Universidade de São Paulo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas Departamento de Astronomia

Márcio Barreto da Silva

# GALÁXIAS ESPIRAIS GLOBAIS E FLOCULENTAS: UMA PERSPECTIVA SECULAR

São Paulo 2008

## Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Márcio Barreto da Silva

# GALÁXIAS ESPIRAIS GLOBAIS E FLOCULENTAS: UMA PERSPECTIVA SECULAR

Tese/Dissertação apresentada ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Astronomia Orientador(a): Prof.(<sup>a</sup>) Dr.(<sup>a</sup>) Sandra dos Anjos

> São Paulo 2008

# Agradeço a CAPES e a FAPESP pelo apoio financeiro durante a realização deste trabalho.

Dedico esta tese, primeiramente, aos meus pais Nair Barreto da Silva e Justino Barreto da Silva, aos quais muitas vezes tive que recorrer, e os mesmos que nunca me abandonaram...aos meus irmãos Rodrigo Barreto da Silva e Marcos Barreto da Silva, também.

Agradeço à minha orientadora, Sandra dos Anjos, pela paciência comigo...e ao professor Ronaldo Eustáquio de Souza pelos comentários e sugestões no decorrer da dissertação. Aos 2 pelo incentivo e pela oportunidade de ficar no fogo cruzado das discussões científicas, aprendi muito com voces!!! Agradeço também aos professores do Departamento de Astronomia pela contribuição em minha formação.

Dedico também às pessoas que amo: Luciana Miachiro ( :), bjs, Lu!...receber essas mensagens durante a minha preparação para entrar aqui no IAG foi um grande incentivo, te amo "fiota", valeu por sempre estar do meu lado, você é 10), Elaine Cristina Firakawa (essa "mina" é 10, também sempre desejando o meu bem), Elisa Tomé Sena (essa "mina" é 100, pois através dela conheci tanto a Luciana, quanto a Elaine ((=10 x 10), hehehe!!!), essas 3 são 3 figuras!!!...Leandro Nikitin (amigão do peito), Mariana Pojar, Viviana Martins, Priscila Gondeck, Solange Andrade, Marcos Farias (vulgo "Marquinho"), Zulmara, Derberson, Darielder, Edwin, Marcelo Gardini, Rosana Cadaka, Edson Souza, Nilton (Sagu), e tantos outros do Instituto de Física da USP...

Agradecimentos ao pessoal aqui do IAG: Às figurinhas que formaram a minha patota: Monique Alves Cruz e Rodrigo, num primeiro momento (mas também pra sempre); e a patota mais recente (também pra todo o sempre), Lívia Santa Clara Azevedo Ferreira, ufa! e Rodrigo (novamente)...daqui só saiu besteira (e também coisa boa)...amo essas duas "tiazinhas" e esse "tiozinho"...Tanto a Lívia como o Rodrigo estarão na seção de Desagradecimentos, devido aos seus intermináveis 10 minutos de conversas (hehehe, olha só quem fala!!!)...Cristiano de Oliveira Souza ("fui e já voltei", "isso isso isso", "mas é uma b... mesmo, hehehe!!!) e Felipe dos Santos (os 2 pelos seus cursos rápidos de LaTex), Márcia R. M. Leão, Isabel Aleman (devo estar na seção de Desagradecimentos em sua tese de Doutorado...como às vezes a gente conversava, hein?...ela me fez enxergar que todo o meu Mestrado podia ser resumido à uma conclusão: 42), Vínicius M. Placco, Oscar Cavichia, Sérgio (vulgo "gringo"), Pedro P. Beaklini, Tiago Mendes de Almeida, Douglas Augusto de Barros ("long life to rock-roll, metal brother!!!"), Patrícia C. Cruz, Tiago Ricci (não é o do tensor da Relatividade), Felipe Andrade Oliveira, Bruno Dias, ah, e não podia faltar: Alessandro Pereira Moisés (vulgo: ele sim é o verdadeiro "tiozinho"), gosto desse cara pacas!!!, Márcio Avellar, Pamela P. Piovezan, Rodrigo Holanda, Mairan...é tanta gente...

Agradeço também ao pessoal da Secretaria e da Segurança a (cafés salvadores nas madrugadas em claro, hehehe!!!)...

### Resumo

A partir de uma amostra de galáxias espirais globais, floculentas e intermediárias, tardias e não barradas, selecionadas a partir do Catálogo de Elmegreen & Elmegreen (1982, 1987), realizamos um estudo com o objetivo de verificar efeitos de evolução secular internos previstos em simulações.

Imagens destes objetos foram obtidas na base de dados do SLOAN, em 4 diferentes bandas (u, g, r e, z) e, perfis radiais de brilho e cores foram então construídos. Estimativas de gradientes foram realizadas e, comparadas nos diferentes tipos de espirais da amostra. Utilizamos um código de decomposição bidimensional de bojo e disco, o BUDDA, a partir do qual obtivemos parâmetros estruturais, utilizados para construir imagens sintéticas. Estas imagens foram utilizadas para construir imagens residuais (original-modelo) das componentes bojo e disco, bem como da imagem total.

Desenvolvemos um método para avaliar efeitos de evolução secular, que compreende a análise detalhada das imagens residuais e, o comportamento dos perfis radiais de cor. A análise das galáxias revelou uma enorme diversidade de subestruturas, imersas na luz difusa das imagens originais, tanto em discos como em bojos. Observamos nas imagens residuais que os padrões de braços podiam ser categorizados em essencialmente três tipos ou classes: braços difusos ou dispersos (BD), braços com 2 espirais nítidas saindo da região central - "grand design" ou logarítmicos (B2) e, braços múltiplos ou caóticos (BM). A classificação dos braços e dos bojos, a partir das imagens residuais, permitiu que identificássemos algumas galáxias que apresentam os efeitos de evolução secular previstos teóricamente. Nossos resultados indicam que 57% das galáxias da amostra são candidatas a possuírem pseudobojos, 38% bojos clássicos e, aproximadamente 5% das galáxias não possuem bojos. Galáxias que possuem bojos clássicos coexistindo com pseudobojos (BC+PB) representam 33.3% e, aquelas só com pseudobojos (PB), 23.8%. Além disto, verificamos que padrões de braços múltiplos ou difuso ocorrem em galáxias que apresentam pseudobojos, bem como naquelas onde coexistem pseudobojos e bojos clássicos. Esta característica de braços se correlaciona com os tipos de galáxias floculentas e intermediárias.

Nossos resultados indicam também que os efeitos seculares parecem ocorrer com maior frequência e clareza nas galáxias floculentas. É possível, então, que galáxias relativamente isoladas, como parece ser o caso das galáxias floculentas, sofram maior influência dos efeitos de evolução secular, pois livres de efeitos de fusões, tiveram mais tempo de evoluir secularmente. Efeitos ambientais devem, então, ser relevantes na manifestação dos efeitos de evolução secular.

### Abstract

From a sample of non-barred late-type grand design, flocculent and multiple-arm spiral galaxies, selected from Elmegreen (1982,1987), we have searched for internal secular evolution effects predicted from computational simulations.

Images from these objects were taken from the SLOAN database in 4 different passbands (u, g, r and z) and colors and brightness radial profiles were performed. Gradients were obtained for our subsample and were compared within the different kinds of spiral structure. We have applied a bidimensional BUDDA code in order to obtain structural parameters, which were taken to make synthetic images. These images were used to make total, bulge and disk residuals images.

We developed a method to evaluate effects from secular evolution that include a detailed analysis from the galaxy residual images, and the radial color profiles behaviour. The galaxies subsample analysis shows an enormeous variety of substructures, immersed in the diffuse light of the original images, that can be seen on both, disks and bulges. We realised that arm patterns could be classified in three types of classes: diffuse arms (DA), arms with two clear symetric and global spirals leaving the central regions of the galaxy - "grand design" or logarithmic arms (A2), and multiple caotics arms (MA). The arm and bulge classification from the residual images, allowed us to identify some galaxies with secular evolution effects theoretically expected. Our results indicate that our subsample constitutes of 57% galaxies that have evidences to harbor pseudobulges, 38% have classical bulges and, almost 5% of them are bulgeless. If we consider each of them separately, that with classical bulges coexisting with pseudobulges (CB+PB) represents 33%, while that with pseudobulges (PB) only, 23.8%. Moreover, we verified that MA and DA arms occurs in galaxies that harbour pseudobulges and those on classical and pseudobulges coexists. This arm characteristic correlates with flocculent and multiple-arm classes.

Also, our results indicates that secular evolution effects seems to occur with more frequency and explicitness on flocculent galaxies. It is possible, that relatively isolated galaxies, as is the case for flocculent galaxies, experience with an high degree, the effects of secular evolution; since they were free from fusions, they could have the opportunity to secularly evolve. Environment effects may be relevant on secular evolution effects manifestation.

## Lista de Figuras

1.1	Sistema de classificação proposto por Hubble				
1.2	Representação esquemática do Sistema de Classificação de de Vaucouleurs.				
	Neste esquema o parâmetro de classificação primário é o estágio E-Im. O				
	segundo parâmetro relaciona a presença (SB) ou ausência de barras (SA). O				
	terceiro parâmetro distingue entre variedades de anéis e espirais. Os efeitos				
	do segundo e terceiro parâmetros são maiores próximos do estágio Sa (Van				
	den Bergh 1997)	21			
1.3	Sistema de Classificação Tridimensional proposto por Van den Bergh (1997)	22			
1.4	Síntese de processos de Formação e Evolução de Galáxias-Processos estão				
	divididos verticalmente naqueles em que são rápidos e lentos e, horizontal-				
	mente, naqueles que são puramente internos e dirigidos por efeitos ambien-				
	tais	40			
2.1	Perfis de brilho azimutal para dois tipos de galáxias. NGC3675 é uma				
	galáxia floculenta e, NGC3486 é uma galáxia "grand design" (Elmegreen $\&$				
	Elmegreen 1984)	46			
2.2	Exemplos de tipos de braços descritos no Sistema de Classificação de Elme-				
	green & Elmegreen - SCEE (1987; 1989)	49			
3.1	Exemplo do arquivo de entrada do BUDDA - galaxy.dat	81			
4.1	Gradientes de cor para galáxias "grand design", floculentas e mistas	85			
4.2	Raio efetivo de bojos em função do raio característicos de discos	92			
4.3	Escalas de comprimento de discos em função do tipo de Hubble	93			

4.4	Elipticidades ( $\epsilon)$ e ângulos de posição (PA) de bojos e discos, obtidos pe las	
	simulações do BUDDA	94
4.5	Imagens de NGC2775 - FL.	98
4.6	NGC2775 (T=2; AC3)	99
4.7	Imagens de NGC2916 - FL.	100
4.8	NGC2916 (T=3; AC4)	101
4.9	Imagens de NGC3423 - FL	102
4.10	NGC3423 (T=6; AC2)	103
4.11	Imagens de NGC4158 - FL	104
4.12	NGC4158 (T=3; AC3)	105
4.13	Imagens de NGC4162 - FL	106
4.14	NGC4162 (T=4; AC2)	107
4.15	Imagens de NGC4534 - FL.	108
4.16	NGC4534 (T=7.5; AC1)	109
4.17	Imagens de NGC5772 - FL.	110
4.18	NGC5772 (T=3; AC3)	111
4.19	Imagens de NGC3177 - INT	112
4.20	NGC3177 (T=3; AC6)	113
4.21	Imagens de NGC4701 - INT	114
4.22	NGC4701 (T=6; AC5)	115
4.23	Imagens de NGC5633 - INT	116
4.24	NGC5633 (T=3; AC6)	117
4.25	Imagens de NGC2776 - GD	118
4.26	NGC2776 (T=5; AC9)	119
4.27	Imagens de NGC2857 - GD	120
4.28	NGC2857 (T=5; AC12)	121
4.29	Imagens de NGC2942 - GD	122
4.30	NGC2942 (T=5; AC9)	123
4.31	Imagens de NGC2967.	124
4.32	NGC2967 (T=5; AC9)	125
4.33	Imagens de NGC3338 - GD	126

4.34	NGC3338 (T=5; AC9)	127
4.35	Imagens de NGC3642 - GD	128
4.36	NGC3642 (T=4; AC9)	129
4.37	Imagens de NGC3780 - GD	130
4.38	NGC3780 (T=5; AC9)	131
4.39	Imagens de NGC3897 - GD	132
4.40	NGC3897 (T=4; AC12)	133
4.41	Imagens de NGC4030 - GD	134
4.42	NGC4030 (T=4; AC9)	135
4.43	Imagens de NGC4041 - GD	136
4.44	NGC4041 (T=4; AC9)	137
4.45	Imagens de NGC5248 - GD	138
4.46	NGC5248 (T=4; AC12)	139

## Lista de Tabelas

1.1	Cores médias das galáxias do SDSS em funcão do tipo de Hubble						
2.1	Descrição das Classes de Braços, adaptado de Elmegreen & Elmegreen 1998 4						
2.2	Amostra contendo galáxias Espirais Globais						
2.3	Amostra contendo galáxias floculentas						
2.4	Amostra contendo galáxias de tipo intermediário 5						
2.5	Tabela de rótulos para busca no SDSS - Galáxias "Grand Desig	gn"					
		55					
2.6	Tabela de rótulos para busca no SDSS - Galáxias Floculentas	55					
2.7	Tabela de rótulos para busca no SDSS - Galáxias de tipo intermediário $\ .$ .	56					
2.8	Valores para correção de extinção galáctica, interna e correção K para as						
	galáxias "grand desig	gn"					
		60					
2.9	Tabela com índices para correção causada pela poeira de nossa galáxia e						
	correção K para as galáxias floculentas	61					
2.10	0 Tabela com índices para correção causada pela extinção Galáctica e correção						
	K para as galáxias de tipo intermediário	62					
2.11	Tabela com os coeficientes para a correção intrínseca para as galáxias "grand						
	design"						
		63					
2.12	Tabela com os coeficientes para a correção intrínseca para as galáxias "grand						

2.13	Tabela com os coeficientes para a correção intrínseca para as galáxias flocu-						
	lentas	65					
2.14	Tabela com os coeficientes para a correção intrínseca para as galáxias flocu-						
	lentas - continuação da tabela (2.13) $\ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots$	66					
2.15	Tabela com os coeficientes para a correção intrínseca para as galáxias de						
	tipo intermediário	67					
2.16	Tabela com os coeficientes para a correção intrínseca para as galáxias de						
	tipo intermediário - continuação da tabela $(2.15)$	68					
3.1	Tabela com valores de "seeing" para as galáxias "grand desig	gn"					
		79					
3.2	Tabela com valores de "seeing" para as galáxias floculentas	80					
3.3	Tabela com valores de "seeing" para as galáxias de tipo intermediário	80					
4.1	Gradientes de cor obtidos pela equação (3.3) para galáxias "grand design".	84					
4.2	Gradientes de cor obtidos pela equação (3.3) para galáxias intermediárias	84					
4.3	Gradientes de cor obtidos pela equação $(3.3)$ para galáxias floculentas 85						
4.4	Intervalos de Gradientes Totais de Cor	86					
4.5	Intervalos de Gradientes de Cor						
4.6	Resultados da deconvolução bojo-disco para as galáxias de tipo intermediário. 88						
4.7	Resultados da deconvolução bojo-disco para as galxias de tipo intermedirio. 89						
4.8	Resultados da deconvolução bojo-disco para as galáxias floculentas de nossa						
	amostra	90					
B.1	Tabela de conversão entre segundos de arco e kpc para as galáxias "grand desig	gn"					
	1	171					
B.2	Tabela de conversão entre segundos de arco e kpc para as galáxias floculentas l	72					
B.3	Tabela de conversão entre segundos de arco e kpc para as galáxias de tipo						
	intermediário	172					

## Sumário

1.	Intro	Introdução						
	1.1	Classificação de Galáxias: um caminho para o entendimento de mecanismos						
		físicos		22				
	1.2	Propri	edades de Discos e Braços Espirais	24				
		1.2.1	Estrutura Espiral de Galáxias	24				
		1.2.2	Variedades de Estrutura Espiral - Sistema de Classificação de Braços	27				
		1.2.3	Cores e Gradientes de Cores em Espirais	28				
	1.3	Cenári	ios de Formação e Evolução de Galáxias: Monolítico, Hierárquico e					
		de Evo	olução Secular	31				
		1.3.1	Cenário Monolítico	31				
		1.3.2	Cenário Hierárquico	33				
		1.3.3	Cenário de Evolução Secular Interno	35				
	1.4	Motiva	ação do Trabalho	40				
2.	Amo	ostra e '	Tratamento de Imagens	45				
	2.1	Seleçã	o da Amostra	45				
	2.2	Correç	ções Fotométricas	50				
		2.2.1	Absorção Galáctica	54				
		2.2.2	Absorção Interna	56				
		2.2.3	Correção K	58				
	2.3	Tratar	nento e Calibração das Imagens	59				

3.	Grad	dientes de Cor e Decomposição Bojo-Disco	3
	3.1	Perfis de Brilho	3
	3.2	Perfis e Gradientes de Cor	5
	3.3	Decomposição Bidimensional de Bojo e Disco - BUDDA	6
		3.3.1 O Código BUDDA 7	6
		3.3.2 A Aplicação do Código BUDDA	7
4.	Resi	ultados	3
	4.1	Análise dos Perfis e Gradientes de Cores	3
	4.2	Análise da Deconvolução Bojo-Disco	7
	4.3	Padrões de Braços	0
5.	Con	clusões e Perspectivas	9
	5.1	Perspectivas	3
Re	eferên	cias	5
Aţ	pêndic	<i>ce</i> 16	1
Α.	Info	rmações Gerais	3
В.	Tabe	elas	'1

Capítulo 1

## Introdução

Por volta do século XVII, vários astrônomos já haviam observado entre as estrelas a presença de objetos extensos e difusos, aos quais denominaram "nebulosas". A natureza destes objetos foi tema de ampla discussão e debate durante décadas, polarizando a comunidade científica entre aqueles que acreditavam que se tratava de objetos extragalácticos e os que, ao contrário, buscavam evidências de que eram de natureza galáctica. Na verdade, sabemos hoje que existe uma diversidade de objetos de diferentes naturezas, galáctica e extragaláctica, que se assemelham a nebulosas.

A concepção acerca da natureza extragaláctica destes objetos foi primeiramente aludida pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804), influenciado pelo astrônomo Thomas Wright (1711-1786), no sentido de que sistemas estelares vistos a grandes distâncias poderiam se assemelhar à Galáxia. Esta hipótese ficou conhecida como "hipótese dos universos ilhas" e, permaneceria latente até o início do século XX.

Avanços científicos e tecnológicos significativos ocorreram durante os séculos XVIII -XIX, elevando o número de objetos catalogados de 45 à 13000, bem como o de distinguir definitivamente a natureza real de algumas nebulosas. Muitas delas foram efetivamente identificadas como sendo de natureza gasosa, como o caso das nebulosas planetárias. Outras, no entanto, configuraram uma natureza estelar, como o caso dos aglomerados abertos e globulares. Apesar destes avanços, algumas nebulosas catalogadas não podiam ser resolvidas, e pareciam, portanto, não pertencer a nenhum destes grupos, permanecendo completamente inexplicadas. A solução deste problema estava vinculada, na verdade, a estimativa da distância destes objetos, o que permitiria saber se eles pertenciam ou não a Via-Láctea. Esta, entretanto, era uma tarefa muito difícil, pois os métodos disponíveis, baseados em paralaxe e em outras técnicas geométricas não se aplicavam a estas nebulosas e, portanto, esta determinação dependia de um novo método para obtenção destes dados.

O problema da determinação de distância destes objetos foi definitivamente resolvido por Edwin Powell Hubble (1889-1953), em 1923. Utilizando uma relação descoberta por Henrieta Leavitt (1908) entre o período - luminosidade de estrelas variáveis de tipo Cefeidas, na Galáxia, Hubble foi capaz aplicá-la identificando este mesmo tipo de estrela na "nebulosa" de Andrômeda. A estratégia utilizada para obter a distância foi assumir que este tipo de estrela variável, na Galáxia, e na "nebulosa" de Andrômeda, possuem propriedades semelhantes, por tratarem-se de objetos de mesma natureza. Assumindo então que as Cefeidas seguem a mesma relação período-luminosidade, Hubble foi capaz de calcular a distância de Andrômeda considerando que a diferença entre as magnitudes aparente e absoluta, correspondia a uma diferença em distância, aplicando desta forma o conceito de módulo de distância. O valor encontrado, da ordem de 1 milhão de anos luz, situava Andrômeda fora dos limites da Galáxia. Este fato abre definitivamente uma nova área de investigação - a Astronomia Extragaláctica.

Além de Andrômeda, Hubble foi capaz de estimar as distâncias de outras galáxias próximas e correlacionou-as com as respectivas velocidades de recessão, estimadas por Vesto Melvin Slipher (1875-1969). Em 1912, Slipher comparou os padrões de linhas espectrais observadas de algumas galáxias próximas com os de laboratório, verificando a existência de um deslocamento relativo do padrão observado em direção aos comprimentos de onda do azul. Este fato é interpretado como um afastamento das galáxias em relação a Via Láctea. Slipher iniciou então um trabalho sistemático que levou mais de 20 anos para ser concluído, demonstrando que, a maior parte das galáxias que ele havia estudado, estavam se afastando de nós, ou seja, que o padrão observado das galáxias era deslocado para o vermelho. Slipher verificou que, quanto menos luminosa a galáxia, maior era o deslocamento do espectro para o vermelho.

