambda_0 = 21955 \text{ \AA}$. Na verdade x_j corresponde à fração de luz em λ_0 devido a população j . Já os espectros observados são normalizados pelo fluxo mediano medido entre 21 900 e 22 000 \AA .

O melhor ajuste é obtido quando o código encontra um mínimo para χ^2 na seguinte equação:

$$\chi^2 = \sum_{\lambda} [(O_{\lambda} - M_{\lambda})w_{\lambda}]^2, \quad (4.6)$$

onde $w_{\lambda} = 1/e_{\lambda}$ e e_{λ} corresponde às incertezas associadas ao espectro observado, sendo $w_{\lambda} = 0$ em regiões com linhas de emissão, pixels com baixo sinal/ruído e com desvios maiores que 3σ .

Em resumo, o código *Starlight* utiliza uma combinação de métodos numéricos para determinar valores de massa estelar, extinção estelar (A_v), idades estelares, metalicidades, σ_* e V_* . Ele busca quantificar a contribuição de cada SSP ao espectro observado da galáxia. Para cada objeto da amostra, após o processo de síntese espectral, é gerada uma lista de parâmetros e um espectro sintético resultante do ajuste ao espectro observado.

Os principais parâmetros resultantes do código correspondem a:

- Idade, metalicidade e massa de cada SSP e suas contribuições em fluxo/massa em relação ao fluxo/massa total da galáxia.
- Adev: quantifica a qualidade do ajuste. É o resultado do valor absoluto da diferença entre o espectro observado (O_{λ}) e o modelo (M_{λ}) dividido pelo espectro observado: $|O_{\lambda} - M_{\lambda}|/O_{\lambda}$. Quanto maior for o valor do Adev, maior é a discrepância entre o modelo e as observações.
- A_v : Extinção do fluxo das populações estelares.
- Idade média das populações estelares: caracteriza a história de formação estelar média da galáxia, pesada por fluxo e por massa, definidas, respectivamente, por:

$$\langle \log t_{*} \rangle_L = \sum_{j=1}^{N_{*}} x_j \log t_j \quad (4.7)$$

e

$$\langle \log t_{*} \rangle_M = \sum_{j=1}^{N_{*}} \mu_j \log t_j, \quad (4.8)$$

onde as idades (t_j) são limitadas pela base de elementos utilizada pelo código, x_j é a contribuição em fluxo e μ_j é a contribuição em massa da j -ésima SSP.

- Metalicidades médias das populações estelares: analogamente à definição de idades médias, definimos duas metalicidades pesadas por fluxo e massa,

$$\langle Z_{\star} \rangle_L = \sum_{j=1}^{N_{\star}} x_j Z_j \quad (4.9)$$

e

$$\langle Z_{\star} \rangle_M = \sum_{j=1}^{N_{\star}} \mu_j Z_j, \quad (4.10)$$

onde as metalicidades (Z_j) são limitadas pela base de elementos utilizada na síntese espectral.

4.3 A BASE DE ELEMENTOS

Sem uma base de elementos adequada, o código *Starlight* não fornece informações confiáveis a respeito das populações estelares que contribuem para o espectro observado da galáxia.

Uma base de elementos robusta é formada por espectros integrados de aglomerados estelares, com idades e metalicidades conhecidas e, portanto, livres de qualquer suposição em relação à função de massa inicial e à evolução estelar (Riffel et al., 2011), formando uma base de SSPs empíricas. Esse método é útil para o estudo de populações estelares na MW e na sua vizinhança. Entretanto, ele é eficaz apenas para populações estelares que possuem idades e metalicidades similares àsquelas das SSPs.

Outra maneira de se construir uma base de elementos é a partir da síntese evolutiva de populações estelares, a qual modela teoricamente os espectros das populações estelares para cada idade e metalicidade, utilizando espectros de estrelas individuais para reproduzir o espectro integrado. Nesse caso, a base de elementos pode ser criada a partir de isócronas utilizando funções de massa inicial distintas para as diversas fases evolutivas das estrelas (Charlot; Bruzual, 1991) ou a partir do teorema do consumo de combustível (Maraston, 1998, 2005).

O conjunto de elementos utilizado neste trabalho é composto pelos modelos evolutivos de populações estelares de Maraston (2005). O grande diferencial dessa base é o fato de utilizar o teorema do consumo de combustível para fases posteriores à sequência principal, fornecendo modelos de estrelas recém evoluídas para a fase das gigantes vermelhas, que são essenciais para o estudo de SPs no NIR. A base cobre a região espectral de 91 Å a 160 μm, portanto, do ótico ao infravermelho distante. Nesse último a resolução espectral está entre 20 e 100 Å. A base utiliza a função de massa inicial de Salpeter (1955) e isócronas de Cassisi, Castellani e Castellani (1997), sendo composta por modelos para 67 idades entre 30 Manos e 15 Ganos, com metalicidades $0.05 \leq Z/Z_{\odot} \leq 3.5$.

Para este trabalho selecionamos modelos para 12 idades e 4 metalicidades correspondendo a 48 espectros teóricos de SSPs, que foram obtidos a partir do cálculo do módulo da

Tabela 4.1 – Base com 48 elementos e suas respectivas idades (em anos) e metalicidades (Z) utilizada na síntese espectral, onde $Z = 0.02$ corresponde a metalicidade solar Z_{\odot} .

SSP	t(anos)	Z(Z_{\odot})	SSP	t(anos)	Z(Z_{\odot})	SSP	t(anos)	Z(Z_{\odot})	SSP	t(anos)	Z(Z_{\odot})
1	1×10^7	0.02	13	1×10^7	0.5	25	1×10^7	1	37	1×10^7	2
2	3×10^7	0.02	14	3×10^7	0.5	26	3×10^7	1	38	3×10^7	2
3	5×10^7	0.02	15	5×10^7	0.5	27	5×10^7	1	39	5×10^7	2
4	1×10^8	0.02	16	1×10^8	0.5	28	1×10^8	1	40	1×10^8	2
5	2×10^8	0.02	17	2×10^8	0.5	29	2×10^8	1	41	2×10^8	2
6	5×10^8	0.02	18	5×10^8	0.5	30	5×10^8	1	42	5×10^8	2
7	7×10^8	0.02	19	7×10^8	0.5	31	7×10^8	1	43	7×10^8	2
8	1×10^9	0.02	20	1×10^9	0.5	32	1×10^9	1	44	1×10^9	2
9	2×10^9	0.02	21	2×10^9	0.5	33	2×10^9	1	45	2×10^9	2
10	5×10^9	0.02	22	5×10^9	0.5	34	5×10^9	1	46	5×10^9	2
11	9×10^9	0.02	23	9×10^9	0.5	35	9×10^9	1	47	9×10^9	2
12	1.3×10^{10}	0.02	24	1.3×10^{10}	0.5	36	1.3×10^{10}	1	48	1.3×10^{10}	2

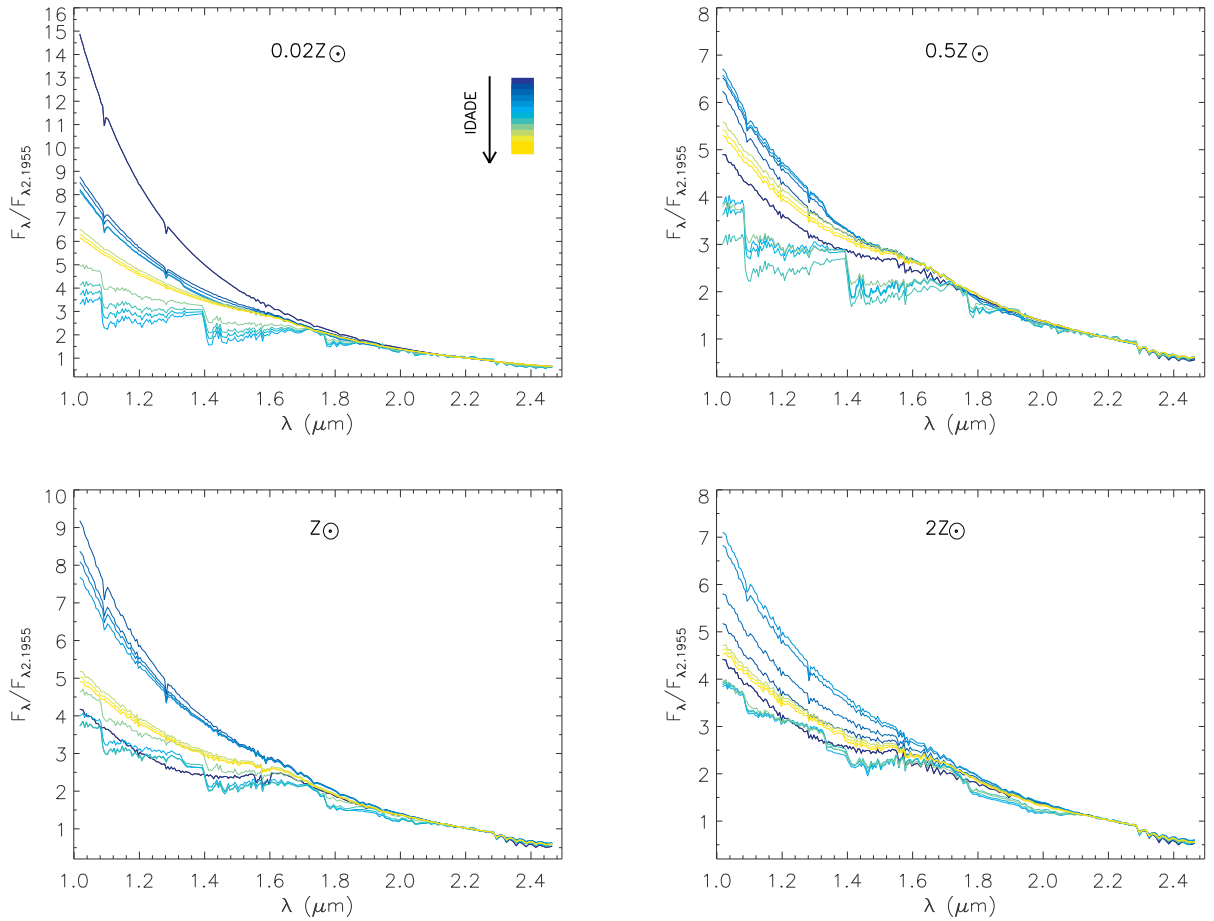
diferença entre duas SSPs com idades consecutivas e normalizadas pelo número de pixels, conforme a equação,

$$\text{Idades}_{\text{dif}} = \frac{1}{N} \sum_{t_0}^{t_f} \sqrt{(F_{\lambda}(t_i) - F_{\lambda}(t_i + 1))^2}, \quad (4.11)$$

onde N é o número de pixels. O resultado prático da solução da equação acima, atribui a base de elementos apenas SSPs que apresentem uma diferença significativa entre espectros consecutivos. Essa base foi construída pelo Dr. Rogério Riffel (UFRGS, colaborador deste trabalho), seguindo o procedimento apresentado em Dametto et al. (2014).

Na Tabela 4.1 apresentamos as idades e metalicidades das SSPs que compõem a base e na Figura 4.1 os espectros das SSPs, utilizados como base de elementos neste trabalho, normalizados em $\lambda = 21955 \text{ \AA}$, Z indica o valor da metalicidade para cada população, sendo $Z = 0.02$ assumido como a metalicidade solar, embora trabalhos recentes indiquem valores menores ($Z=0.0142$) para o Sol (Asplund et al., 2009). As idades das SSPs crescem no sentido da paleta de cores, com o azul escuro correspondendo a mais jovem (10 Manos) e o amarelo a mais velha (13 Ganos).

Figura 4.1 – Espectros das 48 SSPs utilizadas na base de elementos para obter a síntese espectral. O conjunto de populações estelares apresenta 4 metalicidades ($Z = 0.0004, 0.01, 0.02$ e 0.04) e 12 idades que variam de 10 Myrs a 13 Gyr que crescem no sentido da paleta de cores do azul ao amarelo.



Fonte: Autor.

Além dos 48 elementos que compõem a base, foram adicionadas componentes com função tipo corpo negro com temperaturas entre 700 e 1400 K em intervalos de 100 K e uma componente tipo lei de potência $F_\lambda \propto \lambda^\alpha$, com índice espectral $\alpha = -1.5$, a fim de estimar possíveis contribuições da emissão da poeira e do AGN para o espectro nuclear das galáxias.

5 RESULTADOS: CINEMÁTICA E POPULAÇÕES ESTELARES

Neste capítulo apresentamos mapas para a velocidade radial e dispersão de velocidades das estrelas, bem como para distribuições das populações estelares em quatro intervalos de idades. Os mapas para a cinemática estelar são utilizados somente com o objetivo de compará-los com os resultados da síntese. Detalhes dos resultados obtidos para a cinemática estelar podem ser obtidos em Riffel et al. (2017), exceto Mrk 3, para a qual não foi possível obter medidas robustas da cinemática estelar e Mrk 573, cuja discussão é apresentada em Fischer et al. (2017). O autor deste trabalho é co-autor dos dois artigos citados acima, tendo contribuído com a redução dos dados e realização das medidas da cinemática estelar em algumas das galáxias apresentadas nesses trabalhos. Esses dois artigos estão anexados nos Apêndices A.1 e A.3. Nos mapas apresentados nas seções a seguir, regiões em cinza indicam regiões mascaradas, onde não foi possível obter bons ajustes das bandas de absorção do CO, com incertezas em velocidade ou dispersão de velocidades maiores do que 30 km s^{-1} .

Embora a base usada na síntese espectral possua modelos de SSPs para 12 idades diferentes, rebinamos as contribuições em apenas quatro componentes de intervalos de idades. Esse procedimento é recomendado por Cid Fernandes et al. (2005) e utilizado anteriormente por nosso grupo (Riffel et al., 2010, 2011; Storchi-Bergmann et al., 2012), pois o código de síntese espectral não separa componentes com idades/metalicidades muito parecidas. Portanto, nas seções seguintes são apresentados os mapas, para as seis galáxias deste trabalho, das contribuições ponderadas pelo fluxo e pela massa das SPs para os seguintes intervalos de idades:

- População jovem: idade ≤ 100 Manos;
- População jovem-intermediária: $100 \text{ Manos} < \text{idade} \leq 700$ Manos;
- População intermediária-velha: $700 \text{ Manos} < \text{idade} \leq 2$ Ganos;
- População velha: $2 < \text{idade} \leq 13$ Ganos.

Os resultados obtidos para a distribuição das populações estelares para a galáxia Mrk 573 estão publicados em Diniz et al. (2017), conforme Apêndice A.2. Os resultados para as demais galáxias serão disponibilizados em Diniz et al. (em preparação). Nos mapas obtidos a partir da síntese espectral as regiões cinza correspondem à regiões mascaradas, onde não foi possível obter bons ajustes do espectro observado. Os critérios adotados para rejeitar medidas dessas regiões são os seguintes: a razão $SNR < 15$ no contínuo no ponto de normalização integrado numa janela espectral de 100 \AA . O outro parâmetro utilizado para descartar ajustes ruins foi os valores de Adev, os quais foram escolhidos visualmente para cada galáxia, uma vez que dependem da luminosidade da mesma. Os mesmos critérios são empregados para todas as galáxias.

5.1 MRK 3

Os espectros para Mrk 3 apresentam bandas de absorção do CO em $2.3 \mu\text{m}$ muito fracas ou ausentes e, portanto, não foi possível a realização de medidas da cinemática estelar. Consequentemente, apresentam-se somente resultados obtidos para as populações estelares nesta seção.

A Figura 5.1 apresenta mapas para as contribuições em fluxo (painéis superiores) e em massa (painéis inferiores) das populações estelares encontradas pelo código *Starlight* para a galáxia Mrk 3. Abaixo desses mapas são apresentados dois espectros, o primeiro para o núcleo e o segundo para uma região a $1''$ a oeste do núcleo. Ambos foram extraídos com uma abertura de $0.''15 \times 0.''15$ e normalizados em $21\,955 \text{ \AA}$. O melhor ajuste obtido pelo código de síntese espectral está sobreposto (em vermelho) ao espectro observado (em preto). O ajuste nas bandas do CO obtido pelo *Starlight* é apresentado em detalhe no canto superior direito do segundo espectro. Todas as linhas de emissão e dados espúrios presentes no espectro foram descartados durante a realização do ajuste. A região cinza entre as bandas J e K também não foi utilizada pelo código de síntese espectral, uma vez que essa região compreende a banda H, para a qual não foram obtidos espectros.

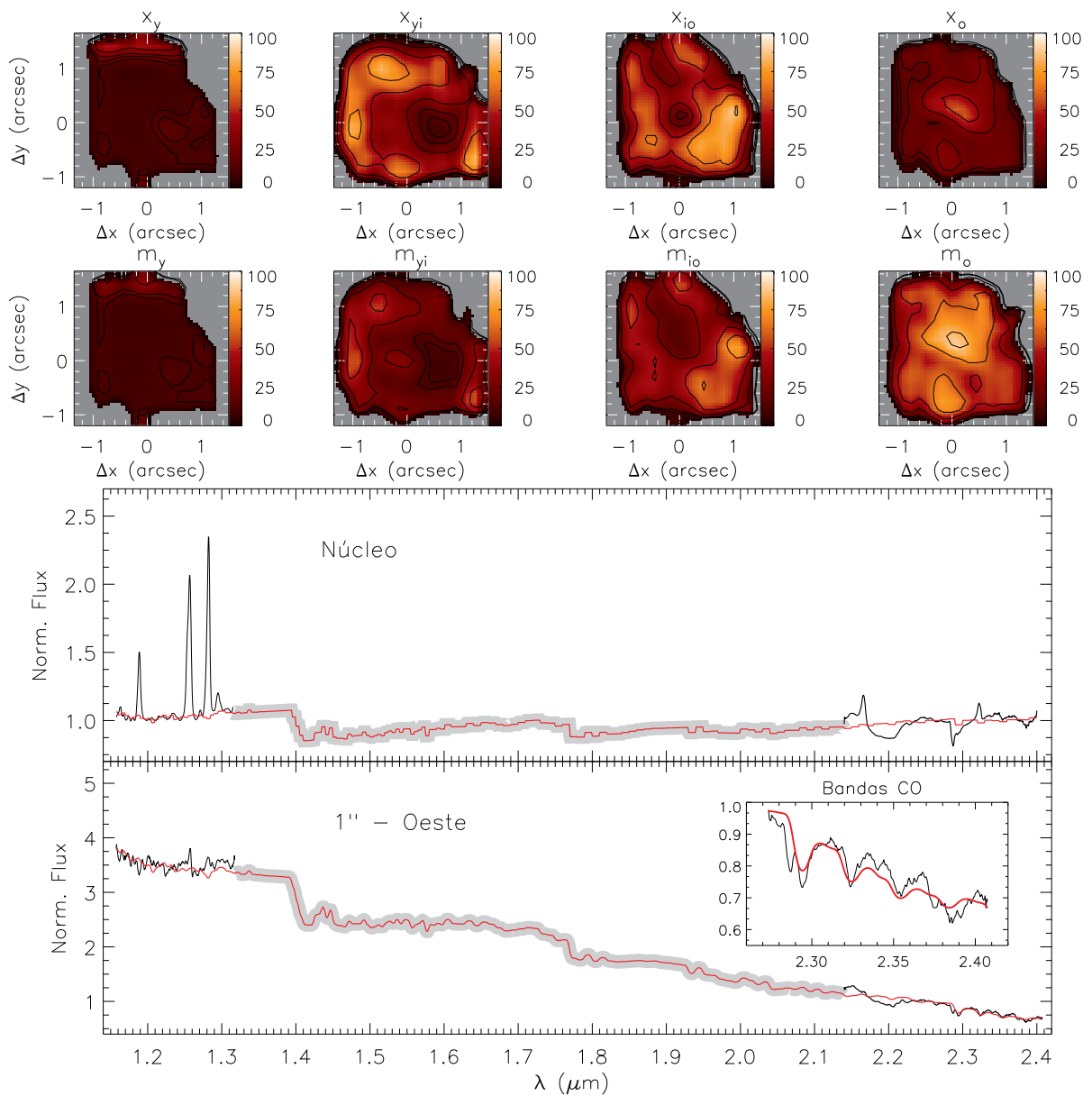
Nos mapas para as contribuições em fluxo (Figura 5.1), nota-se que a população jovem-intermediária (x_{yi}) apresenta os maiores valores, atingindo até 90% de contribuição, em uma região em forma de anel ao redor do núcleo com um raio de $\sim 1''$. Uma estrutura semelhante é observada no mapa para a população intermediária-velha (x_{io}), que apresenta sua maior contribuição (de até 75%) em uma estrutura em forma de anel ligeiramente deslocado para um raio menor ($0.''7$) em relação ao raio do anel visto no mapa para x_{yi} . Na região interna a $0.''5$ do núcleo, a população velha (x_o) apresenta a maior contribuição (de até 60%) para o fluxo observado. A contribuição da população jovem para o fluxo é praticamente nula em todas as regiões do campo do NIFS.

