UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ-UNIFEI INSTITUTO DE FÍSICA

GIUANA ALVES DA SILVA

Estudo de galáxias aneladas peculiares do universo local.

Prof. Hektor Monteiro Orientador

Prof. Max Faúndez Abans Co-orientador

Itajubá, Julho de 2018

Estudo de galáxias aneladas peculiares do universo local.

Giuana Alves da Silva

Projeto Final de Curso submetido ao Departamento de Física do Instituto de Física e Química da Universidade Federal de Itajubá como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Física.

Apresentado por:

Giuana Alues da Silva

Giuana Alves da Silva

Aprovado por:

Alto strenos Man Monterio

Prof. Hektor Monteiro Max F. Abaus

Prof. Max Faúndez Abans Peppy-

Prof. Paulo César da Rocha Poppe.

Seent R. a.

Prof. Alberto Rodriguez Ardila.

ITAJUBÁ, MG - BRASIL Julho de 2018

Agradecimentos

Ao longo da trajetória do mestrado encontrei pessoas e vivenciei situações que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional. Chego ao final dessa etapa com a certeza de que não teria obtido sucesso sem o amparo de todos os que estão à minha volta. Desse modo, meus sinceros agradecimentos a todos que possibilitaram que esse sonho se tornasse realidade. Em especial, agradeço a Deus pois sei que sem ele nada posso fazer.

Agradeço em particular à minha família que sempre me estimulou a nunca desistir; ao meu companheiro, Walison, que me motivou a cada dificuldade encontrada; a Paulo Poppe e Vera Martin, que acreditaram e incentivaram quando ninguém olhava. Não poderia esquecer do meu orientador, Prof. Dr. Hektor Monteiro, pela disponibilidade e paciência, e do meu co-orientador, Dr. Max Abans, pelo acolhimento. Além destes, agradeço ao grupo de pesquisa em astrofísica por todo suporte. Da mesma forma, à FAPEMIG e à CAPES, pelo auxílio financeiro. Não deixaria de agradecer às pessoas que contribuíram para a classificação visual, sendo de suma importância para a construção deste trabalho: Barbara, Carlos, Patricia, Eric, Janaina, João Paulo, João e Luan. Por fim, agradeço a todos os meus amigos de Itajubá e Feira de Santana pelas palavras de encorajamento.

RESUMO

Neste trabalho investigamos uma possível relação entre a morfologia das galáxias peculiares aneladas e suas propriedades fotométricas. A base de dados é oriunda de trabalhos e catálogos já disponíveis na literatura. Originalmente foi proposta na literatura uma classificação visual das galáxias aneladas, dividindo-as em cinco tipos principais: Polar, Hoag, Aneis Elípticos, Irregulares e Centralmente suaves com base em 489 objetos considerados peculiares contidos no catálogo "Catalogue of Southern Peculiar Galaxies and Associations". Partindo de imagens usadas previamente e incluindo novas imagens obtidas dos surveys DSS2, 2MASS, WISE e GALEX fizemos a classificação visual dos objetos segundo as subcategorias propostas anteriormente, com exceção das polares, por serem já bem definidas. As imagens dos objetos, assim como imagens tratadas para realçar estruturas, foram analisadas independentemente por 10 voluntários, afim de se ter um levantamento estatístico da classificação visual. Como imagens do infravermelho próximo revelam as estruturas com população estelar velha e as imagens no óptico revelam população estelar jovens, pudemos identificar com mais propriedade as diferenças morfológicas entre anéis e núcleo dos objetos da amostra. Com a morfologia dos grupos definida obtivemos também da literatura todos os dados disponíveis que pudessem auxiliar em sua classificação, em particular a partir de diagramas cor-cor. Para tanto, obtivemos dados de fotometria nas bandas J, H e K do 2MASS e das bandas dos satélites WISE e GALEX. Coletamos também a partir da base de dados NED, os redshifts e a razão entre os eixos. A partir destes dados investigamos as relações nos diagramas cor-cor e cor redshift para sondar relações com a morfologia. Por fim, concluímos que para a nossa amostra não há relação evidente entre a morfologia e as propriedades físicas e químicas dos objetos.

Palavras-chave: Galáxias aneladas; Classificação morfológica; Fotometria.

ABSTRACT

In this work we investigate a possible relationship between the morphology of the ringed peculiar galaxies and their photometric properties. The database comes from works and catalogs already available in the literature. Originally, it was proposed in the literature a visual classification of the ringed galaxies, divided into five main types: Polar, Hoaq, Irregular and Centrally Soft Elliptical Rings based on 489 objects considered peculiar in the catalog Catalog of Southern Peculiar Galaxies and Associations. Based on previously used images and including new ones obtained from DSS2, 2MASS, WISE and GALEX the visual classification of the objects has been redrawn according to the subcategories previously proposed, with the exception of the polar ones, because they are already well defined. Images of the objects, as well as images treated to highlight structures, were independently analyzed by 10 volunteers, in order to have a statistical survey of the visual classification. As near infrared images reveal the structures with old stellar population and the images in the optic reveal young stellar population, we were able to identify with more property the morphological differences between rings and core of the sample objects. With the morphology of the groups defined, we also obtained, from the literature, all available data that could aid in its classification, particularly from color-color diagrams. For this, we obtained photometric data in the 2MASS J, H and K bands and the satellite bands WISE and GALEX. We also collect from the NED database the redshifts and the ratio between the axes. From these data we investigate the relationships in the colorcolor and redshift color diagrams to probe relations with the morphology. Finally, we conclude that for our part there is an obvious difference between morphology and physical property and the chemistry of objects.

Keywords: Ringed galaxies; Morphological classification.

Lista de Figuras

Figura 1.1:	Diagrama Hubble	4
Figura 1.2:	Galáxia Cartwheel	7
Figura 1.3:	Galáxia Mayall	9
Figura 1.4:	Galáxias: Arp 146, Arp, Arp 146 e Arp	10
Figura 1.5:	Simulação numérica	12
Figura 1.6:	NGC985	13
Figura 1.7:	Galáxia anelada AM 0644-741	14
Figura 1.8:	Esquema de classificação segundo Faundez-Abans	16
Figura 2.1:	Espectro eletromagnético.	20
Figura 2.2:	Galáxias AM 1953-260 e AM 1947-445	23
Figura 2.3:	Galáxias AM 2106-641 e ARP 318	24
Figura 2.4:	Galáxias AM 1953-260 e AM 1947-445	25
Figura 2.5:	Galáxias AM 1953-260, AM 1947-445, AM 2106-641 e ARP 318	26
Figura 2.6:	Guia de classificação morfológica	27
Figura 2.7:	Porcentagem dos 313 objetos final, dividida entre os tipos morfo-	
	lógicos classificados.	28

Figura 2	2.8:	Painéis superiores AM 2136-492, painéis inferiores FM 47-9. O segundo anel é decorrente da onda de distribuição de matéria	
		secundária.	30
Figura 2	2.9:	Galáxia AM 1133-245 o bojo emite predominantemente no ultra- violeta. Tal característica pode ser indício de AGNs ou há grande concentração de estrelas anãs brancas	31
Figura 2	2.10:	Galáxia HRG 03401, o anel emite preponderantemente no UV. Pode ser resultado de surto de formação estelar, contendo estrelas do tipo O e B.	32
Figura 2	2.11:	Galáxia AM 0103-304, bojo e anel com forte emissão no UV. Prenúncio que a interação gravitacional afetou toda a estrutura do objeto, gerando altas energias.	33
Figura 3	3.1:	Curva de sensibilidade dos filtros do 2MASS	37
Figura 3	3.2:	Curva de sensibilidade dos filtros do WISE	38
Figura 3	3.3:	Curva de sensibilidade dos filtros do GALEX	39
Figura 3	3.4:	Diagrama cor-cor WISE	42
Figura 3	3.5:	Diagrama cor-cor, com as bandas do WISE	44
Figura 3	3.6:	Densidade dos pontos de cada classe, referente as bandas do WISE	45
Figura 3	3.7:	Gráfico referente ao pico central da densidade	46
Figura 3	3.8:	WISE verso GALEX	47
Figura 3	3.9:	Imagem de baixa resolução	48
Figura 3	3.10:	Gráfico com as bandas W1 e W4, rico em poeira. \ldots	49
Figura 3	3.11:	Visualização da tendência do tipo HL	50
Figura 3	3.12:	Supostas AGNs -Tendência HL	50
Figura 3	3.13:	Gráfico GALEX.	51

Figura 3.14: Emissão no GALEX	52
Figura 3.15: Eixos.	53
Figura 3.16: Histograma de distribuição dos eixos	53
Figura 3.17: Histograma de distribuição dos tipos morfológicos pelo z	54

Lista de Tabelas

1.1	Catálogo de galáxias e associações peculiares do Sul 6
2.1	Tabela com a classificação morfológica realizada pelos autores e equipe de apoio, baseada na amostra original de [10]. Na sequên- cia são apresentados para cada objeto o nome, ascensão reta e declinação, redshift (z) e a classificação morfológica adotada 28
A.1	Objetos da amostra
B.1	Possíveis candidatos a AGNs

Sumário

$\mathbf{A}_{\mathbf{i}}$	grade	ecimentos	i	
R	Resumo ii			
A	Abstract			
Li	sta d	le Figuras	iv	
Li	sta d	le Tabelas	vii	
1	Intr	rodução		
	1.1	Galáxias	1	
	1.2	Galáxias aneladas	7	
	1.3	Motivação do trabalho	17	
2	Cla	ssificação morfológica visual das galáxias	19	
	2.1	Seleção da Amostra	19	
	2.2	Classificação Morfológica visual	21	
		2.2.1 Missões usadas para classificação visual	21	
	2.3	Resultados	26	

		2.3.1	Produto da inspeção visual	29
3	Fot	tometr	ia - Metodologia e Resultados	34
	3.1	Banco	de Dados - Ned e VizieR	34
	3.2	Dados	Fotométricos	35
		3.2.1	2MASS	36
		3.2.2	WISE	37
		3.2.3	GALEX	39
	3.3	Diagra	amas usados	40
	3.4	Diagra	amas	42
4	Cor	nclusão		55
5	Per	spectiv	zas futuras	57
Re	eferê	ncias		59
A	Am	ostra		63
в	\mathbf{Pos}	síveis (candidatos a AGNs	74
\mathbf{C}	\mathbf{Art}	igo a s	er submetido	79

Capítulo 1

Introdução

As galáxias são blocos fundamentais do universo, e nelas temos: gás, poeira, bilhões de estrelas, buracos negros, radiação e matéria escura. Todos os componentes estão ligados pela força gravitacional, assim, eles partilham propriedades e contribuem individualmente para o funcionamento do sistema. Entretanto, a depender da distribuição da matéria bariônica e do seu enriquecimento químico, as galáxias irão apresentar propriedades e morfologias diferentes.

As morfologias das galáxias dão indícios das propriedades químicas e físicas. Utilizando o aspecto visual como primeira análise, podemos compreender sobre a natureza do fenômeno. Estudar a estrutura morfológica possibilita traçar a história do universo, pois está é parte do quebra-cabeça que ao longo dos séculos está sendo montado. Com a construção desse mosaico de conhecimento podemos moldar o presente e inferir sobre o futuro.

1.1 Galáxias

Segundo os dicionários - Priberam e Aurélio - a primeira definição de galáxia é: Nome que se dá às nebulosas espirais. No século XVIII, o filósofo Immanuel Kant propôs que o Sistema Solar não era único em "nossa nebulosa" e que alguns pequenos borrões de luz vistos no céu noturno poderiam ser objetos similares à Via Láctea, porém, vistos pelo ângulo de visada do observador [15].

Ainda no século XVIII, Charles Messier criou o primeiro catálogo de "nebulosas". Seu catálogo tem 110 objetos, um dos mais conhecidos é a galáxia de Andrômeda, M31 [19]. No século XIX, Herschel criou um novo catálogo (GC- General Catalog) contendo 5000 objetos (aglomerado de estrelas e galáxias) [14]. Devido as novas descobertas, Dreyer publicou um novo catálogo o NGC- Novo Catálogo Geral [9], atualmente com mais de 13000 objetos. Apesar dos catálogos apresentarem muitos objetos, ainda não se tinha distinção clara dos processos físicos presentes nos corpos celestes.

A primeira informação física foi adquirida com o estudo espectroscópico em 1912 por Slipher [24]. Ele observou que as linhas em emissão no espectro das nebulosas apresentavam um desvio para o vermelho [25], e se afastavam com velocidade superior a da velocidade de escape da Via Láctea [26].

Só em 1917, Curtis pressupôs que as nebulosas espirais seriam galáxias independentes [5]. Em torno de 1920, explodiu a grande discussão sobre o tamanho da nossa Galáxia e a autêntica natureza das "nebulosas espirais". Curtis defendia a ideia que nossa Galáxia tem diâmetro de 10 kpc e que as nebulosas espirais são galáxias análogas a Via Láctea. Já Shapley, dizia que o diâmetro da nossa Galáxia é de 100 kpc e as "nebulosas espirais" não são equiparadas em tamanho à nossa Galáxia ¹.

Essa hipótese de Curtis foi confirmada em 1922 por Opik, quando calculou a distância precisa da galáxia Andrômeda[22], ratificando assim que as nebulosas espirais são objetos extragalácticos. O desfecho completo desse cenário foi por volta de 1923, com o astrônomo estadunidense Edwin Powell Hubble, que determinou como calcular as distâncias dos corpos celestes. Ele, notou que as galáxias mais distantes afastavam-se com velocidade maior em relação ao observador.

Assim, ele resolveu um dos problemas fundamentais da Astronomia e foi o pioneiro a classificar as galáxias segundo a morfologia. Ele identificou três tipos básicos de galáxias:

¹https://apod.nasa.gov/diamond_jubilee/debate_1920.html - acessado em: 17 de junho de 2018.

- Elípticas Forma elipsoidal que varia de E0 à E7 a depender do quão achatado é o objeto. Em geral são constituídas de estrelas velhas e frias;
- Espirais As espirais apresentam disco, halo, núcleo e braços. Podem ser classificadas como: espirais barradas e espirais não barradas. A subclassificação de ambas as classes é feita pelo grau de desenvolvimento e enrolamento dos braços e à proporção do núcleo com o disco. Nos braços a população estelar é dominada por estrelas jovens;
- Lenticulares (S0): Transição entre elípticas e espirais. São objetos isolados formados apenas por núcleo, halo e disco. Com maior concentração de estrelas velhas.

O esquema da classificação de Hubble (Figura 1.1) foi o primeiro indício de padrão morfológico no universo local. Inicialmente acreditava-se que o diagrama seguia um padrão evolutivo. As galáxias E0 (Esfero-Elípticas) ao decorrer do processo evolutivo, resultariam em E7 (Lentes-Finas), e posteriormente culminariam em galáxias Espirais ou Espirais Barradas. Entretanto, atualmente sabemos que o diagrama não é evolutivo 2 .

²http://www.astro.iag.usp.br/~thais/ceu2/outrasgalaxias.pdf - acessado em: 17 de junho de 2018.



Figura 1.1: Diagrama de Hubble, mostrando um diapasão da sequência morfológica.

A classificação morfológica de Hubble é para objetos que não passaram ou não estão passando por processos interativos. Quando há uma interação gravitacional a morfologia dos corpos envolvidos é afetada, surgindo assim a classe dos objetos irregulares, que tendem a ser mais azuis e menores que as galáxias elípticas e espirais [13]. A interação pode ser dada de três formas:

- Colisão: Associada a dimensão do objeto, ao ângulo relativo à trajetória dos corpos, e a velocidade, os objetos colidem podendo trocar material ou não, após o evento os objetos afastam-se. Devido a enorme distância entre as estrelas, elas praticamente passam ilesas pela colisão. Já os átomos, gases e poeira interagem fortemente podendo gerar o processo de formação estelar.
- Fusão: Há um desaparecimento gradativo dos objetos presentes no processo em paralelo ao aparecimento de uma estrutura única. Esse processo é fruto da proximidade das massas e da velocidade relativa dos corpos. Para o fenômeno ser denominado fusão o tamanho das galáxias interagentes devem ser semelhantes. Quando há muita discrepância, a força de maré do objeto maior pode destruir o objeto menor (chamado de canibalismo galáctico).
- Efeito de maré: Um objeto passa próximo de outro(s) e afeta o campo gravi-

tacional, gerando uma perturbação interna. Assim, a distribuição do material após o efeito da força gravitacional deve inverter o momentum angular, visto que as galáxias interagentes, provavelmente estavam rotacionando antes [12].

Em 1966, 338 galáxias do hemisfério Norte foram classificadas como peculiares pelo astrônomo Halton Arp [2]. Seu principal objetivo era divulgar as diferentes estruturas encontradas próximo da nossa Galáxia. Em 1987, Arp em colaboração com Barry F. Madore publicou o catálogo *Catalogue of Southern Peculiar Galaxies and Associations Contents*. Os objetos são divididos em 25 tipos morfológicos (Tabela 1.1). Tabela 1.1: Catálogo de galáxias e associações peculiares do Sul. Adaptado de http://ned.ipac.caltech.edu/ level5/SPGA_Atlas/frames.html - acessado em: 20 de junho de 2018

Código	Categoria
1	Galáxias com companheiras interagentes
2	Interagentes duplas
3	Interagentes triplas
4	Interagentes quádruplas
5	Interagentes quíntuplas
6	Galáxias aneladas
7	Galáxias com Jatos
8	Galáxias com companheiras aparentes
9	Tipo-M51
10	Galáxias com braços espirais peculiares
11	Galáxias com três e múltiplos braços espirais
12	Galáxias com discos peculiares
13	Galáxias Compactas
14	Galáxias com absorção não usual de poeira
15	Galáxias com caudas, laços de matéria ou detritos
16	Galáxias irregulares
17	Galáxias com cadeias
18	Galáxias em grupos
19	Galáxias em aglomerados
20	Galáxias anãs
21	Objetos estelares com nebulosas associadas
22	Miscelânea
23	Pares próximos
24	Pares triplos
25	Nebulosas planetárias

Esse trabalho irá analisar a categoria 6, galáxias aneladas. Esses objetos são pobres em informações individuais de observações dedicadas e em simulações numéricas. Portanto, apresentaremos um estudo amplo da morfologia e seus aspectos físicos. Por fim, para nos debruçar sobre o conhecimento atual desses objetos, devemos estruturar nossa base com o contexto histórico.

1.2 Galáxias aneladas

A primeira galáxia anelada a ser fotografada foi Cartwheel mostrada na Figura 1.2, por Zwicky em 1941. Na época, Zwicky comentou que esse objeto simboliza um dos mais complexos sistemas, só possível de ser explicado com base na dinâmica estelar. De fato, após 44 anos de seu falecimento a teoria de interação gravitacional e a simulação são assuntos que são ainda pouco explorados.



Figura 1.2: Galáxia Cartwheel. Fonte:https://apod.nasa.gov/apod/ap161218. html - acessado em: 20 de junho de 2018.

1.2. GALÁXIAS ANELADAS

O fato que deu grande impulso às pesquisas com esses objetos foi a construção de catálogos, pois observar o céu era a única ferramenta da época. Assim temos a construção dos primeiros catálogos em:

- 1959 Vorontsov-Vel'Yaminov;
- 1961 Vorontsov-Vel'Yaminov e Krasnogorskaya;
- 1966 Arp;
- 1987 Arp e Madore.

Além dos catálogos, as descobertas isoladas de grandes galáxias aneladas foi um grande impulso para o interesse na investigação da natureza desses objetos. Em 1960, Lindsey e Shapley encontraram galáxias aneladas no hemisfério Sul. Já para o hemisfério Norte, Smith em 1941 descobriu o objeto de Mayall (Figura 1.3) [21].