As implicações mais importantes do trabalho de Slipher ficaram mais claras durante os anos de 1920, com as estimativas de distâncias de Andrômeda e de outras galáxias obtidas por Hubble. Quando comparou as distâncias das galáxias com suas respectivas velocidades de afastamento, determinadas a partir dos desvios para o vermelho, utilizando linhas espectrais, Hubble verificou uma forte correlação entre as distâncias e as velocidades. Galáxias mais distantes mostravam uma maior velocidade de afastamento, enquanto que galáxias mais próximas se afastavam com velocidades menores. Esta correlação ficou conhecida como lei de Hubble. Este fato, importante por sí só, permitiu a Hubble ir além. Hubble interpretou a partir deste resultado,que a maioria das galáxias está se afastando devido a expansão do Universo. Esta interpretação, predita teóricamente por Lemaitre (1927) e Friedmann (1922), constituiu a segunda grande contribuição de Hubble.

Outra contribuição importante de Hubble, porém menos conhecida, foi a proposta de um sistema de classificação morfológico de galáxias. Após avaliar a morfologia de galáxias próximas, Hubble desenvolveu um sistema de classificação taxonômico, que descreve a aparência das galáxias. A classificação de galáxias tem um papel importante no contexto do entendimento de formação e evolução de galáxias, já que objetos identificados como de mesma classe morfológica poderiam ter sofrido os mesmos mecanismos físicos, enquanto objetos de classes diferentes deveriam refletir a influência de mecanismos físicos diferentes. Embora as galáxias mostrem uma grande diversidade quando se analisa em detalhes suas estruturas, elas exibem formas mais ou menos regulares quando observadas em projeção contra o céu e, se enquadram em linhas gerais, nas classes: elípticas, lenticulares, espirais e irregulares.

Hubble então propôs um sistema de classificação de galáxias - SCH, definindo as elípticas (E) como objetos que apresentam uma única componente estrutural com morfologia elipsoidal, morfologia esta que varia no grau de achatamento, desde as mais arredondadas (E0) até o extremo de achatadas (E7). As E não apresentam disco, possuem pouco gás e poeira, com poucas estrelas jovens. As galáxias espirais (S) apresentam pelo menos 3 componentes estruturais principais - bojo, disco, halo, e algumas vezes podem ter uma barra. Os subtipos desta classe, barradas e ordinárias (não barradas), diferenciam-se entre si, pelo tamanho relativo do bojo comparado ao grau de desenvolvimento e enrolamento dos braços espirais. Desta forma, galáxias com grandes bojos e braços mais enrolados são classificadas como espirais de tipo Sa, as espirais com bojos muito pequenos e braços mais desenrolados como Sc e, aquelas com bojos medianos e braços não tão desenvolvidos, como Sab, Sb, Sbc, etc. Da mesma forma ocorre com as espirais barradas de tipos SBa, SBb e, assim por diante.

A Figura 1.1 ilustra o SCH com as classes de galáxias propostas por Hubble. Nota-se



Figura 1.1: Sistema de classificação proposto por Hubble

neste diagrama a presença da classe das lenticulares (SO, SBO), objetos inicialmente ausentes no SCH original, mas hipotéticamente previstos, que apresentam discos porém sem a presença de braços, além das irregulares (Im, Ibm), galáxias sem simetria de rotação e com morfologia difusa. Estas classes foram incluídas no SCH em versões posteriores. Ao setor esquerdo do diagrama, Hubble atribuiu o termo genérico de galáxias de tipo jovem, enquanto que as galáxias do setor à direita, de tipo tardio, sem qualquer conotação evolutiva, somente para apontar a posição de uma classe de galáxias no sistema de classificação.

O mérito do SCH se traduz pela facilidade em se localizar uma grande variedade de tipos morfológicos em um diagrama de fácil apreensão. Entretanto, é preciso considerar suas limitações. Este sistema foi baseado em uma seleção de galáxias brilhantes, portanto, galáxias anãs bem como aquelas que possuem baixo brilho superficial e, até mesmo aquelas que apresentam sutilezas estruturais e peculiaridades não são contempladas.

Os detalhes morfológicos e sutilezas estruturais passaram a ter mais importância no final da década de 1950 e início de 1960, com a inspeção de galáxias em placas fotográficas de grande campo. Estes levantamentos seguidos nas décadas seguintes com o desenvolvimento de detectores, telescópios e técnicas observacionais mais modernas, geraram um aumento de catálogos, permitindo então ampliar a estatística dos estudos morfológicos. Alterações ao SCH foram então realizadas, entre elas: a introdução de tipos intermediários, (Sab, Sbc, por exemplo), extensão de subclasses (cd, d, dm, m), introdução das irregulares (Im, I), refinamento da classificação de barras (SAB - mistas), introdução de variedades r (braços



Figura 1.2: Representação esquemática do Sistema de Classificação de de Vaucouleurs. Neste esquema o parâmetro de classificação primário é o estágio E-Im. O segundo parâmetro relaciona a presença (SB) ou ausência de barras (SA). O terceiro parâmetro distingue entre variedades de anéis e espirais. Os efeitos do segundo e terceiro parâmetros são maiores próximos do estágio Sa (Van den Bergh 1997)

se iniciam tangentes a um anel), s (braços que se iniciam na extremidade da barra) e, rs (casos transitórios), introdução do parâmetro numérico T (índice do estágio de Hubble). Estas alterações foram sintetizadas no "Third Reference Catalog of Bright Galaxies- RC3 (de Vaucouleurs et al , 1991) e, a Figura 1.2 exibe um diagrama que contempla estas alterações. Revisões deste tema, em detalhes, podem ser encontradas em Sandage (1975) e van den Bergh (1997).

Outros sistemas de classificação foram propostos, alguns baseados na concentração central de luz (Morgan 1958), outros, na classe de luminosidade absoluta de galáxias (Van den Bergh 1960 - Figura 1.3), entre outros. Entretanto, um olhar mais atento reconhece que esta aparente variedade, na verdade, reflete uma complementação ao sistema de Hubble.

Propostas baseadas em critérios substancialmente diferentes, como o caso da classificação espectral de galáxias, incluem os estudos de Humason (1936), Morgan e Mayall (1957) e, mais recentemente, retomados por Sodré & Cuevas (1994). Ainda assim, é



Figura 1.3: Sistema de Classificação Tridimensional proposto por Van den Bergh (1997)

possível verificar que mesmo sendo um sistema de classificação independente dos tipos morfológicos de Hubble, observa-se uma forte correlação entre os tipos espectrais de galáxias e os tipos morfológicos de Hubble (Sodré & Cuevas 1997). A busca por outros sistemas de classificação de galáxias que não se baseia no SCH vem sendo intensificada nesta última década, devido a dificuldade em se identificar detalhes morfológicos de objetos que se encontram a altos desvios para o vermelho, o que obviamente é relevante em estudos de evolução de galáxias.

# 1.1 Classificação de Galáxias: um caminho para o entendimento de mecanismos físicos

Evidentemente, o estudo da morfologia só tem sentido se puder nos ajudar a entender os mecanismos físicos que geram a diversidade de classes de galáxias. A descrição morfológica, portanto, é uma ferramenta fundamental que pode nos ajudar a entender como as galáxias se formaram e como evoluem.

Um exemplo neste sentido é a segregação morfológica em aglomerados de galáxias, onde galáxias elípticas e lenticulares ocupam regiões mais densas de aglomerados ricos, enquanto que espirais se localizam nas bordas de aglomerados. Explicações para este efeito de segregação sugerem que galáxias espirais em aglomerados densos e ricos e, mergulhadas no meio intergaláctico, estão sujeitas a efeitos do tipo remoção abrasiva, desnudamentos por maré e pressão de arraste, que alterariam a evolução de galáxias. O meio ambiente neste tipo de aglomerado claramente influencia a morfologia de galáxias (Dressler 1980; Postman & Geller 1984) efeito este também conhecido na literatura como relação morfologia-densidade. Estudos sobre a influência destes efeitos sobre a formação estelar bem como evolução química de galáxias ainda são inconclusivos.

Em menor escala, estudos de grupos de galáxias revelam a presença de objetos em vários estágios de interação, com morfologias peculiares e sinais claros de fusões de galáxias. Neste caso, as galáxias que participam do processo de fusão revelam morfologia de tipo tardio.

Sistemas binários fisicamente ligados também tem sido estudados, revelando que forças de maré atuam na estrutura do sistema, gerando caudas e pontes (Toomre & Toomre 1972), bem como na própria estrutura individual das galáxias, gerando envelopes e ondulações (Hernquist & Spergel 1992), além de barras e estruturas espirais globais (Kormendy 1983). Interações de maré podem também contribuir para aumentar os surtos de formação estelar em galáxias devido a captura do gás da companheira. Simulações realizadas por Alladin & Narasimhan (1982) mostram que fusões de galáxias espirais poderiam gerar elípticas.

Até mesmo quando analisamos espirais isoladas, de mesma classe morfológica, verificamos que existe diversidade na razão bojo/disco (B/D), bem como na estrutura espiral em discos. Em ambos os casos, o meio ambiente também parece atuar modificando a evolução de galáxias, já que as que possuem uma estrutura espiral global, "grand design", se encontram preferencialmente em ambientes mais densos ou possuem a presença de companheira próxima. Como galáxias frequentemente estão associadas a grupos que variam de riqueza e, além disto em grupos como o grupo local a frequência de anãs é bem alta, a probabilidade ocorrer acresção não é desprezível. Desta forma, se galáxias anãs são frequentemente capturadas por espirais e, este mecanismo pode ocorrer várias vezes, é possível que a componente bojo possa ser constantemente recosntruída, gerando um bojo mais robusto. Este mecanismo poderia explicar a diversidade na razão B/D.

Estudos estatísticos apresentados por Ma (2002) mostram que a espessura de discos em espirais tende a diminuir ao longo da sequência de Hubble, sendo que nas SC's eles são 40% mais finos do que discos de Sab-Sb e, também são mais azuis. Além disto, aquele autor encontrou correlação entre a largura de linha em HI e o padrão espiral dentro de cada tipo de Hubble, o que sugere que a forma do braço é parcialmente determinada pela massa da galáxia.

Estes estudos mostram que ambos, estrutura e propriedades fundamentais de galáxias, como luminosidade e cor, dependem da influência do meio ambiente. Neste sentido, o Sistema de Classificação de Hubble deve refletir uma dependência maior dos efeitos do meio ambiente do que das condições iniciais de formação de galáxias.

### 1.2 Propriedades de Discos e Braços Espirais

### 1.2.1 Estrutura Espiral de Galáxias

Galáxias espirais possuem discos que podem conter diversas componentes, como bojos clássicos, bojos retangulares, pseudobojos, ou seja, bojos construídos por efeitos dinâmicos (Kormendy & Kennicutt 2004), barras ou sistemas de barras aninhadas, anéis internos e externos, faixas de poeira, lentes e braços. Estas componentes podem apresentar variedades, como no caso do disco, que pode ser espesso ou fino, oval ou circular e, de faixas de poeira, que podem ser radiais ou paralelas ao eixo maior da galáxia. A presença ou não de uma ou mais subestruturas, bem como de variedades, permite refinar a classificação morfológica de uma galáxia e, óbviamente, deve estar vinculada a mecanismos físicos de formação e evolução que justifiquem a morfologia gerada.

O estudo das barras tem provocado um avanço enorme na visão clássica que se tem sobre a evolução de galáxias. As simulações tiveram um papel fundamental neste sentido. Na década de 1990, os primeiros estudos dinâmicos (Sellwood & Wilkinson 1993; Pfenninger 1993; Martinet 1995; Buta & Combes 1996, entre outros) mostraram que esta componente tem um papel fundamental na evolução de galáxias. Os resultados destes estudos, suportados pelas observações, indicaram que barras são formadas por instabilidades provocadas por galáxias companheiras, ou por efeitos de ressonâncias gerados na dinâmica dos próprios discos. Uma vez estabelecidas, elas provocam efeitos importantes como o escoamento do eventual gás remanescente da formação do disco e, quando 5% da massa total da galáxia na forma de gás ocupa a região central, outros modos de instabilidade passam a atuar, destruindo a barra (Combes 1999). O gás que foi concentrado na região central é então comprimido, gerando novas estrelas em uma configuração que se assemelha a um anel. As simulações prevêm que o material do disco é misturado, devendo ocorrer um alisamento no gradiente de cor das galáxias. Este mesmo efeito é previsto no caso daquelas que possuem discos ovais. Previsões teóricas sugerem que instabilidades globais em discos podem transmutar a morfologia de galáxias transformando-as de normais para barradas e, novamente, por instabilidades, dissolvem as barras, criando um mecanismo recorrente. de Souza & Gadotti (2003) mostraram recentemente um resultado surpreendente, onde duas galáxias barradas apresentam uma componente barrada, sendo porém completamente desprovidas de disco.

Um efeito semelhante, porém em menor escala, parece ser possível ocorrer em braços espirais de galáxias. Como o próprio nome sugere, estas subestruturas, cujo formato se assemelha a espirais logarítmicas, quando são simétricas e, se manifestam por todo o disco, são definidas como globais ou "grand design". Em geral possuem dois braços espirais simétricos associados à população estelar jovem como estrelas O, B, e regiões HII.

Tem sido amplamente aceito na literatura que braços "grand design" são traçadores da variação de massa no disco e, manifestações da propagação de ondas de densidade quasiestacionárias (Kendall et al 2008). A origem, bem como as forças que atuam nestas ondas e a questão de serem ou não permanentes são ainda questões em aberto. Estas ondas, quase que rígidas, cuja forma acompanha o movimento de rotação do disco, se movimentam a uma velocidade angular constante, em primeira aproximação, que é diferente daquela realizada pelo disco de estrelas e, em direções que podem ou não serem as mesmas da rotação do disco estelar (braços arrastados e condutores).

As estrelas do disco apresentam rotação diferencial e, portanto, fluem através dele. Efeitos dinâmicos relevantes ocorrem em situações particulares relativas a velocidade do padrão de onda de densidade e, do disco de estrelas. Pode ocorrer que em uma dada posição radial no disco, a velocidade do padrão da onda seja a mesma do padrão do disco estelar. Este fenômeno, conhecido como corotação, é um dos efeitos de ressonância que pode ocorrer em discos de galáxias. Outros, como as ressonâncias interna e externa de Lindblad configuram as três ressonâncias mais importantes que ocorrem em discos de galáxias. A propagação de ondas de densidade, se de fato estiver associada a mecanismos globais de instabilidade, deveria provocar um empilhamento do meio interestelar assentado no disco e, como consequência geraria regiões de formação estelar, modificando localmente a cor do disco. De fato, estudos de Schweizer (1976) e Beckman & Cepa (1990), por exemplo, mostram que os braços são significativamente mais azulados do que o disco, onde a frente de choque está localizada. Outros efeitos importantes decorrentes da atuação de fenômenos de ressonâncias podem ser encontrados na literatura, em particular em Puerari et al (2000), Puerari & Dottori (1992), Kendall et al (2008) e referências aí contidas.

Galáxias que possuem esta estrutura global são em geral muito brilhantes e, portanto, são aquelas preferencialmente representadas no SCH. Entretanto, discos de espirais apresentam também estruturas de braços que se contrastam com as espirais clássicas de Hubble, como a presença de braços filamentares, multi-braços, e aqueles que não apresentam nenhuma coerência estrutural, conhecidos como floculentos. Esta classe de galáxias floculentas, além da diversidade de braços, também é menos luminosa e menos massiva do que as espirais globais (Cepa & Beckman 1990).

A natureza da diversidade de braços em discos não é bem conhecida. No caso da espirais globais, existe quase um consenso de que ondas de densidade seriam responsáveis pela estrutura espiral e pelo vínculo com a atividade de formação estelar. Entretanto, existem estudos mostrando que braços espirais seriam a consequência, não a causa, da formação estelar (Mueller & Arnett 1976; Gerola & Seiden 1978), cenário este conhecido como Formação Estelar Induzida. Neste cenário, ondas de choque produzidas por explosões de supernovas ou outros processos de formação estelar seriam responsáveis pela propagação e indução de formação de novas estrelas (Kendall et al 2008). Um fato que fragiliza este cenário e, que tem sido apontado como complicador para esclarecer a natureza da diversidade dos braços diz respeito aos recentes estudos na banda K, que apontam a presença de estruturas quase que globais também em galáxias floculentas (Schweizer 1976; Elmegreen et al 1989; Elmegreen & Elmegreen 1990; Rix & Rieke 1993; Puerari et al 2001). O que se pode concluir do cenário apresentado acima, é que, tanto barras como braços parecem provocar efeitos relevantes em discos como a modificação da população estelar e da morfologia. Apesar de toda a diversidade apresentada acima, tem sido comum na literatura apresentar, por exemplo, perfis de distribuição de brilho de discos de espirais como se fossem todos pertencentes a mesma família, todos eles ajustados por uma única lei exponencial. Ressalte-se no entanto que alguns estudos recentes tem apontado que nem todos os discos de espirais são bem descritos por uma única exponencial (Erwin et al 2005; Pohen & Trujillo 2006; Erwin, Pohen & Beckman 2008) e apontam três classes de perfis de brilho superficial para representar a diversidade de discos em espirais. Este aspecto será explorado em mais detalhes na secção a seguir.

Por outro lado, discos de galáxias são caracterizados por histórias de formação estelar que variam sistematicamente ao longo da sequência de Hubble, o que implica em uma correlação entre morfologia e atividade estelar (Kampakoglou & Silk (2007). Se a morfologia é resultado de mecanismos de formação e evolução, então diferentes mecanismos físicos devem atuar nestes sistemas. Evidentemente, os modelos de formação e evolução de galáxias devem contemplar a diversidade morfológica observada. Existe, portanto, uma clara necessidade em se aprofundar estudos neste tema, já que tem implicações relevantes sobre a questão da natureza destes discos. Na secção 1.3 discutiremos os possíveis cenário de formação de galáxias e as limitações que cada qual apresenta. Antes porém, é necessário apresentar o Sistema de Classificação de Braços em Espirais (SCEE) proposto por Elmegreen & Elmegreen (1982, 1987), já que este permite não só refinar as sutilezas morfológicas encontradas em braços espirais, como também avaliar em que contexto de formação e evolução de galáxias esta diversidade melhor se concilia.

#### 1.2.2 Variedades de Estrutura Espiral - Sistema de Classificação de Braços

Elmegreen & Elmegreen (1982, 1987) realizaram estudos sobre a continuidade e simetria de braços em 762 galáxias espirais ordinárias e barradas, e em diferentes ambientes. A partir da análise dos dados, propuseram um sistema de classificação focalizado na estrutura de braços. Eles diversificam o sistema de classificação de braços em 12 estágios, onde braços muito caóticos e fragmentados representam o estágio 1. A variação do estágio 1 até o estágio 12 representa um decréscimo da fragmentação e caoticidade dos braços. Assim, braços muito bem delineados, contínuos e sem fragmentação, globais ou "grand design", representariam o estágio 12. Elmegreen & Elmegreen (1982) mostram que o percentual de galáxias ordinárias isoladas com característica de braços "grand design" é de  $32 \pm 10\%$ , aumentando para  $67 \pm 6\%$ quando estas galáxias estão em pares binários ou grupos. Se forem barradas isoladas ou em grupos, o percentual aumenta para 71% e 72%, respectivamente e, aumenta drásticamente para 93% se forem barradas em sistemas binários. Espirais floculentas são as estruturas mais comuns, 68%, encontradas em galáxias ordinárias e sem companheiras. Estes dados revelam que as floculentas podem ter barras e companheiras, e que via de regra "grand design" ocorrem em não barradas e sem companheiras. Portanto, nem as perturbações são perfeitamente efetivas, nem sempre necessárias para justificar o padrão "grand design" (Elmegreen & Elmegreen 1982).

Outro resultado relevante de Elmegreen & Elmegreen (1982) é a correlação entre os tipos de classificação de braços e a classe de luminosidade de van den Bergh (1960). A amostra de galáxias que eles analisaram indica que aquelas galáxias com braços fragmentados, irregulares de estágio 1, são todas de baixa luminosidade, enquanto que as "grand design", de tipo 12, são todas, sem exceção, objetos de alta luminosidade. Estes resultados sugerem que as diferentes morfologias dos braços dependem de ambos, da luminosidade e do meio ambiente.

#### 1.2.3 Cores e Gradientes de Cores em Espirais

Desde os anos de 1930 estudos apresentados na literatura mostram que o índice de cor das galáxias está relacionado com a população estelar dominante e, esta, com as componentes principais de galáxias e, portanto, com a morfologia (Humason 1936; Hubble 1936; Baade (1944). Galáxias tardias, como Sc's e Irr's, estão associadas a estrelas dominantes de tipo espectral A, A+F e F, enquanto que galáxias Sb's, com tipo espectral F+G e, as "early-type", com o domínio de sistemas estelares de tipo K (Morgan & Mayall 1957; Strateva et al 2001).

Cores integradas de galáxias em banda larga tem sido amplamente estudadas e, estudos clássicos como por exemplo de Vaucouleurs (1961) mostram que existe uma dependência entre a cor da galáxia e o tipo morfológico. Um resultado relevante que se obtem destes estudos clássicos é que galáxias "early-type"são mais vermelhas e, que "late-type"são mais azuis, configurando então uma distribuição de cor bimodal entre os tipos morfológicos de Hubble.