Os mapas ponderados pela massa estelar possuem uma distribuição similar aos mapas ponderados em fluxo, mas com valores de contribuição diferentes. As estrelas mais velhas contribuem mais em massa e menos em fluxo, uma vez que há muito mais estrelas menos massivas (com baixa luminosidade) que contribuem bastante para a massa e pouco para o fluxo observado no infravermelho próximo.

Estruturas em forma de anel com alta contribuição de população jovem-intermediária (painel x_{yi}) têm sido detectadas em outras galáxias (Riffel et al., 2010, 2011). Geralmente essas estruturas estão associadas a valores mais baixos em medidas de dispersão de velocidades estelar, indicando que as populações estelares jovens ainda possuem órbitas no plano, e a medida em que envelhecem são capturadas pelo potencial gravitacional do bojo da galáxia, tornando suas órbitas randômicas.

Estudos no ótico detectaram uma SP velha de idade de ~ 10 Ganos dominante na região

Figura 5.1 – Mrk 3 – da esquerda para a direita apresentamos as contribuições percentuais em fluxo (painéis superiores) da SP jovem ($x_y \leq 100$ Manos), jovem-intermediária ($100 < x_{yi} \leq 700$ Manos), intermediária-velha ($700 \text{ Manos} < x_{io} \leq 2 \text{ Ganos}$) e velha ($2 < x_o \leq 13$ Manos). Nos painéis centrais são apresentadas as correspondentes distribuições ponderadas por massa (m_y, m_{yi}, m_{io}, m_o). As regiões em cinza observadas nos painéis das contribuições em fluxo e massa correspondem aos pontos com SNR inferior 15. O painel inferior apresenta os resultados obtidos pelo código *Starlight* (em vermelho) para dois espectros (em preto), ambos normalizados em 21955 \AA e extraídos com uma abertura de $0''.15 \times 0''.15$. No canto inferior direito é apresentado, em detalhe, o ajuste nas bandas do CO.

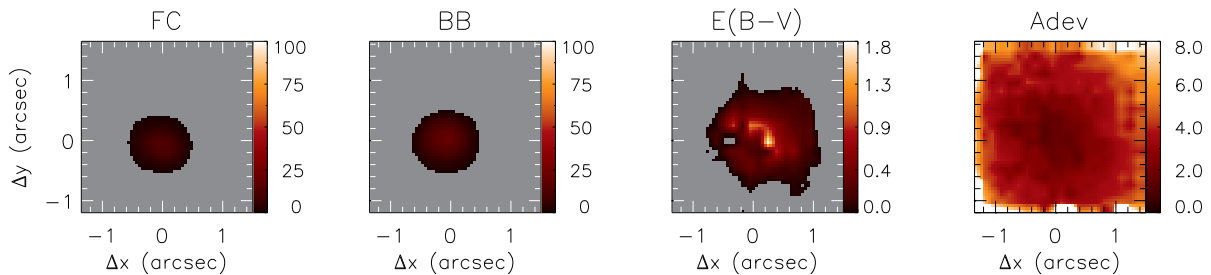


Fonte: Autor.

central de Mrk 3 (González Delgado; Heckman; Leitherer, 2001; Raimann et al., 2003). A maior contribuição de população velha vista no núcleo em nossos mapas é consistente com os resultados obtidos por esses autores. Entretanto, nosso trabalho possui a vantagem de ter a cobertura espacial necessária para detectar a contribuição de SPs mais jovens em regiões mais distantes do núcleo, as quais não foram mapeadas nos trabalhos disponíveis na literatura.

Os mapas para as contribuições de funções de lei de potência (FC) e corpo negro (BB), bem como as medidas de $E(B-V)$ e A_{dev} são apresentados na Figura 5.2. Os baixos valores de A_{dev} indicam que o código de síntese espectral obteve bons ajustes em praticamente todas as regiões do nosso campo. Os valores de $E(B-V)$ são baixos para a maioria das regiões e estão de acordo com resultados obtidos para outras galáxias Sy 2 com dados no NIR (Riffel et al., 2009). As componentes de lei de potência e corpo negro apresentam uma contribuição de $\sim 15\%$ e $\sim 30\%$ do fluxo observado no núcleo, respectivamente. Um valor semelhante ao obtido por nós foi encontrado em Raimann et al. (2003) para a FC, na região central da galáxia. Limitamos as contribuições das componentes de FC e BB a região central de raio de $0''.45$, logo, nas regiões em cinza nesses dois painéis não foram utilizadas essas duas componentes. As regiões em cinza no mapa de $E(B-V)$ foram descartadas por posuírem $SNR < 15$ e/ou valores de $E(B-V)$ negativos.

Figura 5.2 – Mrk 3 – da esquerda para a direita: mapas das contribuições percentuais das componentes de lei de potência (FC) e emissão tipo corpo negro (BB), e dos resultados obtidos para a extinção $E(B-V)$ e para o parâmetro A_{dev} .



Fonte: Autor.

5.2 MRK 573

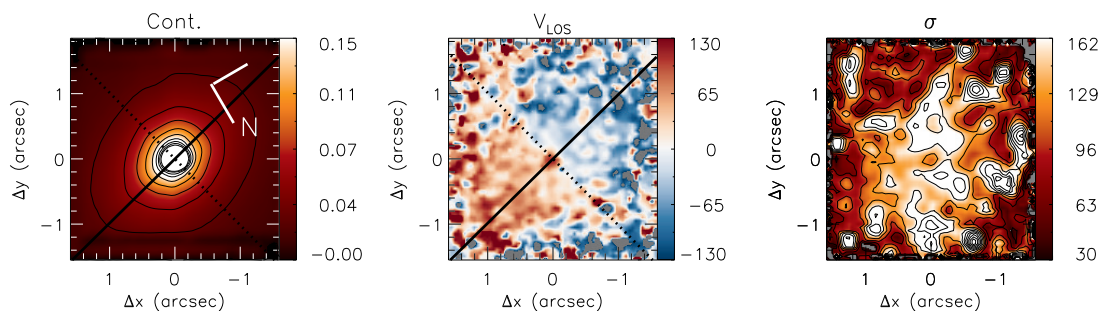
Na Figura 5.3 tem-se uma imagem do contínuo (painel esquerdo) na banda K, em unidades de $10^{-17} \text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$, e os mapas bidimensionais para o campo de velocidades estelar (painel central) e para a dispersão de velocidades (painel direito) das estrelas, ambos em unidades de km s^{-1} . Essa é a única galáxia da amostra cuja orientação do campo do NIFS não

apresenta a coordenada norte para cima e leste para a esquerda, uma vez que os dados foram obtidos inicialmente com o objetivo de mapear a cinemática do gás ionizado e molecular e foram obtidos três campos adjacentes aproximadamente ao longo da NLR da galáxia.

Os resultados da cinemática estão apresentados em Fischer et al. (2017). Os espectros dos campos adjacentes não apresentam SNR alta o bastante para a realização da síntese espectral e medidas da cinemática estelar e, dessa forma, neste trabalho utiliza-se somente o campo central. A orientação do NIFS está indicada no canto superior direito do primeiro painel da Figura 5.3. As orientações dos eixos maior (PA= 135°, Fischer et al. (2017)) e menor da galáxia estão representadas, respectivamente, pelas linhas contínua e pontilhada.

O campo de velocidades estelar mostra um padrão de rotação típico, indicando que a região inferior (sudeste) está se afastando, enquanto que, a região superior (noroeste) está se aproximando de nós. Nesse mapa subtraímos o valor da velocidade sistêmica de afastamento da galáxia, de 5128km s^{-1} , obtido após a aplicação de um modelo de rotação apresentado em Fischer et al. (2017). Foi realizada a correção do alargamento instrumental para o mapa da dispersão de velocidades estelar, que apresenta valores entre 30 e 160km s^{-1} , com os maiores valores de σ sendo observados predominantemente na sua região central (interna a $0''.8$). Valores inferiores a 60km s^{-1} são observados em regiões próximas a $1''$, mais na periferia do campo observado.

Figura 5.3 – Mrk 573 – imagem reconstruída para o contínuo na banda K (painel da esquerda), em unidades de $10^{-17}\text{erg s}^{-1}\text{cm}^{-2}\text{\AA}^{-1}$; campo de velocidades das estrelas (painel do centro), com o valor da velocidade sistêmica subtraída da velocidade observada, o mapa para a dispersão de velocidades estelar (painel da direita) com valores corrigidos pelo efeito de alargamento instrumental. As linhas contínuas e pontilhadas representam as orientações do eixo maior e menor da galáxia, respectivamente. As regiões cinza correspondem a locais cujas incertezas em velocidade de sigma são maiores do que 30km s^{-1} e por isso foram mascaradas. A orientação dos mapas está indicada no canto superior direito.



Fonte: Autor.

Os resultados da síntese espectral e dois exemplos de ajustes obtidos pelo código *Starlight* são apresentados na Figura 5.4. Os painéis superiores correspondem às contribuições percentuais em fluxo das SPs encontradas pelo código, a partir da normalização dos espectros em 21955\AA . O mapa x_y mostra que a população jovem contribui com até 50% da emissão contínua

dentro de uma região interna a $0''.5$, com os maiores valores detectados na região interna a $0''.3$ e também ao sudeste do núcleo ($\sim 1''$). O mapa x_{yi} apresenta as contribuições da população intermediária jovem, a qual forma uma estrutura em forma de anel com os maiores valores atingindo 100% de contribuição para a emissão contínua em $2.19 \mu\text{m}$. Os painéis x_{i0} e x_0 apresentam as contribuições em fluxo para as populações intermediária-velha e velha com valores de até 60%, detectadas na região central interna ao anel visto para a população jovem-intermediária.

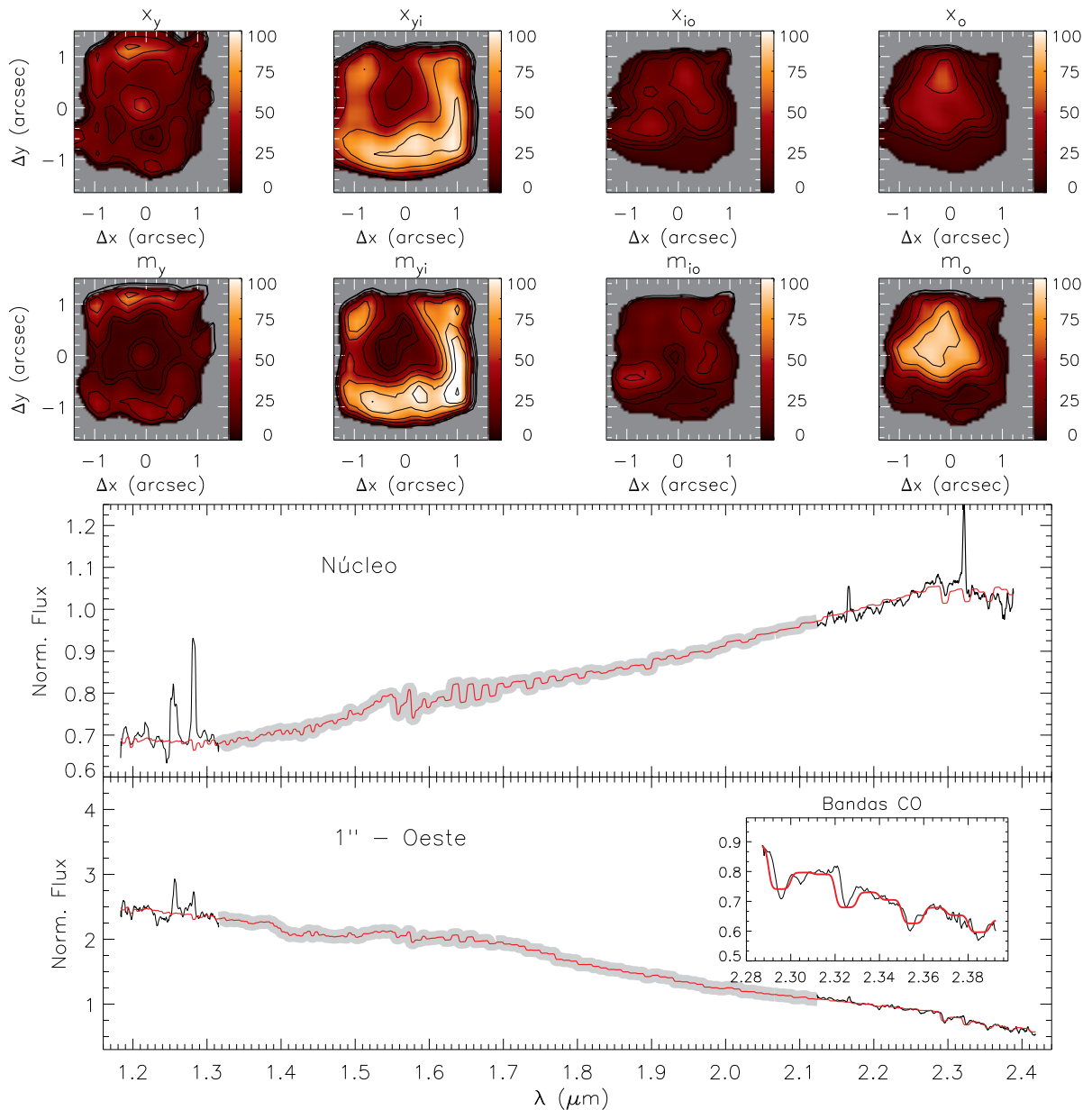
As frações de massa estimadas pelo código *Starlight*, para as correspondentes populações estelares, são apresentadas nos painéis inferiores da Figura 5.4. As distribuições para as contribuições em massa das SPs são similares às detectadas em fluxo, porém com contribuições percentuais diferentes, já que a razão L/M não é linear. Assim, o mapa x_0 apresenta uma contribuição percentual maior em massa do que em luz, atingindo valores de até 95%.

Os espectros (em preto), apresentados na Figura 5.4, foram obtidos de duas regiões diferentes. O primeiro espectro corresponde ao núcleo da galáxia e o segundo à uma região a $1''$ oeste do mesmo, com o objetivo de apresentar um espectro extranuclear típico da galáxia. Ambos espectros foram extraídos para uma abertura de $0''.15 \times 0''.15$, utilizada na execução da síntese espectral de todo o cubo de dados. Os espectros são apresentados em preto e o melhor ajuste modelado pelo código *Starlight* está sobreposto aos espectros em vermelho. Durante o processo de ajuste, todas as linhas de emissão e dados espúrios presentes nos espectros foram mascarados. Uma ampliação na região das bandas moleculares do CO é apresentada no canto superior direito para o espectro extranuclear.

Comparando o mapa da dispersão de velocidades estelar (Figura 5.3) com o mapa da contribuição da população jovem-intermediária (Figura 5.4), percebemos uma pequena tendência a encontrar baixos valores de σ em regiões onde se observa as maiores contribuições percentuais de x_{yi} , apoiando o cenário de que estruturas com baixos valores de dispersão estelar são formadas por populações mais jovens (Riffel et al., 2010, 2011). A estrutura vista no mapa x_y , ligeiramente deslocada do núcleo na direção sudeste, é aproximadamente coincidente com uma estrutura vista na distribuição de fluxos da linha de emissão $\text{H}_2 \lambda 2.12 \mu\text{m}$ (Figura 3 do artigo de Fischer et al. (2017)), indicando que a emissão do gás molecular quente ($T \approx 2000 \text{ K}$) pode estar associada a *Starburst* recentes, porém já inativos. Uma correlação semelhante, porém mais evidente, é encontrada para a galáxia NGC 1068 (Storchi-Bergmann et al., 2012).

Os nossos resultados para as contribuições da população velha concordam com aqueles obtidos anteriormente (Schmitt; Storchi-Bergmann; Cid Fernandes, 1999; Storchi-Bergmann et al., 2001; Raimann et al., 2003), os quais encontram uma população de 10 Ganos distribuída na região central da galáxia. Entretanto a técnica e dados utilizados aqui possibilitaram a detecção de SPs de idades intermediárias, cujas contribuições são semelhantes às obtidas por Riffel et al. (2009) e Ramos Almeida, Pérez García e Acosta-Pulido (2009) utilizando espectros nucleares da galáxia, obtidos em bandas do infravermelho próximo.

Figura 5.4 – Idem à Figura 5.1 para Mrk 573.

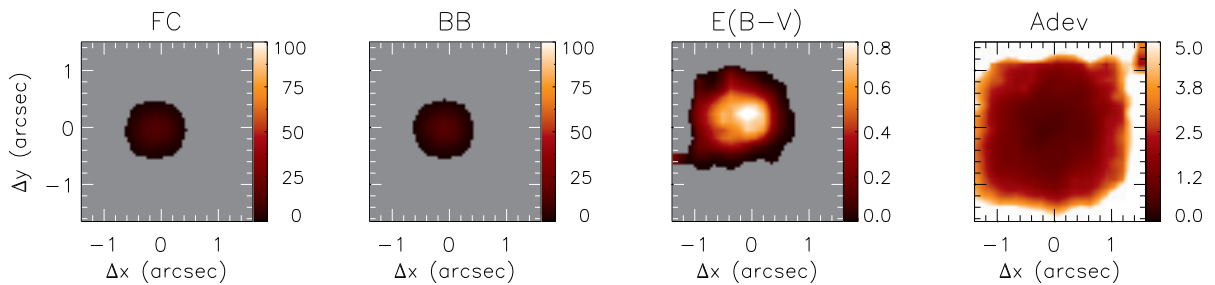


Fonte: Autor.

Na Figura 5.5 apresenta-se, da esquerda para a direita, os mapas para as componentes de lei de potência e corpo negro detectados na região interna a $0''.45$ (180 pc), com uma contribuição de até 35% e 50%, respectivamente. A detecção da componente lei de potência do primeiro painel está de acordo com trabalhos anteriores, a qual foi obtida utilizando espectros nucleares no NIR (Raimann et al., 2003; Riffel et al., 2009). Já a contribuição do tipo corpo negro não foi detectada anteriormente. Atribuímos essa diferença à maior resolução angular de nossos dados, uma vez que, em dados de mais baixa resolução dessa componente, ela pode ser diluída pela emissão das SPs extranucleares. Os dois últimos painéis apresentam os valores da

extinção, $E(B-V)$, com valores entre 0.2 e 0.8 mag, e A_{dev} , com valores menores que 5. O mapa de $E(B-V)$ apresenta valores baixos, sendo diferentes de zero somente em uma região central com raio de $\sim 0''.8$. Os maiores valores de $E(B-V)$ são vistos para o núcleo da galáxia. O valor médio para a $E(B-V)$ encontrado aqui (~ 0.4 mag) está de acordo com aquele obtido por Riffel et al. (2009).