Por volta de 1970 Cannon [4], começa a discussão sobre as morfologias e as comparações entre os objetos dos diferentes hemisférios. Observou-se similaridade, por exemplo entre Arp 146 e Arp 147 do Hemisfério Sul com NGC 4774 e VII Zw 466 hemisfério Norte (Figura 1.4). Notou-se também que as galáxias aneladas têm companheiras e que são mais azuis.



Figura 1.3: Galáxia Mayall (Arp 148), localizado na constelação de Ursa Maior. Fonte:https://www.spacetelescope.org/images/heic0810ae/ - acessado em: 18 de junho de 2018.



Figura 1.4: Imagens superiores, galáxias do hemisfério Sul, Arp 146 e Arp 147. Imagens inferiores, objetos do hemisfério Norte, NGC 4774 e VIIZw 466. Fonte: http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/ - acessado em: 18 de junho de 2018

Em 1996 Appleton e Stuck-Marcell [1], consideraram galáxias que tinham "anéis de fumaça", como o mais grandioso acidente cosmológico. A hipótese era: um objeto é atraído gravitacionalmente por um disco galáctico em rotação, tal fenômeno desencadeia uma onda de densidade radial, e devido a compressão do gás por meio das ondas de pressão surge o nascimento de estrelas. As ondas comportam-se como um fenômeno de oscilação, que provocam desordem no meio que propagam. Assim, já era possível caracterizar o mecanismo que causa o nascimento de novas estrelas em galáxias aneladas.

Atualmente, sabemos que a estrutura anelada é decorrente de dois processos físicos: i) Ressonância orbital para objetos normais - objetos que não foram frutos de processo de interação - ii) ou onda de densidade em objetos em interação [12].

Para galáxias normais do tipo morfológico SB(r) e Sa(r), os anéis são provenientes da ressonância orbital na barra ou estrutura oval presente no interior galáctico. Outra situação, é galáxia espiral com braços enrolados a tal ponto que assemelha-se com um anel. Já as aneladas peculiares são fruto de interação gravitacional com outros objetos ou com o meio [3].

Em 1972, os irmãos Alar Toomre e Juri Toomre [29] fizeram a primeira simulação numérica de colisão de galáxias. O código usa mecânica newtoniana simples, os núcleos dos objetos são pontuais e a comunicação gravitacional é entre estrela-núcleo, e todo processo colisional é dado pelo efeito de maré.

Os parâmetros de entrada do código são: posição (x, y, z), velocidade (Vx, Vy, Vz), quantidades de anéis e estrelas, relação entre a massa dos corpos e o número de passos que o sistema irá evoluir. Esse programa simples consegue reproduzir a morfologia anelada das galáxias tipo Hoag, muito bem (Figura 1.5), e propicia discussão sobre a morfologia de galáxias com anéis simétricos simples.



Figura 1.5: Simulação numérica do artigo de Toomre & Tommre[29], para galáxia anelada.

Em 1974 Freeman e de Vaucouleurs [11], desenvolveram um modelo teórico para explicar a formação de anéis. Para um objetos similar a NGC985 (Figura1.6), o modelo faz uso de uma nuvem de gás Hidrogênio que colide com uma galáxia espiral barrada. Eles concluíram que os tipos morfológicos dependem da galáxia original (lenticular, espiral ou espiral barrada), do seu estágio evolutivo, da distribuição de densidade do Hidrogênio ao longo do disco, do ângulo de incidência e da velocidade relativa dos corpos em interação.



Figura 1.6: NGC985

Os primeiros a terem uma compreensão clara sobre galáxias aneladas foram Lynds e Toomre[17], e Theys e Spiegel [27]. Ambos mostraram que a morfologia anelada advinha de colisão frontal - o objeto predominante é perturbado por objeto(s) menor(es) - em decorrência produziria anel no corpo dominante, pois a interação acarreta uma onda de densidade quase simétrica, distribuindo a matéria bariônica em torno da dimensão do objeto, e no desencadeamento da onda de densidade há o nascimento de estrelas. Portanto, o estudo desses fenômenos possibilita traçar a história de evolução das estrelas e dos aglomerados de estrelas no anel. Na Figura 1.7, temos a imagem da AM 0644-714 observada pelo telescópio espacial Hubble. Essa imagem é rica em informações sobre a distribuição de material ao longo do objeto, e evidencia a diferença entre o núcleo e o anel.



Figura 1.7: Galáxia anelada AM 0644-741, do tipo morfológico Anel Elíptico com nódulos, imagem do telescópio Hubble. No anel vemos uma recente formação de estrelas massivas, advinda do processo de interação gravitacional. O anel é resultado da propagação da onda, formada no centro do sistema interagente. O fenômeno ondulatório se reproduz, diminuindo a intensidade com a distância e condensando os elementos em seu raio de distribuição. Fonte: https://apod.nasa.gov/apod/ ap150419.html - acessado em: 18 de junho de 2018

Segundo Buta (1995) [3], é possível diferenciar 3 tipos principais de anéis:

- Anéis Normais: Formado por torques gravitacionais.
- Anéis Colisionais: advindo de uma onda de choque em crescimento;
- Anéis Polares: O anel apresenta-se perpendicular ao plano do objeto;

O trabalho de Faundez-Abans e Oliveira-Abans [10], propõe uma classificação visual para galáxias aneladas, dividindo os objetos em cinco categorias: Polar, Hoag, Anel Elíptico, Irregulares e Centralmente suave. Faundez-Abans e Oliveira-Abans analisaram 489 objetos, que foram considerados peculiares por Arp e Madore (1987). As imagens feitas com placas fotográficas foram analisadas minuciosamente para confirmar a morfologia anelada. Com microscópio micrômetro foram calculadas medidas de diâmetros dos bojos, quando possível. Não foram feitas calibrações fotométricas nas imagens. Por fim, os objetos foram divididos em 29 categorias diferentes e posteriormente reorganizados em 5 categorias morfológicas. Cada classe pode ser subdividida em subclasses, para ressaltar as peculiaridades (Figura 1.8).

Em 2009 Madore [18], fez uma releitura do seu trabalho acrescentando informações novas. Ele ateve-se a identificar a galáxia central e suas companheiras, assim como fazer medições de diâmetro do anel (em segundo de arco) e velocidade heliocêntrica. O maior objetivo do catálogo é permitir que os astrônomos interessados em uma classe de objetos, obtenham uma lista de possíveis candidatos com características semelhantes para uma investigação mais aprofundada de fenômenos específicos. Para Madore, a definição de galáxias aneladas interagentes é: Qualquer galáxia com um anel bem definido ao seu redor, e quaisquer galáxias aparentemente relacionadas a esta forma. São excluídos os objetos que os braços espirais uniram-se de forma circular ³.

³•https://ned.ipac.caltech.edu/level5/SPGA_Atlas/SPGA_categories.html - acessado em: 18 de junho de 2018



Figura 1.8: Figura adaptada da dissertação de Lemos-Freitas.P, 2014 [12]. Esquema de classificação segundo Faundez-Abans e Oliveira-Abans. Direita: Galáxias que desenvolveram anéis por processos internos. Esquerda: Galáxias que desenvolveram anéis por processos interativos. Esses objetos dividem-se em diversas morfologias -Irregulares: Objetos que apresentam estrutura de anel mas não se enquadram nos padrões estabelecidos; Anel Elíptico: Galáxia que tem o anel elíptico, essa classe pode ser dividida em três morfologias: Anel elíptico com nódulos: Nódulos de formação estelar contido no anel, bojo deslocado do centro (A.Ea); Anel elíptico solitário: Núcleo do objeto no anel (A.Ec); Anel elíptico suave: Anel com distribuição de gás suave entorno do bojo (A.Eb). Hoag: Anel e bojo circular, bojo no centro do objeto (H); Hoag-Like: Anel e bojo levemente achatado, bojo no centro do objeto (HL); Centralmente suave: Objeto que não tem núcleo definido (CS).

1.3 Motivação do trabalho

O estudo de galáxias aneladas peculiares em grande maioria está em artigos relacionados a grandes levantamentos de dados, como é o caso do catálogo de Arp & Madore, ou ainda proveniente de grandes missões, que em seus primeiros resultados geraram catálogos. Esses grandes levantamentos fornecem informações como: imagem no comprimento de onda da missão, redshift fotométrico e espectro eletromagnético.

A análise detalhada é fruto de observação dedicada como é o caso do objeto peculiar anelado HRG 54103, onde foi feita a investigação da taxa de formação estelar, abundância de oxigênio para regiões do bojo e classificação espectral [16]. Contudo, não são todos os objetos anelados que têm uma inspeção individual, devido a dificuldade nas observações (alta magnitude aparente - tratando-se de telescópios de pequeno porte, já para o telescópios de grande porte não a interesse da comunidade astronômico no estudo desse objetos) e nas análises dos dados obtidos. Deste modo, há questões que ainda não foram resolvidas sobre a estrutura dos anéis. Tais questionamentos são: Qual é a natureza das diversas formas em que eles se apresentam? E um fenômeno efêmero? Há um tempo cosmológico padrão para cada morfologia? Há relação direta entre a morfologia e a taxa de formação estelar? Há vínculo entre a morfologia visual das classes e os processos físicos ocorridos nos objetos? Entre outros. Saber se há relação entre as propriedades físicas e a morfologia não é um questionamento só para objetos em interação. D. B. Wijesinghe & A. M. Hopkins, em seu trabalho buscam conectar a morfologia de 31 703 objetos com suas propriedades físicas, os dados usados são da missão Sloan Digital Sky Survey (SDSS) [6].

Na tentativa de proporcionar evidência adicional que possam responder aos questionamentos acima, propomos uma investigação entre a morfologia visual de galáxias aneladas e as diversas medidas astronômicas. Tal estudo será feito analisando: imagens no ultravioleta, visível, infravermelho próximo, infravermelho médio; índices de cores, redshift e parâmetros geométricos. Todos os parâmetros usados estão disponíveis nos bancos de dados virtuais astronômicos. A base de dados que iremos usar é a mesma de Arp & Madore e Faundez-Abans & Oliveira-Abans, com 486 objetos do hemisfério Sul no universo local.

Capítulo 2

Classificação morfológica visual das galáxias

Nesse capítulo descreveremos os preceitos para a realização da pesquisa. Expressaremos como foi conduzida a seleção da amostra e sua classificação morfológica visual. Apresentaremos os dados observacionais que utilizamos como meio de investigação, assim como os bancos de dados envolvidos em todo processo da pesquisa e os procedimentos para análise das imagens. Por fim, discutiremos os principais resultados encontrados.

2.1 Seleção da Amostra

Para a classificação morfológica visual foram analisados 489 galáxias aneladas, oriundas do trabalho de Faundez-Abans & Oliveira-Abans ([10]). Nesse trabalho, os autores dividem a amostra em 5 tipos morfológicos e sugerem algumas subclassificações. Os autores expõem em uma tabela de classificação objetos para os quais existe certeza na classificação assim como outros incertos. A incerteza na classificação visual é em geral reflexo da qualidade das imagens, devido ao baixo sinal ruído. As imagens disponíveis na época eram provenientes de placas fotográficas. Nestas placas os autores realizaram a inspeção visual de cada objeto assim como foram feitas medidas geométricas com microscópio micrômetro, quando possíveis. Grande parte das informações que obtemos do universo vem através de radiação eletromagnética. Portanto, para obter informações detalhadas das galáxias, como sua história de formação estelar e morfológica, entre outras, temos que saber o que o objeto emite em cada faixa espectral pois cada uma traz informação relativa a um conjunto de processos físicos específicos. Na Figura 2.1, temos as divisões das bandas eletromagnéticas. Em geral, para comprimentos de onda menores de 550 nanômetro temos processos mais energéticos (como por exemplo aqueles relacionados com a faixa do ultravioleta que tem emissão proveniente de estrelas do tipo O e B) e para comprimentos de onda maior que 550 nanômetro observamos resultados de processos relacionados a ambientes frios e pouco densos (espaço interestelar). Logo, cada banda é uma "porta" para informações a serem exploradas.



Figura 2.1: Espectro eletromagnético. Estuda-se nas faixas: Raios Gama - pode-se estudar buracos negros e regiões formadoras de estrelas; Raio-X - estrelas compactas, estrelas de nêutrons e buracos negros. UV - estrelas quentes, galáxias AGNs e regiões formadoras de estrelas: Visível: planetas, estrelas, cometas, asteroides e galáxias; Infravermelho: estrelas frias, espaço interestelar, galáxias e poeira; Micro-ondas - estudo de elementos químicos nos astros, estudo da radiação cósmica de fundo e etc; Ondas de Rádio - quasares, raio-galáxias entre outros.

Em nosso trabalho, com intuito de aperfeiçoar a classificação morfológica das galáxias aneladas usamos recursos mais sofisticados, com telescópios de alta tecnologia terrestres e espaciais. Estes dados são provenientes de procedimentos padronizados de redução e tratamento de dados o que leva a uma amostra mais homogênea. Essas características possibilitam assim, informações mais detalhadas dos objetos celestes. Entretanto, ainda temos que utilizar a classificação morfológica de maneira visual com interação humana de forma mais veemente pois recursos tecnológicos para realizar esta tarefa ainda não estão sendo aplicados para os objetos anelados. Sendo assim, montamos nossa amostra com os objetos listados em [10] para os quais foi possível obter informações da faixa do visível assim como imagens de outros levantamentos feitos mais recentemente onde os objetos puderam ser identificados com resolução suficiente para realização de classificação morfológica visual.

2.2 Classificação Morfológica visual

Neste trabalho, para validar e melhorar a classificação morfológica visual de nossa amostra, adotamos a colaboração de 10 voluntários, alunos de mestrado e graduação do curso de Física, para realização dos procedimentos de classificação. Revisitamos todos os objetos da amostra principal, excluídas galáxias com anéis polares, irregulares e normais, uma vez que a morfologia desses objetos está bem estabelecida e em geral são mais bem estudadas. Para todas as galáxias da amostra, coletamos imagens em levantamentos diversos e as combinamos as imagens da banda do B e R do visível, de modo a facilitar a visualização simultânea de propriedades. Os objetos foram avaliados um a um, sendo classificados de modo independente por cada participante. A classe morfológica para cada objeto então foi adotada como aquela que aparecesse com maior frequência entre os classificadores. Em caso de empate, foi dado um peso maior a classificação do autor deste trabalho. Neste procedimento foram excluídos também objetos com imagens de baixa resolução pois em geral não permitiam identificar as estruturas morfológicas.

2.2.1 Missões usadas para classificação visual

 O Digitized Sky Survey (DSS) - A missão DSS2 foi publicada em 1994, comandada pela Space Telescope Science Institute, é baseada em dados fotográficos obtidos pelo telescópio Oschim Schmidt no observatório Palomar e pelo telescópio britânico Schmidt. Foram usados 3 filtros: DSS2-vermelho, DSS2-azul e DSS2-infravermelho. Foi feito 98% de todo o céu com DSS2-vermelho, DSS2azul - 45% e DSS2-infravermelho - 99%. Como imagens foram digitalizadas a partir de placas fotográficas, pode-se encontrar um arranhão, reflexo do telescópio, impressão digital entre outras deformidades.

- The Two Micron All Sky Survey (2MASS) escaneou o céu uniformemente em 3 bandas do infravermelho próximo). A missão tem dois telescópios, um localizados no Chile (Observatório Interamericano de Cerra Tololo), e o outro no Estados Unidos (Observatório Fred Lawrence Whipple). Os telescópios têm 1.3 metros de diâmetro, e observam as faixas J, H e K.
- Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE) fornece informações no infravermelho próximo/médio, com a vantagem de ser um telescópio espacial. A faixa de cobertura do WISE é de 3.4, 4.5, 12 e 22 micrômetro e utiliza uma lente de 40 centímetro de diâmetro. O financiamento é feito pela NASA com colaboração UCLA, JPL, IPAC/Caltech, UC Berkeley, SDL, BAT.
- Galaxy Evolution Explorer (GALEX) observou todo o céu no ultravioleta. Cobre a faixa 350-1750 (FUV) e 1750-2800 (NUV) angströms. Foi feita com o telescópio Ritchey-Chrétien (RC), que é similar ao telescópio Cassegrain. Financiada pela NASA até 2011, em maio de 2012 foi transferida para a Caltech.

Para classificação morfológica visual foram analisadas 313 imagens nas bandas do ultravioleta, visível, infravermelho próximo e infravermelho próximo/médio (missões citadas acima, onde houveram objetos que não obtiveram imagem nas missões GALEX e WISE). Galáxias observadas nestas bandas nos dão informações sobre as populações estelares jovens (ultravioleta e visível azul), população jovem, intermediaria (visível) e população velha (infravermelho). Utilizamos dados das missões DSS (visível), 2MASS (infravermelho próximo), WISE (infravermelho próximo/médio) e GALEX (ultravioleta). A imagem do DSS na banda B reflete os componentes de maior energia, realçando as estrelas jovens do tipo O e B e gás ionizado. Já na banda R, os componentes mais avermelhados evidenciam estrelas velhas do tipo K e M e poeira. As imagens do 2MASS e WISE, fornecem informações de estrelas velhas e poeira. Com o GALEX evidenciamos estruturas de altas energias, como estrelas do tipo O e B ou galáxias com núcleo ativo. Especificamente analisamos imagens nas bandas J e K do 2MASS, B e R do DSS2, NUV no GALEX e W4 do WISE, como vemos na Figura 2.2 e 2.3. Cada um desses levantamentos será descrito em maior detalhe no capítulo 3 onde discutiremos a análise da fotometria obtida para

a amostra.

Por estar lidando com uma amostra com vários objetos foi necessário usar ferramentas de busca na web para obter as imagens necessárias. As imagens foram obtidas usando a biblioteca astroquery do modulo python Astropy, com o radio de buscar de 250 arcmin e o campo das imagens com 4 arcseg. Cada imagem foi baixada e salva em formato FITS, que é a extensão amplamente usada na Astronomia para imagens e tabelas. A manipulação das imagens foi feita com bibliotecas python e as funções do módulo Astropy.

<text>

4 arcseg. Painéis superiores: Imagens do DSS2, mostrando os anéis e a distribuição do gás nas bandas B e R. Painéis centrais: Revelam o bojo do objeto, na banda J e K com estrelas vermelhas. Painéis inferiores: À esquerda imagem do GALEX na banda NUV exibe indicativos de emissão ultravioleta; À direita imagem do WISE contendo o núcleo do objeto.

AM 2106-641

ARP 318



Figura 2.3: Galáxias AM 2106-641 e ARP 318. Para descrição dos filtros ver Figura 2.2.

As imagens das bandas fotométricas utilizadas foram também tratadas com filtros matemáticos que reduzem ruído melhorando o contraste entre estruturas de diferentes intensidades. Esse procedimento foi feito para as imagens 2MASS e DSS2 como mostrado no exemplo da Figura 2.4).

Além de filtrar ruído, aplicamos também um filtro matemático de realce de estruturas. Este filtro consiste basicamente em subtrair da imagem original a versão suavizada da mesma e dividir novamente pela original. A suavização foi feita com um filtro gaussiano. Foram testadas suavizações com kernels de diversos tamanhos e finalmente foi adotada aquela que evidenciou mais a estrutura anelada. Este procedimento faz com que estruturas com escala espacial da ordem do kernel de suavização utilizado sejam enfatizadas como mostra a Figura 2.5. Para mostrar também a distribuição espacial das componentes azul e vermelha, relacionadas à população estelar jovem e velha, respectivamente, realizamos a composição das imagens B e R obtidas do DSS (2.5, direita).