Um estudo realizado por Schweizer (1976) mostra que a distribuição de cor em discos de galáxias é muito uniforme e, que a amplitude de cores encontradas nos discos avaliados varia entre aquelas atribuídas a aglomerados galácticos velhos  $(B - V \sim 0.7)$  e galáxias elípticas gigantes  $(B - V \sim 0.9)$ . Se as cores das galáxias espirais são relativamente uniformes sobre todo o disco, isto implica em uma taxa de formação estelar praticamente constante, independentemente da densidade do gás.

Mais recentemente, propriedades fotométricas usando dados do "Sloan Digital Sky Survey- SDSS, foram estimadas por Shimasaku et al (2001) e, a Tabela 1.1 mostra a cor média encontrada entre tipos de Hubble, no sistema fotométrico AB95 (Fukugita et al 1996).

Um outro caminho para se obter informações sobre formação e evolução de galáxias é através do estudo de distribuição radial de cor. Surpreendentemente, existem poucos estudos focalizando este método, e excessões são os trabalhos de de Jong & van der Kruit (1994), de Jong (1996), Gadotti & dos Anjos (2001), Bakos & Trujillo (2008).

Т	Tipo de Hubble	u*-g*	g*-r*	r*-i*	i*-z*
T < 0.5	Е	1.79(0.26)	0.83(0.14)	0.41(0.05)	0.27(0.06)
$0.5 \le T < 1.5$	S0	1.66(0.30)	0.75(0.14)	0.38(0.05)	0.26(0.06)
$1.5 \le T < 2.5$	Sa	1.49(0.32)	0.68(0.15)	0.38(0.07)	0.25(0.08)
$2.5 \le T < 3.5$	Sb	1.40(0.28)	0.62(0.13)	0.35(0.08)	0.20(0.09)
$3.5 \le T < 4.5$	Sc	1.28(0.33)	0.46(0.12)	0.27(0.09)	0.07(0.16)
$4.5 \le T < 5.5$	Sdm	1.16(0.38)	0.42(0.24)	0.20(0.12)	0.04(0.20)
$T \ge 5.5$	Im	1.14(0.33)	0.61(0.23)	0.23(0.08)	0.05(0.17)

Tabela 1.1 - Cores médias das galáxias do SDSS em funcao do tipo de Hubble (T). Adaptado de Shimasaku et. al. 2001

O estudo de perfis de cor realizado por Gadotti & dos Anjos (2001) mostra que em uma amostra de 257 objetos tardios, barrados e não barrados, 41% possuem gradientes de cor (B-V e U-B) positivos ou nulos, enquanto que 59% possuem gradientes negativos, ou seja, são mais vermelhos na região do bojo, como previsto pelo cenário monolítico clássico. Resultados deste estudo também mostram que bojos tendem a ser mais azulados em galáxias que possuem gradientes nulos ou positivos e, que a cor global média é a mesma, independentemente do regime de gradiente. Portanto, estudos de cores globais são limitados e, não refletem a história detalhada dos mecanismos de formação ou evolução de galáxias.

A universalidade no comportamento de perfis radiais de brilho superficial em discos também está sendo muito questionada desde os trabalhos de Patterson et al (1940) e de Vaucouleurs (1958). Trabalhos recentes (Erwin et al 2005; Pohlen & Trujillo 2006; Erwin, Pohlen & Beckman 2008) tem mostrado que discos de espirais podem ser descritos por 3 classes de perfis, que dependem basicamente do truncamento ou não no comportamento do perfil exponencial. Perfis puramente exponenciais (tipo I), perfis truncados com curvatura para baixo ("downbending break") (tipo II), e os de tipo III, truncados também, mas com curvatura para cima. Pohlen & Trujillo (2006) mostram que 60% dos discos são truncados (tipo II), 30% tipo III ou não-truncado e, somente 10% são puramente exponenciais.

Bakos & Trujillo (2008) exploram correlações entre o comportamento dos perfis brilho de tipos I, II e III, com os perfis de cor e de densidade superficial de massa. Encontram que para cada tipo de perfil de brilho (I, II e III) existe um comportamento de perfil de cor (I, II e III) associado. Perfis de cor de tipo II possuem um comportamento característico na forma de U, com um valor mínimo de cor  $(g' - r') = 0.47 \pm 0.02$  mag, obtido no raio de quebra. Os perfis de cor de tipo III possuem um platô cuja cor é  $(g' - r') = 0.57 \pm 0.02$ mag. Eles interpretam estes resultados como sugestivo de que a origem da "quebra" no perfil das galáxias de tipo II seja devido a uma mudança radial na população estelar do que uma descontinuidade na distribuição de massa.

Estudos de cores são, portanto, ferramentas fundamentais que nos auxiliam a identificar populações estelares dominantes, bem como traçar as histórias de formação estelar em galáxias. Consequentemente, a informação da cor global de galáxias, bem como de gradientes de cor são importantes na avaliação de possíveis cenários de formação e evolução de galáxias.

As secções expostas acima mostram que existe uma enorme diversidade em várias propriedades de espirais, tanto no que se refer a cor global como no que diz respeito às propriedades estruturais de discos e bojos. Esta diversidade deve estar intimamente vinculada aos processos de formação e evolução de galáxias. Na secção a seguir são explorados os diferentes cenários de formação de galáxias e, as previsões observacionais que cada cenário contempla.

## 1.3 Cenários de Formação e Evolução de Galáxias: Monolítico, Hierárquico e de Evolução Secular

O estudo da formação de galáxias é complexo pois envolve o entendimento de uma enorme diversidade de processos físicos, cada qual relevante em diferentes estágios de evolução do Universo e, em diferentes escalas de dimensões estruturais. Para os objetivos propostos neste estudo, o interesse é avaliar propriedades em escalas locais, relacionadas a formação estelar, fração de gás atual e passada, eficiência de transformação do gás em estrelas, no passado e na atualidade, ou seja, analisar relações entre a morfologia e possíveis mecanismos físicos que possam explicar o que é observados em galáxias no Universo próximo. Dentro deste contexto, existem três cenários de formação de galáxias proposto na literatura: Monolítico, Hierárquico e de Evolução Secular. Veremos ao final desta secção que, os três cenários devem ser responsáveis pela diversidade morfológica observada e, que um cenário não necessariamente exclui o outro. A questão relevante a ser explorada é em que proporção, ou contexto, cada qual é relevante e fundamental. A seguir comenta-se, brevemente, as idéias básicas que fundamentam cada um dos Cenários propostos na literatura.

### 1.3.1 Cenário Monolítico

No Cenário Monolítico a formação de galáxias ocorreria em 2 fases principais. Na primeira, as componentes esferoidais, halo estelar e bojo, seriam formadas em uma escala de tempo rápida, da ordem de 10<sup>8</sup> anos, comparável com a escala de tempo de queda livre da protogaláxia. Nesta fase, ocorreria um colapso radial do gás primordial e, condições físicas especiais seriam então responsáveis por promover a primeira geração de formação de estrelas, de população II. Com o aumento do momento angular provocado pela queda do gás em órbitas circulares, ocorreria a interrupção da queda do gás na direção radial e,

o gás residual continuaria a cair, dando, subsequentemente, origem ao disco.

As estrelas formadas nestas duas componentes reuniriam propriedades químicas, dinâmicas e estruturais muito diferentes. As componentes esferoidais se caracterizariam pela alta excentricidade da órbita, baixa metalicidade e, do ponto de vista cinemático seriam mantidas por uma maior dispersão de velocidade. As estrelas formadas no disco teriam baixa excentricidade orbital, governadas preponderantemente por rotação e, metalicidade mais alta, pois teriam sido formadas pelo material produzido pela nucleossíntese das estrelas do halo, material este que ejetado pelas estrelas de alta massa já em estágios avançados de evolução, se depositaria no disco da galáxia .

Evidentemente, como a formação estelar se daria em momentos distintos, a idade das estrelas produzidas nas duas componentes seria diferente, sendo que as do halo e bojo seriam mais velhas e, as do disco mais jovens. Neste cenário, proposto por Eggen, Lynden-Bell e Sandage (1962), as galáxias teriam adquirido sua forma em tempos muito remotos, evoluindo à partir daí, passivamente.

Evidências observacionais da presença de estrelas velhas no bojo da Galáxia, bem como de galáxias externas, tem dado suporte ao Cenário Monolítico (Silk & Bouwens 1999). Entretanto, existem vários contra exemplos que não se ajustam perfeitamente às previsões do Cenário Monolítico. No caso da Galáxia, a amplitude de valores de metalicidade encontrada no bojo é um exemplo, bem como a presença de estrelas super ricas em metais (Mc Willian & Rich 1994). A proposta do modelo de caixa fechada (Ibata & Gilmore 1995 e referencias aí contidas; Larson 1990; François, Vangioni-Flam & Audouze 1990), que prevê o processamento local do gás resultando em uma produção de população de estrelas em cada ponto do sistema, resolve parte do problema, mas gera outros, como a questão da alta taxa de estrelas de baixa metalicidade na vizinhança solar, o conhecido problema das anãs G. Portanto, parece que o modelo é simplista demais. Ademais, estudos de Rich & Terndrup (1997) apontam evidências de que no bojo da Galáxia, regiões recentes de formação estelar estão presentes.

Estas mesmas evidências são encontradas em espirais externas, conforme o trabalho de Carollo et al (1997). Através de imagens obtidas pelo telescópio espacial Hubble, eles mostram que os bojos da amostra, frequentemente apresentam regiões brilhantes, sugestivas de formação estelar recente. Outro fato relevante que deve ser ponderado é a existência de galáxias completamente, ou quase que completamente, desprovidas da componente bojo (Pfenninger 1993).

No modelo Monolítico, diferentes morfologias de galáxias ocorreriam devido a discretas diferenças no meio ambiente, na quantidade de matéria presente e, na eficência de transformação do gás em estrelas.

Todo este panorama, somado a outros vínculos previstos por modelos que se encontram no contexto do Cenário Monolítico, podem ser melhor avaliados em Avila-Reese & Firmani (1998) e, são indícios de que talvez este Cenário não seja o único a atuar no processo de formação e evolução de galáxias.

#### 1.3.2 Cenário Hierárquico

No Cenário Hierárquico, como o próprio nome sugere, a formação de estruturas ocorreria como resultado de processos de fusões hierárquicas. Este cenário está fundamentado no contexto do modelo cosmológico padrão, onde a densidade de massa do Universo é dominada por matéria escura não colisional. Estruturas dentro do Universo se formariam como consequência de pequenas flutuações de densidade, que induziriam um agrupamento gravitacional durante a expansão do Universo. Pequenos halos de matéria escura misturados com matéria bariônica seriam então as primeiras estruturas a se formarem e, a formação de estruturas maiores ocorreria como resultado de processos de fusões hierárquicas. Halos de matéria escura fria seriam formados por este Cenário e, criariam um potencial gravitacional que seria responsável por coletar o gás necessário para formar estrelas, criando desta forma, galáxias visíveis (Atkinson et al 2007 e referencias aí contidas).

Os dois grandes grupos morfológicos, elípticas e espirais, seriam formados então por fusões de estruturas menores. A formação das galáxias espirais seria uma consequência de fusões de sistemas estelares e gás que, perdendo momento angular devido a deposição do material conduzido pela alta concentração de estrelas na região central, conteria, ambos, as estrelas já existentes e, aquelas formadas pela colisão do gás (Atkinson et al 2007).

Fusões envolvendo galáxias espirais de mesmo porte de massa, grandes fusões, destruiriam os discos e transformariam o remanescente, em galáxias elípticas. Fusões ou rápidos
encontros envolvendo galáxias de menor porte de massa, pequenas fusões, aqueceriam o disco levando a criação de barras, por onde a matéria escoaria para o bojo (Moore, Lake & Kats 1998). Diferenças entre propriedades observadas em galáxias espirais seriam atribuídas a efeitos de interação entre o gás do aglomerado e o meio interestelar das galáxias, como a pressão de arraste e, até mesmo efeitos de interação entre as galáxias, como remoção abrasiva do gás, que contribuiriam para modificar a morfologia, a taxa de formação estelar, luminosidade e, cor de galáxias (Biermann & Shapiro 1979; Abadi, Moore & Bower 1999; Kenney, van Gorkom & Volmer 2004; Lanzoni et al 2005 e referências aí contidas)

A idéia de que elípticas se formariam através de grandes fusões foi originalmente proposta por Toomre & Toomre (1972) e, explorada por vários autores como Gerhard (1981), Negroponte & White (1983), Barnes (1989). Uma série de estudos teóricos se seguiu realizando modelos de fusões completamete auto-consistentes como os de Barnes 1998, 1990; Barnes & Hernquist 1992; Barnes 1992; Hernquist 1992; Naab & Burket 2003; Jesseit et al 2005; González-García & Balcells 2005; Naab & Trujillo 2006, com a proposta de verificar se os remanescentes gerados nas simulações tinham propriedades semelhantes àquelas de elípticas observadas hoje.

Muitos avanços foram realizados nos modelos de fusões de galáxias, bem como nas técnicas de tratamento de imagens. A comparação entre as previsões dos modelos e as observações não se compatibilizam completamente. As observações mostram uma grande diversidade nas propriedades observadas em elípticas, tanto do ponto de vista estrutural como dinâmico. Do ponto de vista estrutural, elípticas apresentam-se em 2 classes distintas, as que possuem isofotas "boxy" e "disky". As "boxy" parecem ser mais massivas ( $M_B \leq -20.5$ ) e, são mais achatadas devido dispersão anisotrópica de velocidades. As "disky", ao contrário, são em geral menos massivas ( $M_B \geq -20.5$ ) e, possuem achatamento facilmente explicado por rotação.

Em um artigo recente, Pipino & Matteucci (2008) afirmam que o cenário de formação de elípticas a partir de grandes fusões de espirais tem sido questionados muitas vezes e, recentes estudos enfatizam a tensão entre propriedades fotométricas observadas e aquelas previstas. A concordância entre as previsões e propriedades morfológicas bem como cinemáticas, ocorre, porém, em elípticas de massa média e, naquelas com rotação expressiva. As elípticas mais massivas seriam mais velhas e se formariam mais rapidamente em relação aos objetos menores (Thomas et al 2005), mecanismo este denominado "downsizing" (Cowie 1996). Pipino & Matteucci (2008) exploram o mecanismo de fusões a seco (fusões de sistemas estelares puros sem dissipação, sem gás e, sem formação estelar), para reconciliar a necessidade de um mecanismo de formação estelar em uma fase não tão remota e, mais eficiente, nas elípticas mais massivas. Os autores concluem que o mecanismo de fusão a seco, sozinho, não explicaria e, portanto, não recuperaria o paradígma hierárquico.

No caso de galáxias com disco a situação não é diferente. Toda a variedade exposta no ítem 1.2 e que, em grande parte está claramente refletida no SCH, não pode ser explicada por processos de fusões hierárquicas somente. Este mecanismo, sem dúvida alguma, deve acontecer, porém não consegue explicar um fato essencial que é a regularidade e a continuidade de propriedades gerais como razão B/D, conteúdo de gás, cor, percentual gradativo de população estelar ao longo de toda a sequência morfológica do SCH. Um ponto relevante levantado por Kormendy & Fisher (2005) diz respeito ao fato de que existem muitas galáxias com discos puros que não contêm bojos. Este fato leva a uma reflexão. Como as aglomerações hierárquicas poderiam produzir tantas galáxias com puros discos, com nenhuma evidência de bojos construídos por fusões? Como comentado em Atkinson et al (2007), processos de formação de galáxias espirais permanecem amplamente desconhecidos e, os estudos precisam ser aprofundados.

Em síntese, o Cenário Hierárquico de formação de galáxias prevê que em uma fase remota da evolução do Universo ocorreria o domínio de uma combinação de processos violentos, que inclui colapsos dissipativos e fusões, a partir do qual as galáxias se formariam e evoluiriam. Como exposto, este Cenário deve ocorrer, porém apresenta limitações e, sózinho, parece não contemplar toda a gama, quase que contínua, de propriedades morfológicas e dinâmicas observadas em galáxias.

### 1.3.3 Cenário de Evolução Secular Interno

Alguns processos seculares são bem conhecidos, como por exemplo, o aquecimento dos discos via encontros estelares com nuvens moleculares (Spitzer & Schwarzschild 1951, 1953). Processos de relaxação estrela-estrela são muito lentos e, óbviamente irrelevantes no sentido de revelar qualquer modificação nas propriedades gerais de galáxias. Processos seculares relevantes envolveriam interações de estrelas individuais, ou nuvens de gás, com fenômenos coletivos tais como barras, distorções ovais, estrutura espiral e halos triaxiais de matéria escura.

Um processo é considerado lento e, portanto, secular, se a escala de tempo de manifestação do fenômeno for maior do que o tempo dinâmico  $t_{dyn} \sim (G\rho)^{-1/2}$  (onde  $\rho$  é a densidade da estrutura formada). A possibilidade de que uma grande variedade de subestruturas possa estar associada a processos seculares vêm sendo explorada teóricamente na literatura desde a década de 1980, em particular, em um artigo de revisão de Kormendy (1982). Naquele artigo, Kormendy (1982) explora um cenário onde barras, geradas como consequência de instabilidades, poderiam ser responsáveis por mecanismos seculares em discos de espirais, criando subestruturas como lentes, anéis, entre outras.

Estudos posteriores vieram contribuir no sentido de mostrar que existe uma grande diversidade nas propriedades estruturais e cinemáticas de bojos e, que estas não poderiam ser explicadas contemplando somente os Cenários Monolítico e Hierárquico. Este é o caso, por exemplo, dos bojos retangulares. Estes bojos foram primeiramente descritos por Burbidge & Burbidge (1959), de Vaucouleurs (1974), llingworth (1982). Jarvis (1986) realizou um estudo onde concluiu que 20 % das espirais analisadas nas placas do ESO/SERC-J apresentam este tipo de bojo. de Souza & dos Anjos (1987) apresentam uma lista de bojos retangulares completa em magnitudes e, propõem, pela primeira vez na literatura, que estes bojos seriam componentes de galáxias barradas vistas de perfil.

Simulações realizadas na década de 1990 (Combes et al. 1990; Pfenninger 1993; Sellwood 1993, entre outros) deram consistência às observações e, mostraram que barras tem um papel fundamental na evolução de galáxias. Uma vez formadas, as barras e distorções ovais rearranjariam o gás do disco em anéis internos e externos e o escoaria para a região central das galáxias. O gás acumulado na região central formaria novas estrelas e, consequentemente, formaria um novo subsistema estrutural, um pseudobojo. Outra consequência relevante apontada nas simulações é, que, quando 5% da massa de gás escoa para o centro, um novo modo de instabilidade ocorre e, a barra é destruída. Desta forma, uma galáxia barrada se transforma em comum e, novamente poderá formar uma barra por instabilidade, gerando um processo recorrente, bem como transmutação morfológica. Estudos teóricos de instabilidades em discos de galáxias provocadas pelo padrão espiral foram explorados por Lynden-Bell & Kalnajs (1972). Estes autores propõe que um padrão de onda arrastado ("trailing") transporta momentum angular da região interna para a região externa do disco e, que mudanças do momentum angular entre as estrelas do disco e a onda de densidade espiral aconteceriam apenas onde ocorrem ressonâncias entre a onda e estrelas. Seria, portanto, um fenômeno local e considerado apenas uma resposta orbital das estrelas a um potencial espiral aplicado (Zhang 1996).

Em uma série de artigos, Zhang (1996, 1998, 1999) incorpora argumentos analíticos aos resultados de Lynden-Bell & Kalnajs (1972), que mostram a possibilidade de que instabilidades em grande escala não sejam estruturas neutras. De acordo com Zhang (1998), instabilidades globais se comportariam como sistemas subordinados ou dependentes, sustentados por um fluxo contínuo de energia e entropia, além dos processos de dissipação local, que compensariam a tendência de crescimento espontâneo. A manutenção de estruturas espirais envolveria, então, uma competição e cooperação entre a tendência de crescimento espontâneo e a dissipação local. A capacidade do modo de espiral arrastado ("trailing") transportar momentum angular para a região externa dos discos (Lynden-Bell & Kalnajs 1972) e, transferir momentum angular no curso deste transporte (Zhang 1998), permitiria, então, que o modo espiral crescesse expontâneamente. Além disto, as condições de instabilidade local dos braços espirais e, a presença de uma mudança de fase entre o potencial e as espirais de densidade, permitiriam que o momentum angular atingisse um estado básico, por meio de uma amplitude de onda finita, através de choques sem colisão (Zhang 1996). Um equilíbrio dinâmico poderia resultar dos 2 mecanismos acima citados, transporte de momento angular e o torque aplicado pelo potencial espiral sobre as espirais de densidade (devido a mudança de fase entre o potencial e as ondas espirais de densidade) e, um estado quasi-estacionário seria obtido quando estes 2 mecanismos atingissem o equilíbrio. Processos seculares de transferência de energia e momentum angular entre a matéria do disco e as ondas de densidade ocorreriam nesta situação de equilíbrio dinâmico.