Figura 5.5 – Mrk 573 – da esquerda para a direita: mapas das contribuições percentuais das componentes de lei de potência (FC) e emissão tipo corpo negro (BB), e dos resultados obtidos para a extinção $E(B-V)$ e para o parâmetro A_{dev} .



Fonte: Autor.

5.3 MRK 607

Na Figura 5.6 apresentamos os mapas para a emissão contínua na banda K, campo de velocidades e dispersão de velocidades das estrelas.

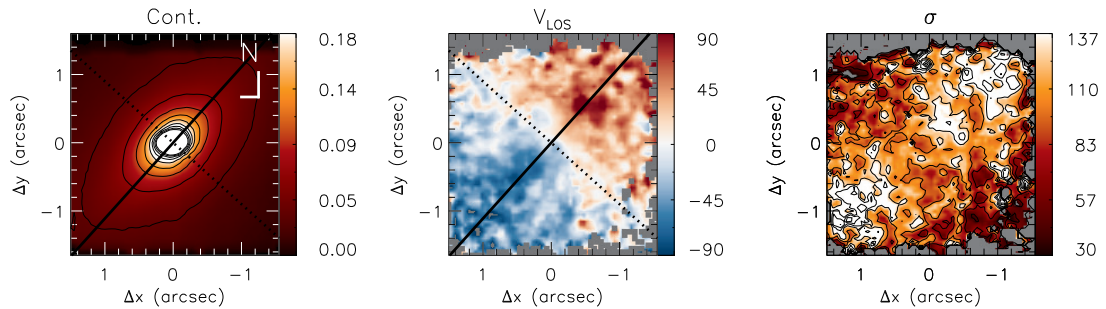
A imagem da emissão contínua (painel esquerdo) foi obtida a partir do cálculo da média de todos os pixels espectrais do cubo de dados da banda K, a paleta de cores corresponde aos valores de fluxo em unidades de $10^{-17} \text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$.

O campo de velocidades (painel central), em unidades de km s^{-1} , apresenta um padrão de rotação típico, com as regiões em vermelho se afastando e as azuis se aproximando em relação a nós. A amplitude do campo de velocidades atinge cerca de 90km s^{-1} , sendo que todos os valores de velocidades tiveram o valor da velocidade sistêmica de afastamento da galáxia, de 2781km s^{-1} (Riffel et al., 2017), subtraído. A linha sólida e a pontilhada indicam, respectivamente, as orientações para os eixos maior e menor da galáxia, sendo que o primeiro está orientado ao longo do $\text{PA} = 135^\circ$. O norte está na direção vertical para cima e o leste na direção horizontal para a esquerda, conforme apresentado no canto superior direito do primeiro painel.

O mapa de dispersão de velocidades das estrelas apresenta valores entre 30 a 130km s^{-1} , observa-se um “caminho” de baixos valores de σ ($< 70 \text{km s}^{-1}$) na região central, com largura

de ~ 170 pc, orientado ao longo do $PA = 45^\circ$, aproximadamente ao longo do eixo menor da galáxia. Os valores mais extremos de σ são observados em regiões mais periféricas no mapa, para noroeste e sudeste do núcleo.

Figura 5.6 – Idem à Figura 5.3 para a Mrk 607.



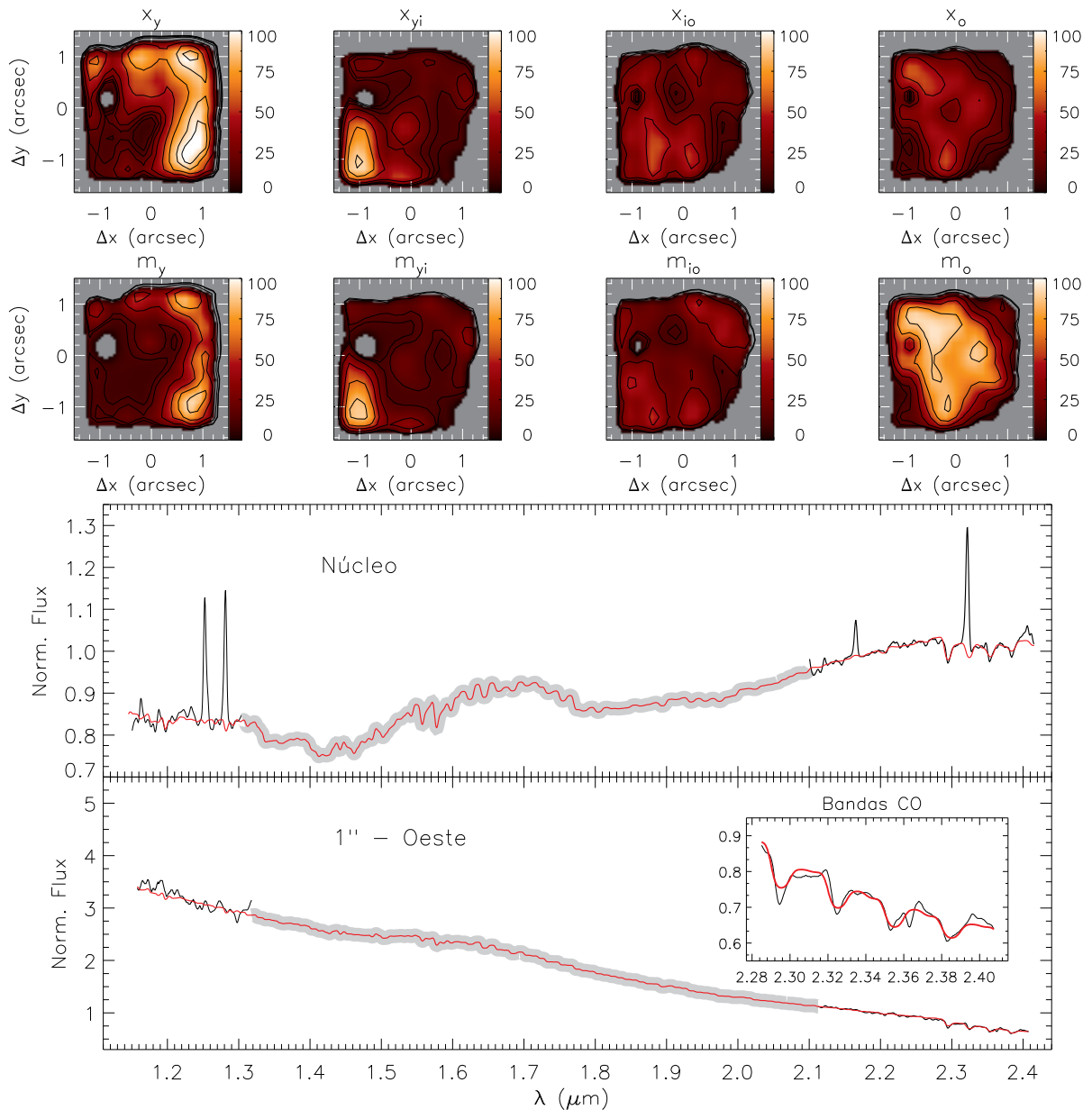
Fonte: Autor.

Os mapas para as contribuições ponderadas por fluxo (painéis superiores) e massa (painéis inferiores) das SPs, bem como dois exemplos de ajustes obtidos com o código *Starlight* são apresentados na Figura 5.7, na mesma ordem dos painéis da Figura 5.3.

As contribuições mais altas, em fluxo e massa, para as populações jovem e jovem-intermediária estão localizadas em regiões próximas às bordas dos painéis. Os mapas para as contribuições da SP jovem apresentam maiores valores em uma estrutura a $1''$ do núcleo que se estende de sudoeste a norte. Já as maiores contribuições da SP jovem-intermediária são vistas em $1''$ à sudeste do núcleo. As maiores contribuições para SP intermediária-velha são vistas em regiões internas a $1''$, principalmente para sudeste e noroeste do núcleo. Os maiores valores para a contribuição de SP velha estão distribuídos na região em torno do núcleo, interna a ~ 140 pc, com exceção de um decréscimo da contribuição visto no núcleo.

Comparando com os dois trabalhos (Storchi-Bergmann et al., 2000, 2001) discutidos na seção 2.3, concluímos que, embora com métodos e regiões espectrais diferentes, os resultados convergem para o mesmo cenário, no qual a SP velha domina a região central e está associada às estrelas do bojo da galáxia.

Figura 5.7 – Idem à Figura 5.1 para Mrk 607.

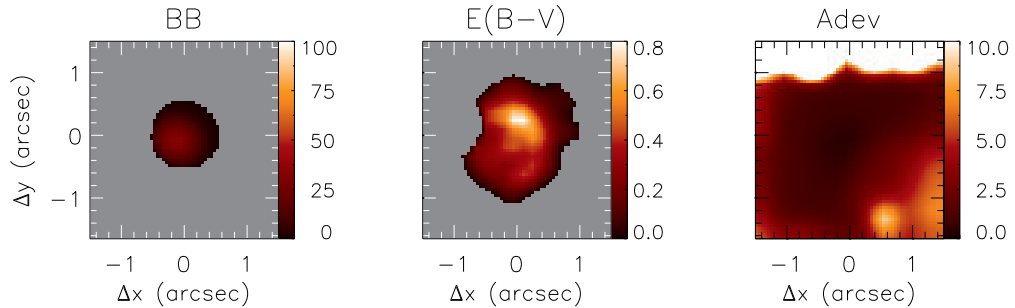


Fonte: Autor.

Na Figura 5.8 apresenta-se os mapas para a contribuição de BB, $E(B - V)$ e Adev. Para essa galáxia a contribuição da componente de FC para o fluxo é nula e assim não temos o mapa correspondente. O primeiro painel da Figura 5.8 apresenta uma contribuição de corpo negro de até 40%, detectada nos 160 pc centrais da galáxia. O mapa de $E(B - V)$ possui valores menores do que 0.4 na maioria das regiões, sendo que os maiores valores ($E(B - V) \sim 0.8$) são observados a $0''.2$ norte do núcleo. O valor médio para a extinção $E(B - V)$ é similar àqueles obtidos no infravermelho próximo para as SPs da maioria das galáxias Seyferts da amostra estudada em Riffel et al. (2009), porém, não se encontram medidas para $E(B - V)$ das

populações estelares na literatura. Os baixos valores de A_{dev} indicam que o espectro observado foi bem modelado pelo código de síntese de populações estelares.

Figura 5.8 – Mrk 607 – da esquerda para a direita: mapa das contribuições percentuais da componente de corpo negro (BB) e resultados obtidos para a extinção $E(B - V)$ e para o parâmetro A_{dev} .



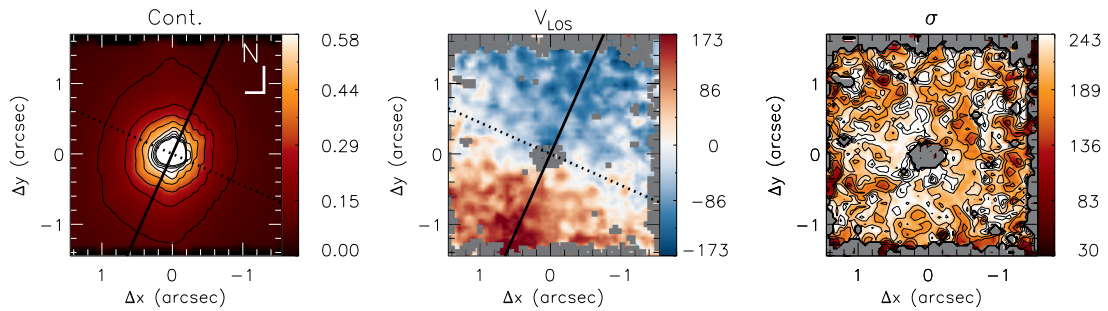
Fonte: Autor.

5.4 NGC 2110

Os mapas bidimensionais da cinemática estelar, obtidos com o código pPXF e o mapa da emissão contínua na banda K, são apresentados na Figura 5.9. As linhas perpendiculares, sólida e pontilhada indicam a orientação dos eixos maior e menor da galáxia, respectivamente. O fluxo do contínuo (painel esquerdo) está em unidades de $10^{-17} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1}$ e os mapas cinemáticos em km s^{-1} . A velocidade sistêmica de 2335 km s^{-1} (Riffel et al., 2017) foi subtraída do campo de velocidades (painel central).

O campo das velocidades estelares apresenta um padrão de rotação típico, com uma amplitude de $\sim 170 \text{ km s}^{-1}$ e com o maior gradiente de velocidades ao longo de $PA \sim 155^\circ$ (Riffel et al., 2017). O mapa de dispersão de velocidades estelar apresenta valores entre $30\text{--}230 \text{ km s}^{-1}$, com os maiores deles numa região central ao leste do núcleo e que se estende $\sim 1''$ de norte a sul. Não foi possível a obtenção de medidas para a cinemática estelar no núcleo da galáxia devido a diluição das bandas de absorção do CO pela intensa emissão de poeira (Riffel et al., 2017). Menores valores de σ são observados na região mais externa ao núcleo, em “caminhos” que parecem formar uma estrutura em torno do núcleo, mais visível à oeste e de norte a sul.

Figura 5.9 – Idem à Figura 5.3 para a NGC 2110.

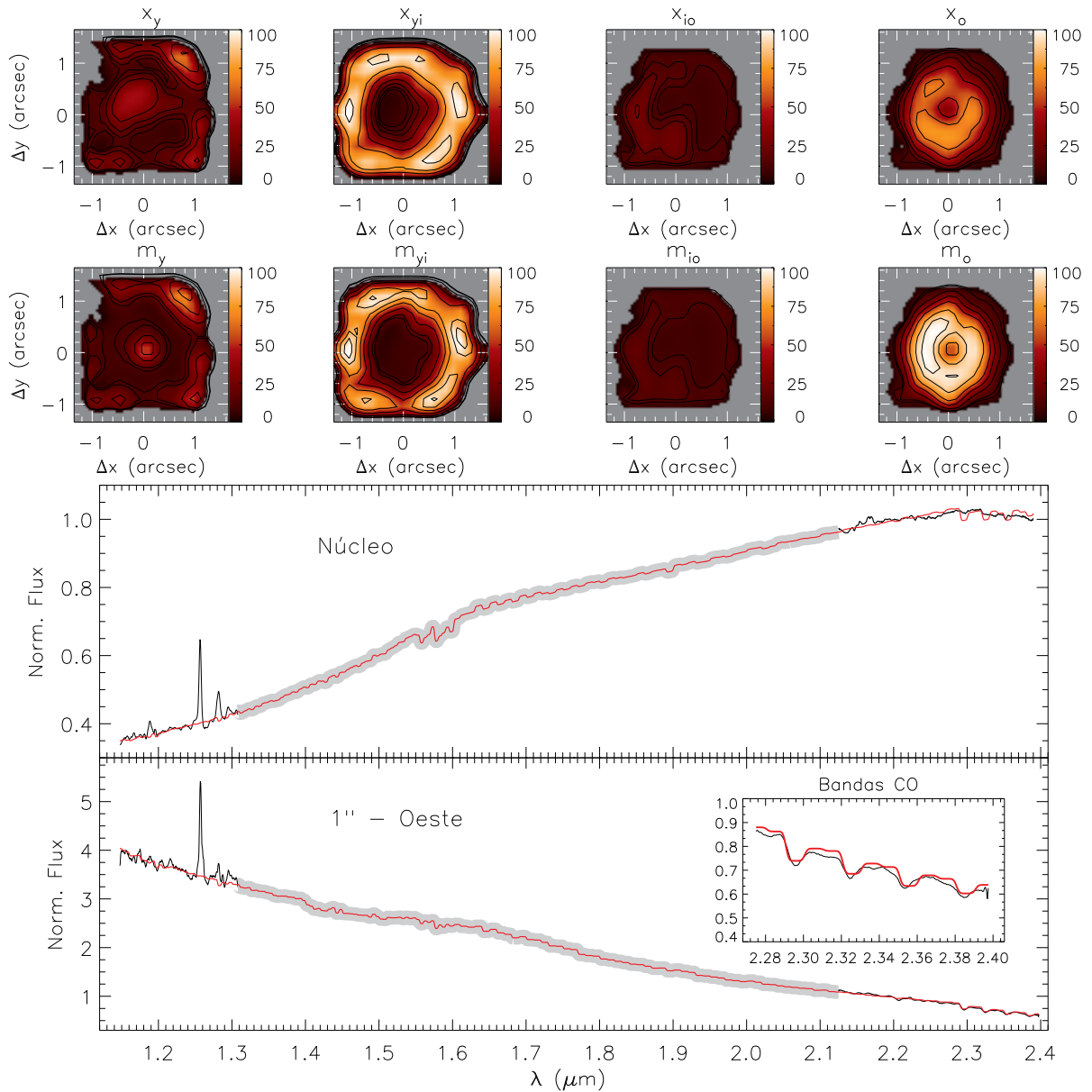


Fonte: Autor.

Os mapas apresentados na Figura 5.10 correspondem às contribuições percentuais em fluxo (painéis superiores) e em massa (painéis inferiores) das SPs encontradas pelo código *Starlight*. Os mapas das contribuições para a população jovem-intermediária apresentam claramente uma estrutura de maiores valores (até 100%) em forma de anel com raio de cerca de $1''$ centrado no núcleo. A região interna a esse anel apresenta contribuição em fluxo de até 70% e em massa de até 100% para a população velha. Os mapas da SP intermediária-velha, tanto para o fluxo quanto para a massa, não apresentam contribuições significativas. Para a população jovem observa-se uma contribuição, em fluxo e massa, de 50%, no centro e em regiões externas ao anel de SP jovem-intermediária.

Na Figura 5.10 também são apresentados dois exemplos de ajustes obtidos pelo código *Starlight*. Os espectros estão em preto e correspondem às bandas J e K. Ambos estão normalizados em $21\,955\text{ \AA}$ e possuem uma abertura de $0''.15 \times 0''.15$. O espectro modelado pelo código de síntese espectral está em vermelho. O espectro superior corresponde ao núcleo e o inferior foi extraído em $1''$ a oeste do mesmo. Nesse último é apresentada uma ampliação para o ajuste na região das bandas do CO (no canto superior direito). Todas as linhas de emissão presentes nos espectros e a região espectral entre $1.31\text{--}2.1\text{ }\mu\text{m}$ foram descartadas do ajuste.

Figura 5.10 – Idem à Figura 5.1 para NGC 2110.



Fonte: Autor.

Comparando os painéis x_{yi} (Figura 5.10) e σ (Figura 5.9), percebe-se uma sutil correlação entre as regiões de mais baixo σ com a região circular de população jovem-intermediária, indicando que, estruturas de baixos valores de dispersão de velocidades das estrelas são originadas por SPs mais jovens.