Neste trabalho não foram reproduzidas todas as imagens por uma questão de economia de espaço. No entanto, todas elas estão disponíveis caso sejam requisitadas bastando para tanto contactar os autores - Email: giuanafisica@gmail ou hektor.monteiro@gmail.com.

AM 1953-260

AM 1947-445



Figura 2.4: Galáxias AM 1953-260 e AM 1947-445. Painéis superiores imagens do DSS2, manipulada para ressaltar as estruturas. Painéis inferiores imagens do 2MASS, manipulada para ressaltar as estruturas.


Figura 2.5: Galáxias AM 1953-260, AM 1947-445 AM 2106-641 e ARP 318. No primeiro quadrante de cada imagem temos, a imagem manipulada para melhor identificar estruturas. Já no segundo quadrante de cada imagem temos, a imagem do filtro B superposta da imagem do filtro R.

Todas as imagens descritas acima, coletadas para todos os objetos da amostra final foram vistoriadas e classificadas pelos 10 voluntários que tiveram instruções sobre a natureza dos objetos e sobre o procedimento para classificação visual. O guia de classificação para as classes adotadas neste trabalho é mostrado na figura 2.6. Estas classes e subclasses foram obtidas da sugestão original do trabalho [10] como discutido no Capitulo 1. Uma análise preliminar mostrou que não eram necessárias mais ou menos categorias segundo a variação visual de morfologia sendo que as classes mostradas na Figura davam conta de categorizar toda nossa amostra.

2.3 Resultados

Os 10 voluntários foram treinados para identificar o padrão morfológico dos objetos e esclarecer o que cada imagem representa em relação aos processos físicos relevantes.



Figura 2.6: Guia de classificação morfológica. Tipos: H - Anel circular e núcleo esférico; H-like - Anel circular e núcleo achatado; CS - Não apresenta núcleo e toda sua extensão e no anel tem nódulos de formação estelar; a - Anel com nódulos de formação estelar e núcleo deslocado; b - Anel com distribuição de matéria suave e núcleo deslocado; c - bojo do objeto encostado no anel.

Cada voluntário teve uma tabela com os nomes dos objetos e as seis classes. Só poderia ser escolhido um único tipo morfológico para cada objeto. Foram instruídos também para anotar quando peculiaridades que julgassem relevantes surgissem. Posteriormente, consolidamos todas as tabelas realizando a classificação final como detalhado anteriormente. Os objetos que empataram foram revisitados e analisamos cuidadosamente. A divisão de nossa amostra segundo as classes adotadas são mostradas na Figura 2.7.



Figura 2.7: Porcentagem dos 313 objetos final, dividida entre os tipos morfológicos classificados.

Abaixo mostramos um exemplo da tabela com a classificação morfológica final adotada para cada objeto 2.1. A tabela com a amostra completa é apresentada no apêndice A.

> Tabela 2.1: Tabela com a classificação morfológica realizada pelos autores e equipe de apoio, baseada na amostra original de [10]. Na sequência são apresentados para cada objeto o nome, ascensão reta e declinação, redshift (z) e a classificação morfológica adotada.

Objetos	RA	DEC	Z	Tipos
AM 0034-351	$00 \ 37 \ 04.664$	-34 56 24.26	0.029657	$A.Eb^1$
AM 0045-230	$00\ 47\ 34.795$	-22 48 00.24	0.021872	E.Ra
AM 0053-353	$00 \ 56 \ 19.563$	-35 14 52.31	0.047947	HL
AM 0054-634	$00 \ 56 \ 51.290$	-63 28 51.88	0.0374	E.Ra
AM 0058-220	01 00 46.9	-21 43 27	—	E.Rc
AM 0058-311	01 00 44.610	-30 55 49.16	0.07776	E.Ra

A classificação morfológica visual é uma ferramenta muito útil para categorização de uma amostra, contudo é limitada por alguns aspectos importantes: 1) a qualidade na resolução das imagens; 2) a capacidade humana em reconhecer padrões; 3) a projeção do objeto sobre a linha de visada do observador entre outros fatores. A orientação espacial em particular pode levar a problemas na classificação pois anéis circulares podem facilmente se apresentar como elípticos. Esse tipo de degenerescência não pode ser resolvida somente com uma inspeção visual, nem mesmo com métodos mais sofisticados que reconhecem padrões de maneira automatizada. Em geral esses códigos trabalham com distribuição de densidade entre os pixels da imagem como descrito em [23]. Para diferenciar galáxias espirais de elípticas, em geral os algoritmos funcionam de maneira razoável. Entretanto, para galáxias aneladas esse método não é suficiente.

Para tentar buscar alternativas que nos ajudassem a classificar as galáxias aneladas de nossa amostra assim como para tentar detectar outras propriedades destes objetos, passamos ao estudo de suas propriedades fotométricas.

2.3.1 Produto da inspeção visual

No decorrer do processo da classificação visual foi notado individualidades interessantes em grupos de objetos, que não necessariamente estão contidos no mesmo tipo morfológico. Ao inspecionar a imagem observamos 4 atributos peculiares: 1 - Há galáxias que possuem dois anéis como mostra a Figura 2.8; 2 - Há galáxias que só o bojo emite no ultravioleta, como vemos da Figura 2.9; 3 - Há galáxias que só o anel emite no ultravioleta, Figura 2.10; 4 - Há objetos que tem emissão no ultravioleta de anel e bojo, Figura 2.11.



Figura 2.8: Painéis superiores AM 2136-492, painéis inferiores FM 47-9. O segundo anel é decorrente da onda de distribuição de matéria secundária.



AM 1133-245

Figura 2.9: Galáxia AM 1133-245 o bojo emite predominantemente no ultravioleta. Tal característica pode ser indício de AGNs ou há grande concentração de estrelas anãs brancas.

HRG 03401



Figura 2.10: Galáxia HRG 03401, o anel emite preponderantemente no UV. Pode ser resultado de surto de formação estelar, contendo estrelas do tipo O e B.



AM 0103-304

Figura 2.11: Galáxia AM 0103-304, bojo e anel com forte emissão no UV. Prenúncio que a interação gravitacional afetou toda a estrutura do objeto, gerando altas energias.

Capítulo 3

Fotometria - Metodologia e Resultados

Neste capítulo iremos apresentar os principais passos para aquisição da fotometria. Falaremos da metodologia usada no processo e sobre os resultados fotométricos da pesquisa, assim como sua discussão e relevância para a ciência extragaláctica. Abordaremos também conteúdo inédito para os objetos dessa categoria.

3.1 Banco de Dados - Ned e VizieR

As coletas de dados foram feitas nos bancos de dados NED e VizieR. O NED é o banco de dados on-line da NASA criado em 1980 para objetos extragalácticos, e fornece as principais informações: nome, posição, eixo maior e eixo menor, redshift, espectro, fotometria em diversas bandas e imagem (cerca de 773.000 no total). Além de ter a coletânea das mais relevantes informações bibliográficas de cada objeto, sua atualização é feita a cada 2-3 meses. Contudo, existem missões que não estão presentes no NED pois esse banco de dados só oferece informação na qual a NASA tem colaboração. Já o VizieR é mantido pelo "Centre de Données astronomiques de Strasbourg" - CDS. Com origem em 1993, o banco permite acesso a muitos catálogos dentro dos 6863 disponíveis. Atualmente, o VizieR tornou-se a fonte da maior parte dos dados catalogados.

3.2. DADOS FOTOMÉTRICOS

A escolha de onde extrair os dados se deu pela praticidade. Ambos os bancos de dados têm as informações, mas a construção interna do site pode dificultar ou facilitar a aquisição dos dados. Portanto, usamos o banco de dados que melhor atendeu às nossas necessidade, possibilitando assim a criação de um algoritmo simples e eficiente. Vale ressaltar que foi verificado a compatibilidade dos valores dos parâmetros em ambos os bancos de dados.

3.2 Dados Fotométricos

Para a determinação da fotometria integrada dos objetos usa-se diafragmas. A limitação da região do diafragma depende de vários aspectos: instrumentais (telescópio, sistema ótico e detector) e observacionais (qualidade do céu, tempo de observação entre outros). Tais elementos podem interferir, na determinação da extensão do objeto no plano do céu. Em resumo, as etapas consistem em constrói as isofotas (curvas de igual valor) e calcular o fluxo contido nas curvas.Tendo o fluxo, obtemos a magnitude aparente.

No presente trabalho, as magnitudes aparentes foram obtidas dos bancos de dados astronômicos. Utilizamos como ferramenta de extração os pacotes filiados astroquery do astropy. O astropy fornece dois pacotes de serviço para bancos de dados, o astropy.vo e o astroquery. O astropy.vo é usado para as consultas de observatórios virtuais, já o astroquery é um serviço especifico para consulta web.

O astroquery tem tarefas e serviços próprios para cada missão astronômica, os de API (Application Program Interfaces) comuns temos:

• astroquery.simbad;	• astroquery.splataloque;	• astroquery.magpis;	
• astroquery.vizier;	• astroquery.vamdc;	• astroquery.nrao;	
• astroquery.esasky;	• astroquery.ibe;	• astroquery.besancon	
• astroquery.irsa_dust;	• astroquery.irsa;	• astroquery.nist;	
• astroquery.ned;	• astroquery.ukidss;	• astroquery.nvas;	

3.2. DADOS FOTOMÉTRICOS

• astroquery.gama;

• astroquery.xmatch;

• astroquery.atomic;

• astroquery.eso;

- astroquery.alma;
- astroquery.skyview;
- astroquery.nasa ads;
- astroquery.heasarc;
- astroquery.gaia;
- astroquery.vo_conesearch;
- astroquery.mast.

Os que não tem API comum e sólida são:

- astroquery.fermi;
 astroquery.sdss;
 astroquery.alfalfa;
 astroquery.sha;
 astroquery.sha;
- astroquery.lomda; astroquery.nasa_exoplanet_archive;
- astroquery.ogle; astroquery.exoplanet_orbit_database.

As tarefas usadas foram astroquery.ned e astroquery.vizier. Para a missão 2MASS e WISE, usamos o banco de dados Vizier. Para GALEX, DSS2 e informações físicas usamos o NED.

3.2.1 2MASS

O 2MASS escaneou o céu uniformemente em 3 bandas (gráfico da resposta dos filtros Figura 3.1) do infravermelho próximo , com o intuito, a princípio de caracterizar fontes pontuais com relação sinal/ruído menor que 10 com o pixel de 2.0". A matriz 256x256 da câmera utilizada nos telescópios é capaz de observar simultaneamente as três bandas. A missão tem dois telescópios, um localizado no Chile (Observatório Interamericano de Cerra Tololo), e o outro no Estados Unidos (Observatório Fred Lawrence Whipple). Os telescópios têm 1.3 metros de diâmetro, e observam as faixas J, H e K¹. Todo gerenciamento da missão foi feito pela Universidade de Massachusetts (UMass) e o financiamento pela *National Aeronautics*

¹http://www.ipac.caltech.edu/2mass/overview/about2mass.html

and Space Administration(NASA) e pela National Science Foundation(NSF). Para a pesquisa em questão, foi usado o catálogo de fontes estendidas - VII/233, onde encontramos praticamento todos os objetos da nossa amostra.



Figura 3.1: Curva de sensibilidade dos filtros do 2MASS. Fonte: http://svo2.cab. inta-csic.es/svo/theory/fps3/index.php?id=2MASS/2MASS.Ks - acessado em: 19 de junho de 2018

Calcular o fluxo integrado de fontes estendidas não é uma tarefa trivial. Por isso, o 2MASS fornece várias aberturas, assim fica a critério do objetivo da pesquisa qual método e abertura usar. Há três métodos para extrair a fotometria: abertura com isofotas elípticas, abertura total e extrapolação do perfil de brilho superficial. Nesse trabalho usamos a fotometria de abertura com isofotas elípticas pois cerca de 10-20% da magnitude total é diluída no ruído de fundo. Para recuperar o fluxo perdido usa-se o perfil de brilho de superfície mediana. Portanto, o uso da magnitude total requer cautela pois é uma medida fácil de ser contaminada por irregularidades do perfil de brilho ou estrela próxima do objeto. Já o método da extrapolação do perfil de brilho comporta-se muito bem para objetos pontuais.

3.2.2 WISE

O WISE (*Wide-field Infrared Survey Explorer*) fornece informações do infravermelho próximo, com a vantagem de ser um telescópio espacial. o WISE tem cobertura de 4 bandas: W1, W2, W3 e W4, utilizando uma lente de 40 centímetros de diâmetro². Na figura 3.2, temos os gráficos de resposta dos filtros³. O objetivo da missão foi mapear o céu do universo próximo, observando asteróides, estrelas e galáxias luminosas⁴. A extração da fotometria resulta em converter automaticamente a intensidade do pixel para magnitude calibrada, gerando imagens calibradas através de estrelas padrão.



Figura 3.2: Curva de sensibilidade dos filtros do WISE.

Assim como o 2MASS, o WISE utiliza três métodos para aquisição da fotometria, eles são: Abertura Fotométrica total, Fotometria Multi-Abertura e Fotometria de Abertura Elíptica. Para todos os tipos de fotometria, se a medição de fluxo tiver SNR > 2, a magnitude citada tem confiabilidade de 95%. Utilizamos as magnitudes do método de Abertura Fotométrica total, onde os fluxos são medidos em aberturas circulares de raio de 8.25 "(W1, W2 e W3) e 16.5"em W4. As magnitudes são corrigidas através da curva de crescimento que é extraída de medições de fluxo feitas nas imagens de Atlas. O maior problema da fotometria de abertura é que ela pode ser contaminada por objetos próximos e subestima o brilho do objeto principal.

²http://irsa.ipac.caltech.edu/Missions/wise.html - acessado em: 19 de junho de 2018 ³http://wise2.ipac.caltech.edu/docs/release/prelim/expsup/sec4_3g.html#

CalibratedM - acessado em: 19 de junho de 2018

⁴http://wise.ssl.berkeley.edu/mission.html- acessado em: 19 de junho de 2018

3.2.3 GALEX

GALEX (*Galaxy Evolution Explorer*) é uma missão que mapeou todo o céu no ultravioleta. Cobre a faixa 350-1750 (FUV) e 1750-2800 (NUV) ângströms (Figura 3.3). A faixa que essa missão observa é da ordem do comprimento de onda que estrelas maciças emitem. É feita com o telescópio Ritchey-Chrétien (RC), que é similar ao telescópio Cassegrain, tem seus espelhos principal e secundário hiperbólicos, tal montagem visa eliminar efeito de coma (feixes fora do eixo) [20].

As pesquisas que podem ser desenvolvidas com essa missão são: procurar estudar relação entre o UV e a taxa de formação estelar, extinção, função de massa, metalicidade entre outras.



Figura 3.3: Curva de sensibilidade dos filtros do GALEX. Fonte: http://svo2.cab. inta-csic.es/svo/theory/fps3/index.php?id=GALEX/GALEX.FUV - acessado em: 19 de junho de 2018

As imagens do GALEX sofrem distorções significativas. A fim de obter estimativas de fluxo confiáveis usaram o catálogo de fonte óptica CFHTLS (Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey) para especificar os centróides das fontes (raio de 0.58 graus)⁵. Todas as fontes na imagem GALEX são detectadas na imagem CFH-TLS, uma vez que a imagem CFHTLS é mais profunda do que a imagem GALEX. Assim, o catálogo CFHTLS serve para identificar os potenciais candidatos a serem observado no GALEX ⁶. Para o catálogo GALEX, assume-se que as contagens de

⁵http://www.galex.caltech.edu/researcher/techdoc-ch5a.html - acessado em: 19 de junho de 2018

⁶http://www.cfht.hawaii.edu/~arnouts/CFHTLS/EM-Algorithm.html - acessado em: 19 de

fótons seguem uma distribuição gaussiana. Finalmente, o programa que realiza a astrometria e fotometria é o extitSExtractor.

3.3 Diagramas usados

Os diagramas são ótimas ferramentas para identificar padrões de comportamentos de variáveis e são bons sintetizadores de ideias. Portanto, a construção de diagramas sucintos que comportem toda complexidade do assunto abordado é uma tarefa árdua, mas o resultado é fantástico quando se obtém sucesso na elaboração. Um dos diagramas mais famosos da astronomia é o diagrama HR. Nele, temos a relação magnitude absoluta por índices de cores. A magnitude absoluta depende da distância do objeto, e a distância pode ser calculada através do redshift.

Contudo, em nossa amostra nem todos os objetos têm redshift e a maioria dos que tem é *redshift fotométrico - photo-z*. O photo-z tem incerteza média 100 vezes (da ordem) maior do que o redshift espectroscópico [8]. Devido a esses fatos usaremos gráficos cor-cor.

O que denominamos cor, é a diferença entre o brilho do objeto em bandas diferentes do espectro eletromagnético. Assim, podemos analisar as propriedades dos objetos e averiguar se há correlações entre os diferentes tipos morfológicos. Através do diagrama cor-cor, podemos inferir sobre a população estelar, a temperatura do objeto, a idade do mesmo e o processo de emissão ou absorção que está acontecendo no meio, ente outros.

Desse modo, utilizando as medidas dos filtros U-B e B-V, na parte visível do espectro, foi possível caracterizar os primeiros indícios que as galáxias aneladas eram azuis [28]. Portanto, explorar outras faixas espectrais pode caracterizar estruturas ainda desconhecidas.

No artigo da missão WISE (*The Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE*): <u>Mission Description and Initial On-orbit Performance</u>, [30]) encontramos um gráfico <u>junho de 2018</u> cor-cor muito interessante. O diagrama lida com os filtros W1, W2, W3 configurando as cores W1-W2 e W2-W3. Essa composição de cores apresenta duas características (Figura 3.4), o aspecto morfológico e o espectral. Morfologicamente, há a divisão de galáxias elípticas, galáxias espirais entre outras morfologias. Entretanto, não há subdivisões das classes apresentadas, indicando assim a estrutura única que define o tipo morfológico. Através do espectro, temos a conduta da atividade energética, que, para os objetos da classificação de Hubble, tem ligação com a morfologia. Logo, o lado esquerdo do gráfico exprime atributos de galáxias velhas o quesito morfológico e espectral. Já no extremo oposto, temos o perfil de galáxias jovens/intermediária com forte atividade nuclear ou extra nuclear.



Figura 3.4: Diagrama cor-cor, mostrando a localização da classificação espectral de objetos distintos. O W1-W2 ([3.4]-[4.6] in mag), fornecem informação sobre o conteúdo mais azulado, já W2-W3 ([4.6]-[12] in mag) dá indícios de conteúdo mais avermelhado. Assim, temos como inferir sobre a população estelar das galáxias. Fonte: The Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE): Mission Description and Initial On-orbit Performance - pag 11, [30]

3.4 Diagramas

Na seção 2.5, falamos sobre a relevância dos diagramas e como extraímos informações. Com o intuito de comparar os objetos anelados peculiares com as galáxias normais no quesito atividade energética, fizemos um gráfico equivalente ao 3.4. Vale ressaltar que, ao defrontar esses objetos, não estamos analisando a morfologia visto que as galáxias peculiares não são representadas nos gráficos. Assim, a Figura 3.5 mostra a distribuição dos objetos segundo a conduta espectral. Vemos que há o desordenamento das classes, caracterizando assim que não há preferencia espectral para os tipos morfológicos.

Tal arranjo é efeito da atividade energética, que pode ser fruto do processo de interação. Dessa forma, objetos que ao longo do tempo de interação já consumiram as reservas de gás apresentam estrelas velhas e material interestelar frio, como as galáxias elípticas. Todavia, galáxias com curto tempo de interação gravitacional, tendem a compartilhar material favorecendo a formação de estrelas, similares as que observamos nos braços de galáxias espirais.