Simulações apresentadas por Zhang (1998) representam bem várias características morfológicas observadas em galáxias. Segundo Zhang (1999), as consequências astrofísicas do processo de evolução do estado básico de espirais induzidas poderia explicar a variação dos perfis de densidade superficial ao longo da Sequência de Hubble, tanto quanto a relação idade-dispersão de velocidade das estrelas na vizinhança solar. Outra consequência relevante seria a de que a Sequência de Hubble poderia ser explicada como uma sequência de evolução temporal no sentido das tardias ("late-type" Sd e Sc) para as jovens ("early-type" -Sb e Sa), onde os processos de redistribuição secular de massa, induzidos por espirais, poderiam atuar no sentido de transmutar a morfologia das galáxias (Zhang 2003). Resultados da análise do "Deep Field"e "medium Deep Field"mostram que existe uma significativa evolução dos tipos de Hubble com o "redshift", consistente com a evolução ao longo da Sequência de Hubble, prevista pela evolução secular interna, ou seja, no sentido de uma evolução temporal dos tipos tardios para os jovens. O Cenário Secular Interno poderia explicar a causa da relação morfologia-meio ambiente, a similaridade entre as relações f aber-Jackson para elípticas e, Tully-Fisher para as espirais, a existência das relações do plano fundamental para as elípticas e a anti-correlação massa-momento angular observada ao longo da Sequência de Hubble. Explicaria também a extraordinária regularidade e variação sistemática ao longo da SCH (Zhang 2004).

Neste cenário, o disco se formaria primeiro e instabilidades no disco provocariam efeitos seculares. Estes efeitos modificariam as propriedades estruturais e cinemáticas de galáxias, como por exemplo, a formação de uma concentração central, ou seja, um pseudobojo. Este pseudobojo reteria boa parte da memória do disco, preservando, portanto, um certo grau de achatamento e ângulo de posição comparáveis à do disco. O achatamento do pseudobojo seria maior do que aquele de bojos clássicos. Do ponto de vista dinâmico, pseudobojos seriam dominados por rotação, já que a razão entre as velocidades de rotação e de dispersão  $(V/\sigma)$  seria maior do que em bojos clássicos e, estariam ligeiramente abaixo da relação Faber-Jackson (L  $\propto \sigma$ ) (Kormendy & Kennicutt 2004).

Outras previsões do Cenário Secular incluem a presença de estruturas semelhantes a braços espirais ou barras na região nuclear de galáxias. Estas estruturas poderiam imprimir sua presença no comportamento dos perfis radiais de brilho, gerando oscilações ou truncamentos nestes perfis, bem próximos à região do bojo e, apareceriam, preferencialmente, em barradas ou discos ovais, onde os efeitos de evolução secular seriam mais eficientes (Kormendy & Kennicutt 2004). Outra característica importante no diagnóstico de evolução secular é a presença de faixas radiais de poeira ("radial dust lanes") em barradas, que

39

nuvens moleculares (Prendergast 1964; Sorensen, Matsuda & Fujimoto (1976); Roberts, Huntley & van Albada (1979); Sanders & Tubbs (1980). Com o choque provocado entre as nuvens moleculares de gás, ocorreria perda de energia cinética e, a queda do gás seria inevitável. Fisher & Drory (2008) sugerem que bojos que possuem estruturas nucleares semelhantes a espirais, anéis, barras e irregularidades, formem uma classe particular de bojos denominadas, pseudobojos. Athanassoula (1992) mostra que existe correlação entre o choque do gás e as faixas de poeira. Medidas da densidade central de gás e de taxas de formação estelar estimadas por Kormendy & Kennicutt (2004) mostram que a escala de tempo de formação de pseudobojos neste contexto é da ordem de poucos bilhões de anos.

Uma série de artigos recentes publicados na literatura têm explorado evidências teóricas (Martinet 1994; Combes 2006; Debattista, Mayer & Carollo 2006; Debattista & Shen 2007; Athanassoula 2006; Zhang 1996, 1998, 1999, 2002, 2003, 2004; Kormendy & Fisher 2005; Kormendy 2007, 2008) e observacionais (Gadotti & dos Anjos 2001; MacArthur, Courteau & Holtzman 2003; MacArthur, Courteau, Bell & Holtzman 2004; Fisher 2006, Kormendy & Kennicutt 2004 e, referências aí contidas; Kormendy & Cornell 2004; Kormendy & Fisher 2005; Kormendy 2007; Drory & Fisher 2007; Fisher & Drory 2008) em favor deste cenário. Estes estudos parecem concordar que mecanismos de Evolução Secular Internos explicariam, naturalmente, subestruturas descritas em morfologia de galáxias, como o caso de NGC 1291 classificada como (R)SB(lens)0/a ou, NGC 4736 classificada como (R)SA(r)ab, entre outras. Seria um caminho natural que explicaria a diversidade e amplitude morfológica observada em galáxias espirais.

Todo este panorama de cenários de formação e evolução de galáxias nos induz a pensar que as galáxias devem ter sido formadas por um conjunto de processos físicos, cada qual importante em fases distintas da evolução do Universo. No início da expansão, processos rápidos e violentos, tais como colapsos dissipativos e fusões de galáxias, devem ter sido dominantes. Após a virialização e, com a expansão do Universo, as galáxias em aglomerados adquirem grandes dispersões de velocidade, dificultando mecanismos de fusões. A evolução de galáxias passa então a ocorrer dominada por processos lentos, em escalas de tempo muito mais longas do que a escala de tempo dinâmico, processos estes conhecidos como seculares internos. A Figura 1.4, extraída de Kormendy & Kennicutt (2004), ilus-



tra a síntese dos principais processos que levariam à formação e evolução de galáxias, em diferentes condições físicas e, em diferentes fases de evolução do Universo.

Figura 1.4: Síntese de processos de Formação e Evolução de Galáxias-Processos estão divididos verticalmente naqueles em que são rápidos e lentos e, horizontalmente, naqueles que são puramente internos e dirigidos por efeitos ambientais

### 1.4 Motivação do Trabalho

Como vimos nas secções acima, nenhum dos cenários de formação e evolução de galáxias, isoladamente, consegue explicar completamente a diversidade de propriedades gerais e continuidade morfológica observada em galáxias, esquematizadas no Sistema de classificação de Hubble. Uma combinação dos três cenários apresentados parece plausível de ocorrer e, neste sentido, é relevante identificar a importância e contribuição relativa que cada um dos cenários pode oferecer. Durante os últimos 30 anos, os estudos sobre formação e evolução de galáxias concentraram-se nos cenários de aglomerações hierárquicas e fusões. O Cenário Secular Interno tem sido pouco explorado, apesar desta possibilidade ter sido aventada na literatura desde a década de 1980 por Kormendy (1979, 1981, 1982). Estudos sistemáticos sobre evolução secular interna começaram a surgir na literatura na década de 1990, como os trabalhos de Peletier & Balcells (1996), que encontram correlações entre índices de cor de bojos e discos internos, indicando que as idades bem como metalicidades das estrelas nestas regiões são semelhantes. Courteau, De Jong & Broeils 1996; De Jong 1996; Gadotti & dos Anjos (2001), mostraram que existe correlação entre as escalas de comprimento característico de bojos e discos para uma amostra de espirais de tipos "jovem" e "tardio". Estas correlações entre os parâmetros do disco e bojo, bem como entre os índices de cor, foram interpretadas como uma dependência entre as componentes e, portanto, uma dependência ou conexão entre os mecanismos de formação destas componentes, como se prevê no Cenário de Evolução Secular.

Gadotti & dos Anjos (2001) exibiram um estudo mostrando que galáxias barradas são super representadas entre objetos que possuem gradientes de cor nulo ou positivo, interpretado como indicativo de que barras atuam como mecanismo de homogeneização de populações estelares. Este resultado também corrobora a previsão do Cenário Secular, onde barras atuariam no sentido de escoar o gás do disco para as regiões centrais, onde este seria comprimido e, formando não somente novas estrelas como também uma nova componente estrutural construída secularmente, um pseudobojo.

Com o argumento de que bojos construídos secularmente retêm a memória dos discos, recentes estudos (Kormendy 2007; Drory & Fisher 2007; Fisher 2007; Fisher & Drory 2008; Peletier 2007; Erwin et al. 2007; Maciejewski 2006; Kormendy & Fisher 2005) têm buscado encontrar evidências da existência de pseudobojos, através de similaridades entre parâmetros estruturais como o ângulo de posição e a elipticidade. Outro vínculo que também tem sido avaliado (Fisher 2006; Fisher & Drory 2008) diz respeito ao índice de Sérsic (n), índice que está diretamente relacionado com a curvatura e concentração do perfil de luz (Trujillo, Graham & Caon 2001). Uma vez que pseudobojos teriam comportamento de discos, seria de se esperar que o perfil de distribuição de brilho de pseudobojos se ajustasse a uma lei exponencial (n < 2), como ocorre na maior parte dos ajustes em discos.

Como as simulações mostram que barradas são potencialmente galáxias que sofrem efeitos coletivos devido ao potencial da barra, redistribuindo energia e massa (Kormendy & Kennicutt 2004) às custas da conservação do momentum angular, a maioria dos estudos realizados até o momento está concentrada em verificar efeitos produzidos por mecanismos seculares nestes tipos objetos.

Poucos estudos sistemáticos que focalizam efeitos previstos no Cenário de Evolução Secular foram realizado até o momento, em diferentes tipos de discos de galáxias espirais não-barradas, onde propriedades estruturais bem como comportamentos radiais de cores em discos fossem avaliados. Estudos radiais da distribuição de luz em galáxias são úteis para avaliar a distribuição de massa e, portanto, de possíveis subestruturas, em diferentes tipos de galáxias e, a combinação de perfis em diferentes filtros permite inferir sobre o comportamento da cor e da população estelar. As possíveis correlações encontradas certamente forneceriam vínculos para qualquer teoria de formação e evolução de galáxias.

A proposta do presente estudo foi a de verificar estes efeitos a partir de uma amostra de galáxias não-barradas contendo discos "grand design", floculentos e multibraços ou intermediários. A partir desta amostra, buscamos verificar não somente o comportamento de perfis de brilho superficial, mas também o comportamento radial de cores, sensíveis a presença de população estelar jovem e velha. Consideramos como pseudobojo na nossa análise, toda subestrutura presente na região nuclear das galáxias, como espirais nucleares, anéis nucleares, barras "jovens" e deformidades estruturas nucleares. A avaliação da cor nas componentes bojo e disco também foi realizada, já que no caso de ser similar indicaria homogeneização da população estelar, também prevista no Cenário Secular Interno.

Estruturas globais "grand design" que ocorrem em algumas galáxias parecem ser um efeito da manifestação da propagação de ondas de densidade. Galáxias "grand design" costumam estar em ambientes mais densos (grupos) e, portanto, suscetíveis a efeitos de maré bem como de fusões. Estes efeitos poderiam provocar instabilidades no disco e, como consequência, poderiam redistribuir o material contido nesta componente misturando o material alí contido, minimizando e, até mesmo eliminando, qualquer gradiente de metalicidade ou cor no disco. Como as ondas de densidade espiral estão em equilíbrio dinâmico quasi-estático, a redistribuição de massa deve ser gradual e direcionada para o centro da galáxia, o que resultaria em uma concentração central de massa no disco vinculada ao envelope extenso e difuso. Estas galáxias, são, portanto, teóricamente, candidatas a sofrerem efeitos seculares internos, pois os braços espirais atuariam como instabilidades em escala global fazendo com que as galáxias evoluíssem dinamicamente, embora mais lentamente do que ocorre com as barras (Kormendy & Kennicutt 2004). "Grand Design" costumam ser brilhantes e massivas, frequentemente ocorrendo em espirais de tipo "jovem".

As galáxias floculentas, por sua vez, são objetos que não apresentam estruturas globais na forma de braços espirais e, se encontram preferencialmente em ambientes mais rarefeitos. Elas não apresentam estruturas globais na banda B, mas alguns estudos isolados parecem apontar a presença de fracos e dispersos braços espirais na banda K. São também objetos que, preferencialmente, não possuem barras (Elmegreen & Elmegreen 1982) e, quando estas ocorrem são mais fracas e menores do que as que ocorrem em galáxias "grand design". Então, se por um lado as floculentas parecem não ser muito atrativas como ambientes de estudos seculares, pois são aqueles objetos que não possuem estruturas globais, traçadoras de instabilidades, por outro lado são aquelas galáxias que poderiam ter evoluído sem que efeitos de instabilidades globais pudessem afetar sua evolução. São, portanto, os objetos que tiveram tempo suficiente para que efeitos seculares pudessem ocorrer. Estas galáxias costumam ser menos brilhantes e menos massivas do que as "grand design"e, parecem ocorrer mais frequentemente em espirais de tipo "tardio" (Elmegreen & Elmegreen 1998). Como as galáxias de tipo tardio possuem uma relação bojo/disco baixa e, como eventos de fusão devem produzir bojos, é possível que as floculentas sejam galáxias que não tenham uma história importante de eventos de fusões.

Galáxias selecionadas a partir da amostra foram então extraídas da base de dados do SDSS em quatro filtros (g, r, u e z) e, relações de escalonamento como, comprimentos característicos de bojos e discos, relação de luminosidade de bojo/disco, bem como índices e gradientes de cores foram calculados e analisados. A possibilidade de evolução ou transição entre os tipos de discos analisados foi também explorada.

No Capítulo 2 mostramos os critérios de seleção da amostra, bem como o procedimento para a realização da fotometria superficial, obtenção dos perfis radiais de cor e, os cálculos dos gradientes de cor. No Capítulo 3, apresenta-se a decomposição bidimensional de bojos e discos realizada para uma subamostra de objetos, com o objetivo de obter parâmetros estruturais para a análise desejada. Resultados e Conclusões podem ser avaliados no Capítulo 4. No Capítulo 5, perspectivas são esboçadas.

# Capítulo 2

## Amostra e Tratamento de Imagens

O objetivo do trabalho é verificar se alguns dos efeitos previstos no Cenário de Evolução Secular Interno podem ser identificados em galáxias espirais com diferentes tipos de estrutura em discos. Para tanto, utilizamos uma amostra com galáxias contendo tipos de Hubble mais tardios e, separamos a amostra em objetos com discos que possuem braços "grand design", discos floculentos e, aqueles com multiplos braços ou de tipos intermediários.

Neste capítulo, apresentamos, inicialmente, a amostra selecionada para tal estudo, bem como a extração das imagens na base de dados do levantamento Sloan. Correções devido aos efeitos de interação da luz com o meio interestelar, também serão descritas. De posse das imagens corrigidas, realizamos o tratamento das imagens, que inclui a pré-redução de dados e a redução de dados propriamente dita, como remoção de estrelas e de fundo céu, bem como a calibração das imagens.

### 2.1 Seleção da Amostra

A utilização de métodos robustos para identificar galáxias "grand design" e floculentas, tais como a decomposição da imagem em braços logarítmicos, ou o método da decomposição bidimensional de Fourier (conforme Puerari et al. 2000), é extremamente complexa e, demandaria um tempo muito longo para que se construísse a amostra necessária ao estudo proposto.

Um outro método que poderia, em princípio, ser utilizado, seria o da construção de perfis azimutais de brilho superficial. Este método, entretanto, necessitaria um certo grau de perícia para identificar estruturas de braços com seus respectivos padrões de perfil.



Figura 2.1: Perfis de brilho azimutal para dois tipos de galáxias. NGC3675 é uma galáxia floculenta e, NGC3486 é uma galáxia "grand design" (Elmegreen & Elmegreen 1984)

Teóricamente, os perfis de "grand design" exibiriam picos que apareceriam separados por 180<sup>0</sup> representando a presença da estrutura dos braços, ao passo que as floculentas mostrariam os diversos picos representando os braços, ou fragmentos de braços, separados irregularmente. Na prática, entretanto, teríamos dificuldade em separar as 2 classes, pois, como veremos a seguir, existe uma ampla gama de refinamento de subestruturas representadas por 12 classes de discos entre as "grand design" e as floculentas e, que dificultam enormemente tal reconhecimento.

A Figura 2.1 mostra uma comparação dos perfis de brilho superficial relativo em função do ângulo azimutal para as galáxias NGC 3675, uma floculenta cuja classe de braços é AC3 e, NGC 3486, uma galáxia "grand design", cuja classe de braços é AC9. Analisando o comportamento dos perfis de brilho azimutal exibidos na Figura 2.1, podemos ver que estes perfis guardam muita semelhança entre sí, necessitando um certo grau de experiência para uma classificação realista ser feita e, portanto, este método é também difícil de ser aplicado.

A possibilidade de construírmos uma amostra completa, representativa de toda a gama de estruturas em discos, utilizando o "Third Reference Cataloque - RC3" e, selecionando as imagens visualmente a partir do Sloan (SDSS), também se mostrou inviável, pois a percepção de sutilezas morfológicas é incerta, subjetiva e de difícil interpretação. Como esta identificação morfológica é crítica para a proposta do projeto, decidimos então utilizar a classificação proposta por Elmegreen & Elmegreen (1982, 1987), daqui em diante Sistema de Classificação de Elmegreen & Elmegreen - SCEE, já que este nos fornece, a priori, uma classificação mais refinada da diversidade de braços encontrada em discos de espirais.

O SCEE foi construído baseado em catálogos disponibilizados na literatura, incluindo galáxias de campo (Turner & Gott 1976), galáxias binárias (Turner 1976), grupos de galáxias (Turner & Gott 1976) e, todas as espirais do "Second Reference Catalogue" - RC2, que satisfizessem os seguintes critérios: a) inclinação  $\leq 60^{0}$ ; b) declinação  $\geq -35^{0}$ ; c) corrigidas por inclinação dentro do raio de 25 mag arcsec  $^{-2}$ , R25; d) com dimensões  $\geq 1'$ . A classificação dos braços foi feita visualmente utilizando imagens no filtro azul (B) em placas em vidro do Palomar Sky Survey - POSS, utilizando um microscópio binocular com aumento de 10 vezes.

Neste catálogo, são atribuídos às galáxias, tipos numéricos que representam classes de braços ("arm class" ou AC), onde cada tipo numérico representa um certo nível de simetria e continuidade crescentes dos braços espirais. Neste sistema são descritos 12 tipos distintos de classes de braços, correspondendo a uma variação sistemática no grau de ordem e continuidade dos braços espirais. As galáxias floculentas apresentam uma ausência de simetria bimodal com uma estrutura espiral composta de fragmentos de braços distribuídos pelo disco da galáxia.

Como a fragmentação pode ser relativamente maior ou menor, 4 categorias, AC1-AC4, foram propostas para cobrir esta faixa de subestruturas. As galáxias "grand design" possuem dois braços simétricos e contínuos e, 4 categorias descreviam originalmente estas classes, AC9 - AC12, sendo que as AC12 são as que possuem braços mais bem definidos e contínuos, braços globais. Tipos AC10 e AC11 foram eliminados posteriormente, já que associavam a componente barra ao tipo de braço, bem como galáxias que possuem companheiras próximas. Tipos com multibraços ou intermediários foram categorizados entre as classes AC5-AC8.

Em uma versão mais atualizada do SCEE, Elmegreen (1998) descreve galáxias de tipos intermediários de braços como objetos que possuem na estrutura interna do disco dois braços contínuos e simétricos e, na região externa braços truncados e com muitos segmen-

Classe Braços	Descrição
AC 1	Braços caóticos, fragmentados e assimétricos
AC 2	Pedaços fragmentados de braços espirais sem nenhum padrão regular
AC 3	Braços fragmentados uniforme $^{te}$ distribuídos ao redor do centro galáctico
AC 4	Apenas 1 braço proeminente; com os restantes fragmentados
AC 5	Dois braços simétricos e pnos nas regiões internas; braços externos irregulares
AC 6	Dois braços simétricos; cobertos com estruturas externas em forma de anel
AC 7	Dois braços externos grandes e simétricos; com braços internos irregulares
AC 8	Braços deformados em forma de anel
AC 9	Dois braços internos simétricos; braços externos grandes e contínuos
AC 10	$N\tilde{a}o\ mais\ usado;$ previamente denotados como gal. barradas
AC 11	$N\tilde{a}o\ mais\ usado;$ previamente denotados como gal. c/ companheiras próx.
AC 12	Dois braços grandes e simétricos dominando o disco óptico

Tabela 2.1 - Descrição das Classes de Braços, adaptado de Elmegreen & Elmegreen 1998

tos, semelhantes aos das floculentas. Nesta classe intermediária seriam então contempladas as galáxias com multibraços. A Tabela 2.1 exibe em detalhes a relação entre as classes de braços (AC) e, a descrição de sutilezas morfológicas apresentadas nos braços. A Figura 2.2 mostra algumas imagens de galáxias exemplificando as classes de floculentas, "grand design" e multibraços, definidas por Elmegreen & Elmegreen (1987) e Elmegreen (1989).

Este sistema é independente do tipo de Hubble, pois tanto os tipos precoce como os tardios, podem ser floculentos ou "grand design". Entretanto, há uma *preponderância de tipos floculentos entre os tipos mais tardios*. Este sistema também é independente da Classe de Luminosidade de van den Bergh, mas há alguma sobreposição nas características para as galáxias de luminosidades e massas menores, as quais são aproximadamente galáxias irregulares e tendem a ter estrutura floculenta.

A lista completa de galáxias fornecida pelo catálogo de Elmegreen & Elmegreen (1982, 1987), contêm 654 galáxias selecionadas em ambientes com diferentes densidades e, dentro dos critérios acima mencionados. Para o estudo em questão, restringimos ainda mais os critérios de seleção, considerando somente: a) galáxias de face, com  $R25 \leq 0.20$ , conforme



Figura 2.2: Exemplos de tipos de braços descritos no Sistema de Classificação de Elmegreen & Elmegreen - SCEE (1987; 1989)

sugerido por de Jong & van der Kruit (1994); b) tipos morfológicos relativamente tardios 3 < T < 7, já que nestes tipos a presença de braços é melhor definida e, teóricamente, os tipos vulneráveis a efeitos de evolução secular; c) que não estivessem em sistemas avançados de fusão.