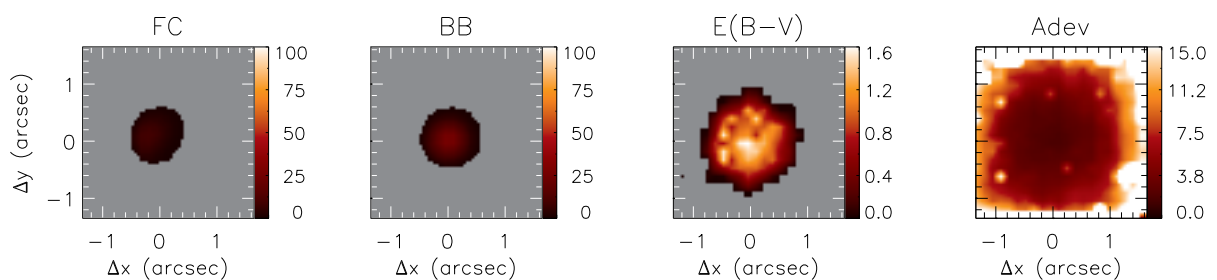
Os resultados da síntese espectral apresentados acima concordam com trabalhos anteriores, que foram apresentados na Sec. 2.4. A população jovem localizada na região central do painel x_y , na Figura 5.10, apoia os resultados encontrados por Durré e Mould (2014), no qual foi detectada uma população jovem interna a $0''.2$. A estrutura vista no mapa para a contribui-

ção em fluxo, ligeiramente deslocada do núcleo para o leste, é coincidente com uma estrutura alongada vista na distribuição de fluxos para a linha de emissão do H_2 em $2.1218 \mu\text{m}$ em Diniz et al. (2015). Uma correlação semelhante entre populações jovens e a distribuição de gás molecular foi vista anteriormente para a galáxia NGC 1068 (Storchi-Bergmann et al., 2012) e indica que o gás molecular representa o reservatório de gás associado à formação estelar. Em González Delgado, Heckman e Leitherer (2001) e Raimann et al. (2003) uma população velha, entre 1 e 10 Ganos foi mapeada na região central da galáxia. Um domínio de população de idade intermediária, seguida por, velha e jovem também foi encontrado em Riffel et al. (2009).

As componentes de FC e BB são apresentadas na Figura 5.11 e atingem, respectivamente, contribuições de 10% e 35% para a região interna a $0''.45$. Uma pequena contribuição de FC também foi detectada em González Delgado, Heckman e Leitherer (2001). Em Riffel et al. (2009) foi estimada uma contribuição de FC de $\sim 35\%$ e menos que 1% para BB. A discrepância entre nosso resultado e o obtido por esses autores provavelmente está associada ao fato de nossos dados possuírem uma resolução espacial melhor do que os espectros utilizados por Riffel et al. (2009), possibilitando assim, a detecção das componentes associadas ao AGN central. Também detectou-se uma componente de FC/jovem com contribuição inferior a 10% no trabalho de Raimann et al. (2003).

Os mapas para extinção, $E(B-V)$, com valores entre 0.4 e 1.5 mag, e para o Adev, com valores menores que 7 para a maior parte do campo observado, também são apresentados na Figura 5.11. Os baixos valores de Adev indicam que o espectro observado foi bem reproduzido. Os valores para o $E(B-V)$ são maiores do que aqueles obtidos no trabalho de Raimann et al. (2003) com observações óticas e estão de acordo com o valor obtido por Riffel et al. (2009), a partir de dados na faixa do NIR. Os maiores valores de $E(B-V)$ vistos no NIR podem estar associados ao fato de que nessa região espectral é possível observar populações estelares mais obscurecidas. Resultados semelhantes são obtidos para a extinção do gás em galáxias próximas, onde a extinção, determinada a partir de linhas de recombinação do H no infravermelho próximo, é maior do que os valores obtidos utilizando linhas no ótico (Martins et al., 2013).

Figura 5.11 – Idem à Figura 5.2 para NGC 2110.

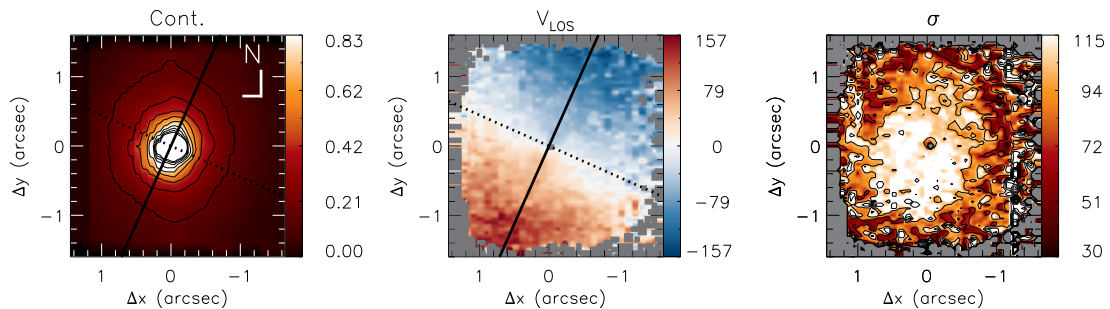


5.5 NGC 3227

No painel esquerdo da Figura 5.12 apresentamos uma imagem do contínuo da banda K, obtida com o NIFS, com valores em unidades de $10^{-17} \text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$. A orientação dos eixos norte (vertical para cima) e leste (horizontal para a esquerda) estão indicados no canto superior direito do painel. Nota-se um padrão de rotação no campo de velocidades (painel central), para o qual a velocidade sistêmica de 1174km s^{-1} (Riffel et al., 2017), foi subtraída. A linha dos nodos está orientada ao longo do $\text{PA} = 152^\circ$, indicado pela linha contínua.

O mapa para a dispersão de velocidades estelar (painel direito) apresenta valores entre 30 e 110km s^{-1} . Os maiores valores de σ são observados na região interna a $0''.5$ e alguns valores altos são vistos próximo às bordas do campo de visão. Entre essas duas regiões observam-se os menores valores de dispersão de velocidades, que parecem formar uma estrutura em forma de anel parcial em torno do núcleo.

Figura 5.12 – Idem à Figura 5.3 para NGC 3227.



Fonte: Autor.

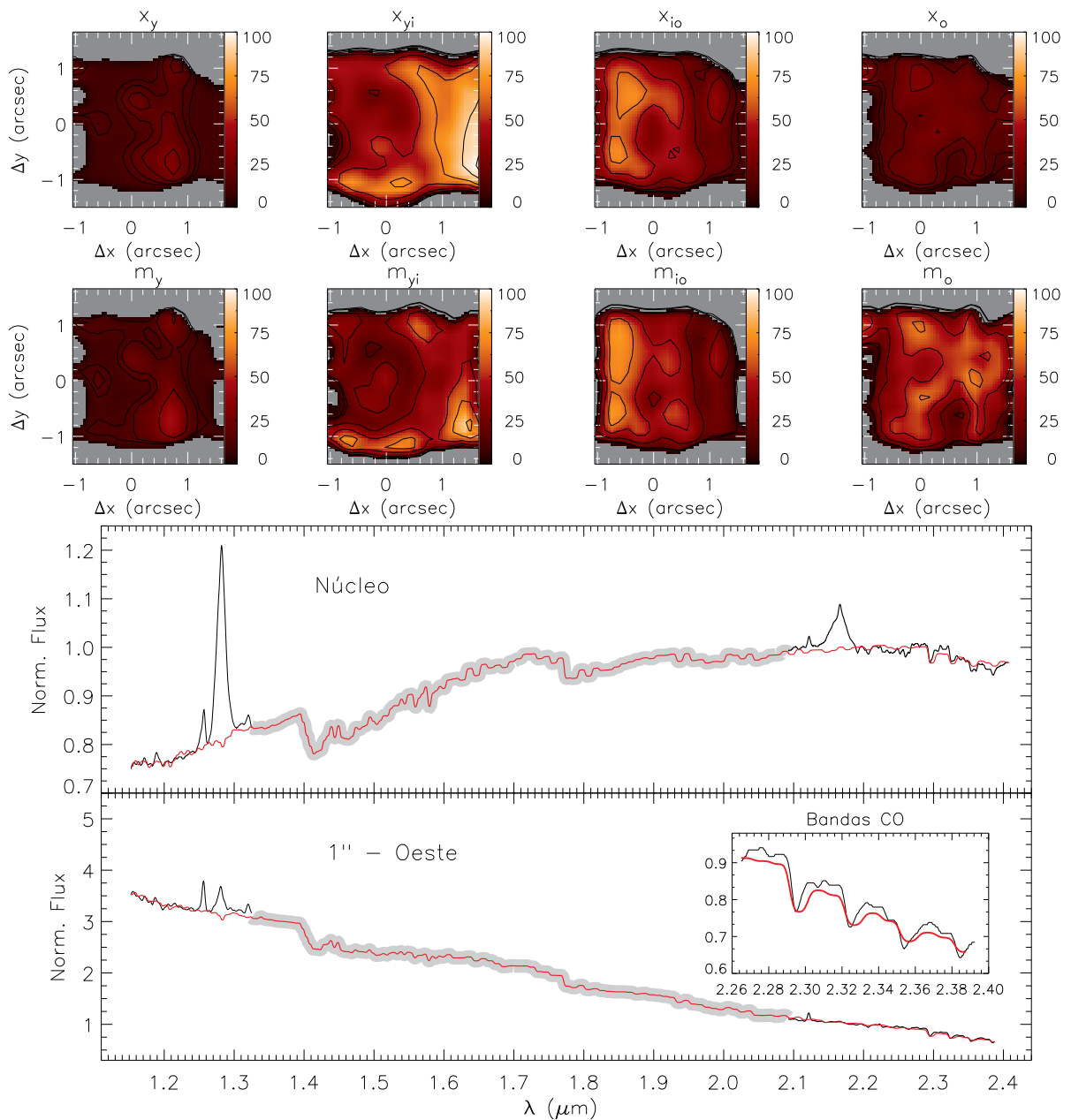
Os mapas da Figura 5.13 correspondem às contribuições percentuais em fluxo (painéis superiores) e massa (painéis inferiores) das diferentes SPs em NGC 3227. Nessa figura também são apresentados dois espectros extraídos em regiões distintas da galáxia, ambos com uma abertura de $0''.15 \times 0''.15$ e normalizados em $21\,955 \text{\AA}$. O espectro modelado obtido pelo código *Starlight* está em vermelho, e o ajuste na região das bandas do CO é apresentado no canto superior direito do painel inferior.

As contribuições em fluxo para as populações jovem e velha atingem percentuais de até 20%, enquanto que, as SPs jovem-intermediária (x_{yi}) e intermediária-velha (x_{i0}) apresentam os maiores valores. No painel para x_{yi} , observa-se contribuição da SP jovem-intermediária em todo o campo, com os maiores valores vistos a oeste do núcleo. Essa componente também apresenta uma contribuição significativa para o sul e norte do núcleo. Os mapas para a SP de idade intermediária-velha apresentam a maior contribuição na região leste do núcleo.

Comparando os mapas para as contribuições em fluxo das populações estelares da Fi-

gura 5.13 com o mapa de dispersão de velocidades estelar da Figura 5.12, observa-se que na região onde há uma maior contribuição da SP jovem-intermediária, os valores de σ são menores. Já na região a leste e sudeste do núcleo o mapa de σ apresenta alguns valores maiores, comparáveis aos observados no núcleo, associados às populações estelares mais velhas. A população velha é vista espalhada em torno do núcleo e apresenta uma contribuição de até 50% para a massa estelar.

Figura 5.13 – Idem à Figura 5.1 para NGC 3227.



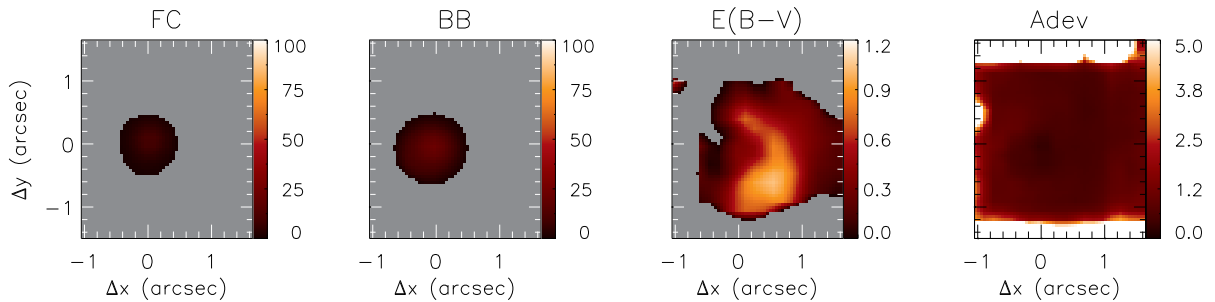
Fonte: Autor.

Nossos resultados para a síntese espectral de SPs podem ser comparados com aqueles

apresentados na Sec. 2.5. Não detectamos contribuições significativas para SP jovem, como as encontradas em Schinnerer, Eckart e Tacconi (2001) e Riffel et al. (2009), mas as contribuições de SP intermediária-velha mapeadas aqui estão de acordo com os estudos mencionados acima, nos quais foram observadas SPs com idades maiores que 2 Ganos na região central da galáxia. Entretanto, os resultados que obtivemos para essa galáxia devem ser interpretados com cautela, uma vez que, observam-se algumas estruturas verticais nos mapas da Figura 5.13, os quais podem ser devido a uma assinatura instrumental, como uma má correção por *flat-field* ao longo das *slices* do NIFS.

A Figura 5.14 apresenta os painéis da contribuição das componentes de FC e BB, e os valores obtidos para a extinção e Adev. O máximo valor para a contribuição do disco de acreção do AGN (componente FC) é cerca de 10% e para a poeira quente (associada a emissão do BB) é de 40%. O mapa para $E(B - V)$ apresenta maiores valores (~ 1) em uma estrutura na direção sul, a qual é curvada e se estende para a direção norte atravessando o núcleo. Os baixos valores de Adev indicam que os espectros observados foram bem modelados pelo código utilizado para a obter a síntese de SPs na maioria das regiões do campo de visão.

Figura 5.14 – Idem à Figura 5.2 para NGC 3227.



Fonte: Autor.

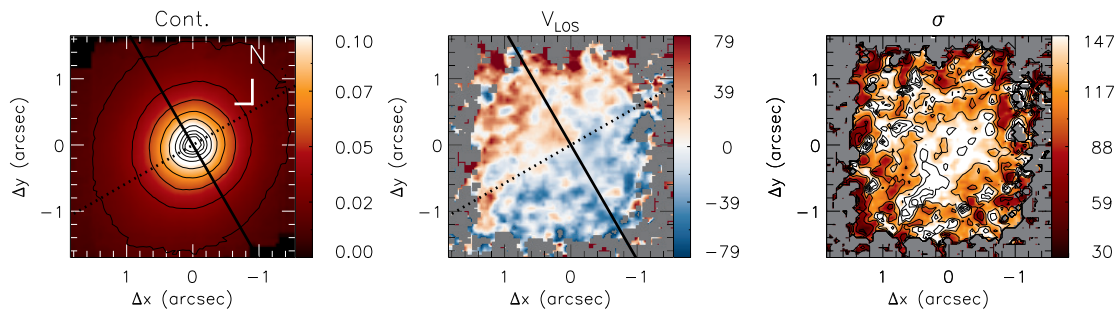
5.6 NGC 5929

A Figura 5.15 apresenta os mapas para o contínuo na banda K, velocidade e dispersão de velocidades das estrelas, obtidos a partir do ajuste das absorções do CO na banda K com a rotina pPXF. A imagem de contínuo (painel esquerdo) foi obtida a partir da realização da média de todos os pixels espectrais do cubo de dados da banda K e a barra de cores mostra o fluxo em unidades de $10^{-17} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1}$. O campo de velocidades (painel central) é apresentado após a subtração da velocidade sistêmica da galáxia, de 2491 km s^{-1} no sistema heliocêntrico de referência (Riffel et al., 2017). O mapa de dispersão de velocidades estelar é

apresentado no painel da direita e está corrigido pelo efeito do alargamento instrumental. As linhas contínua e pontilhada mostradas nos painéis correspondentes à imagem de contínuo e ao campo de velocidades representam, respectivamente, a orientação do eixo maior e menor do disco (Riffel et al., 2017).

O campo de velocidades estelar apresenta um padrão de rotação com uma amplitude de velocidade de cerca de 75 km s^{-1} com a linha dos nodos orientada ao longo do $\text{PA} \approx 30^\circ$ (Riffel et al., 2017). O mapa de dispersão de velocidades das estrelas apresenta valores variando de 30 a 145 km s^{-1} , com os maiores valores observados no núcleo da galáxia. Os menores valores de σ são vistos em uma estrutura em forma de um anel parcial em torno do núcleo, com raio de cerca de $0''.8$.

Figura 5.15 – Idem à Figura 5.3 para a NGC 5929.



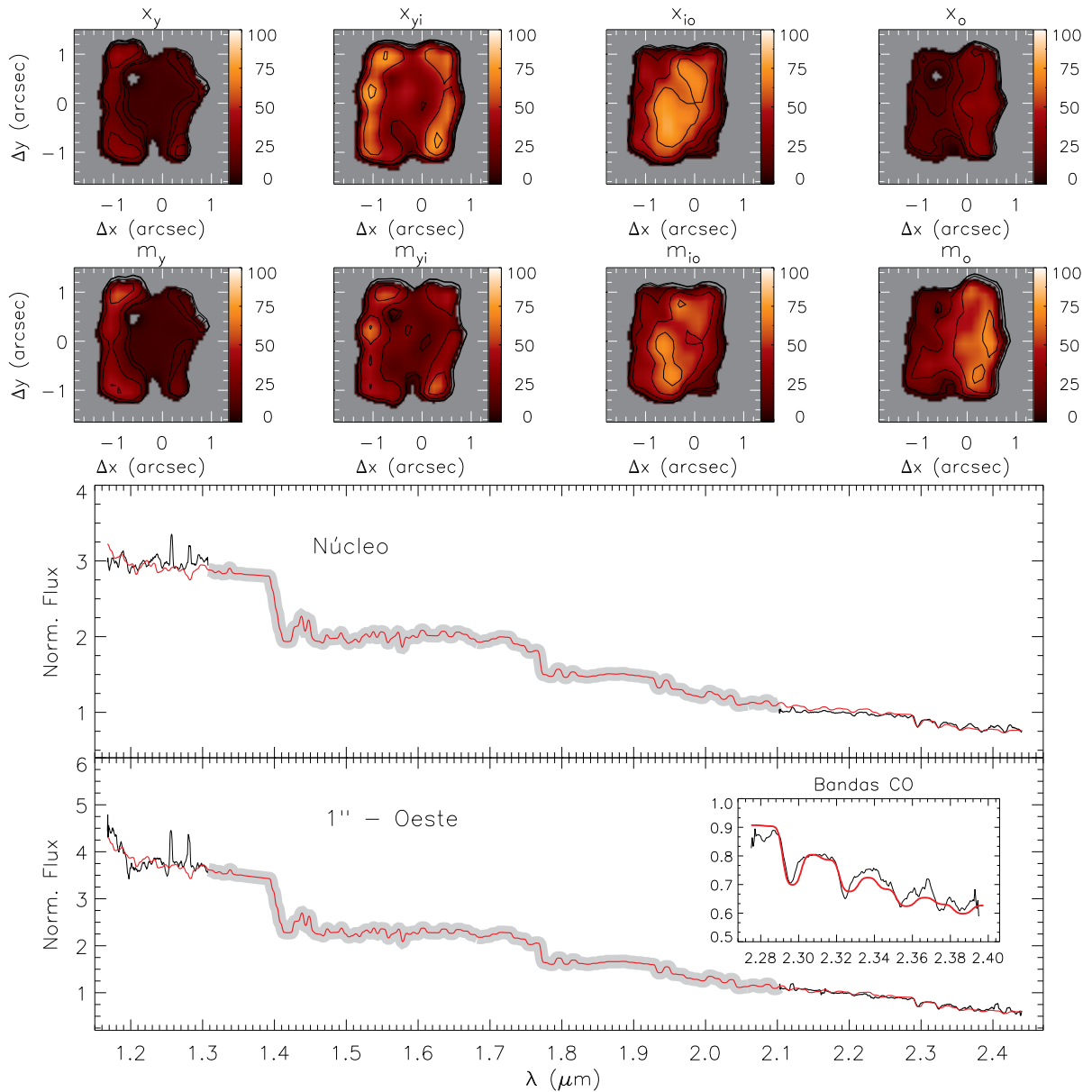
Fonte: Autor.