Assim, o que devemos observar nesse gráfico é como os objetos se espalham ao longo da estrutura e confrontar a morfologia peculiar com os objetos normais. Por exemplo, 90% das galáxias com classificação espectral tipo Seyfert são espirais do tipo Sb ou SBb e a grande maioria tem companheiras de campo que podem estar em interação [13]. Logo, podemos supor que objetos anelados que partilham de atributos análogos ao de galáxias espirais (Sb e SBb) podem ter classificação espectral do tipo Seyfert.

Ainda comparando o gráfico 3.4 com 3.5, podemos selecionar fontes que potencialmente podem ser AGNs. Em particular, objetos contidos na faixa de W1-W2 entre 0 e 2.0, W2-W3 entre 2.5 e 4.75. Claro que a análise que estamos fazendo é superficial, pois para caracterizar se um objeto é AGNs precisa-se de métodos mais rebuscados sendo necessário o espectro eletromagnético, para identificar linhas que são oriundas de núcleos ativos. Além de, buscar outras propriedades, tais como emissão em raios-X e excesso de cor azul.



Figura 3.5: Diagrama cor-cor, com as bandas do WISE. Revelando como os tipos de classes estão distribuídos. O erro associado às medidas de cores é pequeno, porém esse erro não reflete a qualidade real da nossa amostra visto que a fotometria observada não faz distinção entre bojo e anel.

Para identificar com clareza onde há a maior concentração de objetos dentro de cada morfologia, foi feito o gráfico de densidade. A Figura 3.6, expõe a distribuição de densidade de objeto para cada classe. Já Figura 3.7 mostra que cada classe tem seu máximo de densidade em locais diferentes. A classe E.Ra e H assemelha-se com as galáxias espirais; E.Rb, E.Rc e CS com objetos de núcleos ativos ou com alta formação estelar; HL galáxias elípticas. Essa comparação é interessante, podemos deduzir ponto importante da natureza dos objetos anelados se estabelecermos vínculos com outras morfologias mais estudadas.



Figura 3.6: Densidade dos pontos de cada classe (E.Ra = 41, E.Rb = 59, E.Rc = 52, H = 59, HL = 91 e CS = 5 objetos), referente as bandas do WISE. É interessante notar que objetos à direita de cada painel são menos energéticos, como é o caso das galáxias elípticas. À esquerda de cada painel, temos galáxias mais energéticas.

As morfologias E.Ra, E.Rb e E.Rc ser resultado de tempo de interação diferentes, intensidade da interação gravitacional ou ainda a massa inicial dos objetos interagentes. Tais mecanismos podem tendenciar para uma das três morfologias. Na Figura 3.7, delineamos os limites das regiões de densidade dos pontos. A grosso modo, vemos que a distribuição dos pontos é a mesma para as três morfologias. Contudo, os picos diferenciam, evidenciando a região onde cada estrutura cai. Assim, temos que o tipo RE.a tende a ser similar a objetos elípticos, RE.b entre objetos espirais e AGNs e RE.c com AGNs.



Figura 3.7: Gráfico referente à Figura 3.6, onde delimitamos as regiões das classes E.Ra, E.Rb e E.Rc. Os pontos são referentes ao pico central da densidade. Vemos que o mapa extenso das regiões são similares porém os picos centrais destoam. Esse comportamento pode ser resultado do tempo de interação gravitacional.

Dentro das faixas espectrais que estamos usando foram feitos vários diagramas cor-cor com o intuito de melhor identificar se há separações morfológicas. A informação física presente nos eixos é - da esquerda para direita e de cima para baixo há objetos com população estelar jovem, no extremo contrário objetos com população fria. Assim, podemos inferir sobre a população estelar com maior predominância na galáxia. Digo maior predominância pois dentro da galáxia tem estrelas jovens, estrelas intermediarias e estrelas velhas. Mas como estamos lidando com a informação integrada, temos o pico da população mais abundante do objeto. Assim, a Figura 3.8 (WISE x GALEX) revela se há como separar os tipos morfológicos, pela informação do pico da população estelar.



Figura 3.8: No eixo do WISE temos informação das estrelas mais vermelhas. Já para o GALEX estrelas jovens, vemos que não há separação evidente entre as classes. A grande parte dos pontos estão sobre a mesma faixa, logo estamos lidando com estrelas intermediárias.

Os pontos que têm comportamento divergente apresentam imagens com baixo S/N. Portanto, a sua classificação é bastante incerta, como o da Figura 3.9.



Figura 3.9: OA 00801 e OA 00901 classificados como E.Ra são objetos pouco luminosos, o que leva a incertezas maiores na análise.

Na faixa do W3 e W4 temos uma forte contribuição da poeira. A poeira no meio interestelar pode interagir com o fóton que está com o comprimento de onda correspondente ao seu tamanho. Tal fenômeno é conhecido como extinção. Há duas formas de interação entre a luz e a poeira: absorção ou espalhamento. O espalhamento é frequente para comprimentos de onda menores. Assim, quando os feixes de luz passam por uma nuvem de poeira, a radiação que irá chegar ao observador será atenuada e o objeto parecerá mais avermelhado. Na Figura 3.10, vemos o comportamento da poeira com a banda W4 e K sobre os tipos morfológicos.

A classe tipo HL 3.11, é a que mais apresenta peculiaridade nesse diagrama. Observe que podemos ter uma bi-modalidade que pode ser explicada possivelmente pela absorção da poeira. Há duas tendências distintas, o decaimento no lado direito e um platô no lado direito do gráfico. O decaimento pode ser explicado pela emissão da poeira, da radiação reprocessada de estrelas pois quanto mais estrelas jovens mais radiação IR. Já no plato, NUV-K fica constante mas a radiação IR continua aumentando, dado o comportamento vemos que há mesma proporção de estrelas jovens para esse grupo de galáxias. Portanto, se há a mesma proporção de estrelas jovens o aumento de IR pode ser resultado de mais poeira ou de outra fonte de energia que passa a dominar.

Na Figura 3.12, vemos que tal fonte de energia pode ser AGNs. A configuração do gráfico é W1-W2 x W2-W3 mas o tamanho e as cores do pontos estão relacionadas a core W1-W4. Assim, vemos que os objetos correspondentes ao plato localiza-se na região de AGNs.



Figura 3.10: Gráfico com as bandas W1 e W4 do WISE, abundantes em poeira. Pelo NUV rico em informação de alta energia, e K também corresponde a poeira.



Figura 3.11: Visualização da tendência de bi-modalidade do tipo HL.



Figura 3.12: Objetos relacionados com a tendência de bi-modalidade do tipo HL.

Um fato intrigante ao observar as imagens do GALEX, é que alguns objetos apresentam núcleo intenso emitindo nessa faixa (detalhe observado nas imagens utilizadas para a classificação visual). Essa circunstância pode ser indicador de objetos com núcleo ativo (AGNs) ou formação estelar. Nos gráficos a seguir (Figura 3.13) mostro a distribuição dos objetos segundo a sua classe, que emitem no GALEX e que não emitem.



Figura 3.13: Objetos com maior área apresentam núcleo emitindo no ultravioleta, objetos de menor área não emitem no ultravioleta.

É evidente pelo gráfico que não há um tipo morfológico anelado específico que tenha uma tendência para emissão no GALEX (que pode ser AGNs). Fato que dentro do campo de galáxias aneladas era desconhecido. Por fim, foi confeccionada uma mostra de possíveis candidatas a AGNs (apêndice B). Direcionando assim uma futura pesquisa com informações espectrais, onde teremos condições de estabelecer a classificação espectral.

Averiguamos cautelosamente os objetos que estão emitido no GALEX, e observamos que há objetos que só o anel emite, objetos que só o núcleo emite e objetos que ambos emitem (dados na Tabela 3.14). Ainda temos objetos que não tem imagens nessa missão e imagens que não têm emissão ou relação sinal/ruído é ruim.



Figura 3.14: Porcentagem de objetos que: o anel, o núcleo ou ambos emitem no GALEX; N-detec - Imagens sem detecção visível; N-Imagem - Não há imagem disponível para esses objetos.

Outra ferramenta que pode mostrar uma separação morfológica é a relação entre os eixos (eixo menor/eixo maior). A interação gravitacional deforma as estruturas dos objetos, levando-os a serem assimétricos. Assim, para objetos que interagiram por efeito maré a deformação não é tão acentuada, se comparada com objetos que colidiram ou fundiram. Portanto, saber o quanto está disforme o núcleo pode ser indício do processo físico da interação. Contudo, estamos trabalhando com objetos anelados, onde o ângulo de visada do observador pode interpretar a geometria do objeto de maneira errônea. Por exemplo, as galáxias do tipo polar podem ser uma hoag vista de frente, ou não. Assim, objetos anelados são extremamente sensíveis ao ângulo de visada do observador.

Para caracterizar o parâmetro geométrico usamos o 2MASS que é o banco de dados mais completo em informação sobre esses objetos. Na na Figura 3.15 apresento a razão entre o eixo menor pelo eixo maior ao longo da distribuição espacial. Como a relação b/a pode ser um prenúncio do processo físico da interação foi feito um histograma de b/a, para analisarmos a distribuição dos eixos pelo classe (3.16).



Figura 3.15: Vemos que a razão eixo menor sobre eixo maior são semelhantes entre si, não tem assim diferenciação entre as classes referentes aos seus bojos e não há relação aparente entre o tamanho do bojo e a classe visual do objeto. Contudo, estamos trabalhando com uma amostra que estatisticamente não é eficiente. Logo, o resultado pode ser um efeito de seleção



Figura 3.16: Histograma de distribuição dos eixos. Vemos que a morfologia Hoag e Hoag-Like são mais simétricas que as demais classes. O processo físico nessas 2 classes é a interação via efeito de maré.

Finalmente, apresento na Figura 3.17 a distribuição das classes pelo redshifts. Vemos que não há preferência no universo local pela segregação dos tipos morfológicos anelados.



Figura 3.17: Histograma de distribuição dos tipos morfológicos pelo z.

Capítulo 4

Conclusão

Nesse trabalho exploramos os aspectos fotométricos de galáxias peculiares aneladas, tendo como base as informações já disponíveis em bancos de dados astronômicos que, porém, não tinham sido examinadas e nem exploradas com a empenho necessário. Assim, analisando as imagens, montamos uma base de dados factível para classificação visual.

Buscando melhorar a qualidade na compreensão da estrutura visual dos objetos, usamos funções matemáticas que ressaltam as características individuais de cada galáxia. Observando as peculiaridades e comparando os aspectos comuns, os 313 objetos foram classificados por 10 voluntários devidamente instruídos. No decorrer do processo de classificação foi observado a presença de atributos interessantes como: Bojos destroçados; Bojo fragmentado no anel; Objetos sem companheiras evidentes; Objetos que apresentam mais de um anel; Objetos que apresentam só o bojo emitindo no GALEX; Objetos que apresentam só anel emitindo no GALEX; Objetos que apresentam ambos emitindo no GALEX.

Após a classificação visual ser efetivada, partimos para a pergunta central dessa pesquisa: Há relação direta entre a morfologia visual e os processos físicos internos nas galáxias aneladas? O fundamental para responder essa pergunta foram os diagramas cor-cor, cor-z, histogramas, mapas de densidades entre outros.

Analisando os diagramas, concluímos que não há relação direta entre a morfologia

e os processos físicos decorrentes da interação gravitacional. Sendo assim, cada galáxia é objeto único que passou ou está passando por transformações irreversíveis. Contudo, essa afirmativa só é verdadeira para o conjunto de dados que estamos trabalhando. O ideal é refazer os procedimentos em amostras maiores, como o mais novo catálogo de galáxias aneladas com 3962 objetos, desta forma será possível tirar respostas mais conclusivas.

Outra particularidade a ser observada é o fato do bojo ser o componente que mais emite, pois os anéis tendem a ser tênues. Como na fotometria que estamos usando não há a distinção entre magnitude do bojo e magnitude do anel, os diagramas podem refletir resultados falsos quando se trata de explorar a natureza dos anéis.

Por fim, notamos aspectos interessantes que merecem mais atenção em futuras discussões, como o fato de existirem galáxias que possuem núcleo intenso no ultravioleta - averiguar se são AGNs - e ainda há classe que apresenta bi-modalidade em outras bandas, o que pode ser indício de núcleo ativo também. Sendo assim, há diversos trabalhos a serem desenvolvidos no meio observacional e todo o campo da simulação computacional que ainda é pouco explorado. Portanto, o que conhecemos sobre esses objetos é ínfimo se comparado com as indagações que já temos sobre a natureza dos mesmos.

Capítulo 5

Perspectivas futuras

Todo procedimento feito nessa pesquisa é válido, pois trata-se de uma abordagem inédita. Porém, o fato de não termos domínio sobre a fotometria pode levar a um resultado distorcido. Portanto, o próximo passo é fazer a extração da fotometria de cada missão, tendo controle da informação do bojo e do anel. Após o cálculo da fotometria, reproduzir os passos que aqui foram executados.

Outra maneira de encarar o problema é assumir que a fotometria que estamos trabalhando é de qualidade. E assim, fazer um estudo comparativo dos processos físicos com as demais classes do catálogo de Arp & Madore. Tal análise pode fornecer indícios do que levou esses objetos a terem determinada morfologia.

Buscando validar a classificação visual, é necessário fazer um estudo exploratório e classificatório com redes neurais artificiais. Tal mecanismo também é utilizado para a detecção de candidatas a AGNs, utilizando a missão SDSS [7]. Assim, tal ferramenta permite corroborar com o estudo já feito para as candidatas a AGNs. E para sanar a indagação sobre a possibilidade do objeto ser AGN precisamos confrontar outras propriedades, tais como emissão em raios-X e excesso de cor azul, pois esses são critérios bem rigorosos.

Além dos estudos de grande volume quantitativo, é necessário fazer uma análise individual dos objetos. O conhecimento particular das propriedades físicas e químicas das galáxias aneladas peculiares ainda é escasso. Deste modo, com o intuito de contribuir para um análise mais especifica da natureza dos objetos, iniciamos um trabalho observacional. Por meio da espectroscopia queremos calcular redsfhit e analisar a distribuição do gás, população estelar entre outro.

Na primeira missão só foi possível observar dois objetos, que resultaram no artigo em construção intitulado: *Star formantion and stellar population in the interacting peculiar galaxies AM 1947-445 and AM 1953-260*, para maiores informações visitar Apêndice B. Como perspectiva futura iremos estender esse estudo para os demais objetos.

Referências

- APPLETON P.N., S.-M. C. Fundamentals of cosmic physics. S.l.:s.n. (1996), Vol. 16, pp. 111–220.
- [2] ARP, H. C. Atlas of peculiar galaxies.
- [3] BUTA, R. The catalog of southern ringed galaxies. ApJS (1996), v.96, .39–116.
- [4] CANNON R.D., LYOYD C., P. M. Observatory 90. S.l.:s.n. (1970).
- [5] CURTIS, H. D. Novae in the spiral nebulae and the island universe theory. PASP (1917), v. 29, p. 206–207.
- [6] D.B WIJESINGHE, A.M HOPKINS, B. C. K. N. W., E CONNOLLY, J. J. Cmorphological classification of galaxies and its relation to physical properties. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (2010), Volume 404, Issue 4, p.2077–2086.
- [7] DONG, X. Y., E ROBERTIS, M. M. D. Detecting active galactic nuclei using multi-filter imaging data. ii. incorporating artificial neural networks. *The Astronomical* (2013), 146:87, 12pp.
- [8] DOS SANTOS JUNIOR, W. A. Redshifts fotometricos e buscas por estruturas em grandes escalas.2012.tese(doutor em ciências). Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica eCiencias Atmosfericas da Universidade de Sao Paulo (2012).

- [9] DREYER, J. L. E. A new general catalogue of nebulæ and clusters of stars, being the catalogue of the late sir john f. w. herschel, bart, revised, corrected, and enlarged. *MmRAS* (1888), v. 49, p. 1.
- [10] FAÚNDEZ-ABANS, M., E DE OLIVEIRA-ABANS., M. On the morphology of peculiar ring galaxies. Astronomy and Astrophysics Supplement. v.129 (1998), 357–361.
- [11] FREEMAN, K. C.; DE VAUCOULEURS, G. An interpretation of ring galaxies and the properties of intergalactic gas clouds. Astrophysical Journal vol. 194 (12/1974), p. 569–571.
- [12] FREITAS-LEMES., P. Espectro-fotomÉtrica de candidatas a galÁxias com anel polar. Universidade do Vale do Paraíba (00/2014).
- [13] GASTAO, N. Astronomia extragalactica. Instituto de Astronomia Geofísica e Ciencias Atmosfericas. Universidade de São Paulo-USP. (2016), v. 1, p. 294.
- [14] HERSCHEL, J. F. W. Catalogue of nebulae and clusters of stars. Royal Society of London Philosophical Transactions Series I (1864), v. 154, p. 1–137.
- [15] KANT, I. Allgemeine naturgeschichte und theorie des himmels. S.l.:s.n. (1755),
 v. 270, p.51–70.
- [16] KRABBE, P. F.-L. A. C. The peculiar ring galaxy hrg 54103 revisited. MNRAS 468 (03/2017), 3159–3165.
- [17] LYNDS, R.; TOOMRE, A. On the interpretation of ring galaxies: the binary ring system ii hz 4. Astrophysical Journal Vol.209 (10/1976), p.382 – 388.
- [18] MADORE, B. F.; NELSON, E. P. K. Atlas and catalog of collisional ring galaxies. The Astrophysical Jornal Supplement. 181 (2009), 572–604.
- [19] MESSIER, M.; BEVIS, D. E. O. T. L. F. M. M. O. T. R. A. O. S., E F. R. S. M. MAGALHAENS, ON A NEW COMET: TRANSLATED BY DR. BEVIS, F. R. S. Royal society of london philosophical transactions series i. Space Telescopes and Instrumentation II: Ultraviolet to Gamma Ray. Edited by Turner, Martin J. L.; Hasinger, Günther. Proceedings of the SPIE, (1771), v. 61, p.104–106.

- [20] MORRISSEY, P. A galex instrument overview and lessons learned. Space Telescopes and Instrumentation II: Ultraviolet to Gamma Ray. Edited by Turner, Martin J. L.; Hasinger, Günther. Proceedings of the SPIE, (06/2006), Volume 6266, id. 62660Y.
- [21] MYRRHA, M. L. M.; VAZ, L. P. R. F.-A. M. D. O.-A. M. S. D. S. L. Bvri-hα surface photometry of peculiar ring galaxies. i. hrg 2302. Astronomy and Astrophysics, v.351 (11/1999), p.860–868.
- [22] OPIK, E. An estimate of the distance of the andromeda nebula. ApJ (1922),
 v. 55, p. 406–410.
- [23] PARAFICZ, A. D. Asterism application of topometric clustering algorithms inautomatic galaxy detection and classification. Mon. Not. R. Astron. Soc. 000, 1–16 (2002) (09/2016).
- [24] SLIPHER, V. M. On the spectrum of the nebula in the pleiades. Lowell Observatory Bulletin (1912), vv. 2, p. 26–27,.
- [25] SLIPHER, V. M. The radial velocity of the andromeda nebula. Lowell Observatory Bulletin (1913), v. 2, p. 56–57.
- [26] SLIPHER, V. M. Spectrographic observations of nebulae. *Popular Astronomy* (1915), v. 23, p. 21–24.
- [27] THEYS, J. C.; SPIEGEL, E. A. Ring galaxies. ii. Astrophysical Journal Vol.212 (03/1977), p.616–619.
- [28] THEYS J.CA, S. E. Procurar titulo. ApJ 212, 616 (1967).
- [29] TOOMRE, ALAR; TOOMRE, J. Galactic bridges and tails. Astrophysical Journal Vol.178 (12/1972), p.623–666.
- [30] WRIGHT, EDWARD L.; EISENHARDT, P. R. M. M. A. K. R. M. E. C. R. M. J. T. K. J. D. P. D. M. R. S. S. M. S. S. A. C. M. W. R. G. M. J. C. L. D. G. T. N. I. M. I. B. D. L. C. J. B. A. M. B. I. W. R. D. V. L. F. R. D. H. I. H. J. S. M. K. M. W. A. L. L. M. C. J. G. S. S. S. M. A. M.
F. B. N. L. T. C.-W. The wide-field infrared survey explorer (wise): Mission description and initial on-orbit performance. *The Astronomical Journal* (2010), Volume 140, Issue 6, article id. 1868–1881 (2010).