Com a aplicação deste critério, 189 objetos foram selecionados que, em princípio, seriam então candidatos a constituir a amostra desejada: 63 "grand design", 87 floculentos e, 39 galáxias intermediárias. Após inspeção visual, eliminamos as galáxias barradas.

O passo seguinte foi então obter as imagens das galáxias selecionadas na nossa amostra utilizando o levantamento realizado pelo Sloan (http://www.sdss.org). As imagens digitalizadas foram então extraídas desta base de dados nos filtros u( $\lambda$  3551 Å), g( $\lambda$  4686 Å),  $r(\lambda 6166 \text{ Å})$ ,  $z(\lambda 8932 \text{ Å})$ , respectivamente, ultravioleta, azul, visível e, infravermelho, filtros estes que definem o sistema fotométrico do SDSS e, cuja banda passante é próxima do sistema fotométrico de Johnson. A escolha destes filtros se deve ao fato de querermos avaliar as cores globais das galáxias da amostra bem como o comportamento radial da cor ao longo do disco. Portanto, a composição destas cores em banda larga permite avaliar o comportamento de diferentes populações estelares, já que a cores (g-r) e (u-g) são indicadas para estudar população estelar jovem, a primeira sendo sensível à temperatura e, a segunda à composição química, e (r-z), para estudar poeira associada à formação estelar, bem como informações sobre populações estelares velhas.

Nem todos os objetos da nossa amostra selecionada em SCEE constam da base de dados do Sloan. Além disto, após a realização de uma inspeção visual nas imagens do Sloan, eliminamos aqueles que se encontram em 2 campos, onde teríamos que realizar uma composição de imagens. A amostra final, com 57 objetos, é apresentada nas Tabelas a seguir e, consta de 21 galáxias "grand design", 27 galáxias floculentas e 9 mistas. As galáxias "grand design" possuem magnitudes que variam entre 10.64 à 14.2, as galáxias floculentas possuem magnitudes entre 9.67 à 13.64 e, finalmente as galáxias intermediárias com magnitudes entre 11.5 e 12.9, todas na banda B.

O procedimento utilizado para a extração das imagens utiliza a tarefa IMAGE LIST que seleciona os objetos desejados na base de dados do SLOAN a partir das coordenadas do objeto, ascensão reta e declinação, em unidades decimais. A opção EXPLORE permite então obter os arquivos em FITS. Uma breve inspeção via NED e via IRAF foi feita para nos asseguramos de que os objetos extraídos do Sloan eram aqueles que de fato havíamos selecionado na amostra. As imagens disponibilizadas ao público tem 2048 x 1361 pixels de dimensão, ou, 13'.52 x 8'.98, cada pixel com 0.396". O tempo de integração das imagens foi da ordem de 54 segundos.

### 2.2 Correções Fotométricas

A luz integrada de uma galáxia é o fluxo de luz medido integralmente sobre toda a galáxia e, pode ser medido em função de um determinado filtro através de técnicas fotométricas. Esta grandeza é importante pois, associada a modelos de sínteses de população

		Galáxias "G	rand Design"	
Nome	T(erro T)	$R_{25}$ (erro $R_{25}$ )	B (erro B) (mag)	cz (erro $cz$ ) (km/s)
NGC1042	6.0(0.3)	0.11(0.02)	11.80(0.29)	1407(63)
NGC2776	5.0(0.3)	0.05(0.02)	12.00(0.15)	2618(42)
NGC2857	5.0(0.3)	0.05(0.05)	13.80(0.30)	4864(59)
NGC2942	5.0(0.4)	0.10(0.04)	13.23(0.19)	4585(44)
NGC2967	5.0(0.3)	0.04(0.03)	11.91(0.15)	2212(58)
NGC3074	5.0(0.7)	0.05(0.05)	14.20(0.40)	5102(46)
NGC3184	6.0(0.3)	0.03(0.02)	10.44(0.16)	404(40)
NGC3338	5.0(0.3)	0.21(0.02)	11.41(0.18)	1297(58)
NGC3344	4.0(0.3)	0.04(0.02)	10.82(0.17)	575(13)
NGC3780	5.0(0.3)	0.10(0.03)	12.16(0.15)	2361(66)
NGC3893	5.0(0.4)	0.21(0.03)	10.85(0.17)	944(2)
NGC3897	4.0(0.7)	0.00(0.05)	13.80(0.30)	6434(38)
NGC4030	4.0(0.3)	0.14(0.02)	11.42(0.17)	1449(19)
NGC4041	4.0(0.3)	0.03(0.03)	11.74(0.15)	1186(50)
NGC4079	3.5(0.4)	0.15(0.04)	13.20(0.20)	6054(15)
NGC4580	1.0(0.3)	0.11(0.03)	12.61(0.12)	1227(55)
NGC4651	5.0(0.3)	0.18(0.02)	11.30(0.08)	788(31)
NGC5230	5.0(0.3)	0.05(0.03)	12.77(0.17)	6863(66)
NGC5248	4.0(0.3)	0.14(0.02)	10.64(0.17)	1189(28)
NGC5364	4.0(0.3)	0.19(0.02)	11.07(0.23)	1267(42)
NGC5874	4.5(0.5)	0.16(0.04)	13.70(0.20)	_

Tabela 2.2 - Amostra contendo galáxias Espirais Globais. T é o tipo de Hubble,  $R_{25}$  é a razão axial da galáxia na isofota de 25 mag  $arcsec^{-2}$ . B é a magnitude na banda azul e cz são as velocidades radiais das galáxias. Todas as grandezas estão apresentadas com seus erros, obtidos via consulta ao RC3.

Galáxias Floculentas							
Nome	$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{T}(\text{erro } \mathbf{T}) & R_{25} \text{ (erro } R_{25}) \end{bmatrix} \mathbf{B} \text{ (erro } \mathbf{B} \text{ (mag)}  \text{cz (erro } \text{cz) (km)}$						
NGC450	6.0(0.4)	0.12(0.03)	12.20(0.29)	1858(33)			
NGC941	5.0(0.3)	0.13(0.03)	12.89(0.18)	1580(66)			
NGC991	5.0(0.3)	0.05(0.03)	12.36(0.28)	1485(66)			
NGC1068	3.0(0.3)	0.07(0.02)	9.67(0.15)	1093(14)			
NGC2532	5.0(0.4)	0.08(0.03)	12.79(0.18)	5153(56)			
NGC2701	5.0(0.5)	0.13(0.03)	12.51(0.16)	2299(66)			
NGC2775	2.0(0.3)	0.11(0.03)	11.13(0.15)	1340(12)			
NGC2916	3.0(1.5)	0.17(0.04)	12.42(0.18)	3665(40)			
NGC3055	5.0(0.4)	0.21(0.03)	12.54(0.16)	1880(58)			
NGC3162	4.0(0.3)	0.08(0.03)	12.03(0.15)	1456(56)			
NGC3310	4.0(0.3)	0.11(0.03)	11.04(0.16)	1018(12)			
NGC3423	6.0(0.3)	0.07(0.02)	11.54(0.16)	835(66)			
NGC3629	6.0(0.4)	0.15(0.03)	12.78(0.15)	1558(66)			
NGC3913	7.0(0.5)	0.01(0.03)	13.60(0.30)	842(72)			
NGC4158	3.0(0.5)	0.06(0.04)	12.86(0.11)	2413(55)			
NGC4162	4.0(0.4)	0.22(0.03)	12.55(0.15)	2542(31)			
NGC4237	4.0(0.4)	0.19(0.03)	12.52(0.12)	865(41)			
NGC4393	7.0(0.7)	0.03(0.05)	12.70(0.30)	842(65)			
NGC4411A	5.0(0.3)	0.02(0.03)	13.50(0.15)	1272(46)			
NGC4534	7.5(0.5)	0.08(0.03)	12.90(0.20)	796(76)			
NGC4571	6.5(0.5)	0.05(0.02)	12.04(0.13)	284(96)			
NGC4635	7.0(0.6)	0.15(0.03)	13.20(0.12)	961(50)			
NGC4713	7.0(0.3)	0.20(0.03)	12.05(0.11)	631(58)			
NGC5300	5.0(0.5)	0.18(0.03)	12.11(0.21)	-			
NGC5585	7.0(0.3)	0.19(0.02)	11.49(0.17)	303(15)			
NGC5772	3.0(0.5)	0.21(0.04)	13.64(0.20)	4916(32)			

Tabela 2.3 - Amostra contendo galáxias floculentas. T é o tipo de Hubble,  $R_{25}$  é a razão axial da galáxia na isofota de 25 mag  $arcsec^{-2}$ . B é a magnitude na banda azul e cz são as velocidades radiais das galáxias. Todas as grandezas estão apresentadas com seus erros, obtidos via consulta ao RC3.

Galáxias de tipo Intermediário								
nome	T(erro T)	$R_{25}$ (erro $R_{25}$ )	B (erro B) (mag)	cz (erro cz) (km/s)				
NGC2805	7.0(0.3)	0.12(0.03)	11.50(0.30)	1699(32)				
NGC3177	3.0(0.4)	0.09(0.03)	12.90(0.15)	1220(56)				
NGC3455	3.0(0.3)	0.21(0.03)	12.83(0.15)	1113(33)				
NGC3596	5.0(0.3)	0.02(0.03)	11.50(0.16)	1176(66)				
NGC3684	4.0(0.3)	0.16(0.02)	12.08(0.15)	1394(53)				
NGC4653	6.0(0.3)	0.06(0.03)	12.74(0.20)	2547(66)				
NGC4701	6.0(0.3)	0.11(0.03)	12.36(0.14)	718(53)				
NGC5584	6.0(0.3)	0.14(0.03)	12.07(0.17)	1602(43)				
NGC5633	3.0(0.4)	0.21(0.03)	12.83(0.15)	2350(13)				

Tabela 2.4 - Amostra contendo galáxias de tipo intermediário. T é o tipo de Hubble,  $R_{25}$  é a razão axial da galáxia na isofota de 25 mag  $arcsec^{-2}$ . B é a magnitude na banda azul e cz são as velocidades radiais das galáxias. Todas as grandezas estão apresentadas com seus erros, obtidos via consulta ao RC3.

estelar nos fornece informações acerca do número e tipos de estrelas que a galáxia possa conter. O valor do fluxo medido nos telescópios não é o mesmo que é emitido pelos astros, pois a luz, como se sabe, sofre efeitos quando interage com a matéria quando esta atravessa o meio interestelar e, quando atravessa a atmosfera da Terra. A extinção, por exemplo, é na verdade uma combinação de espalhamento e absorção da luz e, além de causar avermelhamento no objeto, causa obscurecimento.

Um outro fator que deve ser considerado e corrigido pois afeta a cor do objeto observado, diz respeito ao efeito provocado pelo movimento recessional das galáxias. O fato de ocorrer um aumento da velocidade recessional das galáxias com o aumento da distância, a conhecida Lei de Hubble, provoca um efeito de deslocar o padrão do comportamento da distribuição de luz destes objetos, efeito este conhecido como desvio para o vermelho.

Galáxias que estão se afastando a grandes velocidades deslocam a banda de observação para comprimentos de onda mais longos, diferente daqueles que esperaríamos observar no referencial de repouso. A correção a este efeito é conhecida como correção K e, leva em conta um ajuste aos valores de magnitudes e cor, que será particularmente importante em galáxias muito distantes. Neste sentido, realizamos então as seguintes correções fotométricas:

- Extinção pela nossa Galáxia ao longo da linha de visada à galáxia em questão
- Extinção interna na galáxia observada
- Correção devido à distribuição de poeira (modelos são pouco precisos)
- Correção devido ao movimento da galáxia com relação à nós ("redshift"), sendo esta conhecida como correção K

Portanto, a magnitude em uma determinada banda X, corrigida dos efeitos considerados acima pode ser obtida por:

$$X_o = X - A_X(Galáctica) - A_X(interna) - K_X.$$
(2.1)

Onde  $X_o$  é a magnitude intríseca, X é a magnitude observada,  $A_X(Galáctica)$  é a absorção causada pela nossa Galáxia,  $A_X(interna)$  é a absorção interna, intrínseca da galáxia em questão, e  $K_X$  é a correção por "redshift". Vamos discorrer, pormenorizadamente, à seguir, os vários termos de correção apresentados acima. Antes porém, disponibilizaremos abaixo uma tabela com os principais dados necessários para efetuarmos as correções citadas na equação acima, pois algumas dessas correções encontram-se na base de dados do SDSS e, necessitam de rótulos para sua busca.

#### 2.2.1 Absorção Galáctica

O efeito de absorção galáctica ocorre devido a interação da luz proveniente dos objetos observados com o meio interestelar difuso da nossa galáxia. Este efeito depende da posição que o objeto se encontra em relação a altura do disco da nossa galáxia. Para objetos que estão situados a baixas longitudes Galácticas (b), que o colocam na direção próxima do disco da Galáxia, a luz proveniente deste objeto, atravessará uma grande quantidade de material interestelar da nossa galáxia, sofrendo fortes efeitos de extinção. Na direção do pólo galáctico este efeito é minimizado.

Nome	número de identif. objeto	run	rerun	camcol	field				
NGC2776	587731522281668676	2740	40	5	230				
NGC2857	587732050555961424	2863	40	5	128				
NGC2942	588016890634436689	3647	41	1	50				
NGC2967	588848900434427959	756	44	4	198				
NGC3338	587735348564787262	3631	40	4	293				
NGC3642	587732582056525908	2987	40	3	103				
NGC3780	587735695367536660	3712	40	2	51				
NGC3897	587739304214265922	4552	40	4	58				
NGC4030	587722981740118046	752	40	1	244				
NGC4041	588009371227258884	1896	41	3	154				
NGC4651	587742901790048271	5390	40	1	116				
NGC5248	588017990689751070	3903	41	2	154				

#### Galáxias Grand Design

Tabela 2.5 - Tabela de rótulos para busca no SDSS - Galáxias "Grand Design"

Galáxias Floculentas										
Nome	número de identif. objeto	run	rerun	camcol	field					
NGC2775	587734691424895006	3478	40	4	142					
NGC2916	587741709407158353	5112	40	4	229					
NGC3423	587732576700399634	2986	40	1	295					
NGC4158	587742576978296853	5314	40	4	42					
NGC4162	587741724967305222	5116	40	1	90					
NGC4534	587739407857156135	4576	40	5	467					
NGC5772	588298663049035879	3716	42	3	224					

#### Tabela 2.6 - Tabela de rótulos para busca no SDSS - Galáxias Floculentas

Os valores de extinção causado pelo meio interestelar da nossa galáxia constam da base de dados do SDSS e foram calculados por Schlegel et al. (1998). Estas informações podem ser obtidas através do SDSS, utilizando o seguinte comando:

Galaxias de tipo interintediario										
Nome	número de identif. objeto	run	rerun	camcol	field					
NGC4701	587726033864556575	1462	40	6	447					
NGC5633	587732484369743913	2964	40	5	465					
NGC3177	587741815710351437	5137	40	2	271					

Galáxias de tipo intermediário

Tabela 2.7 - Tabela de rótulos para busca no SDSS - Galáxias de tipo intermediário

## SELECT extinction\_u, extinction\_g, extinction\_r, extinction\_z FROM PhotoObj WHERE objID(número de identificação do objeto)

Onde *extinction\_(banda)* é a correção por extinção galáctica em cada banda. Os valores desta correção para as galáxias selecionadas da amostra podem ser vistos na Tabela a 2.8, 2.9, 2.10 a seguir.

#### 2.2.2 Absorção Interna

Este termo surge devido às galáxias apresentarem diferentes inclinações em relação à nossa linha de visada. As galáxias não parecem tão brilhantes quando vistas de perfil, como quando são vistas de face; isto ocorre devido ao fato de estarmos olhando através da poeira acumulada ao longo da direção radial do disco. A extinção interna de uma galáxia poderia ser derivada comparando-se galáxias com diferentes inclinações e ajustando-se um modelo para a poeira; os resultados são dependentes do tipo de Hubble, pois diferentes tipos de galáxias tem diferentes quantidades de poeira. Valores entre 0.5 - 1 magnitudes de extinção no visível são típicos para um disco, embora algumas galáxias possam ser mais transparentes do que isto (conforme Elmegreen 1998).

O valor da correção interna não consta da base de dados do SDSS, de modo que adotamos uma descrição empírica desta contribuição como função da inclinação e da banda passante utilizando o estudo de Tully et al. (1998), conforme esboçamos a seguir: Para uma determinada banda X, as correções de extinção interna são funções do tipo:

$$A_X = \gamma \log \frac{a}{b}.\tag{2.2}$$

Onde (a) e (b) são respectivamente os eixos maior (a) e menor (b) das galáxias e,  $\gamma$  uma constante de proporcionalidade que varia conforme a banda e, pode ser obtida a partir das equações a seguir:

$$\gamma_B = 1.57 + 2.75(\log W_R^i - 2.5) \tag{2.3}$$

$$\gamma_I = 0.92 + 1.63(\log W_R^i - 2.5) \tag{2.4}$$

$$\gamma_R = 1.15 + 1.88(\log W_R^i - 2.5). \tag{2.5}$$

Sendo que  $W_R^i$  é o parâmetro de largura de linha e, é definido como sendo  $W_R^i \simeq 2V_{max}$ , onde  $V_{max}$  é a velocidade de rotação máxima.

Segundo Tully et al. (1998), este parâmetro relaciona-se com a magnitude absoluta através das relações abaixo:

$$M_B^{b,k,i} = -20.74 - 7.79(\log W_R^i - 2.5)$$
(2.6)

$$M_R^{b,k,i} = -21.09 - 7.96(\log W_R^i - 2.5)$$
(2.7)

$$M_I^{b,k,i} = -21.54 - 8.17(logW_R^i - 2.5).$$
(2.8)

Valores de  $M_B$  podem ser obtidos no *HyperLeda*, permitindo então, através da equação 2.6, estimar  $logW_R^i$ . Como este valor é comum para estimar as constantes  $\gamma$  em outras bandas, este então é utilizado nas equações 2.3, 2.4 e 2.5. Como os valores de  $\gamma$  se referem ao sistema de Johnson, conforme se observa nas três equações citadas acima, fizemos uma interpolação para utilizar estas constantes no sistema do SDSS. Valores dos eixos maior e menor foram obtidos na base de dados do Sloan a partir do seguinte comando:

## SELECT isoA\_u, isoB\_u, isoA\_g, isoB\_g, isoA\_r, isoB\_r, isoA\_z, isoB\_z FROM PhotoObjAll WHERE objID=(número de identificação do objeto)

Onde  $isoA_(banda)$  e  $isoB_(banda)$ , são os eixos maior e menor, respectivamente para uma determinada banda e, no campo WHERE inserimos o código de identificação do objeto como consta nas Tabelas 2.5, 2.6 e 2.7. Os resultados destas correções encontram-se nas Tabelas a seguir.

#### 2.2.3 Correção K

A correção K é a diferença em magnitudes entre a luminosidade observada através de uma banda de uma fonte em movimento, ou seja, que está afetada pelo deslocamento para o vermelho devido a expansão cosmológica, e a luminosidade que esta mesma fonte teria no referencial de repouso do observador. Este termo de "redshift" desloca o pico de emissão para comprimentos de onda maiores. A expansão do espaço afeta o comprimento de onda de um fóton proporcionalmente à variação ocorrida no fator de escala entre os instantes de emissão e observação. Como este comprimento de onda é uma dimensão espacial, ele sofrerá o mesmo processo que afeta a expansão do Universo. Ou seja, o desvio para o vermelho que observamos em escalas cosmológicas é uma conseqüência da expansão do espaço. Essa afirmativa tem um resultado importante, o qual segue no parágrafo abaixo.

Para uma galáxia com um certo fluxo espectral observado, no Universo local, ou seja, em z=0, essa mesma galáxia, quando observada em um "redshift" arbitrário z apresentaria um fluxo bem diferente. Isso ocorre porque ao observar um objeto no comprimento de onda  $\lambda$  estamos de fato detectando a radiação que foi originalmente emitida em  $\lambda = \lambda_0(1 + z)$ . Portanto, ao observarmos uma galáxia distante, o "redshift" faz com que detectemos dentro da banda escolhida uma distribuição espectral, bem distinta da distribuição de energia emitida na fonte. Além disso a expansão cosmológica provoca uma diluição desse fluxo. O "redshift" também altera a banda a qual afinal iremos observar. O resultado é que devemos observar um fluxo integrado diferente daquele observado para uma fonte situada no Universo local.

A correção K depende tanto do tipo de objeto observado como da banda utilizada, além, é claro, do próprio "redshift" de modo que, a correção K pode ser escrita, para uma determinada banda e, para o caso não relativístico, como:

$$K_X(z,T) = K'_X(T)cz.$$
 (2.9)

Onde cz=v é a velocidade de recessão da galáxia, e  $K'_X(T)$  é uma função empiricamente determinada e depende do tipo de Hubble. Para galáxias situadas em "redshifts" muito elevados, devemos levar em consideração efeitos evolucionários. Entretanto, este não é o nosso caso pois estamos utilizando galáxias próximas. Embora a correção K seja muito pequena para os objetos da nossa amostra, esta foi realizada a partir de valores obtidos na base de dados do Sloan utilizando a seguinte linha de comando:

## SELECT kcorr\_u, kcorr\_g, kcorr\_r, kcorr\_z FROM PhotoZ WHERE objID=(número de identificação do objeto)

Onde *kcorr\_(banda)* é a correção K em cada banda. Valores das correções citadas acima, para cada galáxia, são apresentados nas tabelas de 2.8 a 2.16, a seguir.