Na Figura 5.16 apresentam-se os resultados obtidos para as contribuições das populações estelares jovem (painel da esquerda), de jovem-intermediária (segundo painel), intermediária-velha (terceiro painel) e velha (painel da direita) para o fluxo em $21\,955 \text{ \AA}$ (painéis superiores) e para a massa estelar total da galáxia (painéis inferiores).

Nos mapas para as contribuições em fluxo, observa-se que as populações jovem e jovem-intermediária apresentam as maiores contribuições em uma região em forma de anel em torno do núcleo com um raio interno de $\sim 0''.6$ e raio externo de $\sim 1''.0$. As contribuições das populações jovem e jovem-intermediária para o fluxo atingem 25% e 70% em algumas regiões do anel, respectivamente. A contribuição de populações jovem e jovem-intermediária são praticamente nulas na região interna ao anel, onde a população estelar que domina a emissão é a população de idade intermediária-velha, responsável por até 70% da emissão contínua. A população velha representa uma contribuição menor do que 20% do fluxo observado na maioria das regiões.

Os mapas ponderados pela massa estelar apresentam uma distribuição semelhante aos mapas ponderados por brilho, porém com valores de contribuição distintos. As populações intermediária-velha e velha são responsáveis pela maior parte da massa estelar observada.

Figura 5.16 – Idem à Figura 5.1 para NGC 5929.



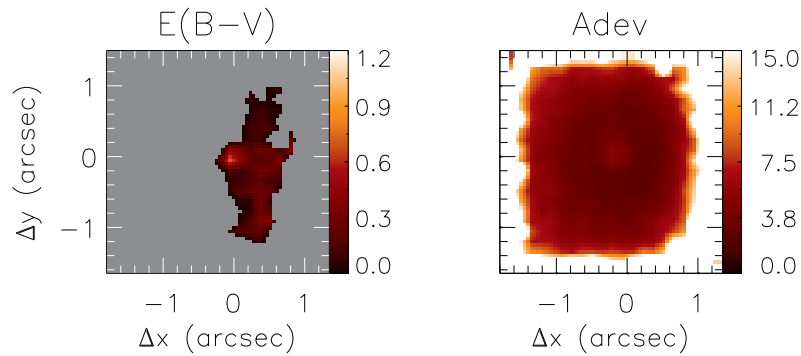
Fonte: Autor.

Comparando os mapas para as contribuições em fluxo das populações estelares jovem e jovem-intermediária (Figura 5.16) com o mapa de dispersão de velocidades estelar (Figura 5.15), nota-se que parece haver uma correlação entre as regiões de mais baixo σ com as regiões de maior contribuição dessas populações estelares. Resultados semelhantes foram encontrados em outros trabalhos (Riffel et al., 2010, 2011) e indicam que as estruturas de baixos valores de σ estelar, comumente vistas em galáxias ativas, são originadas por populações estelares mais jovens, às quais ainda não atingiram o equilíbrio orbital com o potencial gravitacional do bojo da galáxia e ainda mantém a cinemática do gás que as originou.

Os resultados obtidos aqui podem ser comparados com os resultados disponíveis na literatura, apresentados na Seção 2.6, embora os resultados apresentados na literatura sejam baseados em espectros nucleares. Nossos resultados são consistentes com os obtidos no UV, ótico e NIR, os quais sugerem que populações de idade intermediária e velha dominam as contribuições para a emissão nuclear em NGC 5929 (Storchi-Bergmann et al., 2001; González Delgado; Heckman; Leitherer, 2001; Raimann et al., 2003; Riffel et al., 2009).

Para essa galáxia, as contribuições de funções de corpo negro e de lei de potência foram nulas e, dessa forma, não apresentamos os mapas correspondentes. Na Figura 5.17 apresenta-se o mapa para a extinção no painel da esquerda e para o Adev no painel da direita. O painel da direita indica que são obtidos bons ajustes dos espectros na região interna a $1''$, com valores de Adev ~ 5 na maioria das posições. O mapa para $E(B - V)$ apresenta valores baixos na maioria das localizações, sendo virtualmente zero em praticamente todos os pontos a leste do núcleo. Esses valores são consistentes com os obtidos por Riffel et al. (2009) para o espectro nuclear, onde os autores apresentam o valor de $A_V = 1.48$ mag. Considerando um fator de extinção $R_V = 3.1$ [$R_V = A_V/E(B - V)$] o valor de $E(B - V)$ obtido por Riffel et al. (2009) é $E(B - V) \sim 0.47$ consistente com os valores apresentados no mapa da Figura 5.17.

Figura 5.17 – NGC 5929 – Mapas para $E(B - V)$ (painel da esquerda) e o parâmetro Adev (painel da direita).



Fonte: Autor.

6 DISCUSSÕES

6.1 IDADE MÉDIA DAS SPS

Uma maneira bastante simples para caracterizar uma mistura de SPs de uma galáxia é estimar sua idade média pesada em luz e em massa, definidas, respectivamente, pelas Equações 4.7– 4.8 e reescritas a seguir:

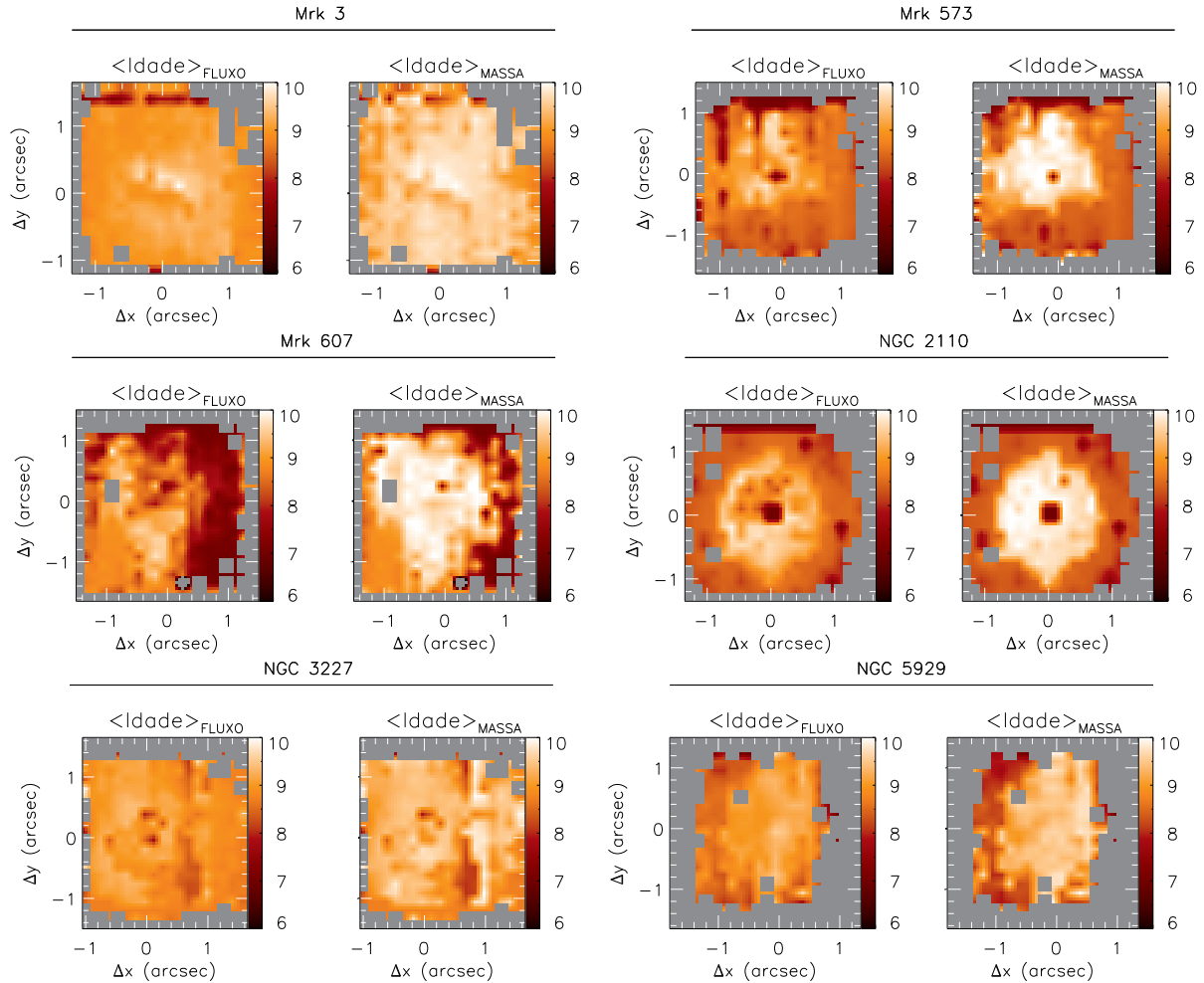
$$\langle \log t_{\star} \rangle_L = \sum_{j=1}^{N_{\star}} x_j \log t_j,$$
$$\langle \log t_{\star} \rangle_M = \sum_{j=1}^{N_{\star}} \mu_j \log t_j.$$

A primeira equação é mais representativa de SPs jovens e a segunda de SPs velhas (Riffel et al., 2009). Além disso, nota-se que as expressões acima possuem idades limitadas ao intervalo de idades dos elementos presentes na base utilizada que, em nosso caso variam desde 10 milhões a 13 bilhões de anos.

A Figura 6.1 apresenta os mapas para idade média das SPs ponderada em fluxo e massa para todas as galáxias da amostra, onde a barra de cores está em unidades logarítmicas utilizando a mesma escala para todas as galáxias. Para cada galáxia, o painel da esquerda representa a idade média das SPs ponderada em fluxo e o painel da direita o mapa para a idade média ponderada pela massa. Observa-se que a maioria dos mapas apresenta um comportamento semelhante, com os maiores valores observados no centro de cada galáxia e diminuindo com a distância ao núcleo. Entretanto, é importante notar que a idade média das SPs diminui exatamente na posição nuclear para algumas galáxias, bem evidente nos mapas para as galáxia NGC 2110 e Mrk 573. Esse decréscimo deve-se a contribuição das componentes de FC e BB, importantes no núcleo e que não são consideradas no cálculo das idades médias das SPs.

Os mapas apresentados na Figura 6.1 sugerem uma pequena variação de idades médias das SPs em diferentes galáxias. Para melhor visualizar os valores médios para as idades das SPs em todo o campo do NIFS, calculamos o valor médio das idades das SPs ponderadas por fluxo e construímos um gráfico apresentado na Figura 6.2. Os valores das idades médias das SPs em cada galáxia são apresentados em escala logarítmica em unidades de anos e estão no intervalo de $8.83 \leq \log(\text{idade}) \leq 8.99$ anos. Essas médias estão no intervalo de valores encontrados por (Riffel et al., 2009) para a região central de 24 galáxias Seyfert, onde foram obtidos valores entre $8.64 \leq \log(\text{idade}) \leq 9.68$ anos.

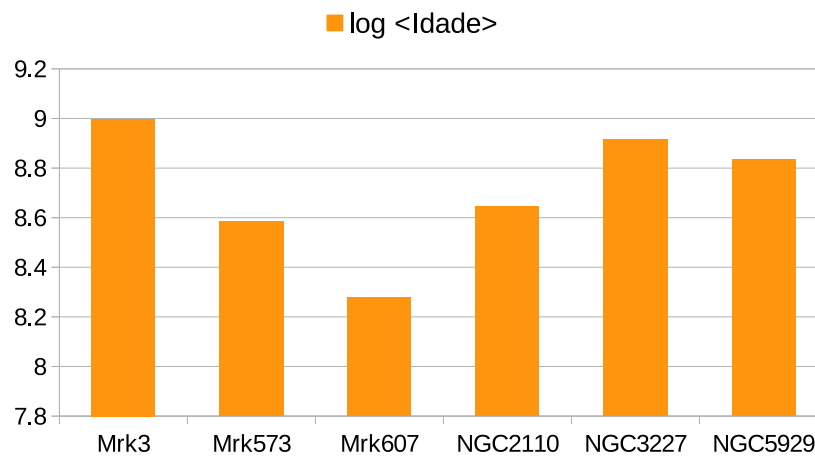
Figura 6.1 – Mapas das idades médias das SPs presentes nas galáxias da amostra em unidades logarítmicas. Para cada galáxia, o painel da esquerda mostra a idade média ponderada pelo fluxo em 21 955 Å e o painel da direita representa a idade média ponderada em massa estelar.



Fonte: Autor.

Na Figura 6.3 apresenta-se o gráfico do logaritmo das idades médias das SPs ponderadas em fluxo *versus* o logaritmo da luminosidade em raios-X observadas para as galáxias de nossa amostra. Foram usadas as luminosidades em raios-X na janela de 2-10 keV, apresentadas na Tabela 2.1. A emissão em raios-X nesse intervalo espectral é dominada pela emissão do AGN central e observa-se uma correlação clara entre a luminosidade em raios-X e a luminosidade bolométrica do AGN (Heckman; Best, 2014), ou seja, L_X representa um parâmetro intrínseco do AGN. Nesse gráfico observa-se uma tendência de que AGNs mais luminosos possuem populações estelares mais velhas. Em comprimentos de onda óticos, observa-se um resultado contrário. Por exemplo, Kauffmann et al. (2003) compararam as idades medidas das populações estelares em galáxias ativas e compararam essas com galáxias normais para uma amostra de mais de 22 000 galáxias, cujos espectros foram obtidos pelo projeto SDSS-I. Esses autores

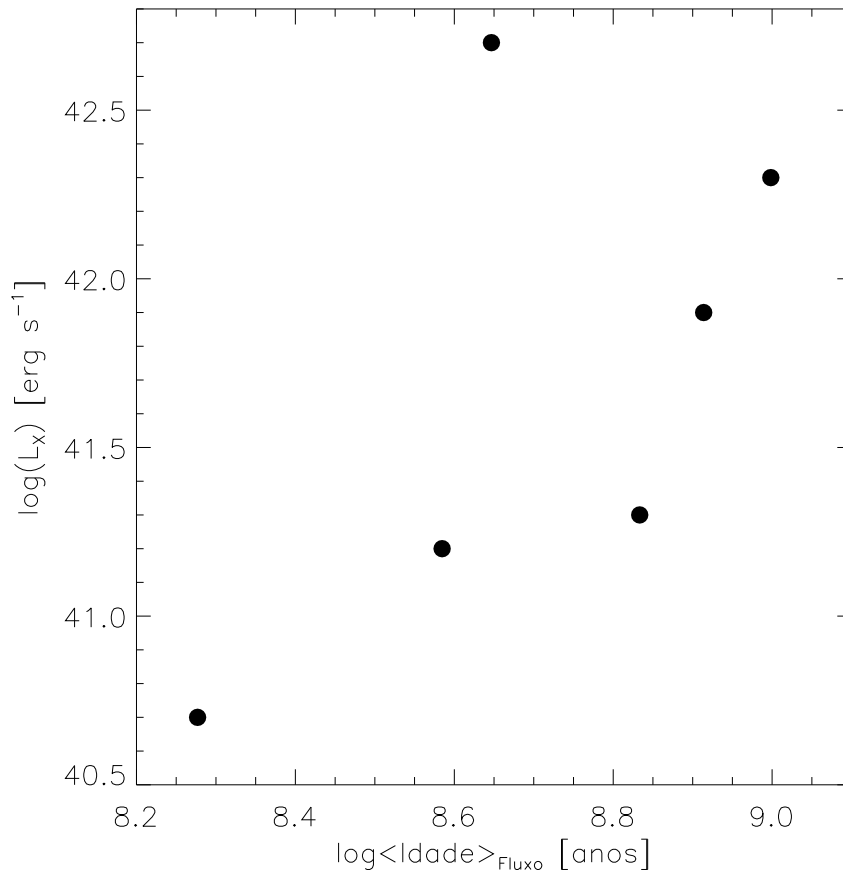
Figura 6.2 – Logaritmo das idades médias das SPs nas galáxias de nossa amostra ponderadas pelo fluxo com a normalização tomada em 21 955 Å.



Fonte: Autor.

encontram que AGNs de mais baixa luminosidade apresentam uma população estelar mais velha do que AGNs de alta luminosidade. Esse resultado favorece a conexão *AGN-Starburst* já que, tanto as estrelas quanto a atividade nuclear, podem ser alimentadas pelo mesmo material e, à medida que o tempo passa, simultaneamente as populações estelares envelhecem e a quantidade de material disponível para a acreção ao SMBH diminui, acarretando uma diminuição de sua luminosidade. Possivelmente, a discrepância entre nosso resultado e os da literatura esteja associada ao fato de que a amostra utilizada neste trabalho não é estatisticamente significativa e o intervalo de idades médias das SPs observadas é muito pequeno, da ordem de centenas de milhões de anos. Além disso, essa tendência limita-se a região central interna a 1 kpc das galáxias, assim ela não é necessariamente a mesma para as galáxias em grande escala.

Figura 6.3 – Gráfico do logaritmo das idades médias das SPs *versus* o logaritmo da luminosidade em raios-X (2–10 keV) para as galáxias de nossa amostra.



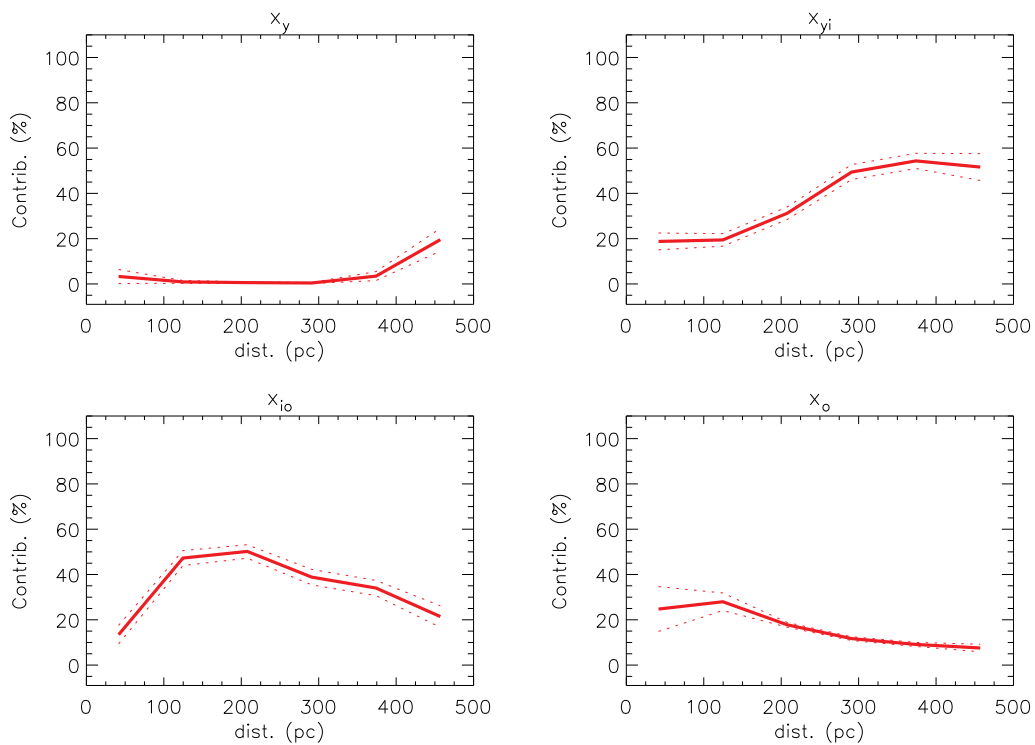
Fonte: Autor.

6.2 PERFIS RADIAIS

Com o objetivo de encontrar características em comum entre as SPs mapeadas para as galáxias da nossa amostra, foram construídos perfis radiais das contribuições em fluxo de cada SP para os seis objetos da amostra. Esses perfis são apresentados nas Figuras 6.4–6.9 e foram obtidos a partir do cálculo da contribuição média de cada população estelar (x_y , x_{yi} , x_{i0} e x_0) em 21 995 Å em anéis concêntricos com largura 0''3. Em todos os painéis de todas as figuras, os valores médios da contribuição percentual de cada SP são apresentados em forma de uma linha contínua, enquanto que as linhas tracejadas representam o erro padrão da média (σ_M) obtido por $\sigma_M = \frac{\sigma_P}{\sqrt{N}}$, onde σ_P é o desvio padrão das contribuições percentuais consideradas em um determinado anel e N é o número de pontos utilizados no cálculo da média em cada anel.