Anexo A

Amostra

Objetos	RA	DEC	Z	Tipos
AM 0034-351	00 37 04.664	-34 56 24.26	0.029657	E.Rb
AM 0045-230	$00\ 47\ 34.795$	-22 48 00.24	0.021872	E.Ra
AM 0053-353	$00 \ 56 \ 19.563$	-35 14 52.31	0.047947	HL
AM 0054-634	$00 \ 56 \ 51.290$	-63 28 51.88	0.0374	E.Ra
AM 0058-220	01 00 46.9	-21 43 27	—	E.Rc
AM 0058-311	01 00 44.610	-30 55 49.16	0.07776	E.Ra
AM 0058-665	01 00 15.172	-66 37 06.99	0.070232	E.Rb
AM 0102-610	$01 \ 04 \ 56.5$	-60 48 58	_	E.Rc
AM 0103-304	01 06 10.322	-30 28 29.16	0.022139	Н
AM 0115-463	01 18 10.151	-46 14 32.27	0.059628	E.Rb
AM 0126-525	01 28 25.324	-52 38 09.24	0.011508	E.Rc
AM 0126-680	01 28 02.912	-67 50 36.79	0.023753	Н
AM 0141-362	01 43 44.404	-36 05 19.76	0.017692	HL
AM 0147-350	01 49 43.711	-34 49 51.74	0.0275	Н
AM 0154-353	$01 \ 57 \ 06$	-35 18.9	_	E.Rc
AM 0155-815	$01 \ 53 \ 54$	-81 38.3	—	E.Rb
AM 0157-311	01 59 37	-31 01.3	0.05918	E.Rc

Tabela A.1: Objetos da amostra.

AM 0200-581	$02 \ 01 \ 50.57$	-57 56 53.6	0.02355	E.Rc
AM 0212-250	$02 \ 14 \ 49.193$	-24 51 02.49	0.037836	E.Ra
AM 0229-444	$02 \ 31 \ 38.764$	-44 31 27.37	0.017829	HL
AM 0240-242	02 42 32.171	-24 13 51.53	0.084422	E.Rc
AM 0318-610	03 19 37.8	-60 57 03	_	E.Rc
AM 0329-715	03 29 43.7	-71 45 25	_	Н
AM 0401-641	04 01 42.788	-64 05 44.92	_	E.Rb
AM 0403-555	04 04 16.349	-55 46 22.71	_	E.Rb
AM 0404-271	04 06 29.394	-27 09 24.67	0.088204	E.Rc
AM 0411-680	04 11 20.589	-67 55 14.63	0.054321	E.Rb
AM 0412-525	$04 \ 13 \ 56$	-52 48.8	_	Н
AM 0413-590	04 14 27.1	-58 57 57	_	E.Ra
AM 0417-391	04 19 38.992	-39 10 25.70	0.050585	E.Rc
AM 0420-440	04 22 12.848	-43 58 17.36	0.014917	Н
AM 0425-421	04 26 36.896	-42 05 37.25	_	HL
AM 0437-314	$04 \ 39 \ 40.556$	-31 42 38.03	_	E.Rc
AM 0437-644	04 37 54.1	-64 39 01	_	E.Ra
AM 0438-503	04 39 20.825	-50 31 50.56	_	E.Rc
AM 0438-530	04 39 48	-53 00.1	_	Н
AM 0507-512	05 08 28.239	-51 21 28.75	_	E.Ra
AM 0521-434	05 22 30.619	-43 46 16.56	0.081023	E.Ra
AM 0530-421	05 31 40.862	-42 09 54.69	0.048634	Н
AM 0544-393	05 45 51.090	-39 29 39.29	0.024017	HL
AM 0545-434	$05 \ 47 \ 00.9$	-43 44 47	_	E.Rc
AM 0628-632	$06\ 28\ 57.845$	-63 29 39.50	0.046599	HL
AM 0642-645	06 42 33.1	-64 59 48	_	E.Rc
AM 0642-801	06 38 37.950	-80 14 49.34	0.015934	E.Rb
AM 0643-462	06 45 03.508	-46 26 56.25	0.040078	E.Rb
AM 0755-785	07 53 31.9	-79 06 31	_	E.Rc
AM 0814-760	08 13 31.683	-76 17 29.08	0.034567	E.Rc

AM 1003-215	10 05 41	-22 05.9	_	E.Rc
AM 1025-370	10 27 13.6	-37 25 22	_	CS
AM 1035-260	10 37 29.081	-26 19 01.44	0.011168	HL
AM 1132-324	11 35 20.424	-33 02 03.21	0.034937	HL
AM 1133-245	11 35 30.923	-25 08 42.28	0.03893	E.Rb
AM 1135-284	11 37 41	-29 04.6	0.1016	E.Ra
AM 1152-421	11 55 23.2	-42 29 18	0.015401	E.Ra
AM 1159-530	12 01 36.178	-53 21 27.50	0.01458	E.Ra
AM 1249-462	12 52 39.0	-46 38 59	0.019857	E.Rc
AM 1251-283	12 54 41.027	-28 53 01.74	0.044584	Н
AM 1300-412	13 03 06	-41 43.0	0.011411	E.Rc
AM 1308-253	13 11 08.888	-25 53 58.68	0.044898	E.Rb
AM 1320-265	13 23 05.936	-27 12 24.98	0.052736	HL
AM 1323-222	13 26 20.497	-22 37 52.65	0.015434	Н
AM 1323-293	13 26 47.223	-29 52 52.82	0.013686	E.Ra
AM 1325-251	13 27 58.224	-25 31 48.46	0.036392	E.Rc
AM 1325-292	13 27 54.316	-29 37 04.84	0.014597	E.Rb
AM 1354-250	13 57 13.934	-25 14 45.13	0.020681	HL
AM 1356-261	13 58 55.005	-26 32 46.71	0.018269	HL
AM 1408-364	14 11 43.118	-37 01 11.23	0.026695	E.Ra
AM 1413-243	14 16 09.529	-24 50 31.05	0.046566	HL
AM 1452-234	14 55 09.869	-23 58 10.11	0.040862	E.Ra
AM 1514-362	$15 \ 17 \ 45$	-36 35.1	_	E.Rc
AM 1627-824	$16 \ 37 \ 57$	-82 51.3	_	E.Ra
AM 1646-795	16 55 30.509	-80 05 48.24	_	Н
AM 1806-852	18 22 17.388	-85 24 07.42	0.008578	E.Rc
AM 1827-625	18 31 58	-62 55.9	0.013631	E.Rc
AM 1854-490	18 58 06.790	-49 00 40.87	0.014176	E.Rb
AM 1947-445	19 51 23	-44 51.6	_	E.Rb
AM 1953-260	19 56 28.608	-25 54 53.86	_	\mathbf{CS}

AM 1957-394	20 00 36.0	-39 38 54	_	Н
AM 2002-563	20 06 49.914	-56 23 23.68	0.014447	HL
AM 2005-282	20 08 39.207	-28 16 12.63	0.046602	Н
AM 2012-282	20 15 12	-28 18.4	0.023516	E.Rc
AM 2021-724	20 26 31.4	-72 36 35	_	E.Rc
AM 2026-424	20 29 31.9	-42 30 15	0.051916	E.Ra
AM 2033-260	20 36 23	-25 57.1	_	E.Rb
AM 2034-483	20 38 07.4	-48 23 03	_	E.Rb
AM 2044-691	20 48 56.8	-69 05 31	0.037196	E.Rc
AM 2049-522	20 52 38.342	-52 13 44.88		Н
AM 2056-392	21 00 07.8	-39 17 58	_	E.Rc
AM 2100-725	21 05 38.745	-72 47 09.20	_	Н
AM 2106-641	21 10 20	-64 02.6	0.093698	HL
AM 2128-302	21 31 08.7	-30 16 16	_	E.Rb
AM 2131-254	21 34 30.24	-25 28 43.7	_	HL
AM 2131-495	21 34 37.602	-49 42 45.11	0.07216	HL
AM 2134-471	21 37 28.184	-47 02 09.04	0.030868	E.Ra
AM 2136-492	21 39 25.635	-49 09 37.00	—	Н
AM 2141-515	$21 \ 45 \ 15.139$	-51 41 53.03	_	E.Rb
AM 2152-592	21 56 17.8	-59 07 17	0.074335	E.Rc
AM 2155-263	21 58 38.430	-26 22 40.28	0.070926	E.Rc
AM 2159-330	$22 \ 02 \ 44.495$	-32 48 11.09	0.008906	HL
AM 2200-715	22 04 57.935	-71 42 14.27	_	E.Ra
AM 2201-230	22 04 19.395	-22 47 32.88	0.07223	E.Ra
AM 2220-493	22 23 13.476	-49 17 45.63	—	E.Rb
AM 2238-541	22 41 57.7	-53 59 45	—	HL
AM 2240-304	22 43 36.834	-30 28 50.17	0.058205	Н
AM 2302-322	23 05 26	-32 08.6	0.060482	E.Rb
AM 2311-425	23 13 53.181	-42 36 15.31	0.057873	Н
AM 2313-261	23 15 46.765	-25 54 19.47	0.021625	E.Rc

AM 2323-512	23 26 31.824	-51 08 07.08	_	E.Rb
AM 2338-312	23 41 22.0	-31 03 12	_	Н
ARP 010	02 18 26.396	$+05 \ 39 \ 13.97$	0.030381	E.Ra
ARP 107	10 52 14.916	$+30 \ 03 \ 28.93$	0.033176	E.Ra
ARP 118	02 55 09.79	-00 10 40.7	0.02882	E.Ra
ARP 141	07 14 20.4	$+73 \ 28 \ 37$	0.009036	E.Rc
ARP 143	07 46 53.047	$+39 \ 01 \ 54.97$	0.013393	E.Ra
ARP 145	02 23 11.424	$+41 \ 22 \ 04.77$	0.018096	E.Rc
ARP 146	00 06 44.799	-06 38 13.61	0.07544	E.Rc
ARP 147	03 11 18.90	$+01 \ 18 \ 53.0$	0.032209	E.Rc
ARP 148	11 03 53.892	$+40 \ 50 \ 59.89$	0.034524	E.Rc
ARP 150	23 19 30.066	$+09 \ 30 \ 29.57$	0.039644	E.Rc
ARP 219	03 39 53.316	-02 06 47.15	0.035094	E.Rc
ARP 284	23 36 19	+02 09.3	0.009349	E.Rc
ARP 318	02 09 31.3	-10 09 31	0.0132	HL
ARP 335	11 04 23.569	$+04 \ 49 \ 42.87$	0.025698	E.Ra
ESO 109-IG23	22 48 33.552	-66 43 16.40	0.037026	E.Rc
ESO 146-IG 029	22 29 19.570	-58 24 40.75	_	E.Rb
ESO 200-IG 009	03 21 40.668	-51 39 29.67	0.0578	Н
ESO 202-G01	04 16 30.075	-47 50 55.77	0.03362	E.Rb
ESO 232-G04	19 22 46.787	-51 00 08.64	0.016515	HL
ESO 239-IG02	22 49 39.888	-48 50 57.91	0.043033	E.Rc
ESO 299-IG01	02 25 14.183	-40 25 26.85	0.01932	E.Rc
ESO 305-G21	05 22 42.609	-39 03 47.35	0.050415	E.Ra
ESO 341-G02	20 39 04.365	-41 10 53.05	0.039614	HL
ESO 365-G16	06 25 10.523	-37 20 24.81	0.035338	HL
ESO 474-G16	00 42 52.793	-23 32 27.65	0.022229	HL
ESO 500-G41	10 26 56.305	-24 05 21.24	0.011928	HL
ESO 578-G14	14 01 08.324	-22 33 34.29	0.036872	HL
FM 117-4	03 40 37.982	$-62 \ 46 \ 50.67$	_	E.Rb

FM 186-16	20 27 54.075	-54 37 58.96	0.027019	Н
FM 188-15	21 49 09	-54 18.0	_	E.Rc
FM 188-8	$21 \ 36 \ 11.257$	-53 41 24.54	—	Н
FM 197-28	$02 \ 17 \ 15$	-48 42.6	_	HL
FM 197-8	01 50 28.740	-47 09 57.48	0.020714	HL
FM 198-15	$02 \ 29 \ 16.076$	-48 29 28.56	0.018186	HL
FM 235-17	21 10 31.216	-47 30 32.05	0.016878	HL
FM 251-10	04 30 21.286	-45 01 35.17	0.065545	Н
FM 251-47	$04 \ 57 \ 01.7$	-46 45 01	_	CS
FM 265-16	11 20 48.029	-43 15 50.66	0.056576	HL
FM 298-9	02 09 43	-37 33.1	—	Н
FM 3-5	01 52 42.235	-81 37 52.19	_	E.Rb
FM 3-7	03 01 43.3	-82 35 36	0.015758	\mathbf{CS}
FM 316-19	10 09 05.537	-38 24 34.65	0.016488	E.Ra
FM 316-24	10 11 02.175	-39 41 36.63	0.016305	E.Ra
FM 327-23	15 00 34.168	-40 48 36.44	0.0386	Н
FM 327-6	14 43 49.237	-37 06 57.38	0.024934	CS
FM 358-11	03 35 20.318	-32 36 08.52	0.003976	HL
FM 363-11	05 47 22.158	-35 49 27.39	0.046315	E.Rb
FM 409-16	23 56 24.58	-29 01 21.8	0.0302	E.Rb
FM 424-20	05 49 29.879	-33 03 42.71	0.035995	Н
FM 438-21	11 18 35.284	-27 59 58.73	0.03368	HL
FM 438-6	11 00 22.8	-28 45 44	_	Н
FM 47-9	$20\ 42\ 08.555$	-73 37 09.79	0.012589	HL
FM 470-15	$23 \ 37 \ 06.555$	-29 05 01.53	0.075946	E.Ra
FM 50-4	23 34 27.407	-70 37 53.46	0.012986	HL
FM 50-7	23 46 39.434	-70 22 51.23	_	E.Rb
FM 509-47	13 47 10.309	-22 07 02.24	_	Н
FM 531-6	21 34 30.24	-25 28 43.7	0.053964	Н
FM 59-12	08 00 03.732	-67 10 17.71	_	Н

FM 77-13	$23 \ 25 \ 43.235$	-67 03 28.58	0.053437	E.Rb
FM 85-1	04 38 39.465	-66 13 58.28	0.048867	E.Rb
FM412-16	$01 \ 16 \ 06.015$	-32 29 28.87	0.018383	HL
OA 00101	$00 \ 05 \ 50.46$	-82 20 02.0	_	Н
OA 00103	00 24 51.4	-82 11 03	0.042793	HL
OA 00106	02 48 35.8	-79 15 57	_	E.Rb
OA 00110	16 15 20.643	-83 14 10.73	_	E.Rb
OA 00601	20 20 06.9	-70 58 21	_	E.Rb
OA 00801	02 01 45.0	-58 24 57	_	E.Ra
OA 00803	02 02 24.9	-58 29 52	_	Н
OA 00901	$04 \ 43 \ 25.87$	-62 19 25.6	_	E.Ra
OA 01101	$02 \ 59 \ 53.152$	$-57\ 02\ 41.95$	_	Н
OA 01102	06 00 21.405	-57 56 21.00	0.0383	Н
OA 01103	22 48 28.103	-58 15 02.16	0.035675	E.Rb
OA 02001	00 27 04.3	-40 57 06	0.148804	CS
OA 02502	$06 \ 24 \ 48.777$	-37 21 20.57	0.032506	Н
OA 02701	$01 \ 12 \ 26.60$	-19 01 18.0	—	\mathbf{CS}
OA 02801	$00 \ 51 \ 44.48$	-30 37 27.2	_	Н
OA 03202	$00\ 47\ 03.4$	-24 21 23	0.05271	E.Rb
OA 03601	$21 \ 05 \ 40.093$	-25 13 55.12	_	E.Rb
HRG 00204	00 12 38.062	-84 11 23.19	0.055872	HL
HRG 00205	$00\ 18\ 25.936$	-83 06 39.49	0.015124	HL
HRG 00208	00 52 38.780	-82 12 18.11	_	E.Rc
HRG 00211	$00 \ 56 \ 39.12$	-82 23 34.7	_	HL
HRG 00213	01 32 00.707	-85 10 39.68	0.013486	HL
HRG 00403	$04 \ 53 \ 45.476$	-82 14 25.48	_	E.Rb
HRG 00406	05 29 25.007	-85 55 43.06	0.015554	E.Ra
HRG 00502	06 23 10.13	-87 35 08.4	_	Н
HRG 00507	$06\ 25\ 47.155$	-85 05 51.78	0.041015	E.Rb
HRG 00514	08 14 41.411	-83 37 34.94	_	Н

HRG 00705	11 17 26.613	-82 49 41.06	_	E.Rc
HRG 00801	$15 \ 48 \ 54.162$	-82 59 10.67	_	Н
HRG 00901	$15 \ 35 \ 36.6$	-86 32 48	0.042276	E.Rb
HRG 01001	$19\ 04\ 35.127$	-85 18 58.57	0.045335	Н
HRG 01003	$19\ 20\ 17.5$	-84 47 33	0.016845	E.Ra
HRG 01008	20 34 05.793	-84 40 32.18	_	E.Rb
HRG 01102	22 51 35.7	-84 07 14	73	Н
HRG 01202	00 22 08.759	-80 47 57.73	_	E.Ra
HRG 01301	$01 \ 41 \ 08.027$	-79 15 52.98	_	HL
HRG 01404	$03 \ 49 \ 47.652$	-81 59 26.33	_	HL
HRG 01501	04 04 08.687	-82 20 30.05	0.016321	HL
HRG 01601	04 53 07.710	-81 54 05.14	_	Н
HRG 01602	05 32 03.353	-78 47 18.73	0.066313	E.Ra
HRG 01603	05 33 32.814	-77 28 28.89	0.042072	E.Rb
HRG 01604	05 40 02.106	-81 58 53.28	_	E.Ra
HRG 01701	07 27 31.100	-81 15 38.04	0.039217	HL
HRG 01702	07 40 10.032	-80 36 41.47	0.056836	E.Rb
HRG 01704	08 12 04.464	-79 22 40.71	0.01904	Н
HRG 01802	$09\ 15\ 25.364$	-80 13 17.50	0.03917	E.Rb
HRG 01803	$09 \ 35 \ 01.047$	-78 13 00.88	0.01947	HL
HRG 01902	10 28 07.405	-81 46 21.13	_	Н
HRG 02202	14 40 27.990	-78 48 33.00	0.015427	E.Ra
HRG 02304	16 54 40.04	-80 03 47.4	0.041999	E.Ra
HRG 02405	18 54 40.393	-78 53 54.40	0.02916	E.Ra
HRG 02502	19 20 48.010	-78 26 19.18	0.051843	HL
HRG 02503	19 33 12.766	-77 54 34.80	0.019423	E.Rb
HRG 02504	20 11 04.578	-78 50 53.87	0.020207	E.Rb
HRG 02602	20 58 21.782	-79 22 59.69	0.04783	Н
HRG 02603	21 36 08.152	-77 27 32.67	0.070475	Н
HRG 02701	22 26 35.332	-81 13 22.63	0.039044	HL