## 2.3 Tratamento e Calibração das Imagens

Após a correção dos efeitos de extinção e da correção K, as imagens foram preparadas para serem analisadas fotométricamente. Esta etapa inclui o pré-tratamento de imagens e o tratamento em sí, que remove das imagens "pixels" expúrios e, objetos indesejáveis que afetam a análise pretendida, bem como a remoção do fundo de céu. Após esta etapa de tratamento das imagens a calibração então pôde então ser realizada. Em todas as etapas de tratamento de imagens utilizamos o Pacote de Redução e Análise Imagens -

	Galáxias Grand Design								
Nome	$extinction_u$	Kcorr_u	$extinction\_g$	Kcorr_g	$extinction\_r$	Kcorr_r	$extinction_z$	$K corr\_z$	
NGC2776	0,071474	0,094704	0,052590	0,049320	0,038143	0,030585	0,020506	0,005831	
NGC2857	0,115509	0,008395	0,084990	0,005657	0,061642	0,002122	0,033140	0,001629	
NGC2942	0,145808	0,045500	0,107284	0,020575	0,077811	0,010991	0,041833	-0,000072	
NGC2967	0,515167	0,030523	0,379055	0,012705	0,274922	0,006646	0,147805	-0,002367	
NGC3338	0,160708	0,121763	0,118247	0,105887	0,085763	0,039375	0,046108	0,028738	
NGC3642	0,056424	0,210476	0,041516	0,142522	0,030111	0,086935	0,016188	-0,016928	
NGC3780	0,068098	0,172486	0,050106	0,129000	0,036341	0,055128	0,019538	0,033454	
NGC3897	0,101578	0,124611	0,074740	0,079014	0,054208	0,042900	0,029143	0,018985	
NGC4030	0,136602	0,311018	0,100511	0,259973	0,072899	0,123347	0,039192	0,020279	
NGC4041	0,091425	0,271726	0,067269	0,250465	0,048789	0,128256	0,026230	-0,028101	
NGC4651	0,138051	0,111165	0,101577	0,074588	0,073672	0,037039	0,039608	0,019859	
NGC5248	0,126052	0,381701	0,092748	0,323508	0,067268	0,138132	0,036165	0,044788	

Tabela 2.8 - Valores para correção de extinção galáctica, interna e correção K para as galáxias "grand design"

Galáxias Floculentas								
Nome	$extinction_u$	Kcorr_u	$extinction\_g$	Kcorr_g	$extinction\_r$	Kcorr_r	$extinction_z$	$Kcorr\_z$
NGC2775	0,222561	0,012467	0,163758	0,012611	0,118771	0,004355	0,063854	0,003147
NGC2916	0,136984	0,000994	0,100791	0,000942	0,073102	0,000330	0,039301	0,000242
NGC3423	0,153649	0,001071	0,113054	0,000441	0,081996	0,000213	0,044083	-0,000085
NGC4158	0,166261	0,176605	0,122334	0,115312	0,088726	0,061946	0,047701	0,022721
NGC4162	0,183947	0,004260	0,135347	0,003486	0,098165	0,001253	0,052776	0,000951
NGC4534	0,061801	0,088979	0,045473	0,013770	0,032981	0,037426	0,017731	-0,019208
NGC5772	0,095988	0,090036	0,070627	0,083656	0,051224	0,030566	0,027539	0,022712

 $Tabela\ 2.9\ \text{-}\ Tabela\ com \ \text{indices}\ para\ correção\ causada\ pela\ poeira\ de\ nossa\ galáxia\ e\ correção\ K\ para\ as\ galáxias\ floculentas$ 

	Galáxias de tipo intermediário									
Nome	$extinction\_u$	Kcorr_u	$extinction\_g$	Kcorr_g	$extinction\_r$	Kcorr_r	$extinction\_z$	$K corr\_z$		
NGC4701	0,151299	0,066382	0,111324	0,019127	0,080742	0,021381	0,043409	-0,031310		
NGC5633	0,084939	0,199775	0,062497	0,156446	0,045328	0,102527	0,024369	-0,085612		
NGC3177	0,114829	0,324106	0,084490	0,325519	0,061279	0,151371	0,032945	-0,005649		

Tabela 2.10 - Tabela com índices para correção causada pela extinção Galáctica e correção K para as galáxias de tipo intermediário

	Galáxias "grand design"										
Nome	$\gamma_u$	isoA_u	isoB_u	$\gamma_g$	isoA_g	$isoB\_g$	$\gamma_r$	isoA_r	isoB_r		
NGC2776	2.262729	87.269234	82.052353	1.988708	176.055695	109.474426	1.631636	185.234955	120.025330		
NGC2857	2.315669	_	_	2.035198	_	_	1.669721	128.515121	108.412987		
NGC2942	2.043443	74.245590	66.847969	1.796142	132.014053	79.131462	1.473887	143.195786	82.881989		
NGC2967	1.816584	88.091667	86.656372	1.596924	126.331734	123.603157	1.310689	136.158768	128.218613		
NGC3338	1.899764	63.237846	55.776463	1.669968	255.993713	95.750412	1.370526	293.469147	96.362595		
NGC3642	1.899764	103.453827	85.506088	1.669968	133.584854	115.963966	1.370526	145.812363	117.984558		
NGC3780	2.058560	167.188416	75.91494	1.809416	153.169403	126.28569	1.484761	160.810455	137.641083		
NGC3897	2.262729	63.645523	53.857571	1.988708	115.851646	79.140015	1.631636	135.250534	85.777840		
NGC4030	1.979169	152.895950	119.887398	1.739700	247.667130	129.903534	1.427651	240.965256	150.338547		
NGC4041	1.737183	120.003883	102.95015	1.527198	162.242401	130.326935	1.253570	162.987122	133.307114		
NGC4651	1.551925	224.255371	95.104301	1.364513	270.656403	111.535294	1.120299	254.543045	120.005173		
NGC5248	2.016975	74.112740	29.234783	1.772899	346.834717	110.657211	1.454848	423.803009	114.789886		

Tabela 2.11 - Tabela com os coeficientes para a correção intrínseca para as galáxias "grand design"

	Galáxias "grand design"									
Nome	$\gamma_z$	isoA_z	$isoB\_z$	$Abs.interna_u$	$Abs.interna_g$	$Abs.interna_r$	$Abs.interna_z$			
NGC2776	0.963847	125.479332	123.837097	0.060574	0.410345	0.307482	0.005515			
NGC2857	0.986212	130.548660	119.198486	—	—	0.123347	0.038957			
NGC2942	0.871211	112.206200	85.815384	0.093145	0.399230	0.350004	0.101454			
NGC2967	0.775377	136.765259	119.471001	0.012960	0.015143	0.034202	0.045525			
NGC3338	0.810513	297.472351	92.736496	0.103587	0.713225	0.662860	0.410278			
NGC3642	0.810513	137.148651	99.108124	0.157205	0.102593	0.126046	0.114349			
NGC3780	0.877596	164.663742	133.426498	0.705837	0.151661	0.100320	0.080174			
NGC3897	0.963847	98.271179	78.326973	0.164096	0.329143	0.322679	0.094953			
NGC4030	0.844064	238.989258	161.562378	0.209045	0.487546	0.292503	0.143523			
NGC4041	0.741835	154.096970	137.329285	0.115641	0.145283	0.109437	0.037115			
NGC4651	0.663574	252.265991	135.351837	0.578158	0.525346	0.365846	0.179427			
NGC5248	0.860033	380.199005	124.132797	0.814844	0.879611	0.825277	0.418083			

Tabela 2.12 - Tabela com os coeficientes para a correção intrínseca para as galáxias "grand design- continuação da tabela (2.11).

Galáxias floculentas									
Nome	$\gamma_u$	isoA_u	$isoB\_u$	$\gamma_g$	isoA_g	$isoB\_g$	$\gamma_r$	isoA_r	isoB_r
NGC2775	1.918669	122.588631	93.588608	1.686570	242.881424	138.714142	1.384127	256.618195	148.075790
NGC2916	2.194673	111.923492	67.833519	1.928944	143.210098	80.708473	1.582678	146.582825	91.173866
NGC3423	1.506552	199.481613	123.856239	1.324669	231.345276	195.801666	1.087659	216.376755	198.615341
NGC4158	1.744750	71.275284	49.956291	1.533843	124.013840	84.450943	1.259014	135.296417	88.473244
NGC4162	2.081253	98.323418	57.580448	1.829346	116.400841	81.965485	1.501089	131.062744	77.946861
NGC4534	1.030157	105.705902	69.378082	0.906320	146.588913	97.234795	0.744949	148.904541	98.983101
NGC5772	2.115282	101.125221	51.816986	1.859228	145.039841	70.859421	1.525568	154.820709	75.399399

 $Tabela\ 2.13$ - Tabela com os coeficientes para a correção intrínse<br/>ca para as galáxias floculentas

Galáxias floculentas										
Nome	$\gamma_z$	$isoA\_z$	$isoB\_z$	$Abs.interna_u$	$Abs.interna_g$	$Abs.interna_r$	$Abs.interna_z$			
NGC2775	0.818502	230.359421	149.806671	0.224920	0.410298	0.330534	0.152957			
NGC2916	0.935096	151.690582	88.799515	0.477291	0.480412	0.326368	0.217455			
NGC3423	0.644407	230.141815	191.558884	0.311834	0.095965	0.040459	0.051355			
NGC4158	0.745033	106.507599	67.102112	0.269300	0.255946	0.232256	0.149487			
NGC4162	0.887189	127.322693	76.194534	0.483646	0.278655	0.338767	0.197827			
NGC4534	0.443156	137.033493	93.594025	0.188392	0.161578	0.132114	0.073377			
NGC5772	0.901564	161.548386	74.052872	0.614251	0.578387	0.476681	0.305415			

Tabela 2.14 - Tabela com os coeficientes para a correção intrínseca para as galáxias floculentas - continuação da tabela (2.13).

Galáxias de tipo intermediário										
Nome	$\gamma_u$	$isoA\_u$	$isoB\_u$	$\gamma_g$	isoA_g	$isoB\_g$	$\gamma_r$	isoA_r	$isoB\_r$	
NGC4701	0.852450	80.194756	59.128139	0.750264	128.277466	92.361961	0.617108	131.641373	95.350166	
NGC5633	1.722066	75.630699	55.455643	1.513923	117.895538	73.784073	1.242695	127.672653	79.023048	
NGC3177	1.238105	70.400993	46.612869	1.088930	101.321854	80.875519	0.894542	113.917969	90.039482	

 $Tabela\ 2.15$  - Tabela com os coeficientes para a correção intrínse<br/>ca para as galáxias de tipo intermediário

Galáxias de tipo intermediário										
Nome	$\gamma_z$	isoA_z	$isoB\_z$	$Abs.interna_u$	$Abs.interna_g$	$Abs.interna_r$	$Abs.interna_z$			
NGC4701	0.368082	106.496460	81.125870	0.112823	0.107031	0.086439	0.043498			
NGC5633	0.735450	113.766609	75.291771	0.232053	0.308136	0.258908	0.131842			
NGC3177	0.531001	100.071877	74.961082	0.221711	0.106591	0.091386	0.066628			

Tabela 2.16 - Tabela com os coeficientes para a correção intrínseca para as galáxias de tipo intermediário - continuação da tabela (2.15).

IRAF, desenvolvido pelo National Optical Astronomy Observatories (NOAO). Nesta secção relataremos brevemente como este procedimento foi realizado.

O pré-tratamento de imagens, incluiu, na verdade, somente alguns ajustes técnicos de preparação das imagens para o tratamento em sí, como por exemplo a retirada do "softbias" - uma técnica aplicada às imagens que adiciona 1000 contagens para evitar que a imagem tenha contagens negativas e, redução da dimensão da imagem para minimizar o tempo de tratamento dedicado a cada uma das imagens. "Bias", "dark current" e raios cósmicos, foram préviamente removidos antes das imagens serem disponibilizadas ao público (Stoughton et al 2002).

O tratamento propriamente dito foi realizado com a remoção de valores representativos das contagens de fundo de céu, "pixels" espúrios e, de objetos indesejáveis à análise, tais como, estrelas, companheiras próximas, ou galáxias que se encontram na frente ("foreground") ou no fundo ("background"). Valores medianos de céu foram estimados utilizando a tarefa IMEXAMINE do IRAF em várias regiões da imagem e, em setores bem distantes da galáxia.

Objetos indesejáveis foram mascarados utilizando a tarefa IMEDIT, substituindo a região mascarada por valores medianos de regiões próximas. Por último, usamos a tarefa IMSHIFT do pacote IMAGES para a centralizar as imagens, já que vamos utilizá-las em várias operações para obtenção de perfis de cor  $(g-r, u-g \ e \ r-z)$ . Resta ainda realizar a calibração das imagens, que levará em conta a diferença entre magnitudes instrumentais e da literatura. A seguir descrevemos como foi feita esta etapa.

Feitas todas as correções fotométricas para satisfazer a equação (2.1), o próximo passo foi *calibrar* as imagens. Desta forma, um termo adicional, C, constante de calibração, foi adicionado à equação 2.1 e, que deve ser ponderado aos valores de magnitude, conforme se vê abaixo.

$$m = -2.5 \log F - A_X(Galáctica) - A_X(interna) - K_X + C.$$
(2.10)

A constante de calibração pode ser obtida a partir de valores do fluxo20, fluxo este que dá o número de contagens para um objeto de magnitude 20 e, que é disponibilizado no SDSS para cada galáxia imageada. A determinação do fluxo20 pode ser obtida a partir da
quantidade flux20, a partir das seguintes linhas de comando:

## SELECT 53.907456\* POWER(10.0,(20.0/-2.5)-0.4\*(aa\_r+kk\_r\* airmass\_r)) AS flux20 FROM Field

WHERE run=(número) AND rerun=(número) AND camcol=(número) AND field=(número)

Os valores que constam da linha WHERE referem-se ao campo onde está o objeto e, na linha do SELECT, a expressão que permite estimar os valores de flux20. Esta expressão leva em conta o tempo de exposição da galáxia imageada, da ordem de 54 s, além das massas de ar (*airmass\_filtro*), o coeficiente de extinção em cada filtro ( $kk_filtro$ ) e, o ponto zero ( $aa_filtro$ ).

A partir da equação 2.10 e, considerando os valores do flux20 estimados conforme descrito acima, temos expressão 2.11 para obtenção da constante de calibração, corrigida dos efeitos de extinção e, para o caso de perfis de brilho em magnitudes. Para o caso de perfis de brilho superficial esta constante pode ser obtida pela expressão 2.12, que considera a área do "pixel".

$$C' = 20 + 2.5 \log(flux20) - ExtincãoTotal(Galác., inter., correcãoK)$$
(2.11)

$$C'' = C' + 2.5 \log(0.396^2) \tag{2.12}$$

Valores de C' e C" podem então ser editados na subtarefa MAGPAR da tarefa ELLIPSE e, uma tabela é então gerada com uma das coluna em "brilho", já calibrada e corrigida de todos os efeitos acima mencionados, em função do raio.

Com as correções realizadas nas etapas anteriores as imagens estão prontas para serem exploradas fotométricamente. Utilizamos então a tarefa ELLIPSE do IRAF para obter os parâmetros estruturais desejados aos melhores objetos da amostra. Esta tarefa ajusta elípses concêntricas às isofotas, desde a região central da galáxia até a região externa e retorna em forma de uma tabela, 18 parâmetros que dão informações desejadas, como, elipticidade, ângulo de posição e, momentos de ordem superior (b3, b4), que informam desvios da isofota de uma elipticidade perfeita. Esta etapa foi aplicada várias vezes para avaliar a estabilidade do processo e, também por que vários destes parâmetros serão usados como valores de estimativa inicial no código de decomposição bidimensional - BUDDA (Bulge Disk Decomposition Algorithm). Este código será descrito em detalhes no próximo capítulo, após aplicação de técnicas de fotometria para obtenção dos perfis de brilho e de cor.

# Capítulo 3.

## Gradientes de Cor e Decomposição Bojo-Disco

No Capítulo anterior selecionamos uma amostra de galáxias espirais tardias com diferentes tipos de estrutura em discos e correções de efeitos de extinção, bem como tratamento de imagens e, calibração fotométrica, foram realizadas. Neste Capítulo, perfis radiais de brilho em diferentes filtros (g, r, u e, z) foram obtidos e, perfis radiais médios de cor (g-r), (u-g) e (r-z) também foram construídos, com o objetivo de avaliar o comportamento radial da cor ao longo dos discos. Gradientes de cor foram também calculados, para avaliar o comportamento destes gradientes nos diferentes tipos de discos. A partir dos perfis radiais de brilho, aplicamos o código BUDDA a uma subamostra de objetos, para realizar a decomposição bidimensional de bojo-disco.

### 3.1 Perfis de Brilho

Estudos da distribuição radial de luz em galáxias são úteis para avaliar a distribuição de massa bariônica na forma de estrelas e, também revelar estruturas que podem ou não estar presentes em galáxias. Estudos da distribuição radial de luz em diferentes filtros, bem como combinações entre eles, permitem inferir sobre a cor não somente das diferentes componentes, mas também sobre o comportamento ou gradiente de cor das galáxias. Perfis de brilho, são portanto, ferramentas úteis que fornecem não somente informações sobre a estrutura de galáxias mas também da distribuição da população estelar. Estas informações podem impor vínculos aos modelos de formação e evolução de galáxias. Estudos clássicos (Patterson et al 1940; de Vaucouleurs 1958; Kormendy 1982) mostram que distribuições radiais de luz são ajustadas a diferentes expressões analíticas e, dependem do tipo morfológico das galáxias. Estas diferenças são atribuídas a diferentes processos de formação e evolução de galáxias. Contudo, os mecanismos físicos que geram as diferentes distribuições de massa são pouco entendidos.

Perfis radiais de luz de galáxias elípticas são descritos por uma lei do tipo  $r^{1/4}$ . Em galáxias espirais, onde existem pelo menos duas componentes principais, bojo e disco, o ajuste de distribuição de luz é descrito por diferentes expressões matemáticas (conforme Binney & Merrifield, 1990). A componente bojo se ajusta, em geral, a uma distribuição de brilho semelhante àquela das elípticas. Bojos e elípticas são, portanto, geralmente descritos por uma lei conhecida como lei de de Vaucouleurs (Peebles 1995),

$$I(r) = I_e e^{-7.67[(r/r_e)^{1/4} - 1]}$$
(3.1)

onde  $r_e$  é o raio efetivo do bojo, definido como sendo o raio onde a luminosidade cai pela metade da luminosidade total da galáxia e,  $I_e$  é a intensidade efetiva, ou seja, a intensidade dentro do raio efetivo.

Por outro lado, discos são bem descritos por uma lei exponencial (conforme Peebles 1995),

$$I(r) = I_o e^{-r/h_r} \tag{3.2}$$

onde  $I_o$  representa a intensidade central e,  $h_r$  é a escala de comprimento do disco.

Embora essas leis de distribuição de luz representem um percentual relativamente expressivo de galáxias elípticas e de bojos, estudos mais recentes vêm aumentando as estatísticas e, mostram um crescente número de diversidade nas propriedades gerais destes sistemas esferoidais, entre elas, os perfis de brilho. A visão atual é de que existem bojos clássicos - formados pelo Cenário Monolítico, bojos retangulares - formados por efeitos de ressonância (rotação cilíndrica) e os pseudobojos, bojos construídos por Evolução Secular. Seria então de se esperar que a distribuição de massa, traçada pela distribuição da luz fosse diferente. De fato, existem bojos que são ajustados por exponenciais e, não pela lei do  $r^{1/4}$ , como revelam alguns estudos, por exemplo, os de Andredakis & Sanders (1994). As estatísticas de distribuição de luz com os discos também aumentaram e, estudos como os de Erwin et al. (2005), Pohen & Trujillo (2006), Erwin, Pohen & Beckman (2008) mostram que perfis de discos podem ser ajustados a três tipos de perfis exponenciais. Os perfis puramente exponenciais (tipo I), os exponenciais truncados com curvatura para cima (tipo II) e, os truncados com curvatura para baixo (tipo III). Pohen e Trujillo (2008) mostram que 60% dos discos de espirais são truncados de tipo II, 30 % são de tipo III, ou não truncado e, somente 10% são puramente exponenciais. Os estudos destes autores mostram que os três tipos de perfis de brilho estão associados aos 3 tipos de perfis de cor, interpretado como sendo devido a uma mudança radial na população estelar e, não devido a uma discontinuidade na distribuição de massa. Perfis exponenciais parecem ser possíveis resultados, mas não necessariamente, do colapso de uma esfera com densidade constante e, em rotação uniforme.

Nas próximas secções, exploraremos o comportamento dos perfis de cor e, de brilho e, a fim de avaliar não somente o comportamento dos gradientes, mas também parâmetros estruturais. Estas informações podem ajudar a compreender relações entre componentes principais de galáxias e, impõem vínculos aos cenários de formação e evolução de galáxias.

### 3.2 Perfis e Gradientes de Cor

Para obter os gradientes, a diferença relativa entre cor da região central da galáxia e a externa, construímos perfis radiais, em magnitudes, ao longo dos discos e, em várias direções. Utilizamos a tarefa ELLIPSE do IRAF que ajusta várias elípses concêntricas às isofotas das galáxias, desde a região central galáxia até a região externa. Esta etapa foi aplicada várias vezes para avaliar a estabilidade do processo.