Os perfis radiais para as populações intermediária-velha e velha mostram que a contribuição dessas populações decresce com a distância do núcleo para distâncias maiores do que 200 pc do mesmo. Em distâncias menores (primeiro anel), em geral, observa-se um valor menor para contribuição dessas populações estelares para o fluxo na banda K, quando comparado com suas contribuições em distâncias próximas a 200 pc (segundo anel). Esses menores valores vistos para o núcleo podem ser atribuídos ao fato de que nessa região há a contribuição das componentes de FC e BB, devido ao AGN central e dessa forma a soma das contribuições de todas as SPs para o contínuo nuclear é menor do que 100%.

Figura 6.4 – Mrk 3 – Perfis radiais para as contribuições em fluxo das diferentes SPs: jovem (painel superior esquerdo), jovem-intermediária (painel superior direito), intermediária-velha (painel inferior esquerdo) e velha (painel inferior direito). Esses perfis foram obtidos a partir do cálculo dos valores médios das contribuições de cada SP em anéis centrados no núcleo com largura de $0''.3$. Os valores médios da contribuição de cada SP são mostrados pelas linhas contínuas e as linhas tracejadas representam o erro padrão da média.



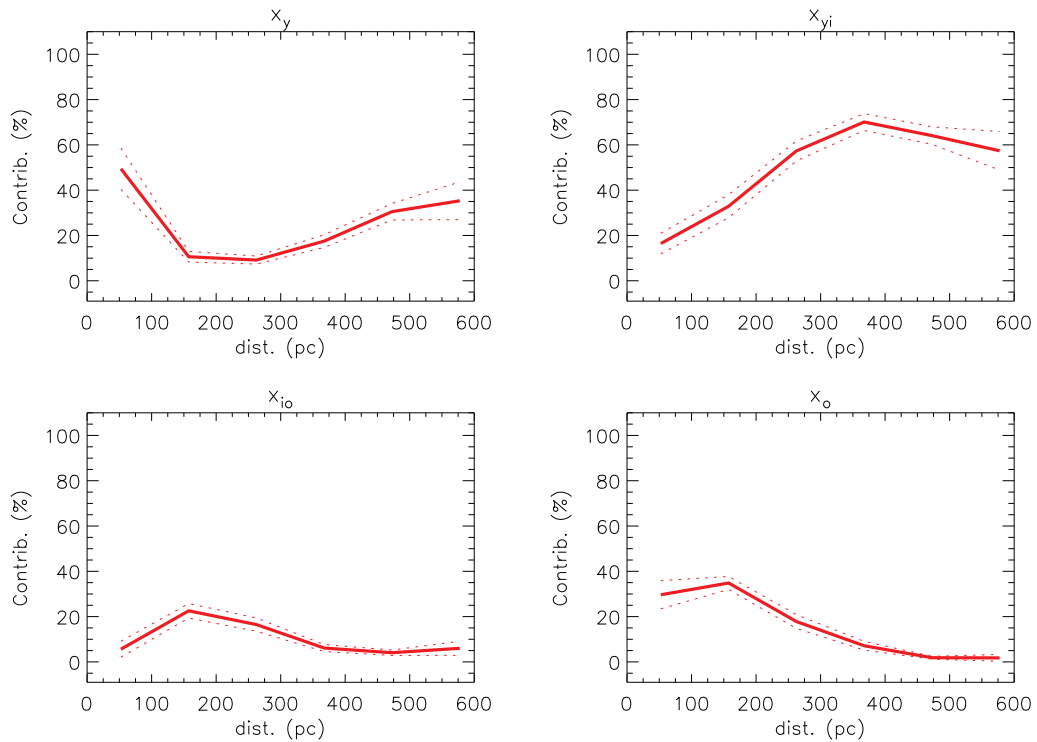
Fonte: Autor.

Na distribuição radial apresentada nos painéis de x_{yi} (Figuras 6.4–6.9), observa-se as maiores contribuições da SP jovem-intermediária em maiores distâncias do núcleo, com essa contribuição crescendo com a distância do mesmo. Para as galáxias Mrk 573, Mrk 607, NGC 2110 e NGC 5929 observa-se um decréscimo em x_{yi} em regiões próximas às bordas do campo de visão, após a contribuição atingir um valor máximo em distâncias menores. Esse comportamento é consistente com a presença dos anéis de populações de idade intermediária vistos nos mapas

bidimensionais, associados em alguns casos com estruturas de menor dispersão de velocidades estelares.

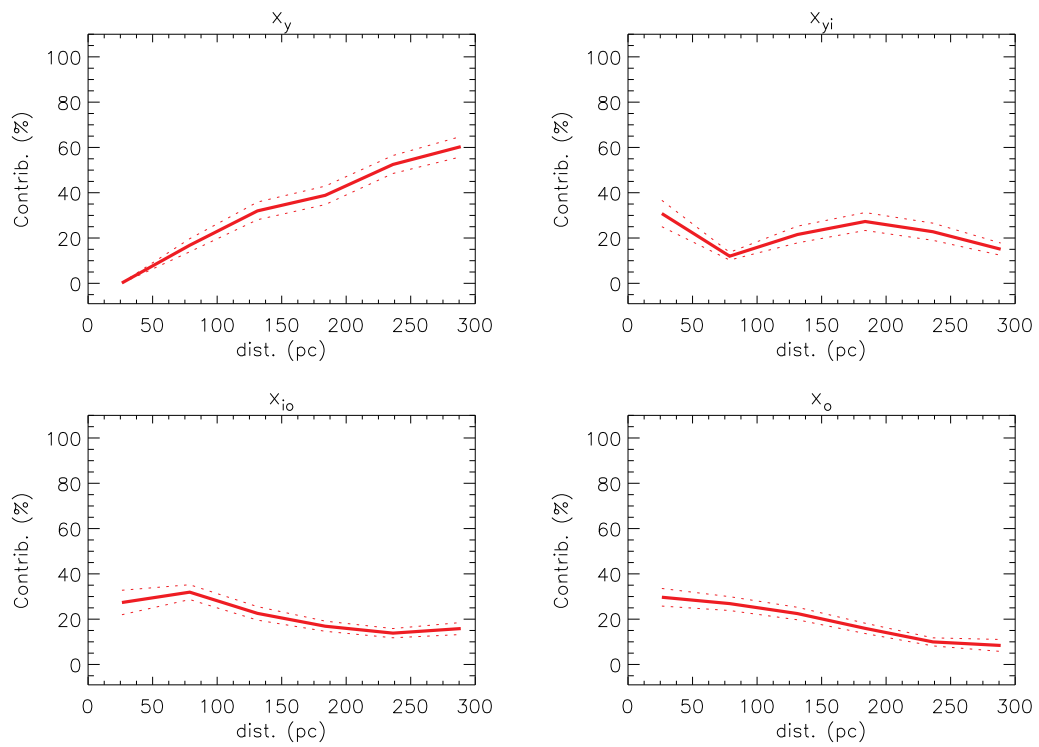
Os perfis radiais para a contribuição da SP jovem também apresentam maiores valores em maiores distâncias do núcleo para a maioria dos objetos, com sua x_y crescendo com a distância do núcleo. Para duas galáxias (Mrk 573 e NGC 2110) observa-se um aumento da contribuição da SP jovem para o fluxo observado no núcleo dessas galáxias. Esses aumentos indicam a presença de um surto de formação estelar recente na região central dessas galáxias, que já não estaria mais formando estrelas, mas que ainda emite fótons capazes de excitar a linha do $H_2 \lambda 2.1218 \mu m$, uma vez que são observadas estruturas de emissão de gás molecular (Diniz et al., 2015; Fischer et al., 2017) co-espaciais com a distribuição da SP jovem.

Figura 6.5 – Idem à Figura 6.4 para Mrk 573.



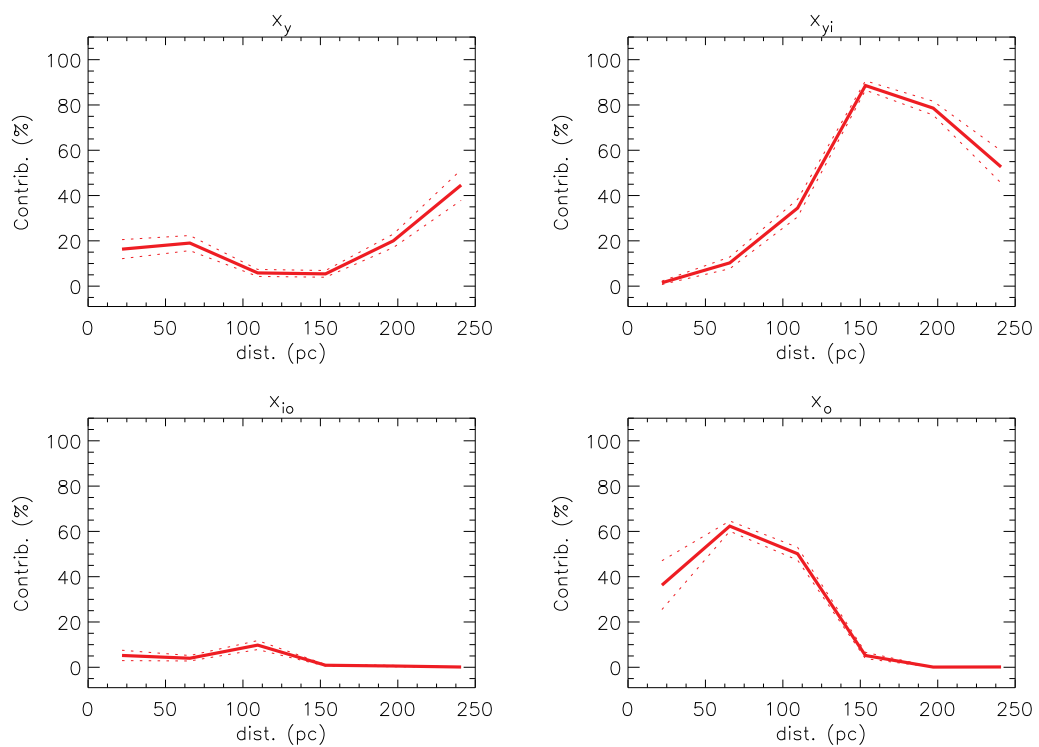
Fonte: Autor.

Figura 6.6 – Idem à Figura 6.4 para Mrk 607.



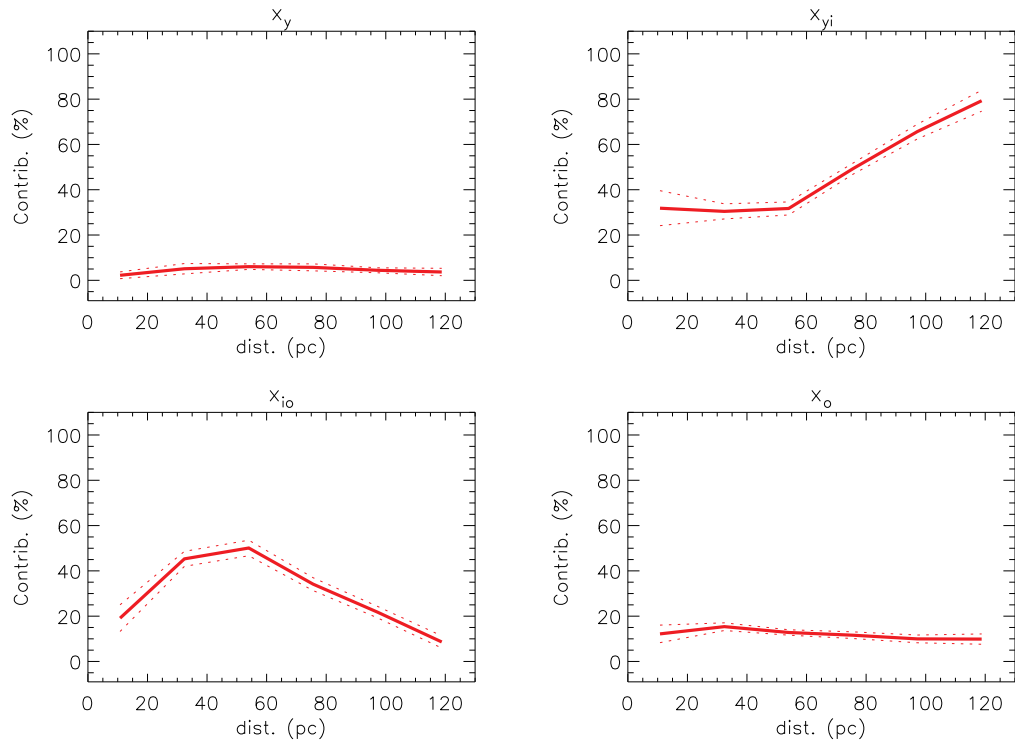
Fonte: Autor.

Figura 6.7 – Idem à Figura 6.4 para NGC 2110.



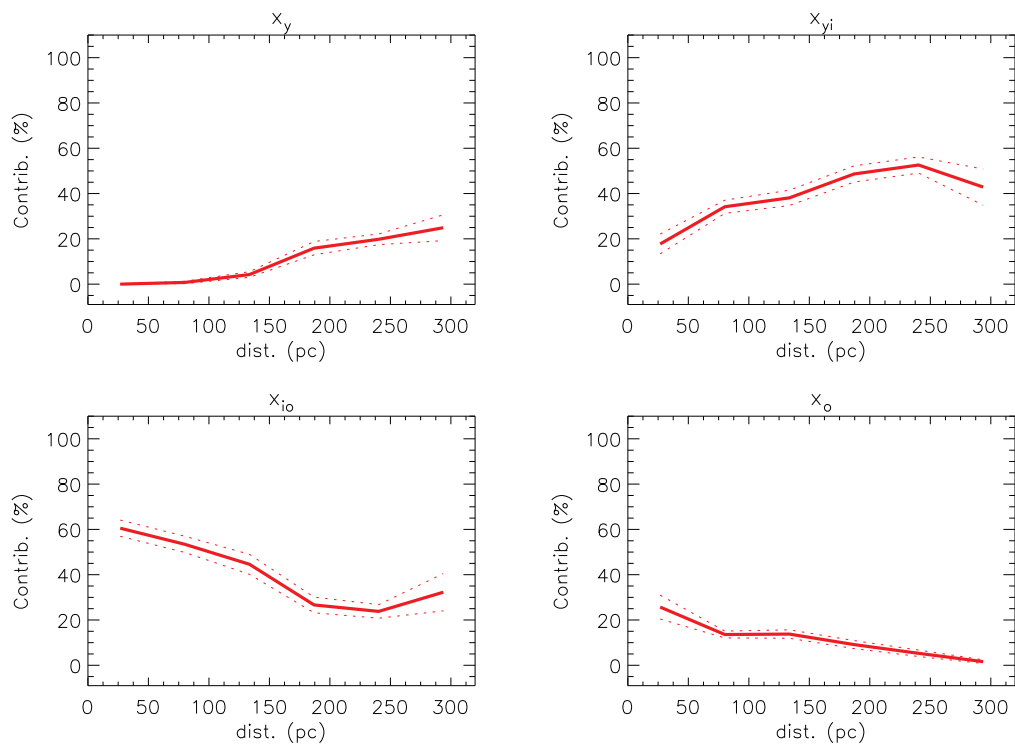
Fonte: Autor.

Figura 6.8 – Idem à Figura 6.4 para NGC 3227.



Fonte: Autor.

Figura 6.9 – Idem à Figura 6.4 para NGC 5929.



Fonte: Autor.

Como um resultado geral, observamos que, em média, as populações estelares intermediária-velha e velha apresentam contribuições para o fluxo na banda K, que diminuem com a distância do núcleo. Já as populações jovem e jovem-intermediária apresentam o comportamento oposto, com suas contribuições para o fluxo aumentando com a distância do núcleo. Assim, podemos concluir para a nossa amostra, que as estrelas se formam primeiramente no núcleo da galáxia e à medida que o tempo passa e elas envelhecem, novas estrelas se formam cada vez mais distantes do núcleo. Isso é consistente com o cenário chamado *inside-out* (Daddi et al., 2005), no qual as estrelas se formam de dentro para fora na galáxia, apresentando um gradiente de idades de SPs decrescendo a partir do núcleo (Pérez et al., 2013; González Delgado et al., 2015, 2016).

6.3 CONTRIBUIÇÕES DAS COMPONENTES DE EMISSÃO DE CORPO NEGRO E LEI DE POTÊNCIA

Uma das vantagens do uso de dados na região infravermelha do espectro em relação à ótica, é a possibilidade de detectar a emissão devido a poeira quente presente no espectro observado. Em 5, das 6 galáxias da nossa amostra, confirmamos a presença de uma componente não resolvida espacialmente devido à emissão de poeira quente com temperaturas entre 700 e 1400 K. Essa componente não foi detectada somente para a galáxia NGC 5929, que é o segundo objeto de mais baixa luminosidade de nossa amostra. A detecção da emissão de poeira quente já foi encontrada em outros trabalhos com o objetivo de investigar a distribuição espectral de energia em AGNs (Riffel et al., 2009), porém não é detectada em galáxias *Starburst* (Dametto et al., 2014). A interpretação comumente utilizada para explicar a presença de poeira quente em AGNs e sua ausência em galáxias *Starburst* é que essa componente é devido a emissão da poeira contida no toroide que circunda o buraco negro central, prevista pelo modelo unificado de AGNs (Urry; Padovani, 1995). Embora os resultados apresentados no capítulo anterior indiquem a detecção da componente BB até distâncias de 0''45 do núcleo, sua distribuição não é resolvida pelo NIFS em todos os casos, consistente com a interpretação acima, uma vez que as dimensões esperadas para o toroide de poeira em AGNs são muito menores do que a resolução espacial de nossos dados (Jaffe et al., 2004).

Podemos utilizar as contribuições das componentes do tipo lei de Planck para estimar a massa de poeira quente presente no núcleo das galáxias de nossa amostra. Essa massa pode ser estimada seguindo os procedimentos descritos em Riffel et al. (2009), utilizando o formalismo de Barvainis (1987b), no qual a poeira é composta de grãos de grafite.

A luminosidade monocromática no infravermelho para cada grão de poeira, em unidades de $\text{erg s}^{-1} \text{Hz}^{-1}$, pode ser escrita como:

$$L_{\nu, \text{ir}}^{\text{gr}} = 4\pi^2 a^2 Q_{\nu} B_{\nu}(T_{\text{gr}}), \quad (6.1)$$

onde $a = 0.05 \mu\text{m}$ e corresponde ao raio do grão, $Q_v = 1.4 \times 10^{-24} \nu^{1.6}$ é o coeficiente de absorção e $B_\nu(T_{\text{gr}})$ é a radiância espectral, definida como sendo a função de Planck para uma dada temperatura T_{gr} :

$$B_\nu(T_{\text{gr}}) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}, \quad (6.2)$$

onde $h = 6.62 \times 10^{-27} \text{ erg s}$ é a constante de Planck, ν é a frequência, $k = 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg/K}$ é a constante de Boltzmann e T é a temperatura da poeira.