HRG 02702	23 11 37.295	-80 36 06.59	0.056536	HL
HRG 02703	22 31 03.911	-81 05 19.95		E.Rb
HRG 02704	22 32 51.233	-78 47 53.89	0.06285	E.Ra
HRG 03001	02 23 39.758	-76 34 38.15	_	Η
HRG 03101	04 00 06.829	-73 42 26.17	0.026298	E.Rb
HRG 03401	$06 \ 43 \ 05.967$	-74 14 10.37	0.022029	HL
HRG 04901	$23 \ 42 \ 26.558$	-76 22 24.59	—	Η
HRG 05201	01 53 29.701	-72 33 37.77	—	Η
HRG 08201	02 41 31.2	-63 38 20	0.055889	E.Rb
HRG 08202	02 55 33.871	-62 31 43.43	0.064875	HL
HRG 08204	03 15 19.064	-64 38 31.74	—	Н
HRG 08901	08 20 26.276	-65 20 25.88	0.035491	E.Ra
HRG 10101	$16\ 55\ 54.792$	-64 30 12.50	0.049908	E.Rb
HRG 10103	16 58 20.966	-63 26 08.39	0.039291	HL
HRG 10104	$17\ 06\ 05.925$	-63 27 51.87	0.032302	E.Rb
HRG 10501	19 41 23.892	-62 33 57.59	0.044968	HL
HRG 10502	$20\ 12\ 26.565$	-65 24 57.55	0.050925	Н
HRG 10503	20 19 46.853	-66 45 42.60	0.051629	HL
HRG 10901	$22\ 26\ 54.089$	-63 42 51.93	0.041158	HL
HRG 10902	23 19 13	-67 09.4	0.070285	Η
HRG 11301	01 07 30.626	-61 20 20.09	0.0264	HL
HRG 11401	$02 \ 01 \ 45.492$	-58 22 37.88	0.022209	HL
HRG 11602	03 24 53.044	-60 44 18.13	0.0185	HL
HRG 11702	$03 \ 58 \ 27.872$	-59 31 45.95	—	E.Rb
HRG 11801	04 09 02.618	-59 06 33.15	0.027599	HL
HRG 11802	04 48 53.855	-63 37 18.18	_	HL
HRG 12101	05 58 48.754	-60 03 27.52	_	Η
HRG 12102	06 00 21.405	-57 56 21.00	0.0383	HL
HRG 13801	17 29 09.573	-62 26 44.13	0.015481	E.Rb
HRG 14601	22 15 03.5	-58 17 16	0.047826	E.Rc

HRG 15501	$02 \ 59 \ 06.475$	-57 08 18.71	0.044481	HL
HRG 15703	04 35 12.019	-54 12 20.31	0.040555	HL
HRG 15901	$05\ 17\ 07.930$	-54 04 01.01	0.014136	HL
HRG 15902	05 28 41.649	-56 56 08.12	0.014977	HL
HRG 16001	06 14 30.489	-53 56 29.30	0.035331	HL
HRG 19501	00 48 21.486	-47 52 21.05	0.074702	E.Rb
HRG 19503	01 03 31.720	-47 01 26.78	0.022529	HL
HRG 19504	01 04 56.771	-47 11 10.29	0.138363	HL
HRG 19505	$01 \ 05 \ 20.287$	-47 12 03.11	0.021929	HL
HRG 19510	01 08 18.632	-47 04 19.57		HL
HRG 19511	01 08 52.397	-47 08 48.72	0.056699	Н
HRG 19512	01 09 55.343	-46 59 30.38	0.023349	HL
HRG 19513	01 15 55.234	-50 11 21.92	0.024347	HL
HRG 19514	01 19 28.434	-51 46 47.82	0.031225	HL
HRG 20201	04 16 09.897	-49 13 50.18	_	Н
HRG 20202	04 24 31.985	-49 34 29.70	0.042876	HL
HRG 23701	$22 \ 09 \ 45.857$	-49 47 54.55	0.027179	E.Ra
HRG 23702	$22\ 10\ 01.355$	-49 40 32.65	0.027085	HL
HRG 23801	22 20 51.724	-48 46 29.12	0.030728	E.Rc
HRG 23802	22 33 47.102	-48 01 29.10	0.034944	E.Rb
HRG 24701	02 43 17.082	-42 30 41.16	_	Н
HRG 29401	00 20 14.328	-39 55 18.75	0.038113	HL
HRG 30101	03 23 54.321	-37 30 24.31	0.004687	E.Rb
HRG 31601	10 08 40.078	-40 05 36.68	0.016772	HL
HRG 31801	10 45 23.0	-42 31 27	_	E.Rb
HRG 35002	$00 \ 37 \ 41.107$	-33 42 58.79	0.030187	E.Ra
HRG 35201	01 15 00.844	-32 14 37.82	0.01952	HL
HRG 36101	04 39 38.553	-37 02 57.73	0.040331	HL
HRG 36102	04 44 07.368	-32 54 36.85		HL
HRG 36103	04 53 50.312	-33 13 50.17	0.041926	E.Rb

HRG 36104	$04 \ 55 \ 18.054$	-37 06 21.14	0.03926	Н
HRG 37501	$10\ 29\ 45.615$	-38 20 54.71	0.01515	HL
HRG 38301	$13 \ 31 \ 43.502$	-33 22 49.13	0.025688	HL
HRG 40701	23 11 17.270	-32 27 06.77	0.037783	E.Rc
HRG 41102	$00 \ 56 \ 52.416$	-31 57 46.63	0.01873	HL
HRG 43701	$23 \ 15 \ 32.095$	-38 32 08.22	0.007012	E.Ra
HRG 48401	04 16 29.442	-25 03 29.83	0.041919	HL
HRG 48907	06 29 13.921	-26 29 46.55	0.022592	Н
HRG 50201	11 02 30.996	-26 10 07.48	0.013216	E.Rb
HRG 51001	14 00 23.7	-23 18 31	0.036559	E.Ra
HRG 54101	01 05 10.438	-22 03 26.83	0.056222	Н
HRG 54102	01 12 33.824	-19 00 53.22	_	HL
HRG 56802	10 23 48.358	-21 08 28.45	0.027266	HL
HRG 57201	11 43 13.722	-18 24 04.14	_	HL
HRG 57203	11 54 55.005	-22 03 16.52	0.055722	HL
HRG 57204	11 59 44.432	-20 58 14.98	0.036102	E.Rb
HRG 58201	15 24 03.669	-18 40 57.41	_	HL
IC 0614	10 26 51.837	-03 27 53.22	0.034217	HL
IC 3813	12 50 02.304	-25 55 14.39	0.010857	HL
KIG 0686	15 32 57.3	$+46\ 27\ 10$	0.002188	CS
KIG 0700	15 45 14.4	$+00 \ 46 \ 20$	0.012806	E.Ra
NGC 0985	02 34 37.882	-08 47 17.02	0.043143	E.Rc
NGC 2793	09 16 45.602	$+34 \ 25 \ 54.51$	0.005627	E.Ra
NGC 4774	12 53 06.515	$+36 \ 49 \ 10.93$	0.027823	E.Rc
PRC-D 38	22h28m53.9s	-24d43m44s	0.055932	E.Rc
VII Zw 466	12 32 05.0	$+66 \ 24 \ 12$	0.048333	E.Rc
VV 256	14 00 54.565	+40 59 18.14	0.012445	E.Ra

Anexo B

Possíveis candidatos a AGNs

Objetos	RA	DEC
AM 0045-230	00 47 34.795	-22 48 00.24
AM 0413-590	$04 \ 14 \ 27.1$	-58 57 57
AM 0507-512	05 08 28.239	-51 21 28.75
AM 1323-293	$13\ 26\ 47.223$	-29 52 52.82
AM 1408-364	14 11 43.118	-37 01 11.23
AM 1627-824	$16 \ 37 \ 57$	-82 51.3
AM 2026-424	20 29 31.9	-42 30 15
AM 2201-230	22 04 19.395	-22 47 32.88
ARP 143	$07 \ 46 \ 53.047$	+39 01 54.97
FM 316-19	$10 \ 09 \ 05.537$	-38 24 34.65
OA 00801	02 01 45.0	$-58 \ 24 \ 57$
OA 00901	$04 \ 43 \ 25.87$	-62 19 25.6
HRG 00406	$05 \ 29 \ 25.007$	-85 55 43.06
HRG 01003	19 20 17.5	-84 47 33
HRG 01202	00 22 08.759	-80 47 57.73
HRG 01604	05 40 02.106	-81 58 53.28
HRG 02202	14 40 27.990	-78 48 33.00

Tabela B.1: Possíveis candidatos a AGNs.

HRG 02405	18 54 40.393	-78 53 54.40
HRG 08901	08 20 26.276	-65 20 25.88
HRG 23701	22 09 45.857	-49 47 54.55
HRG 35002	00 37 41.107	-33 42 58.79
HRG 43701	23 15 32.095	-38 32 08.22
KIG 0700	$15 \ 45 \ 14.4$	$+00 \ 46 \ 20$
NGC 2793 09	16 45.602	$+34 \ 25 \ 54.51$
AM 0034-351	00 37 04.664	-34 56 24.26
AM 0058-665	01 00 15.172	-66 37 06.99
AM 0115-463	01 18 10.151	-46 14 32.27
AM 0155-815	$01 \ 53 \ 54$	-81 38.3
AM 0403-555	04 04 16.349	-55 46 22.71
AM 0411-680	04 11 20.589	-67 55 14.63
AM 0642-801	06 38 37.950	-80 14 49.34
AM 1854-490	18 58 06.790	-49 00 40.87
AM 1947-445	19 51 23	-44 51.6
AM 1947-445 AM 2034-483	19 51 23 20 38 07.4	-44 51.6 -48 23 03
AM 1947-445 AM 2034-483 AM 2128-302	19 51 23 20 38 07.4 21 31 08.7	-44 51.6 -48 23 03 -30 16 16
AM 1947-445 AM 2034-483 AM 2128-302 AM 2141-515	19 51 23 20 38 07.4 21 31 08.7 21 45 15.139	-44 51.6 -48 23 03 -30 16 16 -51 41 53.03
AM 1947-445 AM 2034-483 AM 2128-302 AM 2141-515 ESO 146-IG 029	19 51 23 20 38 07.4 21 31 08.7 21 45 15.139 22 29 19.570	-44 51.6 -48 23 03 -30 16 16 -51 41 53.03 -58 24 40.75
AM 1947-445 AM 2034-483 AM 2128-302 AM 2141-515 ESO 146-IG 029 FM 117-4	19 51 23 20 38 07.4 21 31 08.7 21 45 15.139 22 29 19.570 03 40 37.982	-44 51.6 -48 23 03 -30 16 16 -51 41 53.03 -58 24 40.75 -62 46 50.67
AM 1947-445 AM 2034-483 AM 2128-302 AM 2141-515 ESO 146-IG 029 FM 117-4 FM 3-5	19 51 23 20 38 07.4 21 31 08.7 21 45 15.139 22 29 19.570 03 40 37.982 01 52 42.235	-44 51.6 -48 23 03 -30 16 16 -51 41 53.03 -58 24 40.75 -62 46 50.67 -81 37 52.19
AM 1947-445 AM 2034-483 AM 2128-302 AM 2141-515 ESO 146-IG 029 FM 117-4 FM 3-5 FM 77-13	19 51 23 20 38 07.4 21 31 08.7 21 45 15.139 22 29 19.570 03 40 37.982 01 52 42.235 23 25 43.235	-44 51.6 -48 23 03 -30 16 16 -51 41 53.03 -58 24 40.75 -62 46 50.67 -81 37 52.19 -67 03 28.58
AM 1947-445 AM 2034-483 AM 2128-302 AM 2141-515 ESO 146-IG 029 FM 117-4 FM 3-5 FM 77-13 OA 00106	19 51 23 20 38 07.4 21 31 08.7 21 45 15.139 22 29 19.570 03 40 37.982 01 52 42.235 23 25 43.235 02 48 35.8	-44 51.6 -48 23 03 -30 16 16 -51 41 53.03 -58 24 40.75 -62 46 50.67 -81 37 52.19 -67 03 28.58 -79 15 57
AM 1947-445 AM 2034-483 AM 2128-302 AM 2141-515 ESO 146-IG 029 FM 117-4 FM 3-5 FM 77-13 OA 00106 OA 00110	19 51 23 20 38 07.4 21 31 08.7 21 45 15.139 22 29 19.570 03 40 37.982 01 52 42.235 23 25 43.235 02 48 35.8 16 15 20.643	-44 51.6 -48 23 03 -30 16 16 -51 41 53.03 -58 24 40.75 -62 46 50.67 -81 37 52.19 -67 03 28.58 -79 15 57 -83 14 10.73
AM 1947-445 AM 2034-483 AM 2128-302 AM 2141-515 ESO 146-IG 029 FM 117-4 FM 3-5 FM 77-13 OA 00106 OA 00110 OA 00601	19 51 23 20 38 07.4 21 31 08.7 21 45 15.139 22 29 19.570 03 40 37.982 01 52 42.235 23 25 43.235 02 48 35.8 16 15 20.643 20 20 06.9	-44 51.6 -48 23 03 -30 16 16 -51 41 53.03 -58 24 40.75 -62 46 50.67 -81 37 52.19 -67 03 28.58 -79 15 57 -83 14 10.73 -70 58 21
AM 1947-445 AM 2034-483 AM 2128-302 AM 2141-515 ESO 146-IG 029 FM 117-4 FM 3-5 FM 77-13 OA 00106 OA 00110 OA 00601 OA 03202	19 51 23 20 38 07.4 21 31 08.7 21 45 15.139 22 29 19.570 03 40 37.982 01 52 42.235 23 25 43.235 02 48 35.8 16 15 20.643 20 20 06.9 00 47 03.4	-44 51.6 -48 23 03 -30 16 16 -51 41 53.03 -58 24 40.75 -62 46 50.67 -81 37 52.19 -67 03 28.58 -79 15 57 -83 14 10.73 -70 58 21 -24 21 23
AM 1947-445 AM 2034-483 AM 2128-302 AM 2141-515 ESO 146-IG 029 FM 117-4 FM 3-5 FM 77-13 OA 00106 OA 00110 OA 00601 OA 03202 HRG 01603	19 51 23 20 38 07.4 21 31 08.7 21 45 15.139 22 29 19.570 03 40 37.982 01 52 42.235 23 25 43.235 02 48 35.8 16 15 20.643 20 20 06.9 00 47 03.4 05 33 32.814	-44 51.6 -48 23 03 -30 16 16 -51 41 53.03 -58 24 40.75 -62 46 50.67 -81 37 52.19 -67 03 28.58 -79 15 57 -83 14 10.73 -70 58 21 -24 21 23 -77 28 28.89
AM 1947-445 AM 2034-483 AM 2128-302 AM 2141-515 ESO 146-IG 029 FM 117-4 FM 3-5 FM 77-13 OA 00106 OA 00110 OA 00601 OA 03202 HRG 01603 HRG 01702	19 51 23 20 38 07.4 21 31 08.7 21 45 15.139 22 29 19.570 03 40 37.982 01 52 42.235 23 25 43.235 02 48 35.8 16 15 20.643 20 20 06.9 00 47 03.4 05 33 32.814 07 40 10.032	-44 51.6 -48 23 03 -30 16 16 -51 41 53.03 -58 24 40.75 -62 46 50.67 -81 37 52.19 -67 03 28.58 -79 15 57 -83 14 10.73 -70 58 21 -24 21 23 -77 28 28.89 -80 36 41.47

HRG 02504	20 11 04.578	-78 50 53.87
HRG 08201	02 41 31.2	-63 38 20
HRG 10104	$17\ 06\ 05.925$	-63 27 51.87
HRG 11702	03 58 27.872	-59 31 45.95
HRG 30101	03 23 54.321	-37 30 24.31
HRG 50201	11 02 30.996	-26 10 07.48
HRG 57204	11 59 44.432	-20 58 14.98
AM 0154-353 01 57 06	-35 18.9	
AM 0200-581	$02 \ 01 \ 50.57$	-57 56 53.6
AM 0240-242	$02 \ 42 \ 32.171$	-24 13 51.53
AM 0404-271	04 06 29.394	-27 09 24.67
AM 0437-314	04 39 40.556	-31 42 38.03
AM 0642-645	06 42 33.1	-64 59 48
AM 0755-785	$07 \ 53 \ 31.9$	-79 06 31
AM 0814-760	08 13 31.683	-76 17 29.08
AM 1003-215	$10 \ 05 \ 41$	-22 05.9
AM 1249-462	12 52 39.071	-46 38 58.80
AM 1300-412	$13 \ 03 \ 06$	-41 43.0
AM 1325-251	$13\ 27\ 58.224$	-25 31 48.46
AM 1953-260	$19\ 56\ 28.608$	-25 54 53.86
AM 2012-282	20 15 12	-28 18.4
AM 2021-724	20 26 31.4	-72 36 35
AM 2044-691	20 48 56.8	-69 05 31
AM 2155-263	21 58 38.430	-26 22 40.28
AM 2313-261	$23 \ 15 \ 46.765$	-25 54 19.47
ARP 141	$07 \ 14 \ 20.4$	$+73 \ 28 \ 37$
ARP 145	02 23 11.424	$+41 \ 22 \ 04.77$
ARP 146	00 06 44.799	-06 38 13.61
ARP 147	03 11 18.90	+01 18 53.0
ARP 148	11 03 53.892	$+40\ 50\ 59.89$