Este mesmo método foi aplicado em várias direções radiais ao longo do disco das galáxias e, nos 4 filtros disponibilizados no SDSS. Combinações de filtros permitiram, então, obter perfis médios nas cores (g-r), (u-g) e (r-z). Posteriormente, calculamos os gradientes de cor para 21 galáxias da amostra utilizando a definição de Prugniel & Héraudeau (1998),

$$G = \frac{\triangle (X - Y)}{\triangle \log A} \tag{3.3}$$

onde (X - Y) representam a cor em 2 filtros diferentes e, A a abertura onde a medida da cor é estimada. Resultados serão disponibilizados no Capítulo a seguir.

#### 3.3 Decomposição Bidimensional de Bojo e Disco - BUDDA

#### 3.3.1 O Código BUDDA

O principal interesse em separar as componentes bojo e disco de galáxias, reside no fato de que a avaliação de correlações entre as componentes principais fornecem pistas sobre processos de formação de galáxias. Exemplos claros neste sentido foram publicados recentemente por Pelletier & Balcell (1996), de Jong (1996), Gadotti & dos Anjos (2001), Courteau et al. (1996), MacArthur & Courteau (2002), que encontram, para amostras de espirais distintas, correlação entre as dimensões de bojo e disco, estimadas via deconvolução de componentes.

Esta correlação foi interpretada como uma dependência entre as componentes bojo e disco e, evidência da formação do bojo regulada por redistribuição do material do disco para o centro das galáxias. A causa da redistribuição do material no disco foi atribuída a perturbações no disco e, devido ao potencial gerado por componentes triaxiais, prevista por simulações n-corpos dentro do Cenário Secular (Courteau et al. 1996; MacArthur & Courteau 2002). Para testar algumas das correlações estruturais previstas pelo Cenário Secular, utilizamos o Código BUDDA para realização da decomposição bojo-disco.

O BUDDA é um código numérico escrito em linguagem FORTRAN, que permite realizar uma análise detalhada da estrutura de imagens extensas (de Souza (1997); de Souza, Gadotti & dos Anjos (2004)), em particular, em galáxias. O programa modela bojos ajustando uma lei de Sérsic generalizada e, a discos, uma lei exponencial,

$$I_d(r) = I_{0d} e^{-(r/h)} (3.4)$$

onde h é a escala de comprimento do disco,  $I_{0d}$  representa o brilho central e, r o semi-eixo maior de isofotas elípticas com elipticidade  $e_d$ 

$$I_b(r) = I_{0b} 10^{-b_n [(r/r_{eb})^{1/n}]}$$
(3.5)

 $r_{eb}$  é o raio efetivo,  $I_{0b}$  o brilho central e, n é um índice que controla a forma do perfil de brilho (n=4 recupera-se o perfil de de Vaucouleurs; n=1 têm-se perfis exponenciais).

Como toda a imagem é considerada no processo de ajuste, o programa é mais realista do que ajustes clássicos (1D), que levam em conta somente os perfis de brilho ao longo do eixo maior. O código BUDDA não considera nenhuma expressão analítica adicional que represente subestruturas como barras, lentes, anéis e outros. A complexidade de detalhes destas subestruturas é enorme e, a adoção de expressões analíticas que descrevam tais diversidades poderia introduzir efeitos e, mascarar os resultados. Desta forma, adotamos o procedimento de avaliar estas subestruturas através de imagens residuais (galáxia-modelo). O procedimento para obtenção destas imagens residuais será descrito na secção a seguir.

O ajuste foi realizado somente no filtro r já que neste filtro a razão sinal/ruído é maior. O programa então modela a galáxia utilizando a expressão de Sérsic, deixando o parâmetro (n) livre. Entre os produtos desta decomposição temos, as dimensões e luminosidades do bojo e disco, a luminosidade total e, o índice de Sérsic. A partir dos parâmetros obtidos no BUDDA, imagens sintéticas foram construídas, o que permitiu criar imagens residuais, cruxiais para análise estrutural.

#### 3.3.2 A Aplicação do Código BUDDA

A utilização do BUDDA requer que as imagens estejam no formato ASCII e, não devem ter dimensão maior do que 5000x5000 "pixels". A transformação para este formato é realizada através da tarefa WTEXT do pacote DATAIO e, exige que o arquivo seja nomeado como *ximag.pix*, que é uma matriz da imagem em "pixels". Além deste arquivo, o BUDDA opera com outros dois, o *galaxy.dat*, que armazena as primeiras estimativas de parâmetros e, o *model.exe*, arquivo executável que contêm as expressões analíticas do ajuste.

O arquivo de entrada de dados iniciais, *galaxy.dat*, utiliza estimativas de vários parâmetros de entrada. Os parâmetros estruturais podem ser estimados, em primeira aproximação, através do pacote ELLIPSE do IRAF. Elipticidade, ângulo de posição, coordenadas do centro da imagem, intensidade central do disco, intensidade efetiva do bojo, são alguns dos parâmetros estruturais utilizados no arquivo de entrada. Note-se que estes parâmetros estruturais devem estar em "pixels" e, os fotométricos, em intensidade.

Com o arquivo galaxy.dat armazenado, o programa tenta ajustar o melhor conjunto de parâmetros que modelam a galáxia. Portanto, é crítico estimar corretamente estes parâmetros de entrada, já que o programa pode encontrar uma solução irreal, que nada tem de compatível com a imagem real. Portanto, é necessário ser muito cauteloso na escolha e, na avaliação da solução encontrada pelo ajuste.

Dois outros arquivos executáveis, o *model.exe* - que determina os parâmetros estruturais que melhor se ajustam a imagem e, *o galaxy.exe* - que utiliza os parâmetros de saída do *model.exe*, são utilizados para construir imagens modelos de componentes estruturais de galáxia. Todos os arquivos citados acima, podem ser obtidos em http://www.mpagarching.mpg.de/ dimitri/budda.html.

Após executar o programa, o *model.exe* fornece arquivos de saída, model.dat e galaxy.out. De posse destes arquivos, executamos o *galaxy.exe* para obtenção de 5 arquivos em formato ASCII, denominados *xgal.txt*, *xbulge.txt*, *xdisk.txt*, *xbar.txt* e, *xagn.txt*. Estes são, respectivamente, modelos da galáxia, das componentes bojo, disco, barra e, núcleo ativo que a galáxia venha eventualmente a possuir.

Podemos observar que estes cinco arquivos formam um conjunto de matrizes com "pixels" e seus respectivos valores de intensidades. De posse destes últimos cinco arquivos, usamos a tarefa RTEXT do pacote DATAIO, para transformar as matrizes em formato texto para FITS. Como exemplo, apresentamos na tabela abaixo galaxy.dat vários parâmetros disponíveis no código. Esta mesma estrutura de tabela estão em model.dat e galaxy.out. Quanto aos dados de entrada da tabela, vale a pena ainda fazer algumas considerações:

- No caso de não se ter interesse em ajustar parâmetros de componentes como por exemplo, barras, coloca-se o valor zero na tabela galaxy.dat. Cuidado especial deve ser considerado aquí, já que o valor zero deve ser atribuído aos valores e, aos erros. Caso contrário, o programa ajustará o parâmetro em questão.
- Os valores de "seeing" devem estar em unidades de segundo de arco.
- A dimensão da imagem selecionada deve ser acrescida de 1 pixel.

No caso da nossa amostra, utilizamos valores de "seeing" fornecidos pelo SDSS obtidos pela linha de comando que se segue, cujos valores são disponibilizados nas Tabelas 3.1, 3.2 e, 3.3 a seguir.

## SELECT seeing\_r, seeing\_g, seeing\_u, seeing\_z FROM RunQA WHERE run=(número) AND rerun=(número) AND camcol=(número) AND field=(número)

Outra informação relevante, diz respeito ao fato de que escolhemos um único filtro para realização da decomposição bojo-disco, o filtro r, já que nesta banda a razão sinal/ruído é maior. Valores de "seeing" em outras bandas foram disponibilizados na tabela abaixo, para que fossem usados como referência nos gráficos apresentados no Capítulo 4.

Galáxias "Grand Design"									
Nome	$seeing\_r$	$seeing\_g$	$seeing\_u$	$seeing_z$					
NGC2776	1,671165	1,551799	1,952385	1,706902					
NGC2857	1,354028	1,766781	1,591148	1,302711					
NGC2942	1,812139	1,600744	2,075171	1,564593					
NGC2967	1,509320	1,360723	1,495754	1,197302					
NGC3338	0,990514	1,333234	1,277743	1,170570					
NGC3642	1,304616	1,369769	1,466195	1,173782					
NGC3780	1,791919	1,778018	1,965494	1,520879					
NGC3897	1,268228	1,228092	1,361928	1,090523					
NGC4030	2,292618	2,533362	3,000000	2,317178					
NGC4041	2,371392	1,706072	2,078557	1,769530					
NGC5248	1,334429	1,351510	1,569243	1,234347					

Jalávias	"Grand	Design"
Jalaxias	Grand	Design

Tabela 3.1 - Tabela com valores de "seeing" para as galáxias "grand design"

Descartamos também parâmetros relacionados com barras e escala de altura ("scaleheight"). Galáxias com contagens muito altas na região central e, que não são AGNs, foram mascaradas com um "corte" nas contagens, utilizando o parâmetro "constante de saturação". Nestes casos mascarávamos a galáxia em vários níveis de contagem e verificávamos em qual nível gerava o melhor ajuste.

Nome	$seeing\_r$	$seeing\_g$	$seeing\_u$	$seeing_z$					
NGC2775	0,913229	1,168977	1,280361	1,005765					
NGC2916	1,082934	1,240649	1,244490	1,000000					
NGC3423	1,422842	1,900000	1,788958	1,665924					
NGC4158	1,085205	1,277221	1,152992	0,946109					
NGC4162	1,207659	1,281094	1,550294	1,171280					
NGC4534	1,173579	1,231237	1,219465	0,988870					
NGC5772	0,877431	0,932629	0,910175	0,774060					

Galáxias Floculentas

Tabela 3.2 - Tabela com valores de "seeing" para as galáxias floculentas

Galáxias de Tipo Intermediário								
Nome	$seeing\_r$	$seeing\_g$	$seeing\_u$	$seeing_z$				
NGC4701	1,443683	1,390545	1,540042	1,369514				
NGC5633	1,477055	1,376532	1,700000	1,335089				
NGC3177	1,055942	1,218035	1,383190	1,020515				

Tabela 3.3 - Tabela com valores de "seeing" para as galáxias de tipo intermediário

Quanto ao valor do índice de Sérsic, o procedimento adotado era o de primeiramente deixá-lo livre e observar a tendência do ajuste. Em alguns casos a amostragem da região central era muito pequena e, então o programa tinha dificuldade de encontrar uma solução consistente. Nestes casos então, atribuía-se o valor n=1 e n=4 para decidir pelo melhor ajuste.

Finalmente, considerávamos bom o ajuste quando todos os parâmetros conseguiam uma solução parabólica (PARABOL), ou seja, aquela de mínimo global.

	510 440		%Number of pixels in x and y
ĺ	0.396000		%Pixel size in arcsec
	256.830000	1.000000	%Central x + err
	215.180000	1.000000	%Central y + err
	119.000000	20.000000	%Central Disk Intensity + err
	41.331284	3.000000	%Charac. Disk radius + err
	-46.000000	10.000000	%Position Angle of Disk + err
	0.225000	0.010000	%Ellipticity of Disk + err
	0.00000	0.000000	%Height Scale of Disk + err
	1.000000	0.000000	%Ellipse Index of Disk + err
	0.000000	0.000000	%Minimum Radius of Disk + err
	224.0000	20.00000	%Eff. Intens. of Bulge + err
	9.00000	0.900000	%Eff. Radius of Bulge + err
	0.00000	10.00000	%Position Ang. of Bulge + err
	0.040000	0.010000	%Bulge Ellipticity + err
	4.000000	0.000000	%Sersic Bulge Index + err
	200.000000	0.000000	%Maximum Bulge Radius + err
	1.000000	0.000000	%Ellipse Index of Bulge + err
	0.000000	0.000000	%Eff. Intens. of Bar + err
	0.000000	0.000000	%Eff. Radius of Bar + err
	0.000000	0.000000	%Position Ang. of Bar + err
	0.000000	0.000000	%Bar Ellipticity + err
	0.000000	0.000000	%Sersic Bar Index + err
	0.000000	0.000000	%Maximum Bar Radius + err
	0.000000	0.000000	%Ellipse Index of Bar + err
	0.000000	0.000000	%Central Source Intens. + err
	1.000000	0.000000	%Seeing FWHM + err
	0.000000	0.000000	%Sky Residual Correc. + err
	0.222553	0.351318	%Poisson Noise Level + err
	1.942510	0.865749	%Flat Noise Level + err
	2.10000		%Lampda Step Factor
			%Tolerance on chiz variation
	10.000000		& Moving Number of Iteres
	100000 000000		Seturation Constant
	6 201509		%Saturation Constant %Fipal chi2/dog froe
	0.301300		NTAL CHIZ/DEG_THEE
	1 000		% dick / tot
	0.000		bulge/ltot
	0.000		% bar/l tot
	0.000		%Lagn/Ltot
1	0.000		- Cayin Livi

 $Figura \ 3.1:$  Exemplo do arquivo de entrada do BUDDA - galaxy.dat

Capítulo 4

## Resultados

Neste capítulo apresentamos os principais resultados deste estudo baseado na análise de perfis de brilho, gradientes de cores e, decomposição de bojos e discos. A secção 4.1 apresentará os resultados do comportamento das cores e dos gradientes. Na secção 4.2 apresentamos os resultados do ajuste realizado pelo código de decomposição bojo-disco, BUDDA. Vamos ver que, as *imagens residuais*, juntamente com o comportamento dos *perfis de cores* das galáxias, foram utilizados para desenvolver um método de classificação de braços. Veremos também que a técnica de decomposição bidimensional realizada permitiu identificar bojos não clássicos, ou seja, pseudobojos.

### 4.1 Análise dos Perfis e Gradientes de Cores

Estudos clássicos sobre cores globais de galáxias mostraram que cores de galáxias refletem a população estelar dominante e, se correlacionam com a morfologia (Humason 1936; Hubble 1936; Baade 1944). Estudos estatísticos mais recentes revelaram que as cores de galáxias têm uma distribuição bimodal. Galáxias de tipo jovem têm uma cor mais vermelha, enquanto que as mais tardias possuem cor mais azulada. As de tipo intermediário populam ambas.

A bimodalidade nas propriedades de galáxias ocorre também em relação a luminosidade, dimensão, densidade superficial, entre outras (Blanton et al. 2003; Shen et al. 2003; Kauffmann et al. 2003 Driver et al. 2006). Recentemente, Drory & Fisher (2007) propuseram que a dicotomia entre cores de galáxias é uma função do tipo do bojo. Eles mostraram que, para a mesma razão B/T, bojos clássicos são abrigados por galáxias vermelhas e, que pseudobojos por galáxias azuis.

Neste estudo, obtivemos perfis e gradientes de cores ao longo de discos de galáxias espirais utilizando uma amostra de "grand design" floculentas e intermediárias, para verificar se existe correlação entre bojos não clássicos e cores de galáxias. Os resultados relativos a cores encontram-se nas Tabelas 4.1, 4.2 e, 4.3. A Figura 4.1 sintetiza os valores encontrados para os gradientes em cada tipo de espiral analisada.

Gradientes de Cor para as Galáxias "Grand Design"									
Nome	CC(gr)	$G_{gr}$	CC(ug)	$G_{ug}$	CC(rz)	$G_{rz}$			
NGC3897	-0.95	-0.26(0.04)	-0.96	-0.58(0.08)	-0.86	-0.18(0.05)			
NGC4030	-0.96	-0.24(0.03)	-0.97	-0.28(0.03)	-0.96	-0.32(0.04)			
NGC3780	-0.68	-0.05(0.03)	-0.94	-0.25(0.04)	-0.93	-0.09(0.02)			
NGC2857	-0.80	-0.19(0.08)	-0.78	-0.44(0.20)	-0.95	-0.63(0.11)			
NGC4041	-0.76	-0.14(0.03)	-0.97	-0.48(0.04)	-0.93	-0.24(0.02)			
NGC2967	-0.91	-0.14(0.03)	-0.98	-0.40(0.04)	-0.90	-0.13(0.03)			
NGC2776	-0.89	-0.21(0.05)	-0.81	-0.31(0.11)	-0.94	-0.32(0.06)			
NGC5248	0.04	0.01(0.11)	0.44	0.28(0.13)	-0.42	-0.09(0.10)			
NGC3338	-0.83	-0.13(0.04)	-0.96	-0.40(0.06)	-0.80	-0.12(0.05)			
NGC3642	-0.89	-0.20(0.05)	-0.92	-0.64(0.15)	-0.93	-0.39(0.08)			
NGC2942	-0.93	-0.18(0.04)	-0.93	-0.27(0.05)	-0.97	-0.19(0.02)			

Tabela 4.1 - Gradientes de cor obtidos pela equação (3.3). CC indica o índice de correlação da regressão linear nas cores (g-r), (u-g) e (r-z), indicados por  $G_{gr}$ ,  $G_{ug}$  e  $G_{rz}$ 

Gradientes de Cor para as Galáxias Intermediárias									
Nome	CC(gr)	$G_{gr}$	CC(ug)	$G_{ug}$	CC(rz)	$G_{rz}$			
NGC5633	-0.99	-0.24(0.01)	-0.96	-0.43(0.03)	-0.98	-0.24(0.01)			
NGC3177	-0.83	-0.17(0.06)	-0.97	-0.56(0.08)	-0.90	-0.31(0.07)			
NGC4701	-0.89	-0.12(0.04)	-0.84	-0.17(0.06)	-0.97	-0.23(0.03)			

Tabela 4.2 - Gradientes de cor obtidos pela equação (3.3). Legenda: idem tabela anterior

Gradientes de Cor para as Galáxias Floculentas									
Nome	CC(gr)	$G_{gr}$	CC(ug)	$G_{ug}$	CC(rz)	$G_{rz}$			
NGC2775	-0.50	-0.02(0.02)	-0.93	-0.09(0.03)	-0.73	-0.04(0.02)			
NGC4158	-0.95	-0.22(0.04)	0.70	0.23(0.14)	-0.96	-0.47(0.06)			
NGC2916	-0.91	-0.15(0.04)	-0.86	-0.34(0.12)	-0.92	-0.10(0.02)			
NGC4162	-0.99	-0.39(0.02)	-0.99	-0.49(0.03)	-1.00	-0.34(0.01)			
NGC3423	-0.93	-0.16(0.03)	-0.96	-0.32(0.05)	-0.92	-0.16(0.03)			
NGC5772	-0.80	-0.08(0.03)	-0.90	-0.48(0.11)	-0.93	-0.14(0.03)			
NGC4534	-0.99	-0.15(0.01)	-0.97	-0.23(0.03)	-0.98	-0.24(0.02)			

Tabela 4.3 - Gradientes de cor obtidos pela equação (3.3). Legenda: idem tabela anterior

A seguir, mostramos os gráficos dos gradientes para as "grand-design", floculentas e, intermediárias, representadas por símbolos azuis, verdes e, vermelhos, respectivamente.



*Figura 4.1:* Gradientes de cor: 1) (u-g) x (g-r); 2) (r-z) x (g-r) e, 3) (u-g) x (r-z). Símbolos azuis - "grand-design"; verdes, floculentas; vermelhos, intermediárias

Nestas figuras podemos observar que existe correlação entre os gradientes de cor e, que esta correlação é melhor no caso dos gradientes  $G(u-g) \ge G(g-r)$  e, um pouco pior nos gradientes  $G(r-z) \ge G(g-r)$ . Entre os gradientes  $G(u-g) \ge G(r-z)$  parece haver uma correlação muito pobre. Correlações entre os gradientes de cor indicam que os mesmos fenômenos físicos são responsáveis pela origem dos gradientes nas cores. Os intervalos de valores nas cores avaliadas variam da seguinte forma:

Intervalos de Gradientes para Subamostra
$-0.64 \leqslant G(u-g)_{total} \leqslant 0.28$
$-0.39 \leqslant G(g-r)_{total} \leqslant 0.01$
$-0.47 \leqslant G(r-z)_{total} \leqslant -0.04$

Tabela 4.4 - Intervalos de Gradientes Totais de Cor

Intervalos de Gradientes para a Subamostra, por Tipos							
$-0.64 \leqslant G(u-g)_{GD} \leqslant 0.28$	$-0.49 \leqslant G(u-g)_{FL} \leqslant 0.23$	$-0.56 \leqslant G(u-g)_{INT} \leqslant -0.17$					
$0.01 \leqslant G(g-r)_{GD} \leqslant 0.26$	$-0.39 \leqslant G(g-r)_{FL} \leqslant -0.02$	$-0.24 \leqslant G(g-r)_{INT} \leqslant -0.12$					
$-0.63 \leqslant G(r-z)_{GD} \leqslant -0.09$	$-0.47 \leqslant G(r-z)_{FL} \leqslant -0.04$	$-0.31 \leqslant G(r-z)_{INT} \leqslant -0.23$					

Tabela 4.5 - Intervalos de Gradientes de Cor; GD - "Grand Design"; FL - Floculentas; Intermediárias-INT

As Tabelas acima mostram que na cor (u - g) as galáxias "grand-design" possuem uma amplitude de valores de gradientes que são os maiores da amostra analisada,  $\triangle G(u - g) = 0.92$ , seguidos pelas floculentas com  $\triangle G(u - g) = 0.72$  e, as intermediárias com as menores amplitudes de valores para o gradiente,  $\triangle G(u - g) = 0.39$ . Os valores médios dos gradientes são (u - g) = -0.34(0.09), para as "grand design", (u - g) = -0.24(0.07)para as floculentas e, (u - g) = -0.39(0.06) para as intermediárias, respectivamente. Considerando todos os tipos de espirais, o valor médio global do gradiente nesta cor é de  $G(u - g)_{total} = -0.32(0.08)$ .