O número total de grãos de grafite pode ser obtido através da razão entre a luminosidade total devido à emissão de poeira quente pela luminosidade de cada grão, dada pela seguinte expressão matemática:

$$N_{\text{HD}} \sim \frac{L_{\text{ir}}^{\text{HD}}}{L_{\text{ir}}^{\text{gr}}}, \quad (6.3)$$

onde $L_{\text{ir}}^{\text{HD}}$ é a luminosidade total no infravermelho, obtida a partir do fluxo integrado das componentes de corpo negro para cada uma das temperaturas incluídas na base de elementos (de 700 a 1400 K em intervalos de 100 K). Então, o fluxo integrado de cada componente de BB é multiplicado pelo fluxo de normalização dos espectros em $21\,955 \text{ \AA}$. Para encontrar $L_{\text{ir}}^{\text{gr}}$ basta integrar a Eq. 6.1 em frequência para todas as janelas de temperatura.

Finalmente, a massa de poeira quente pode ser obtida pela seguinte equação matemática (Rodríguez-Ardila; Contini; Viegas, 2005):

$$M_{\text{HD}} \sim \frac{4\pi}{3} a^3 N_{\text{HD}} \rho_{\text{gr}}, \quad (6.4)$$

onde $\rho_{\text{gr}} = 2.26 \text{ g cm}^{-3}$ é a densidade do grão.

A massa de poeira quente estimada para cada galáxia é apresentada na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Valores da massa de poeira quente das galáxias da amostra.

Galáxia	$M_{\text{HD}} (M_\odot)$	raio (pc)
Mrk 3	0.340	130
Mrk 573	0.013	160
Mrk 607	0.019	80
NGC 2110	0.029	70
NGC 3227	0.011	40
NGC 5929	0.002	80

Fonte: Autor.

Valores comumente reportados na literatura para a massa de poeira quente estão entre 4×10^{-6} e $5 \times 10^{-2} M_\odot$ (Riffel et al., 2009). As massas de poeira quente encontradas para a maioria das galáxias de nossa amostra são consistentes com os valores reportados previamente. A única exceção é a galáxia Mrk 3, que apresenta um valor de massa uma ordem de grandeza

maior do que o limite superior previamente encontrado. Isso se deve, provavelmente, ao fato de que essa galáxia está entre as que possuem um núcleo de maior luminosidade de todas as galáxias estudadas.

Como mencionado anteriormente, a componente de BB foi necessária para modelar os espectros da região central de 5/6 (83%) das galáxias de nossa amostra. Riffel et al. (2009) estudaram uma amostra de 24 galáxias Seyfert e encontraram que componentes, devido a poeira quente, são necessárias para $\sim 90\%$ (8/9) das galáxias Seyfert 1, enquanto que somente $\sim 25\%$ (4/15) das Seyfert 2 requerem essa componente. Embora a amostra utilizada neste trabalho seja pequena, encontramos a contribuição da componente de BB para a única Seyfert 1 da amostra (NGC 3227) e para 80% das galáxias Seyfert 2 (exceto NGC 5929), indicando que a melhor resolução angular dos nossos dados permitiu essa detecção, quando comparado com os espectros utilizados por Riffel et al. (2009). Resultado semelhante foi obtido para a galáxia Mrk 1066, para a qual a componente de BB foi necessária para ajustar o espectro nuclear utilizando dados obtidos com o NIFS (Riffel et al., 2010), enquanto não é encontrada evidência dessa componente utilizando um espectro de menor resolução angular (Riffel et al., 2009). Esse resultado pode ser entendido pelo fato de que, em um espectro de menor resolução angular, a emissão de poeira está diluída com a emissão da população estelar, enquanto que, em espectros de maior resolução, a contribuição do núcleo é mais importante.

A componente do tipo lei de potência foi necessária para ajustar os espectros da região central de 4 (Mrk 3, Mrk573, NGC 2110 e NGC3227) das 6 galáxias de nossa amostra. Riffel et al. (2009) encontraram que essa componente é necessária para ajustar o espectro nuclear de cerca de 50 a 60% dos objetos de sua amostra, sendo ligeiramente mais frequente em galáxias do tipo Seyfert 1. Embora nossa amostra seja pequena, observa-se que a componente de FC é detectada em uma fração similar dos objetos.

A detecção de componentes do tipo FC e BB em AGNs está relacionada com a emissão do disco de acreção e do toroide de poeira em torno do SMBH previstos pelo modelo unificado (Urry; Padovani, 1995) e a maior taxa de detecção dessas componentes em objetos do tipo 1 é esperada de acordo com esse modelo, uma vez que, em objetos do tipo 2, o disco de acreção e as regiões internas do toroide são encobertos pelo toroide de poeira. Entretanto, eventualmente a radiação dessas componentes consegue atravessar o toroide e ser detectada. A comparação de nossos resultados com os resultados da literatura indica que as componentes do AGN para a distribuição espectral de energia são mais facilmente identificadas em espectros de mais alta resolução angular.

7 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Neste trabalho apresentamos um mapeamento da distribuição espacial das populações estelares e da cinemática estelar em uma amostra de seis galáxias Seyfert próximas (Mrk 3, Mrk 573, Mrk 607, NGC 2110, NGC 3227 e NGC 5929). Utilizamos dados espectroscópicos na faixa do infravermelho próximo, obtidos com o espectrógrafo de campo integral NIFS instalado no telescópio Gemini Norte. As observações foram realizadas nas bandas J e K e os dados apresentam resoluções espaciais de poucas dezenas de parsecs para todas as galáxias da amostra.

O estudo das populações estelares foi realizado através do método de síntese espectral utilizando o código *Starlight* (Cid Fernandes et al., 2004; Cid Fernandes et al., 2005), aliado a uma base de elementos representativa, formada por modelos teóricos de espectros para 48 SSPs de Maraston (2005). Uma vez que uma significativa fração da emissão contínua de espectros nesses comprimentos se deve a estrelas que estão na fase TP-AGB, portanto, uma base de elementos confiável deve conter assinaturas dessas estrelas, o que justifica a escolha da base adotada. Além das componentes para as SPs, foram incluídas uma componente para a emissão do tipo lei de potência e 8 componentes para a contribuição tipo corpo negro, esperada no núcleo das galáxias devido a emissão do disco de acreção e toroide de poeira, respectivamente. Apresentamos mapas para as contribuições das diferentes SPs para o fluxo em 21 955 Å e para a massa estelar. Esses mapas são construídos separando as SSPs da base de elementos em quatro bins de idade: SP jovem ($x_y \leq 100$ Manos), SP jovem-intermediária ($100 < x_y \leq 700$ Manos), SP intermediária-velha ($700 \text{ Manos} < x_{io} \leq 2$ Ganos) e SP velha ($2 < x_o \leq 13$ Ganos). Também apresentamos mapas para as componentes de FC e BB, quando necessárias para o ajuste dos espectros observados.

As medidas da cinemática estelar foram obtidas a partir do ajuste das bandas do CO em $2.3 \mu\text{m}$ utilizando o código pPXF (Cappellari; Emsellem, 2004) em combinação com *templates* de espectros estelares de estrelas de tipo tardio, obtidos com os telescópios Gemini (Winge; Riffel; Storchi-Bergmann, 2009).

Os principais resultados deste trabalho são:

- Os campos de velocidades estelares observados para cinco galáxias apresentam padrões característicos de discos em rotação, com amplitudes de velocidades variando de 80 a 170 km s^{-1} . Para a galáxia Mrk 3 não obtivemos medidas da cinemática estelar, uma vez que as bandas do CO são muito fracas ou ausentes em seus espectros.
- Os mapas de dispersão de velocidades apresentam estruturas de mais baixos valores ($\sigma \approx 50\text{-}80 \text{ km s}^{-1}$) em forma de anéis parciais em torno do núcleo para três galáxias (Mrk 573, NGC 2110 e NGC 5929). Para Mrk 607 os menores valores são observados ao longo do eixo menor da galáxia e para NGC 3227 o mapa de σ apresenta um gradiente com os maiores valores observados no núcleo e os menores valores próximo às bordas do

campo.

- Até a realização deste trabalho, o estudo das populações estelares utilizando o método de síntese espectral com dados de IFUs no infravermelho próximo havia sido realizado somente para quatro galáxias ativas. Dessa forma, nossa amostra de seis objetos, representa uma ampliação de 150% no número de galáxias estudadas.
- Os mapas para as contribuições das diferentes SPs em fluxo e massa indicam que as estruturas de baixos valores de σ podem estar associadas a populações de idades intermediárias, as quais ainda não atingiram o equilíbrio orbital com as estrelas do bojo e ainda preservam a cinemática do gás que as formou.
- Os valores médios das idades das SPs em todo o campo observado apresentam uma variação de menos de 1 bilhão de anos entre as diferentes galáxias da amostra. O intervalo de idades médias observado para as galáxias de nossa amostra está entre os valores observados para a região central de galáxias ativas em trabalhos anteriores (Riffel et al., 2009).
- Observamos uma tendência dos AGNs de maior luminosidade apresentarem populações estelares ligeiramente mais velhas, em desacordo com resultados obtidos em comprimentos de onda óticos. Entretanto, para verificar a existência de uma correlação entre a luminosidade do AGN e a idade média das SPs é necessário ampliar a amostra, uma vez que nossa amostra contém apenas seis objetos.
- Para duas galáxias da amostra (Mrk 573 e NGC 2110) a componente estelar jovem na região central da galáxia está associada a emissão de gás molecular quente (traçada pela emissão da linha $H_2 \lambda 2.1218 \mu m$), indicando que esse gás pode ser excitado por estrelas formadas recentemente. Resultado semelhante é obtido em Storchi-Bergmann et al. (2012) para a galáxia NGC 1068.
- Para cinco objetos da amostra (Mrk 3, Mrk 573, Mrk 607, NGC 2110, NGC 3227) detectou-se a contribuição de componentes de BB no núcleo, sendo não resolvidas pelas observações. Essas contribuições foram utilizadas para estimar a massa de poeira quente associada a emissão. Encontramos valores de 0.002 a $0.3 M_{\odot}$, consistentes com os valores obtidos para outras galáxias. Ressalta-se que essa massa representa somente a poeira quente, esperada na região interna do toroide em torno do SMBH, previsto pelo modelo unificado de AGNs.
- Contribuições do tipo lei de potência foram necessárias para o ajuste dos espectros da região central de quatro galáxias (Mrk 3, Mrk 573, NGC 2110, NGC 3227), apresentando contribuições de 10-30% do fluxo na banda K.

Como continuidade deste trabalho, pretendemos realizar a síntese espectral de todas as galáxias da amostra apresentada no artigo do Apêndice A.4, cujas observações ainda estão em andamento.

Para galáxias com dados de IFUs óticas disponíveis é interessante a realização da síntese espectral incluindo ambas observações, óticas e no infravermelho próximo, uma vez que as populações estelares que contribuem para a emissão nessas bandas são diferentes.

Finalmente, para elaborar um cenário confiável a cerca da distribuição de populações estelares em galáxias ativas através do método de síntese espectral, é essencial que os dados observados e os espectros das SSPs apresentem características físicas comuns. Para isso, é necessário a construção de novos modelos de SSPs com resoluções espectrais melhores e que contenham características espectrais de todas as populações estelares que contribuem para o espectro observado das galáxias. Pois, só assim poderemos obter uma estatística robusta quanto aos processos evolutivos de galáxias caracterizados pela síntese espectral de populações estelares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ajello, M. et al. The 60 Month All-sky Burst Alert Telescope Survey of Active Galactic Nucleus and the Anisotropy of nearby AGNs. **The Astrophysical Journal**, v. 749, p. 21, abr. 2012.

Allington-Smith, J. R. et al. New techniques for integral field spectroscopy - I. Design, construction and testing of the GNIRS IFU. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 371, p. 380–394, set. 2006.

Alloin, D. et al. Central Regions of Early-Type and Spiral Galaxies in the Uv: Nature of the UV Turnup and Probes of Starburst Activity. In: Wamsteker, W.; Gonzalez Riestra, R.; Harris, B. (Ed.). **Ultraviolet Astrophysics Beyond the IUE Final Archive**. [S.l.: s.n.], 1998. (ESA Special Publication, v. 413), p. 545.

Asari, N. V. et al. 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.

Asplund, M. et al. The Chemical Composition of the Sun. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 47, p. 481–522, set. 2009.

Baade, W. The Resolution of Messier 32, NGC 205, and the Central Region of the Andromeda Nebula. **The Astrophysical Journal**, v. 100, p. 137, set. 1944.

Barvainis, R. Hot dust and the near-infrared bump in the continuum spectra of quasars and active galactic nuclei. **The Astrophysical Journal**, v. 320, p. 537–544, set. 1987.

_____. Hot dust and the near-infrared bump in the continuum spectra of quasars and active galactic nuclei. **The Astrophysical Journal**, v. 320, p. 537–544, set. 1987.

Bianchi, S. et al. High-resolution X-ray spectroscopy and imaging of Mrk 573. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 405, p. 553–563, jun. 2010.

_____. The XMM-Newton view of Mrk 3 and IXO 30. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 360, p. 380–389, jun. 2005.

Bica, E.; Alloin, D. A base of star clusters for stellar population synthesis. **Astronomy and Astrophysics**, v. 162, p. 21–31, jul. 1986.

Bica, E. et al. Globular cluster system and Milky Way properties revisited. **Astronomy and Astrophysics**, v. 450, p. 105–115, abr. 2006.

Blöcker, T.; Schoenberner, D. A 7-solar-mass AGB model sequence not complying with the core mass-luminosity relation. **Astronomy and Astrophysics**, v. 244, p. L43–L46, abr. 1991.

Boisson, C. et al. Stellar populations in active galactic nuclei. II. Population synthesis. **Astronomy and Astrophysics**, v. 357, p. 850–870, maio 2000.

Bonatto, C.; Bica, E. Old open clusters in the inner Galaxy: FSR 1744, FSR 89 and FSR 31. **Astronomy and Astrophysics**, v. 473, p. 445–455, out. 2007.

Bonatto, C. et al. Probing disk properties with open clusters. **Astronomy and Astrophysics**, v. 446, p. 121–135, jan. 2006.

Boothroyd, A. I.; Sackmann, I.-J.; Wasserburg, G. J. Hot bottom burning in asymptotic giant branch stars and its effect on oxygen isotopic abundances. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 442, p. L21–L24, mar. 1995.

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

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

Cardamone, C. N.; Moran, E. C.; Kay, L. E. “Hidden” Seyfert 2 Galaxies in the Chandra Deep Field North. **The Astronomical Journal**, v. 134, p. 1263–1275, set. 2007.

Cardelli, J. A.; Clayton, G. C.; Mathis, J. S. The relationship between infrared, optical, and ultraviolet extinction. **The Astrophysical Journal**, v. 345, p. 245–256, out. 1989.

Cassisi, S.; Castellani, M.; Castellani, V. Intermediate-age metal deficient stellar populations: the case of metallicity $Z=0.00001$. **Astronomy and Astrophysics**, v. 317, p. 108–113, jan. 1997.

Chapman, S. C.; Morris, S. L.; Walker, G. A. H. Near-infrared adaptive optics imaging of nuclear spiral structure in the Seyfert galaxy NGC 3227. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 319, p. 666–676, dez. 2000.

Charlot, S.; Bruzual, A. G. Stellar population synthesis revisited. **The Astrophysical Journal**, v. 367, p. 126–140, jan. 1991.

Cid Fernandes, R. et al. The stellar populations of low-luminosity active galactic nuclei - III. Spatially resolved spectral properties. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 356, p. 270–294, jan. 2005.

Cid Fernandes, R. et al. The star formation history of Seyfert 2 nuclei. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 355, p. 273–296, nov. 2004.

Cid Fernandes, R. et al. 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.

Content, R. New design for integral field spectroscopy with 8-m telescopes. In: Ardeberg, A. L. (Ed.). **Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series**. [S.l.: s.n.], 1997. (Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, v. 2871), p. 1295–1305.

Cushing, M. C.; Rayner, J. T.; Vacca, W. D. An Infrared Spectroscopic Sequence of M, L, and T Dwarfs. **The Astrophysical Journal**, v. 623, p. 1115–1140, abr. 2005.

Daddi, E. et al. Passively Evolving Early-Type Galaxies at $1.4 < z < 2.5$ in the Hubble Ultra Deep Field. **The Astrophysical Journal**, v. 626, p. 680–697, jun. 2005.

Dametto, N. Z. et al. Probing the circumnuclear stellar populations of starburst galaxies in the near-infrared. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 443, p. 1754–1778, set. 2014.

Davies, R. I. et al. A Close Look at Star Formation around Active Galactic Nuclei. **The Astrophysical Journal**, v. 671, p. 1388–1412, dez. 2007.

_____. The Star-forming Torus and Stellar Dynamical Black Hole Mass in the Seyfert 1 Nucleus of NGC 3227. **The Astrophysical Journal**, v. 646, p. 754–773, ago. 2006.

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

Diniz, M. R.; Riffel, R. A. Uma Biblioteca de Espectros Estelares no Infravermelho Próximo para Medidas de Cinemática Estelar em Galáxias. **Ciência e Natura**, v. 33, p. 43–56, ago. 2011.

Diniz, M. R. et al. Disentangling the near-infrared continuum spectral components of the inner 500 pc of Mrk 573: two-dimensional maps. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 469, p. 3286–3295, ago. 2017.

_____. Feeding versus feedback in AGN from near-infrared IFU observations XI: NGC 2110. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 453, p. 1727–1739, out. 2015.

Dors JR., O. L. et al. Ages and metallicities of circumnuclear star formation regions from Gemini IFU observations. **Astronomy and Astrophysics**, v. 482, p. 59–65, abr. 2008.

Durré, M.; Mould, J. Young Star Clusters in the Circumnuclear Region of NGC 2110. **The Astrophysical Journal**, v. 784, p. 79, mar. 2014.

Fathi, K. et al. Streaming Motions toward the Supermassive Black Hole in NGC 1097. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 641, p. L25–L28, abr. 2006.

Fenner, Y. et al. Modelling self-pollution of globular clusters from asymptotic giant branch stars. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 353, p. 789–795, set. 2004.

Ferguson, J. W.; Korista, K. T.; Ferland, G. J. Physical Conditions of the Coronal Line Region in Seyfert Galaxies. **The Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 110, p. 287–297, jun. 1997.

Ferrarese, L.; Ford, H. Supermassive Black Holes in Galactic Nuclei: Past, Present and Future Research. **Space Science Reviews**, v. 116, p. 523–624, fev. 2005.

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

Filippenko, A. V.; Ho, L. C.; Sargent, W. L. W. HST observations of NGC 4395, the least luminous Seyfert 1 nucleus - Evidence against the starburst hypothesis for broad-lined active galactic nuclei. **The Astrophysical Journal**, v. 410, p. L75–L78, jun. 1993.

Fischer, T. C. et al. Gemini Near Infrared Field Spectrograph Observations of the Seyfert 2 Galaxy Mrk 573: In Situ Acceleration of Ionized and Molecular Gas off Fueling Flows. **The Astrophysical Journal**, v. 834, p. 30, jan. 2017.

Frank, J.; King, A.; Raine, D. J. **Accretion Power in Astrophysics: Third Edition**. [S.l.: s.n.], 2002. 398 p.

Friel, E. D. The Old Open Clusters Of The Milky Way. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 33, p. 381–414, 1995.

García-Hernández, D. A.; Manchado, A. On the formation of molecules and solid-state compounds from the AGB to the PN phases. In: **Journal of Physics Conference Series**. [S.l.: s.n.], 2016. (Journal of Physics Conference Series, v. 728), p. 032009.

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

González Delgado, R. M. et al. Is a Minor Merger Driving the Nuclear Activity in the Seyfert 2 Galaxy NGC 2110? **The Astrophysical Journal**, v. 579, p. 188–204, nov. 2002.

_____. Star formation along the Hubble sequence. Radial structure of the star formation of CALIFA galaxies. **Astronomy & Astrophysics**, v. 590, p. A44, maio 2016.

_____. The CALIFA survey across the Hubble sequence. Spatially resolved stellar population properties in galaxies. **Astronomy & Astrophysics**, v. 581, p. A103, set. 2015.