ARP 150	23 19 30.066	$+09 \ 30 \ 29.57$
ARP 284	23 36 19	+02 09.3
ESO 109-IG23	22 48 33.552	-66 43 16.40
ESO 239-IG02	22 49 39.888	-48 50 57.91
ESO 299-IG01	$02 \ 25 \ 14.183$	-40 25 26.85
HRG 00208	00 52 38.780	-82 12 18.11
HRG 00705	11 17 26.613	-82 49 41.06
HRG 14601	$22\ 15\ 03.5$	-58 17 16
HRG 23801	22 20 51.724	-48 46 29.12
HRG 40701	23 11 17.270	-32 27 06.77
NGC 0985	02 34 37.882	-08 47 17.02
NGC 4774	$12 \ 53 \ 06.515$	$+36 \ 49 \ 10.93$
VII Zw 466	12 32 05.0	$+66 \ 24 \ 12$
AM 0147-350	01 49 43.711	-34 49 51.74
AM 0530-421	$05 \ 31 \ 40.862$	-42 09 54.69
ESO 200-IG	009 03 21 40.668	-51 39 29.67
ESO 200-IG OA 00803	009 03 21 40.668 02 02 24.9	-51 39 29.67 -58 29 52
ESO 200-IG OA 00803 OA 01102	009 03 21 40.668 02 02 24.9 06 00 21.405	-51 39 29.67 -58 29 52 -57 56 21.00
ESO 200-IG OA 00803 OA 01102 HRG 00514	009 03 21 40.668 02 02 24.9 06 00 21.405 08 14 41.411	-51 39 29.67 -58 29 52 -57 56 21.00 -83 37 34.94
ESO 200-IG OA 00803 OA 01102 HRG 00514 HRG 01704	009 03 21 40.668 02 02 24.9 06 00 21.405 08 14 41.411 08 12 04.464	-51 39 29.67 -58 29 52 -57 56 21.00 -83 37 34.94 -79 22 40.71
ESO 200-IG OA 00803 OA 01102 HRG 00514 HRG 01704 AM 0425-421	009 03 21 40.668 02 02 24.9 06 00 21.405 08 14 41.411 08 12 04.464 04 26 36.896	-51 39 29.67 -58 29 52 -57 56 21.00 -83 37 34.94 -79 22 40.71 -42 05 37.25
ESO 200-IG OA 00803 OA 01102 HRG 00514 HRG 01704 AM 0425-421 AM 0544-393	009 03 21 40.668 02 02 24.9 06 00 21.405 08 14 41.411 08 12 04.464 04 26 36.896 05 45 51.090	-51 39 29.67 -58 29 52 -57 56 21.00 -83 37 34.94 -79 22 40.71 -42 05 37.25 -39 29 39.29
ESO 200-IG OA 00803 OA 01102 HRG 00514 HRG 01704 AM 0425-421 AM 0544-393 AM 1320-265	009 03 21 40.668 02 02 24.9 06 00 21.405 08 14 41.411 08 12 04.464 04 26 36.896 05 45 51.090 13 23 05.936	-51 39 29.67 -58 29 52 -57 56 21.00 -83 37 34.94 -79 22 40.71 -42 05 37.25 -39 29 39.29 -27 12 24.98
ESO 200-IG OA 00803 OA 01102 HRG 00514 HRG 01704 AM 0425-421 AM 0544-393 AM 1320-265 AM 2131-495	009 03 21 40.668 02 02 24.9 06 00 21.405 08 14 41.411 08 12 04.464 04 26 36.896 05 45 51.090 13 23 05.936 21 34 37.602	-51 39 29.67 -58 29 52 -57 56 21.00 -83 37 34.94 -79 22 40.71 -42 05 37.25 -39 29 39.29 -27 12 24.98 -49 42 45.11
ESO 200-IG OA 00803 OA 01102 HRG 00514 HRG 01704 AM 0425-421 AM 0544-393 AM 1320-265 AM 2131-495 AM 2238-541	009 03 21 40.668 02 02 24.9 06 00 21.405 08 14 41.411 08 12 04.464 04 26 36.896 05 45 51.090 13 23 05.936 21 34 37.602 22 41 57.7	-51 39 29.67 -58 29 52 -57 56 21.00 -83 37 34.94 -79 22 40.71 -42 05 37.25 -39 29 39.29 -27 12 24.98 -49 42 45.11 -53 59 45
ESO 200-IG OA 00803 OA 01102 HRG 00514 HRG 01704 AM 0425-421 AM 0544-393 AM 1320-265 AM 2131-495 AM 2238-541 ARP 318	009 03 21 40.668 02 02 24.9 06 00 21.405 08 14 41.411 08 12 04.464 04 26 36.896 05 45 51.090 13 23 05.936 21 34 37.602 22 41 57.7 02 09 31.3	-51 39 29.67 -58 29 52 -57 56 21.00 -83 37 34.94 -79 22 40.71 -42 05 37.25 -39 29 39.29 -27 12 24.98 -49 42 45.11 -53 59 45 -10 09 31
ESO 200-IG OA 00803 OA 01102 HRG 00514 HRG 01704 AM 0425-421 AM 0544-393 AM 1320-265 AM 2131-495 AM 2238-541 ARP 318 ESO 474-G16	009 03 21 40.668 02 02 24.9 06 00 21.405 08 14 41.411 08 12 04.464 04 26 36.896 05 45 51.090 13 23 05.936 21 34 37.602 22 41 57.7 02 09 31.3 00 42 52.793	-51 39 29.67 -58 29 52 -57 56 21.00 -83 37 34.94 -79 22 40.71 -42 05 37.25 -39 29 39.29 -27 12 24.98 -49 42 45.11 -53 59 45 -10 09 31 -23 32 27.65
ESO 200-IG OA 00803 OA 01102 HRG 00514 HRG 01704 AM 0425-421 AM 0544-393 AM 1320-265 AM 2131-495 AM 2238-541 ARP 318 ESO 474-G16 ESO 500-G41	009 03 21 40.668 02 02 24.9 06 00 21.405 08 14 41.411 08 12 04.464 04 26 36.896 05 45 51.090 13 23 05.936 21 34 37.602 22 41 57.7 02 09 31.3 00 42 52.793 10 26 56.305	-51 39 29.67 -58 29 52 -57 56 21.00 -83 37 34.94 -79 22 40.71 -42 05 37.25 -39 29 39.29 -27 12 24.98 -49 42 45.11 -53 59 45 -10 09 31 -23 32 27.65 -24 05 21.24
ESO 200-IG OA 00803 OA 01102 HRG 00514 HRG 01704 AM 0425-421 AM 0544-393 AM 1320-265 AM 2131-495 AM 2238-541 ARP 318 ESO 474-G16 ESO 500-G41 FM 235-17	$\begin{array}{c} 009\ 03\ 21\ 40.668\\ 02\ 02\ 24.9\\ 06\ 00\ 21.405\\ 08\ 14\ 41.411\\ 08\ 12\ 04.464\\ 04\ 26\ 36.896\\ 05\ 45\ 51.090\\ 13\ 23\ 05.936\\ 21\ 34\ 37.602\\ 22\ 41\ 57.7\\ 02\ 09\ 31.3\\ 00\ 42\ 52.793\\ 10\ 26\ 56.305\\ 21\ 10\ 31.216\\ \end{array}$	-51 39 29.67 -58 29 52 -57 56 21.00 -83 37 34.94 -79 22 40.71 -42 05 37.25 -39 29 39.29 -27 12 24.98 -49 42 45.11 -53 59 45 -10 09 31 -23 32 27.65 -24 05 21.24 -47 30 32.05

FM 50-4	23 34 27.407	-70 37 53.46
OA 00103	00 24 51.4	-82 11 03
HRG 00204	$00\ 12\ 38.062$	-84 11 23.19
HRG 00205	$00\ 18\ 25.936$	-83 06 39.49
HRG 00211	$00 \ 56 \ 39.12$	-82 23 34.7
HRG 00213	01 32 00.707	-85 10 39.68
HRG 02701	22 26 35.332	-81 13 22.63
HRG 10103	$16\ 58\ 20.966$	-63 26 08.39
HRG 11602	$03 \ 24 \ 53.044$	-60 44 18.13
HRG 11802	$04 \ 48 \ 53.855$	-63 37 18.18
HRG 12102	$06 \ 00 \ 21.405$	-57 56 21.00
HRG 19513	$01 \ 15 \ 55.234$	-50 11 21.92
HRG 37501	$10\ 29\ 45.615$	-38 20 54.71
HRG 41102	$00 \ 56 \ 52.416$	-31 57 46.63
HRG 54102	01 12 33.824	-19 00 53.22
IC 0614	$10\ 26\ 51.837$	-03 27 53.22
AM 1025-370	10 27 13.6	$-37 \ 25 \ 22$
FM 251-47	$04 \ 57 \ 01.7$	-46 45 01
FM 3-7 03	01 43.3	-82 35 36
OA 02001	00 27 04.3	-40 57 06
OA 02701	01 12 26.60	-19 01 18.0

Anexo C

Artigo a ser submetido

MNRAS 000, 1-?? (2015)

Preprint 10 May 2018

Compiled using MNRAS LATEX style file v3.0

Star formation and stellar population in the interacting peculiar galaxies AM 1947-445 and AM 1953-260*

G. A. Silva^{1,2,3}[†], H. Monteiro¹, M. Faúndez-Abans², and P. C. da Rocha Poppe³ ¹UNIFEI, Instituto de Física e Química, Av. BFS, 1903, Pinheirinho, CEP 37500-903, Itajubá, MG, Brazil ²MCTIC/Laboratório Nacional de Astrofísica, Rua Estados Unidos, 154, Bairro das Nações, CEP 37504-364, Itajubá, MG, Brazil ³UEFS, Observatório Astronômico Antares, Rua da Barra 925, Jardim Cruzeiro, CEP 44024-432, Feira de Santana, BA, Brazil

Accepted XXX. Received YYY; in original form ZZZ

ABSTRACT

We present a first spectroscopic study of two pair of southern interacting peculiar galaxies in the local Universe (z < 0.05), AM 1947-445 (formed with ESO 283-G019 and ESO 283-G020) and AM 1953-260 (formed with ESO 526-G018 NED01 and ESO 526-G018 NED02). As no detailed optical spectroscopy for these objects has been published yet, these galaxies make our study ideal for checking the presence of emission lines frazil, and cover a wide range in wavelenght, enabling the measurements of several stellar absorption features and gas emission lines. For the first pair, we find compelling evidences of emission lines in their nuclei after the subtraction of the underlying stellar population with spectral synthesis code STARLIGHT. From their emission line ratios, ESO 283-G019 appears to be 'transition' object, i.e. a classification between narrow-line AGNs (LINERS or Seyfert galaxies) and HII regions. ESO 283-G020 is a typical HII galaxy. ESO 526-G018 NED01 is a 'quiescent' galaxy with no evident emission lines. The nucleus of the ESO 526-G018 NED02 was not detected in our spectrum. However, two intense star-forming regions were detected along the ring. Key words: galaxies: active - galaxies: interactions - galaxies: couliar ring galaxy

Key words: galaxies: active - galaxies: interactions - galaxies: peculiar ring galaxy

1 INTRODUCTION

Our knowledge of peculiar ring galaxies at low and high red-shifts is still incipient. These kinds of objects are complex and include a large variety of types with single or multiple rings (inner and/or outer), nuclei, knots, and debris. In some cases, empty rings are also observed. Although many papers have been published in past decades (e.g. Chatterjee 1979, 1984; Buta 1984; Appleton & Curtis 1996; Athanassoula et al 2009a,b, among others), new information is still being presented and nears un interasting discussions and nervaeo. al 2009a,b, among others), new information is still being presented and opens up interesting discussions and perspec-tives (e.g Buta 2017). However, the analyzes obtained from spectroscopy are still relatively poor for a large majority of objects classified as ringed. Star formation rates and stel-lar populations are excellents examples of this gap. Accord-ing to Knapen (2005), star-forming nuclear rings occur in approximately 20% of spiral galaxies, considered true sites of intense active star formation with a complex mixture of gas, dust and young stars.

* Based on observations made at the OPD - LNA/MCTIC, Brazil.
 † E-mail: giuanafisica@gmail.com

© 2015 The Authors

Peculiar ring galaxies represent a class of colliding galaxies where the most extreme values of the global star formation rate can be observed. For example, high rates of star formation based on infrared observations (JHKL photo metry) were reported by Joseph et al (1984) in a sample of Arp interacting pairs. In fact, the Arp and Madore cat-alogue (Arp & Madore 1987) is a very rich source of ring galaxies, but the word 'ring' is used to describe a variety of different types of system.

An alternative classification criterion based on the visual appearance of 108 nuclei of ring-shaped galaxies was discussed in Faúndez-Abans et al (1992). Subsequently, a division in framezzabans et al (1992). Subsequency, a division in five types according to the morphology of the ring and bulge (Faúndez-Abans & Oliveira-Abans 1998), was proposed based on the visual inspection of 489 selected objects. In this paper, we study the star formation histories of two pair of interacting galaxies AM 1947-445 (formed with ESO 283-G019 and ESO 283-G020) and AM 1953-260 (composed with ESO 526-G018 NED01 and ESO 526-G018 NED02), by extracting information from long-slit spectroscopy over a wide range in wavelength, analysing both the stellar and the gaseous contributions of the spectra. There

2 G. A. Silva et al.

fore, the stellar absorption and gas emission after the subtraction of the underlying stellar population with spectral synthesis code STARLIGHT¹ (Cid Fernandes et al. 2004, 2005, 2007; Mateus et al. 2006; Asari et al. 2007), will allow us to determine the physical parameters and complex star formation properties of the rings.

This paper is arranged as follows. In Section 2 , we discuss the observations and the process of data analysis. We also describe the process of reduction with the IRAF as well as our estimates in the accuracy of the calibration. The discussion of our findings, the optical spectra with a description of the heliocentric velocity, the stellar population synthesis with the STARLIGHT code, and the absorption and emission lines after the subtraction of the underlying contribution, are presented in Section 3. The main conclusions can be found in Sections 4.

2 OBSERVATIONS AND DATA REDUCTION

The observed peculiar galaxies were chosen from our sample of ring galaxies and consist of two pairs of interacting galaxies both in different redshifts (for the morphology see Figure 1). The slit was positioned in order to encompass the nucleus and at least one bright hotspot in the ring. The respective morphologies are described in Table 1 with some global parameters.

The observations were carried out at the Observatório do Pico dos Dias (OPD) - Laboratório Nacional de Astrofísica, Brazil, on the Perkin-Elmer 1.6-m telescope. The spectroscopic data were performed with a Boller & Chivens spetrograph and the IkonL 13739 CCD with pixel size of 15 μ m, giving a plate scale of 0.18 arcsec pix⁻¹. The grating used had $300 \,\mathrm{l\,mm^{-1}}$ and was centered at $685 \,\mathrm{nm}$. Onedimensional spectra were extracted in windows of 3.0 arcsec. The selected spectral region covers the wavelength range of $\lambda\lambda 4\,360 - 7\,000\,\text{\AA}$, and provides an extensive collection of emission and absorption lines that are commonly used to discuss physical properties in many galaxies. Standard HeAr calibration lamp exposures were taken for each science exposure. The Helium lines have been labeled in blue and the Argon lines in red. A set of four precisely known and well spread emission lines were used, including the edges of the spectrum for the wavelength calibration. An average RMS less than 0.45Å has been obtained for the pixel-towavelength fit using a spline3 function. A number of spectroscopic standard star observations for flux calibration at the same nights with a similar airmass. They are tertiary standards from Baldwin & Stone (1984), revised by Hamuy et al. (1992); see also Hamuy et al. (1994). Bias frames and dome flat fields were also obtained for each night of observation. Finally, the weather conditions during the runs were not photometric, with thin cirrus and image quality in the range 2.3'' to 2.5'' (as measured from the above stars in the acquisition images taken just prior to the long-slit spectroscopic observations).

All spectra were reduced using standard IRAF² pack-

ages for the reduction of long-slit spectra (Tody 1986). The data were bias-corrected before trimming and divided by a normalized flat field image in order to remove pixel-to-pixel variations (CCDPROC). Cosmic-rays affected pixels have been replaced using the Laplacian Edge Detection technique $(C.A. Cosmic, van Dokkum 2001)^3$. To correct the data for geometrical distortions, we use the follow sequence of tasks: IDENTIFY, REIDENTIFY, FITCOORDS, and TRANSFORM, all located within the TWODSPEC.LONGSLIT package. The spectra are calibrated in wavelength and also in intensity, with the tasks STANDARD, SENSFUNC, and CALIBRATE. The background sky contribution has been fitted using regions away from the bright galaxy, and then subtracted from the frame. The spectra were traced to align the dispersion and spatial axes with the rows and columns of the CCD array. All spectra were visually inspected for contamination of the emission lines from the O₂ atmospheric absorption features in the wavelenght range from 6858 Å to 6934 Å. The observed emission lines were individually isolated and fit with Gaussians.

Doppler correction was applied to bring the wavelength scale of the spectra to the laboratory system. We evaluated the necessary corrections for all spectra by extracting redshifts from XCSAO task using cross-correlation method in RVSAO⁴/IRAF external package. With such determined Doppler shifts, the wavelength scale of each spectrum was corrected by using the 'dopcor' task. All spectra were flux-calibrated to an absolute scale with units of erg cm⁻² s⁻¹ and corrected for Galactic extinction with the values published in Schlegel et al. (1998).

After the reduction, the next step was derive the heliocentric radial velocity (cz, in $\mathrm{km\,s^{-1}}$), with their respective estimates of internal errors ($\mathrm{km\,s^{-1}}$). These results were obtained with the IRAF RVSAO external package. On the other hand, to investigate the ionization state observed in the nuclear region and some hotspots on the rings, we then use the stellar population synthesis code STARLIGHT.

3 THE OPTICAL SPECTRA

3.1 Heliocentric Velocity

The spectra of these galaxies were published by Jones et al. (2009) in the 6dF Galaxy Survey and, in a first analysis, no emission lines were observed in their raw spectra. The heliocentric velocities published in the literature for all galaxies discussed in this paper are shown in Table 2.

The values obtained in our study were performed with the XCSAO task. This method uses the quotient of the Fourier transforms applied to the spectra in velocity space. A parabolic function was used in our analysis for the peakfitting mode. As expected results, we have the peak velocity

¹ STARLIGHT & SEAGal: http://www.starlight.ufsc.br/

² Image Reduction and Analysis Facility, distributed by the National Optical Astronomy Observatory, which is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy. Inc., under

a cooperative agreement with the National Science Foundation. http://iraf.noao.edu/ $\,$

³ http://www.astro.yale.edu/dokkum/lacosmic/

⁴ RVSAO is an IRAF add-on package developed at the Smithsonian Astrophysical Observatory Telescope Data Center to obtain radial velocities from spectra using cross-correlation and emission line fitting techniques. Available at http://tdcwww.harvard.edu/iraf/rvsao/.



Figure 1. Optical image taken from the DSS with the observed slit positions of the spectrograph in red. The original image has been enhanced to highlight some substructures. Left: AM 1947-445 (top: ESO 283-G020; bottom: ESO 283-G019). Right: AM 1953-260 (top: ESO 526-G018 NED02; bottom: ESO 526-G018 NED01). The North is up, and the East is to the left-hand side.

Table 1. Journal of observations. Given are the ID number, the galaxy name, the date of the observations, the exposure time, the position angle of the spectrograph slit measured North over East (see Fig. 1), and the mean airmass in each observation. The S/N ratio is a dimensionless quantity according to its usual definition. However, we use the method described in Tonry & Davis (1979) which estimates the Poisson error per pixel unit taking into account the spectral dispersion (in Å pixel⁻¹). We use the region 5800-5850 Å.

Galaxy	RA (h m s)	DEC (°′″)	Morphology	Date (M/D/Y)	Exp. Time (s)	PA (°)	Mean Airmass
(AM 1947-445) ESO 283- G 019 ESO 283- G 020	$\begin{array}{c} 19 \ 51 \ 19.9 \\ 19 \ 51 \ 26.3 \end{array}$	$-44 52 39 \\ -44 50 36$	$(R'SA0^+(rs)? pec SAB0^-(s)? pec$	30/05/2017 30/05/2017	$\begin{array}{l} 1 \times 3600 \\ 1 \times 3600 \end{array}$	29 29	$\begin{array}{c} 1.009 \\ 1.009 \end{array}$
(AM 1953-260) ESO 526- G 018 NED01 ESO 526- G 018 NED02	$\begin{array}{c} 19 \ 56 \ 29.1 \\ 19 \ 56 \ 28.6 \end{array}$	$-25 55 16 \\ -25 54 53$	S0 pec Ring	30/05/2017 30/05/2017	1×3600 1×3600	167 167	$1.281 \\ 1.281$

and the FWHM (Full Width at Half Maximum) of the crosscorrelation function. This procedure can be applied in spectra exhibiting both absorption and faint emission lines.

The template spectra⁵ distributed by RVSAO package were used in this procedure. The choice of the best reference template to be used in the set of spectral apertures was based only on the selection of the best cross-correlation result obtained with the spectrum of the central aperture. We chose the best cross-correlation by selecting the highest value obtained for the parameter $r = h/\sqrt{2}\sigma_h$ (cf. Tonry & Davis 1979) provided by XCSAO, i.e., the ratio between the height of the true peak of the correlation (h) and its mean statistical error ($\sqrt{2}\sigma_h$). The parameter r is a measure of the noise based on the antisymmetric part of the correlation function. Analytically, for a sinusoidal noise with mean height equal to the FWHM of the correlation peak, the above equation describes the smallest error in the estimation of the peak position of the cross-correlation function. Table 2 compares our results with the data of the literature. The values found are in excellent agreement with the published values.