González Delgado, R. M.; Heckman, T.; Leitherer, C. The Nuclear and Circumnuclear Stellar Population in Seyfert 2 Galaxies: Implications for the Starburst-Active Galactic Nucleus Connection. **The Astrophysical Journal**, v. 546, p. 845–865, jan. 2001.

González Delgado, R. M. et al. Ultraviolet-Optical Observations of the Seyfert 2 Galaxies NGC 7130, NGC 5135, and IC 3639: Implications for the Starburst-Active Galactic Nucleus Connection. **The Astrophysical Journal**, v. 505, p. 174–198, set. 1998.

González Delgado, R. M.; Perez, E. The circumnuclear region in the Seyfert 1 galaxy NGC 3227. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 284, p. 931–945, fev. 1997.

Gratton, R. G.; Carretta, E.; Bragaglia, A. Multiple populations in globular clusters. Lessons learned from the Milky Way globular clusters. **The Astronomy and Astrophysics Review**, v. 20, p. 50, fev. 2012.

Heckman, T. M. Star Formation in Active Galaxies: A Spectroscopic Perspective. **Coevolution of Black Holes and Galaxies**, p. 358, 2004.

Heckman, T. M.; Best, P. N. The Coevolution of Galaxies and Supermassive Black Holes: Insights from Surveys of the Contemporary Universe. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 52, p. 589–660, ago. 2014.

Heckman, T. M. et al. A Powerful Nuclear Starburst in the Seyfert Galaxy Markarian 477: Implications for the Starburst-Active Galactic Nucleus Connection. **The Astrophysical Journal**, v. 482, p. 114–132, jun. 1997.

Imanishi, M. 3-4 Micron Spectroscopy of Seyfert 2 Nuclei to Quantitatively Assess the Energetic Importance of Compact Nuclear Starbursts. **The Astrophysical Journal**, v. 569, p. 44–53, abr. 2002.

Imanishi, M.; Alonso-Herrero, A. Near-infrared K-Band Spectroscopic Investigation of Seyfert 2 Nuclei in the CfA and 12 Micron Samples. **The Astrophysical Journal**, v. 614, p. 122–134, out. 2004.

Imanishi, M.; Dudley, C. C. Energy Diagnoses of Nine Infrared Luminous Galaxies Based on 3-4 Micron Spectra. **The Astrophysical Journal**, v. 545, p. 701–711, dez. 2000.

Jablonka, P.; Gorgas, J.; Goudfrooij, P. Stellar Populations in Bulges of Spiral Galaxies. **Astrophysics and Space Science**, v. 281, p. 367–370, jul. 2002.

Jaffe, W. et al. The central dusty torus in the active nucleus of NGC 1068. **Nature**, v. 429, p. 47–49, maio 2004.

Karakas, A. I. et al. The Chemical Evolution of Helium in Globular Clusters: Implications for the Self-Pollution Scenario. **The Astrophysical Journal**, v. 652, p. 1240–1245, dez. 2006.

- Karakas, A. I.; Lattanzio, J. C. The Dawes Review 2: Nucleosynthesis and Stellar Yields of Low- and Intermediate-Mass Single Stars. **Publications of the Astronomical Society of Australia**, v. 31, p. e030, jul. 2014.
- Kauffmann, G. et al. The host galaxies of active galactic nuclei. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 346, p. 1055–1077, dez. 2003.
- Kawaguchi, T.; Shimura, T.; Mineshige, S. Spectral energy distributions of active galactic nuclei from an accretion disk with advective coronal flow. **New Astronomy Reviews**, v. 44, p. 443–445, set. 2000.
- Kennicutt JR., R. C. et al. The effects of interactions on spiral galaxies. II - Disk star-formation rates. **Astronomical Journal**, v. 93, p. 1011–1023, maio 1987.
- Kishimoto, M. et al. Ultraviolet Imaging Polarimetry of the Seyfert 2 Galaxy Markarian 3. **The Astrophysical Journal**, v. 565, p. 155–162, jan. 2002.
- Knapen, J. H.; Shlosman, I.; Peletier, R. F. A Subarcsecond Resolution Near-Infrared Study of Seyfert and “Normal” Galaxies. II. Morphology. **The Astrophysical Journal**, v. 529, p. 93–100, jan. 2000.
- Kobayashi, C. et al. Evolution of Fluorine in the Galaxy with the ν -process. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 739, p. L57, out. 2011.
- Kobayashi, C.; Karakas, A. I.; Umeda, H. The evolution of isotope ratios in the Milky Way Galaxy. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 414, p. 3231–3250, jul. 2011.
- Koratkar, A.; Blaes, O. The ultraviolet and optical continuum emission in active galactic nuclei: The status of accretion disks. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 111, p. 1–30, jan. 1999.
- LaMassa, S. M. et al. Uncovering Obscured Active Galactic Nuclei in Homogeneously Selected Samples of Seyfert 2 Galaxies. **The Astrophysical Journal**, v. 729, p. 52, mar. 2011.
- Lattanzio, J. C. Hot bottom burning in a 5 solar mass model. **Proceedings of the Astronomical Society of Australia**, v. 10, p. 120, 1992.
- Maiolino, R. et al. Molecular Gas, Morphology, and Seyfert Galaxy Activity. **The Astrophysical Journal**, v. 485, p. 552–569, ago. 1997.
- Maraston, C. Evolutionary synthesis of stellar populations: a modular tool. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 300, p. 872–892, nov. 1998.
- _____. Evolutionary population synthesis: models, analysis of the ingredients and application to high- z galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 362, p. 799–825, set. 2005.
- Maraston, C. et al. Evidence for TP-AGB Stars in High-Redshift Galaxies, and Their Effect on Deriving Stellar Population Parameters. **The Astrophysical Journal**, v. 652, p. 85–96, nov. 2006.
- Marigo, P. et al. Evolution of asymptotic giant branch stars. II. Optical to far-infrared isochrones with improved TP-AGB models. **Astronomy and Astrophysics**, v. 482, p. 883–905, maio 2008.
- Martins, L. P. et al. A spectral atlas of H II galaxies in the near-infrared. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 431, p. 1823–1839, maio 2013.

Mateus, A. et al. 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.

Melbourne, J.; Boyer, M. L. The Contribution of Thermally-Pulsing Asymptotic Giant Branch and Red Super Giant Stars to the Luminosities of the Magellanic Clouds at 1-24 μm . **ArXiv e-prints**, dez. 2012.

Melbourne, J. et al. The Contribution of TP-AGB and RHeB Stars to the Near-IR Luminosity of Local Galaxies: Implications for Stellar Mass Measurements of High-redshift Galaxies. **The Astrophysical Journal**, v. 748, p. 47, mar. 2012.

Miller, J. S.; Goodrich, R. W. Spectropolarimetry of high-polarization Seyfert 2 galaxies and unified Seyfert theories. **The Astrophysical Journal**, v. 355, p. 456–467, jun. 1990.

Mizutani, K.; Suto, H.; Maihara, T. 3.3 micron emission feature in infrared galaxies. **The Astrophysical Journal**, v. 421, p. 475–480, fev. 1994.

Mundell, C. G. et al. Neutral hydrogen studies of the Seyfert galaxy NGC 3227. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 277, p. 641–654, nov. 1995.

Nemmen, R. S.; Storchi-Bergmann, T.; Eracleous, M. Spectral models for low-luminosity active galactic nuclei in LINERs: the role of advection-dominated accretion and jets. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 438, p. 2804–2827, mar. 2014.

Nomoto, K.; Kobayashi, C.; Tominaga, N. Nucleosynthesis in Stars and the Chemical Enrichment of Galaxies. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 51, p. 457–509, ago. 2013.

Norman, C.; Scoville, N. The evolution of starburst galaxies to active galactic nuclei. **The Astrophysical Journal**, v. 332, p. 124–134, set. 1988.

Oliva, E. et al. Red supergiants as starburst tracers in galactic nuclei. **Astronomy and Astrophysics**, v. 301, p. 55, set. 1995.

_____. Size and physical conditions of the coronal line region in a nearby Seyfert 2: the Circinus galaxy. **Astronomy and Astrophysics**, v. 288, p. 457–465, ago. 1994.

Origlia, L.; Moorwood, A. F. M.; Oliva, E. The 1.5-1.7 micrometer spectrum of cool stars: Line identifications, indices for spectral classification and the stellar content of the Seyfert galaxy NGC 1068. **Astronomy and Astrophysics**, v. 280, p. 536–550, dez. 1993.

Osterbrock. Seyfert galaxies with weak broad H alpha emission lines. **The Astrophysical Journal**, v. 249, p. 462–470, out. 1981.

Osterbrock, D. E.; Ferland, G. J. **Book-Review - Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei**. 2. ed. CA: University Science Books, 2006.

Pastoriza, M. G. et al. The eco-system of active galactic nuclei: a near infrared perspective. **Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía La Plata Argentina**, v. 52, p. 401–405, 2009.

Pérez, E. et al. The Evolution of Galaxies Resolved in Space and Time: A View of Inside-out Growth from the CALIFA Survey. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 764, p. L1, fev. 2013.

Peterson, M. B. Book Review: An introduction to active galactic nuclei / Cambridge U Press, 1997. **The Observatory**, v. 117, p. 314, out. 1997.

Pogge, R. W. Ionized gas in the nuclear regions of nearby non-Seyfert spiral galaxies. **The Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 71, p. 433–453, nov. 1989.

Raimann, D. et al. Population synthesis of Hii galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 314, p. 295–306, maio 2000.

_____. Gas properties of Hii and starburst galaxies: relation with the stellar population. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 316, p. 559–568, ago. 2000.

_____. Stellar population gradients in Seyfert 2 galaxies: northern sample. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 339, p. 772–792, mar. 2003.

Ramos Almeida, C.; Pérez García, A. M.; Acosta-Pulido, J. A. Near-Infrared Spectroscopy of Seyfert Galaxies. Nuclear Activity and Stellar Population. **The Astrophysical Journal**, v. 694, p. 1379–1394, abr. 2009.

Rayner, J. T.; Cushing, M. C.; Vacca, W. D. The Infrared Telescope Facility (IRTF) Spectral Library: Cool Stars. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 185, p. 289–432, dez. 2009.

Rembold, S. B.; Pastoriza, M. G. The cluster of galaxies LCDCS-S001: basic spectroscopic data and stellar population. v. 374, p. 1056–1066, jan. 2007.

Riffel, R. et al. The stellar spectral features of nearby galaxies in the near infrared: tracers of thermally pulsing asymptotic giant branch stars? **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 450, p. 3069–3079, jul. 2015.

_____. The First Detection of Near-Infrared CN Bands in Active Galactic Nuclei: Signature of Star Formation. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 659, p. L103–L106, abr. 2007.

_____. The stellar populations of starburst galaxies through near-infrared spectroscopy. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 388, p. 803–814, ago. 2008.

_____. Probing the near-infrared stellar population of Seyfert galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 400, p. 273–290, nov. 2009.

_____. Intermediate-age stars as the origin of low stellar velocity dispersion nuclear rings: the case of Mrk 1157. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 416, p. 493–500, set. 2011.

Riffel, R.; Rodríguez-Ardila, A.; Pastoriza, M. G. A 0.8–2.4 μm spectral atlas of active galactic nuclei. **Astronomy and Astrophysics**, v. 457, p. 61–70, out. 2006.

Riffel, R. et al. Near-infrared integrated spectra of Galactic globular clusters: testing simple stellar population models. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 410, p. 2714–2724, fev. 2011.

Riffel, R. A. et al. AGN-starburst connection in NGC7582: Gemini near-infrared spectrograph integral field unit observations. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 393, p. 783–797, mar. 2009.

Riffel, R. A.; Storchi-Bergmann, T.; McGregor, P. J. The Dusty Nuclear Torus in NGC 4151: Constraints from Gemini Near-Infrared Integral Field Spectrograph Observations. **The Astrophysical Journal**, v. 698, p. 1767–1770, jun. 2009.

Riffel, R. A. et al. Intermediate-age Stars as Origin of the Low-velocity Dispersion Nuclear Ring in Mrk 1066. **The Astrophysical Journal**, v. 713, p. 469–474, abr. 2010.

_____. Gemini NIFS survey of feeding and feedback processes in nearby active galaxies - I. Stellar kinematics. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 470, p. 992–1016, set. 2017.

_____. Mapping of molecular gas inflow towards the Seyfert nucleus of NGC4051 using Gemini NIFS. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 385, p. 1129–1142, abr. 2008.

Rodríguez-Ardila, A.; Contini, M.; Viegas, S. M. The continuum and narrow-line region of the narrow-line Seyfert 1 galaxy Mrk 766. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 357, p. 220–234, fev. 2005.

Rodríguez-Ardila, A. et al. Outflows of Very Ionized Gas in the Centers of Seyfert Galaxies: Kinematics and Physical Conditions. **The Astrophysical Journal**, v. 653, p. 1098–1114, dez. 2006.

Rodríguez-Ardila, A.; Viegas, S. M. Hidden starbursts in Seyfert 1 galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 340, p. L33–L37, abr. 2003.

Sales, D. A.; Pastoriza, M. G.; Riffel, R. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon and Emission Line Ratios in Active Galactic Nuclei and Starburst Galaxies. **The Astrophysical Journal**, v. 725, p. 605–614, dez. 2010.

Salpeter, E. E. The Luminosity Function and Stellar Evolution. **The Astrophysical Journal**, v. 121, p. 161, jan. 1955.

Schinnerer, E.; Eckart, A.; Tacconi, L. J. The Nuclear Stellar Cluster in the Seyfert 1 Galaxy NGC 3227: High Angular Resolution Near-Infrared Imaging and Spectroscopy. **The Astrophysical Journal**, v. 549, p. 254–273, mar. 2001.

Schmidt, M.; Green, R. F. Quasar evolution derived from the Palomar bright quasar survey and other complete quasar surveys. **The Astrophysical Journal**, v. 269, p. 352–374, jun. 1983.

Schmitt, H. R.; Bica, E.; Pastoriza, M. G. Spectral analysis of the nuclear stellar population and gas emission in NGC 6240. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 278, p. 965–974, fev. 1996.

Schmitt, H. R. et al. A Comparison of Radio Axis with Host Galaxy Plane Axis in Seyfert Galaxies. **The Astrophysical Journal**, v. 477, p. 623–630, mar. 1997.

Schmitt, H. R.; Storchi-Bergmann, T.; Cid Fernandes, R. Spectral synthesis of the nuclear regions of Seyfert 2 and radio galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 303, p. 173–178, fev. 1999.

Schneider, P. **Extragalactic Astronomy and Cosmology**. [S.l.: s.n.], 2006.

Schönell JR., A. J. et al. Feeding versus feedback in active galactic nuclei from near-infrared integral field spectroscopy - XII. NGC 5548. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 464, p. 1771–1782, jan. 2017.

Shlosman, I.; Begelman, M. C.; Frank, J. The fuelling of active galactic nuclei. **Nature**, v. 345, p. 679–686, jun. 1990.

Shlosman, I.; Frank, J.; Begelman, M. C. Bars within bars - A mechanism for fuelling active galactic nuclei. **Nature**, v. 338, p. 45–47, mar. 1989.

Shu, X. W.; Yaqoob, T.; Wang, J. X. The Cores of the Fe $K\alpha$ Lines in Active Galactic Nuclei: An Extended Chandra High Energy Grating Sample. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 187, p. 581–606, abr. 2010.

Sloan, G. C. et al. The Magellanic Zoo: Mid-Infrared Spitzer Spectroscopy of Evolved Stars and Circumstellar Dust in the Magellanic Clouds. **The Astrophysical Journal**, v. 686, p. 1056–1081, out. 2008.

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

Storchi-Bergmann, T. et al. Circumnuclear Stellar Population, Morphology, and Environment of Seyfert 2 Galaxies: An Evolutionary Scenario. **The Astrophysical Journal**, v. 559, p. 147–156, set. 2001.

_____. The Frequency of Nuclear Star Formation in Seyfert 2 Galaxies. **The Astrophysical Journal**, v. 544, p. 747–762, dez. 2000.

_____. Two-dimensional Mapping of Young Stars in the Inner 180 pc of NGC 1068: Correlation with Molecular Gas Ring and Stellar Kinematics. **The Astrophysical Journal**, v. 755, p. 87, ago. 2012.

Terlevich, E.; Diaz, A. I.; Terlevich, R. On the behaviour of the IR CA II triplet in normal and active galaxies. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 242, p. 271–284, jan. 1990.

Tran, H. D. The Nature of Seyfert 2 Galaxies with Obscured Broad-Line Regions. I. Observations. **The Astrophysical Journal**, v. 440, p. 565, fev. 1995.

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

Tsvetanov, Z.; Walsh, J. R. Anisotropic ionizing radiation in Seyfert galaxies. I - The extended narrow-line region in Markarian 573. **The Astrophysical Journal**, v. 386, p. 485–497, fev. 1992.

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

Ventura, P.; D'Antona, F. Massive AGB models of low metallicity: the implications for the self-enrichment scenario in metal-poor globular clusters. **Astronomy and Astrophysics**, v. 499, p. 835–846, jun. 2009.

Wallerstein, G.; Knapp, G. R. Carbon Stars. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 36, p. 369–434, 1998.

Wilkes, B. The Spectral Energy Distributions of Active Galactic Nuclei. In: Ferland, G.; Baldwin, J. (Ed.). **Quasars and Cosmology**. [S.l.: s.n.], 1999. (Astronomical Society of the Pacific Conference Series, v. 162), p. 15.

Winge, C.; Riffel, R. A.; Storchi-Bergmann, T. The Gemini Spectral Library of Near-IR Late-Type Stellar Templates and Its Application for Velocity Dispersion Measurements. **The Astrophysical Journal Supplement**, v. 185, p. 186–197, nov. 2009.

APÊNDICE A – PUBLICAÇÕES

A.1 ARTIGO PUBLICADO: FISCHER ET AL. (2017)

Gemini Near Infrared Field Spectrograph Observations of the Seyfert 2 Galaxy Mrk 573: In Situ Acceleration of Ionized and Molecular Gas off Fueling Flows

Fischer, T. C., Machuca, C., Diniz, M. R., Crenshaw, D. M., Kraemer, S. B., Riffel, R. A., Schmitt, H. R., Baron, F., Storchi-Bergmann, T., Straughn, A. N., Revalski, M. e Pope, C. L. The Astrophysical Journal, v. 834, p. 30, jan. 2017.

A.2 ARTIGO PUBLICADO: DINIZ ET AL. (2017)

Disentangling the near-infrared continuum spectral components of the inner 500 pc of Mrk 573: two-dimensional maps

Diniz, M. R., Riffel, R. A., Riffel, R., Crenshaw, D. M., Storchi-Bergmann, T., Fischer, T. C., Schmitt, H. R. e Kraemer, S. B. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, v. 469, p. 3286, aug. 2017.

A.3 ARTIGO PUBLICADO: RIFFEL ET AL. (2017A)

Gemini NIFS survey of feeding and feedback processes in nearby active galaxies - I. Stellar kinematics

Riffel, R. A., Storchi-Bergmann, T., Riffel, R., Dahmer-Hahn, L. G., Diniz, M. R., Schönell, A. J. e Dametto, N. Z. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, v. 470, p. 992, sep. 2017.

A.4 ARTIGO EM FASE DE SUBMISSÃO: RIFFEL ET AL. (2017B)

Gemini NIFS survey of feeding and feedback processes in nearby Active Galaxies: II -The sample and surface mass density profiles

Riffel, R. A., Storchi-Bergamann, T., Riffel, R., Davies, R., Bianchin, M., Schönell, A. J., Diniz, M. R., Burtscher, L., Crenshaw, M., Fischer, T. C., Dahmer-Hahn, L. G., Dametto, N. Z. e Rosario, D. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, em fase de submissão.