3.2 Stellar Population Synthesis

The spectra (nucleus and ring) of our sample are shown in Figure 2 and reveal an important set of absorptions and lowionization emission lines (top spectra in black). However, according to Ho et al. (1997), emission lines in nearby galactic nuclei are usually affected by stellar absorption causing a serious obstacle to obtaining accurate measurements. Therefore, we first estimate the stellar population in our spectra in order to remove the starlight contribution. We apply the stellar population synthesis code STARLIGHT in our sample. This procedure has been used successfully in galaxies with similar redshifts (e.g.Freitas-Lemes et al. 2017; Krabbe et al. 2017; Faúndez-Abans et al. 2015, 2013, 2012; Krabbe

Spectroscopy of peculiar ring galaxies 3

⁵ All information about the template spectra are available in http://tdc-www.harvard.edu/iraf/rvsao/Templates/. In this study, we correlate with spectra from the low-dispersion spectrographs, FAST (long-slit): fabtemp97.fits, femtemp97.fits, fn4486btemp.fits, fn7331temp.fits, fm32temp.fits, eltemp.fits, sptemp.fits, m31_k_temp.fits, and fn5548temp.fits.

4 G. A. Silva et al.

Table 2. Heliocentric radial velocities: this work's estimates and literature (NED and HypL).

Galaxy	$_{\rm (kms^{-1})}^{\rm cz_{our}}$	$_{\rm (kms^{-1})}^{\rm cz_{literature}}$			
ESO 283- G 019 ESO 283- G 020	$5792 \pm 28 \\ 5750 \pm 30$	5785 ± 45^a 5663 ± 45^a	5805 ± 35^b 5737 ± 20^d	$\begin{array}{c} 5826\pm80^c \\ 5741\pm45^e \end{array}$	5751 ± 45^{f}
ESO 526- G 018 NED01 ESO 526- G 019 NED02 (North Ring) ESO 526- G 019 NED02 (South Ring)	$\begin{array}{c} 14794\pm37\\ 14682\pm32\\ 14671\pm30 \end{array}$	14801 ± 45^{b}	- - -	- - -	- - -

Note: c_{zour} is the heliocentric radial velocity calculated in this work, followed by the reference values both databases (NED/NASA-IPAC and HyperLeda): a - Jones et al. (2009); b - Longhetti et al (1997); c - Jones et al. (2005); d - Ogando et al. (2008); e - Wegner et al. (2003); f - Fouque et al. (1993).

et al. 2011; Wenderoth et al. 2011) to measure with better precision the intensity, equivalent width, and central wavelength of the emission lines.

Basically, STARLIGHT is a code to fit an observed spectrum (O_{λ}) with a model (M_{λ}) in terms of a linear combination of simple stellar populations (SSPs), each of which contributes a fraction x_i to the flux at a chosen normalization wavelength, in this study, $\lambda_o = 5870 \text{ Å}^6$. We use a base of $N_{\star} = 150$ elements of 25 different ages between 1 Myr and $18 \,\text{Gyr}$, and 6 metallicities: $Z_* = 0.005, 0.02, 0.2, 0.4, 1.0$ and $2.5 Z_{\odot}$, summing up 150 SSPs (see Mateus et al. 2006; Cid Fernandes et al. 2007; Asari et al. 2007 for more details), extracted from the models of Bruzual & Charlot (2003), computed for a Chabrier (2003) initial mass function (IMF), and 'Padova 1994' evolutionary tracks (Alongi et al. 1993; Bressan et al. 1993; Fagotto et al. 1994a,b; Girardi et al. 1996). STARLIGHT has a suite of reddening-laws options and we have used some of them to model the extinction in a multi-dimensional chi-square fit: CCM: Cardelli et al. (1989), CAL: Calzetti et al. (1994, 1995) and GD3: Gordon et al. (2003). The purpose is to verify the best fit solution for each observed spectrum. Some of them will really be obviously worse in terms of figures of merit like χ^2 or adev⁷, and these parameters will indicate the final extinction law to be used in each case.

We follow the prescription of Cid Fernandes et al. (2005) and defined a condensed population vector by binning the stellar populations according to the flux contributions into young, x_Y ($t \le 5 \times 10^7$ yr), intermediate-age, x_I ($5 \times 10^7 < t \le 2 \times 10^9$ yr), and old, x_O ($2 \times 10^9 < t \le 13 \times 10^9$ yr) components. The mean stellar age ($<\log t_*>_L$) and the mean stellar metallicity ($<Z_*>_L$) were also calculated for each galaxy. In addition, the extinction in magnitudes, (A_V), are also reported. The respective law chosen for each galaxy is the direct result (best fit) of the values obtained from χ^2 and adev.

 Table 3. Window parameters. Tabulated are the ordered number,

 the window limits, the ratio between the mean equivalent width

and the width of this window, and the probable contributors.

#	$\Delta\lambda(\text{\AA})$	$W/\Delta\lambda$	Absorbers
27	4846-4884	0.11	$H\beta$; TiO; FeI
34	5156 - 5196	0.08	$MgI+MgH; C_2; TiO$
36	5244 - 5314	0.03	FeI; TiO; CaI; TiI
48	5880-5914	0.07	NaI; TiO; TiI
55	6210-6274	0.06	TiO; FeI
60	6540 - 6586	0.06	$H\alpha$; TiO; FeI
61	6586-6670	0.02	TiO; FeI; CN
63	6736-6858	0.02	TiO; CN; FeI; CaH

3.3 Stellar Absorption-Line Diagnostic: The Star Formation History

In Figures 2 and 3, we shown the first spectral synthesis for the galaxies of our sample with the following remarks: top panel gives the observed spectrum (O_{λ} , black line, corrected by redshift and Galactic reddening) and the synthesized spectrum (M_{λ} , red line) normalized to unit at 5870 Å; bottom panel gives the residual spectrum ($O_{\lambda}-M_{\lambda}$) after starlight subtraction. Both O_{λ} and M_{λ} are given in units of the normalized flux ($10^{-16} \,\mathrm{erg} \,\mathrm{cm}^{-1} \,\mathrm{s}^{-1}$). Overplotted are the identification of the most prominent absorbers (see Table 3 extracted from Bica & Alloin 1986). According to the authors, the window limits and the probable contributors may become negligible in some cases. See previous reference for more details.

The optical spectrum is relatively homogeneous and dominated by absorption features from cool giant stars. For example, we have detected Mg I + Mg H (5156-5196 Å) and Na I (5880-5914 Å), which are indicative of K and M stars, respectively. This type of spectrum is almost the same for elliptical and S0 galaxies and for both Hubble types, the classic term 'early-type' is often employed. Although the nuclear spectra show some minor differences (ESO 283-G019, ESO 283-G019 and ESO 526-G018 NED01), we might reasonably confirm, in a first analysis, the normal (quiescent) nature of these set of objects. Table 4 gives the results obtained from the stellar population synthesis code STARLIGHT.

⁶ It is necessary because we are using thousand-angstrom scales and the quality of the fit, χ^2 , will not be trully measured.

⁷ In particular, adev gives the percentage mean $|O_{\lambda}-M_{\lambda}|/O_{\lambda}$ deviation over all fitted pixels; therefore, it also measures the quality of the fit - see Cid Fernandes et al. (2004).



Spectroscopy of peculiar ring galaxies 5

Figure 2. Spectral synthesis for the galaxies ESO 283- (G 019 and G 020). Top panel: observed spectrum (O_{λ} , black line, corrected by redshift and Galactic reddening) and synthesized spectrum (M_{λ} , red line, the 'best fit' population synthesis model) normalized to unit at 5870 Å. Overplotted is the identification of the most probable contributors (see Table 10). Bottom panel: residual spectrum after starlight subtraction. Both O_{λ} and M_{λ} are given in units of erg cm⁻² s⁻¹ Å⁻¹.



Figure 3. Spectral synthesis for the galaxies ESO 526-G 018 (NED01 and the NED02's rings). See complementary remarks in Figure 2.

3.4 Emission-Line Diagnostic: Physical Conditions of the Gas

et al (1997) deteced an only emission line ([O II] λ 3727 Å) in the spectrum of ESO 283-G019.

The residual spectra after the subtraction of the contributions from the old, intermediate and young components are displayed in the bottom panels of Figures 2 and 3. No detailed optical spectroscopy for these galaxies has been published yet. In fact, in the study of star formation history of early-type galaxies in low density environments, Longhetti The residual analysis of the nuclear regions revealed the presence of some emission lines indicating the presence of activity. For galaxy ESO 283-G019, the line ratio [N II] $\lambda 6583/H\alpha = 0.87$ can indicate a composite spectrum with a 'narrow-line' H II region and a 'broad-line' Seyfert 2 cloud. However, this result should be confirmed by high resolution observations. The class of 'transition objects' as defined by Ho et al. (1997) represent composite

6 G. A. Silva et al.

Table 4. Stellar-population synthesis. The galaxy name, the condensed population vector, the mean stellar age and metallicity components, the extinction, the quality of the STARLIGHT fit (χ^2 and adev), and the respective extinction law used in each spectrum.

Galaxy	$(\%)^{XY}$	$(\%)^{\mathbf{x}_I}$	$\binom{\mathbf{x}_O}{(\%)}$	$\begin{array}{c} < \log t_{\star} >_L \\ (yr) \end{array}$	$< \mathbf{Z}^{\star} >_{L}$	$\begin{array}{c} \mathbf{A}_V\\ (\mathrm{mag}) \end{array}$	χ^2	$ \begin{array}{c} \operatorname{adev} \\ (\%) \end{array} $	law
ESO 283- G 019 ESO 283- G 020 ESO 526- G 018 NED01 ESO 526- G 018 NED02 (N) ESO 526- G 018 NED02 (S)	$0.00 \\ 0.00 \\ 0.00 \\ 63.38 \\ 66.24$	9.00 18.50 82.00 36.03 13.98	90.00 91.10 19.00 0.59 19.78	$\begin{array}{c} 10.05 \pm 1.55 \\ 10.13 \pm 1.46 \\ 9.18 \pm 1.38 \\ 7.46 \pm 1.42 \\ 7.66 \pm 1.07 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.04 \pm 0.09 \\ 0.03 \pm 0.05 \\ 0.04 \pm 1.33 \\ 0.02 \pm 1.27 \\ 0.01 \pm 1.27 \end{array}$	$0.00 \\ 0.12 \\ 0.02 \\ 0.00 \\ 0.00$	$ 1.34 \\ 1.28 \\ 0.92 \\ 0.69 \\ 0.57 $	3.28 2.69 5.95 4.80 6.62	GD3 GD3 GD3 CCM CCM

systems in which the optical signal of a weak active nucleus (the LINER component) has been spatially blended by circumnuclear star-forming regions (the H II component). On the other hand, ESO 283-G020 is typical H II galaxy with [N II] λ 6583/H α = 0.03, despite the absence of other line ratios. This result is based on the classical criteria for spectral classification from Veilleux & Osterbrock (1987) and Ho et al. (1997).

In the case of ESO 526-G018 NED01, our residual spectrum confirm a 'quiescent' galaxy with no emission lines. For the interacting galaxy ESO 526-G018 NED02, the nucleus is not clearly observed (see Figure 1), except for the various condensations in the ring. In this case, both hotspots are clearly star-formation regions. The excitation mechanism proposed includes photoionization by hot OB stars and is the most likely source of nebular emission, although shock heating may play an additional role. Following the study of Dopita et al. (2000), the metallicity of the gas, the shape of the ionizing radiation spectrum, and the geometric distribution of the gas and ionizing sources represent some of the elements which can determine the appearance of the emission-line spectrum in these regions.

4 CONCLUSIONS

We present a study of the optical spectra of two southern interacting peculiar ring galaxies. We discuss the star-forming nuclear rings and the nuclei of their host galaxies after the subtraction of the underlying stellar population. The residual spectra cover a wide range in wavelenght, and allow us to measure a number of gaseous and stellar features. The spectral synthesis with the code STARLIGHT and the associated classification from line rations are presented for the first time for these galaxies. The heliocentric radial velocities were also determined and agree with the values published in the literature.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are very grateful to the staff of Observatório do Pico dos Dias (LNA/MCTI), Brazil, for their assistance during the observations. G. A Silva thanks the Brazilian agency FAPEMIG. P. C. da Rocha-Poppe also thanks UEFS/PPPG (Editais 001/2009 UEFS and 001/2012 UEFS/FAPESB).

REFERENCES

Chatterjee T. K., 1979, BASI, 7, 32

Chatterjee T. K., 1984, Ap&SS, 106, 309

- Buta R. J., 1984, The Structure and Dynamics of Ringed Galaxies, Univ. Tex. Publ. Astron., 23, 699
- Appleton P. N., Struck-Marcell C., 1996, Fundamentals of Cosmic Physics, 16, 111
- Athanassoula E., Romero-Gómez M., Masdemont J. J., 2009, MNRAS, 394, 67
- Athanassoula E., Romero-Gómez M., Masdemont J. J., 2009, MNRAS, 400, 1706
- Buta R. J., 2017, MNRAS, 471, 4027
- Knapen J. H., 2005, A&A, 429, 141
- Joseph R. D., Meikle W. P. S., Robertson N. A., Wright G. S., 1984, MNRAS, 209, 111
- Arp H. C., Madore B., 1987, Catalog of Southern Peculiar Galaxies and Associations, Cambridge ; New York : Cambridge University Press, 1987
- Faúndez-Abans M., Hertling G., Ramírez A. C., 1982, A&AS, 94, 245
- Faúndez-Abans M., Oliveira-Abans M., 1998, A&AS, 129, 357
- Cid Fernandes R., Gu Q., Melnick J., Terlevich E., Terlevich R., Kunth D., Rodrigues Lacerda R., González Delgado R., 2004, MNRAS, 355, 273
- Cid Fernandes R., Mateus A., Sodré L., Stasińska G., Gomes J. M., 2005, MNRAS, 358, 363
- Cid Fernandes R., Asari N. V., Sodré L., Stasinska G., Mateus A., Torres-Papaqui J. P., Schoenell W., 2007, MNRAS, 375, 16
- Mateus A., Sodré L., Cid Fernandes R., Stasińska G., Schoenell W., Gomes J. M., 2006, MNRAS, 370, 721
- Asari N. V., Cid Fernandes R., Stasińska G., Torres-Papaqui J. P., Mateus A., Sodré L., Schoenell W., Gomes J. M., 2007, MNRAS, 381, 263
- Tody D., 1986, PROCSPIE, 627, 733
- van Dokkum P. G., 2001, PASP, 113, 1420
- Schlegel D. J., Finkbeiner D. P., Davis M., 1998, ApJ, 500, 525
- Baldwin J. A., Stone R. P. S., 1984, MNRAS, 206, 241
- Hamuy M., Walker A. R., Suntzeff N. B., Gigoux P., Heathcote S. R., Phillips M. M., 1992, PASP, 104, 533
- Hamuy M., Suntzeff N. B., Heathcote S. R., Wlaker A. R., Gigoux P., Phillips M. M., 1994, PASP, 106, 566
- Jones D. H., Read M. A., Saunders W., Colless M., and 29 coauthors, 2009, MNRAS, 399, 683
- Longhetti M., Rampaxxo R., Bressan A., Chiosi C., 1997. A&AS, 130, 267
- Wegner G., Bernardi M., Wilmer C. N. A., da Costa L. N., Alonso M. V., Pellegrini P. S., Maia M. A. G., Chaves O. L., Rite C., 2003, AJ, 125, 2258
- Tonry J., Davis M., 1979, AJ, 84, 1511
- Ho L. C., Filippenko A. V., Sargent W. W., 1997, ApJS, 112, 315 $\,$
- Freitas-Lemes P., Krabbe A. C., Fáundez-Abans M., da Rocha-Poppe P. C., Rodrigues I., de Oliveira-Abans M., Fernandes-Martin V. A., 2017, MNRAS, 468, 3159
- Krabbe A. C., Rosa D. A., Pastoriza M. G., H[']agele G. F., Cardaci M. V., Dors O. L., Jr., Winge C., 2017, MNRAS, 467, 27

MNRAS 000, 1-?? (2015)

Spectroscopy of peculiar ring galaxies 7

- Faúndez-Abans M., Reshetnikov V. P., de Oliveira-Abans M., Krabbe A. C., da Rocha-Poppe P. C., Fernandes-Martin V. A., Amôres E. B., Freitas-Lemes P., 2015, A&A, 574, AA70
- Faúndez-Abans M., de Oliveira-Abans M., Krabbe A. C., da Rocha-Poppe P. C., Fernandes-Martin V. A., Fernandes I. F., 2013, A&A, 558, AA13
- Faúndez-Abans M., Krabbe A. C., de Oliveira-Abans M., da Rocha-Poppe P. C., Rodrigues I., Fernandes-Martin V. A., Fernandes I. F., 2012, A&A, 543, AA64
- Krabbe A. C., Pastoriza M. G., Winge C., Rodrigues I., Dors O. L., Ferreiro D. L., 2011, MNRAS, 416, 38
- Wenderoth E., Faúndez-Abans M., Krabbe A.C., de Oliveira-Abans M.; Cuevas H., 2011, A&A, 529, AA157
- Mateus A., Sodré L., Cid Fernandes R., Stasińska G., Schoenell W., Gomes J. M., 2006, MNRAS, 370, 721
- Cid Fernandes R., Asari N. V., Sodré L., Stasinska G., Mateus A., Torres-Papaqui J. P., Schoenell W., 2007, MNRAS, 375, 16
- Asari N. V., Cid Fernandes R., Stasińska G., Torres-Papaqui J. P., Mateus A., Sodré L., Schoenell W., Gomes J. M., 2007, MNRAS, 381, 263
- Bruzual G., Charlot S., 2003, MNRAS, 344, 1000
- Chabrier G., 2003, ApJ, 586, 133
- Alongi M., Bertelli G., Bressan A., Chiosi C., Fagotto F., Greggio L., Nasi E., 1993, A&AS, 97, 851
- Bressan A., Fagotto F., Bertelli G., Chiosi C., 1993, A&AS, 100, 647
- Fagotto F., Bressan A., Bertelli G., Chiosi C., 1994a, A&AS, 104, 365
- Fagotto F., Bressan A., Bertelli G., Chiosi C., 1994b, A&AS, 105, 29
- Girardi L., Bressan A., Chiosi C., Bertelli G., Nasi E., 1996, A&AS, 117, 113
- Cardelli J. A., Clayton G. C., Mathis J. S., 1989, ApJ, 345, 245 Calzetti D., Kinney A. L., Storchi-Bergmann T., 1994, ApJ, 429, 582
- Calzetti D., Bohlin R. C., Kinney A. L., Storchi-Bergmann T., Heckman T. M., 1995, ApJ, 443, 136
- Gordon K. D., Clayton G. C., Misselt K. A., Landolt A. U., Wolff M. J., 2003, ApJ, 594, 279
- Cid Fernandes R., Gu Q., Melnick J., Terlevich E., Terlevich R., Kunth D., Rodrigues Lacerda R., González Delgado R., 2004, MNRAS, 355, 273
- Bica E., Alloin D., 1986, A&A, 162, 21
- Veilleux S., Osterbrock D. E., 1987, ApJS, 63, 295
- Ho L. C., Filippenko A. V., Sargent W. L. W., 1997, ApJS, 112, 315
- Dopita M. A., Kewley L. J., Heisler C. A., Sutherland R. S., 2000, ApJ, 542, 224
- Jones D.H., Saunders W., Read M., Colless M., 2005, PASA 22, 277
- Ogando R. L. C., Maia M. A. G., Pellegrini P. S., da Costa L. N., 2008, AJ, 135, 24240
- Fouque P., Proust D., Quintana H., Ramirez A., 1993, A&AS, 100, 493