No caso da cor (g - r), as floculentas representam a maior variação  $\Delta G(u - g) = (0.37)$ , posteriormente as "grand design" com  $\Delta G(g - r) = (0.25)$  e, as intermediárias com  $\Delta G(u - g) = (0.12)$ . De todas as cores analisadas, esta foi a que teve menor variação na amplitude de valores do gradiente entre os tipos de galáxias analisadas. Valores médios

são, respectivamente, (g-r) = -0.17(0.03), (g-r) = -0.16(0.05), (g-r) = -0.18(0.03).O valor médio global em (g-r) é de  $G(g-r)_{total} = -0.16(0.04).$ 

Em (r-z) os valores são  $\triangle G(r-z) = 0.54$  para as "grand design",  $\triangle G(r-z) = 0.43$ para as floculentas e,  $\triangle G(r-z) = 0.08$  para as intermediárias. Os valores médios neste caso, são (r-z) = -0.21(0.03) para as floculentas, (r-z) = -0.25(0.05) para as "grand design" e (r-z) = -0.26(0.04) para as intermediárias. O valor médio global em (r-z)é de  $G(r-z)_{total} = -0.24(0.04)$ .

Para todas as galáxias da subamostra foram construídos perfis de cor (u - g), (g - r), (r - z) disponibilizados nas Figuras de 4.5 à 4.43 a seguir. O comportamento dos perfis de cor, bem como perfis de parâmetros estruturais serão analisados juntamente com as informações das imagens na próxima secção.

### 4.2 Análise da Deconvolução Bojo-Disco

A mesma amostra utilizada no estudo do comportamento da cor foi usada para a deconvolução bojo-disco. O processo de ajuste foi realizado para imagens no filtro r e, foi uma tarefa que exigiu muito cuidado, pois muito embora a subamostra analisada se constituísse apenas de galáxias espirais com três tipos de estruturas em discos, cada galáxia tem suas peculiaridades e, portanto, é necessário aplicar uma estratégia diferente para esta seja ajustada.

Em alguns casos, ajustamos diferentes modelos e, mostramos ambas as imagens residuais obtidas, bem como os perfis de brilho, para que se observe as sutilezas que cada ajuste pode gerar. Este foi o caso, por exemplo, para NGC2775, NGC3423, NGC3642 e NGC4030, entre outros, disponibilizados nas respectivas Figuras 4.7, 4.11, 4.35 e, 4.41. Nas tabelas a seguir mostramos os resultados do ajuste.

Como discos de galáxias possuem muitas estruturas e, portanto, não são completamente "lisos" é natural que valores de  $\chi^2$  por grau de liberdade não sejam próximos de 1. Isto significa que o modelo gerado não representa, em detalhes, a galáxia real. Como neste estudo estamos interessados justamente nas imagens residuais, obtidas a partir do modelo da galáxia subtraído da imagem real da galáxia e, um número expressivo de galáxias reais da nossa amostra se constitui de galáxias com muitas regiões HII, valores altos do  $\chi^2$  são

	Galáxias de Tipo Intermediário									
Nome	T(erro)	AC	n	$\chi^2$	$R_c(disco)(erro)(")$	$R_{ef}(bojo)(")$	$R_c(disco)/R_{ef}(bojo)$	$L_{disco}/L_{tot}$	$L_{bojo}/L_{tot}$	
NGC5633	3.0(0.4)	6	1.000	3.543	12.861(6.158)	1.293(1.593)	0.101	0.938	0.062	
			4.010	3.547	12.991(6.433)	1.324(1.062)	0.102	0.902	0.098	
NGC3177	3.0(0.4)	6	1.000	3.293	8.712(2.529)	1.086(0.557)	0.125	0.931	0.069	
NGC4701	6.0(0.3)	5	0.920	3.477	16.966(11.171)	0.737(1.375)	0.043	0.980	0.020	
			4.000	3.401	16.632(11.174)	1.677(1.143)	0.101	0.816	0.184	

Tabela 4.6 - Resultados da deconvolução bojo-disco para as galáxias de tipo intermediário

	Resultado da Deconvolução Bojo-Disco para "Grand Design"								
Nome	T(erro)	AC	n	$\chi^2$	$R_c(disco)(erro)(")$	$R_{ef}(bojo)(")$	$R_c(disco)/R_{ef}(bojo)$	$L_{disco}/L_{tot}$	$L_{bojo}/L_{tot}$
NGC3897	4.0(0.7)	12	1.000	3.320	13.836(7.116)	2.349(0.534)	0.170	0.530	0.470
			4.000	3.230	13.699(7.416)	1.468(0.340)	0.107	0.647	0.353
NGC4030	4.0(0.3)	9	2.024	5.440	21.059(3.226)	6.765(1.866)	0.321	0.699	0.301
			1.000	3.820	28.730(8.700)	3.130(10.430)	0.110	0.960	0.04
NGC3780	5.0(0.3)	9	1.000	3.677	30.006(12.426)	1.708(1.406)	0.057	0.968	0.032
			4.000	3.673	30.618(13.177)	1.659(1.130)	0.054	0.954	0.046
			1.000	16.034	4.990(0.05)	2.360(0.02)	0.470	0.560	0.440
NGC2857	5.0(0.3)	12	1.000	3.669	24.411(18.324)	1.267(0.832)	0.052	0.953	0.047
			4.000	3.650	24.411(18.659)	0.952(0.647)	0.039	0.960	0.040
NGC4041	4.0(0.3)	9	1.000	2.910	19.421(6.437)	3.788(2.902)	0.195	0.878	0.122
			1.000	3.030	19.210(0.190)	0.000	0.000	1.000	0.000
NGC2967	5.0(0.3)	9	1.220	3.120	18.098(6.073)	3.683(1.783)	0.203	0.907	0.093
			4.000	3.154	17.917(5.947)	2.994(1.527)	0.167	0.898	0.102
NGC2776	5.0(0.3)	9	4.000	3.282	19.512(7.429)	2.816(1.243)	0.144	0.821	0.179
NGC5248	4.0(0.3)	12	1.000	4.705	37.209(12.513)	2.245(3.323)	0.060	0.973	0.027
			4.000	4.487	43.995(22.663)	4.269(1.725)	0.097	0.802	0.198
			1.050	4.700	37.790(0.380)	1.13(0.01)	0.030	0.995	0.05*
NGC3338	5.0(0.3)	9	4.000	4.046	38.941(17.125)	1.010(1.344)	0.026	0.990	0.010
NGC3642	4.0(0.3)	9	1.000	2.938	20.189(8.565)	4.604(0.977)	0.228	0.523	0.477
			4.000	2.876	21.851(11.162)	2.947(0.739)	0.135	0.529	0.471
			1.000	3.495	22.730(0.400)	1.660(0.04)	0.070	0.940	0.06
NGC2942	5.0(0.4)	9	1.633	3.233	16.343(7.844)	1.884(1.087)	0.115	0.935	0.065
			4.400	3.261	16.882(8.549)	1.656(0.830)	0.098	0.910	0.090

 $Tabela\ 4.7$  - Resultados da deconvolução bojo-disco para as galxias de tipo intermedirio.

Galáxias Floculentas									
Nome	T(erro)	AC	n	$\chi^2$	$R_c(disco)(erro)(")$	$R_{ef}(bojo)(")$	$R_c(disco)/R_{ef}(bojo)$	$L_{disco}/L_{tot}$	$L_{bojo}/L_{tot}$
NGC2775	2.0(0.3)	3	1.000	2.161	28.866(6.512)	1.747(2.119)	0.061	0.974	0.025
			4.000	2.143	29.101(6.631)	1.052(0.932)	0.036	0.983	0.016
			4.000	1.822	29.27(7.18)	15.840(0.200)	0.540	0.862	0.138
NGC4158	3.0(0.5)	3	1.058	2.444	11.979(3.357)	3.189(0.714)	0.266	0.651	0.349
			3.868	2.447	11.979(3.635)	2.396(0.737)	0.200	0.662	0.338
			1.500	2.650	11.18(3.29)	2.60(0.03)	0.230	0.913	0.087
NGC2916	3.0(1.5)	4	4.000	4.245	15.723(4.453)	2.345(1.613)	0.149	0.758	0.242
			1.070	3.750	17.86(5.97)	0.86(0.01)	0.05	0.994	0.06
NGC4162	4.0(0.4)	2	1.000	3.161	15.682(4.368)	3.479(1.108)	0.222	0.768	0.232
			4.000	3.200	15.840(4.530)	2.178(0.932)	0.138	0.860	0.140
			1.000	3.550	15.01(4.29)	0.000	0.000	1.000	0.000
NGC3423	6.0(0.3)	2	1.000	3.546	38.079(17.965)	0.956(4.257)	0.025	0.996	0.004
			4.000	3.280	39.233(17.665)	3.256(1.686)	0.083	0.884	0.116
			1.000	6.300	22.07(0.22)	0.000	0.000	1.000	0.000
NGC5772	3.0(0.5)	3	1.000	2.230	14.808(4.041)	1.604(0.386)	0.108	0.829	0.171
			4.000	3.243	12.123(2.847)	1.782(0.491)	0.147	0.723	0.277
			1.640	2.260	17.82(6.38)	4.07(0.04)	0.23	0.800	0.196
NGC4534	7.5(0.5)	1	1.000	2.875	25.042(19.402)	7.278(3.587)	0.291	0.765	0.235
			4.000	2.996	22.832(16.826)	5.573(3.321)	0.244	0.741	0.259

Tabela 4.8 - Resultados da deconvolução bojo-disco para as galxias floculentas. Legenda: idem anterior.

esperados. Verificamos que nem sempre o menor valor de  $\chi^2$  representa o melhor modelo. Assim, o  $\chi^2$  será apenas uma ferramenta que nos auxiliará a julgar a qualidade do ajuste e, pode ser útil na discriminação entre modelos alternativos. Nos indicará qual o melhor ajuste possível dentro das condições reais que as galáxias apresentam.

Estudos de K. Fathi & Peletier (2003), utilizando imagens do telescópio espacial Hubble em bandas do infravermelho, mostram que as galáxias do tipo precoce tem, em média, tamanhos de bojos de 6.04" (3.27") e as galáxias de tipo tardio tem bojos com 3.80" (2.16"), quando ajustados com perfis de brilho do tipo Sérsic e exponencial. Quando estes são ajustados por perfis de brilho do tipo dupla exponencial, os valores que os bojos assumem são, 2.30" (0.76") para as galáxias do tipo precoce e 1.95" (1.40") para as galáxias do tipo tardio. Nossos resultados são de mesma ordem de grandeza.

Segundo Sparke (2000), a razão  $R_{ef}/R_c \approx 0.1$ . Por outro lado, Combes 2006, citando os resultados de referências constantes em seu trabalho, fornece-nos valores 2 vezes mais altos para a razão acima. Valores típicos de  $R_{ef}$  estão entre 0.5 à 4 kpc e, dependentem do tipo de Hubble, ou seja, as galáxias de tipo precoce tem maiores valores de  $R_{ef}$ ; valores de  $R_c$  variam de 2 à 5 kpc, independetemente do tipo de Hubble (conforme Elmegreen 1998). Aqui vale a pena salientar que NGC4701 foge totalmente dos valores convencionais, pois tanto bojo como disco são muito pequenos. Talvez devido a incertezas na determinação da distância.

Resultados de correlações entre alguns parâmetros estruturais obtidos na decomposição feita pelo BUDDA, como raio característico de bojos e discos, escalas de comprimento de discos em função do tipo de Hubble, bem como entre gradientes, são exibidos a seguir. Para maior clareza entre possíveis correlações, não colocamos erros em alguns gráficos, pois conforme de Souza, Gadotti & dos Anjos 2004, alguns parâmetros são mais críticos para serem estimados.

Na Figura 4.2 vemos a dimensão característica de discos em função do raio efetivo dos bojos. No painel superior (a), observamos o comportamento da amostra toda, sem distinção entre os tipos. No painel inferior (b) esta mesma relação é disponibilizada, mas identificando os tipos "grand design" floculentos e intermediários. Observa-se neste gráfico que os valores de raios característicos dos discos da amostra toda estão compreendido



Figura 4.2: Raio efetivo de bojos em função do raio característicos de discos. Painel a: todas as galáxias da amostra; Painel b: galáxias separadas por tipos - simbolos azuis representam galáxias "grand design", verdes, representam galáxias floculentas e, os vermelhos representam galáxias de tipo intermediário. As barras de incerteza foram tiradas para maior clareza.

entre  $0.4 < Rc_{total}(Kpc) < 8.5$ , e para os bojos  $0.01 < Ref_{total}(Kpc) < 1.7$ . Quando analisamos os raios característicos separados por tipos, temos, para as "grand design"  $0.9 < Rc_{GD}(Kpc) < 8.5$ , para as floculentas,  $1.5 < Rc_{FL}(Kpc) < 6.8$  e, para as intermediárias  $0.4 < Rc_{INT}(Kpc) < 2.5$ .

No caso dos bojos temos, para a amostra total,  $0.01 < Ref_{total}(Kpc) < 1.5$ , sendo que para as "grand design"os valores estão compreendidos entre  $0.01 < Ref_{GD}(Kpc) < 0.5$ , para as floculentas entre  $0.01 < Ref_{FL}(Kpc) < 1.5$  e, para as intermediárias  $0.01 < Ref_{INT}(Kpc) < 0.5$ .

Como a faixa de amplitudes de valores de raios de discos e bojos não é a mesma para os diferentes tipos de galáxias, estes resultados sugerem que discos maiores são encontrados em "grand design" e os menores em intermediárias. No caso dos bojos, a amplitude de valores maior ocorre nas floculentas, seguida pelas "grand design"e, intermediárias. Entretanto, é preciso ter cautela em relação a estes resultados, já que nossa amostra não possui um número expressivo de objetos, em particular no caso da intermediárias.

Na Figura 4.3 a seguir mostramos como as dimensões dos raios caraterísticos se distribuem dentro dos tipos de Hubble. Observa-se nesta Figura que as "grand design" estão



Figura 4.3: Escalas de comprimento de discos em função do tipo de Hubble: (a) Amostra total; (b). Amostra separada por tipos de espirais. Pontos azuis representam galáxias "grand design", pontos verdes, galáxias floculentas e, os vermelhos galáxias de tipo intermediário.

concentradas entre os tipos 4 e 5 (4 < T(GD) < 5). As floculentas são as que possuem a maior amplitude de distribuição entre os tipos de Hubble, 2 < T(FL) < 8, seguidas pelas intermediárias com ocorrência entre os tipos 3 < T(FL) < 6.

Parâmetros estruturais em bojos e discos, como ângulo de posição e elipticidade, têm sido examinados em galáxias, com o argumento de que correlação entre eles indicaria dependência entre as componentes. Esta dependência é interpretada na literatura (Kormendy & Kennicutt 2004) como indícios de efeitos de evolução secular. Assim sendo, verificamos na nossa amostra o comportamento destes dois parâmetros, exibidos a seguir, Na Figura 4.4 observa-se que para as floculentas existe correlação (0.76 (0.15)) entre os ângulos de posição de bojos e discos. Nota-se também que algumas "grand design" também se correlacionam bem. Entretanto, o conjunto das galáxias "grand design" apresenta uma dispersão muito grande quando se compara com as floculentas. No caso da elipticidade o mesmo não acontece.

Um outro recurso que utilizamos neste estudo para explorar algumas previsões do Cenário Secular, foi o de analisar imagens residuais, ou seja, imagens geradas pela subtração de imagens-modelo e imagens de galáxias reais. A partir de modelos gerados no BUDDA,



Figura 4.4: Elipticidades ( $\epsilon$ ) e ângulos de posição (PA) de bojos e discos, obtidos pelas simulações do BUDDA. Simbolos azuis representam galáxias "grand design", verde, galáxias floculentas e, vermelho, galáxias de tipo intermediário.

construímos imagens residuais de bojos e discos, além da residual total. Imagens na banda z foram também utilizadas na análise, já que alguns estudos têm mostrado que galáxias floculentas apresentam fracas estruturas simétricas nesta banda.

No presente estudo, a presença de estruturas deste tipo foi inspecionada através das imagens modelo e residual, geradas pela tarefa ELLIPSE/BMODEL. Esta tarefa permite construir imagens sintéticas, que apesar de não representarem subprodutos do modelamento realizado na banda r, nos serviu como uma referência no sentido de verificar a presença destas estruturas nas imagens.

Nas Figuras de 4.5 à 4.46 a seguir, podemos ver as imagens originais e as residuais geradas como definido a seguir, da esquerda para a direita e, de cima para baixo:

- Imagem original das galáxia no filtro r
- Imagem residual do bojo (imagem original modelo do disco)
- Imagem residual do disco (imagem original modelo do bojo)
- Imagem residual total (imagem original modelo da galáxia)
- Modelo gerado pelo BMODEL (tarefa Ellipse IRAF) para as imagens no filtro z
- Imagem residual total no filtro z (imagem original modelo da galáxia)

Juntamente com as imagens, disponibilizamos os gráficos relativos ao comportamento das cores e, dos parâmetros geométricos obtidos através do ELLIPSE. Para maior clareza, disponibilizamos os perfis de cores em função do raio em unidades de segundos de arco e, em kiloparsecs. Os valores em kiloparsecs foram obtidos à partir do valor da distância à galáxia e, de seu respectivo diâmetro aparente, disponibilizados no apêndice B.

Perfis de brilho superficial no filtro r, gerados pelos modelos através do BUDDA também foram disponibilizados nestas figuras para todas as galáxias da subamostra, bem como os comportamentos dos ângulos de posição (PA), elipticidades ( $\epsilon$ ) e, coeficientes de Fourier b4 (elipses "boxy" ou "disky"). Capítulo 4. Resultados

### IMAGENS E PERFIS DAS GALAXIAS DA AMOSTRA



*Figura 4.5:* Imagens de NGC2775 - FL. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, *na banda r*; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na *banda z*.



Figura 4.6: NGC2775 (T=2; AC3). Painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: a) painel central: linha laranja - disco; azul - bojo (p/ n=4) com modelo de bojo truncado; b) painel à esquerda - linha vermelha - bojo; verde - disco (c/ n=1); linha azul - bojo; laranja - disco (c/ n=4). Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



*Figura 4.7:* Imagens de NGC2916 - FL. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, *na banda r*; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na *banda z*.



*Figura 4.8:* NGC2916 (T=3; AC4). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: a) painel central - linha verde representa o ajuste do disco e, vermelha, do bojo, para n=1 com modelo de bojo truncado; b) painel à esquerda - linha azul representa o ajuste do bojo e, laranja o ajuste do disco, com n=4. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



*Figura 4.9:* Imagens de NGC3423 - FL. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, *na banda r*; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na *banda z*.



*Figura 4.10:* NGC3423 (T=6; AC2). Painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: a) painel central - linha verde - disco (c/ n=1) e modelo de bojo truncado; b) painel à esquerda - linha vermelha - bojo; verde - disco (c/ n=1); linha azul - bojo e, laranja - disco (c/ n=4). Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



*Figura 4.11:* Imagens de NGC4158 - FL. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, *na banda r*, 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na *banda z*.



*Figura 4.12:* NGC4158 (T=3; AC3). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: a) painel central - linha verde representa o ajuste do disco e, vermelha, do bojo, para n=1 com modelo de bojo truncado; b) painel à esquerda - linha vermelha representa o ajuste do bojo e, verde o ajuste do disco, com n=1; linha azul representa o ajuste do bojo e, laranja o ajuste do disco, com n=4. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).


Figura 4.13: Imagens de NGC4162 - FL. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, na banda r; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na banda z.



*Figura 4.14:* NGC4162 (T=4; AC2). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: a) painel central - linha verde representa o ajuste do disco, para n=1 com modelo de bojo truncado; b) painel à esquerda - linha vermelha representa o ajuste do bojo e, verde o ajuste do disco, com n=1; linha azul representa o ajuste do disco, com n=4. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



*Figura 4.15:* Imagens de NGC4534 - FL. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, *na banda r*; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na *banda z*.



*Figura 4.16*: NGC4534 (T=7.5; AC1). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: painel à esquerda - linha vermelha representa o ajuste do bojo e, verde o ajuste do disco, com n=1; linha azul representa o ajuste do bojo e, laranja o ajuste do disco, com n=4. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



*Figura 4.17:* Imagens de NGC5772 - FL. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, *na banda r*, 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na *banda z*.



Figura 4.18: NGC5772 (T=3; AC3). Painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: a) painel central - linha verde - disco (p/ n=1) com modelo de bojo truncado; b) painel à esquerda - linha vermelha - bojo e, verde - disco, (c com n=1); linha azul - bojo e, laranja - disco (c/ n=4). Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



*Figura 4.19*: Imagens de NGC3177 - INT. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, *na banda r*; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na *banda z*.



*Figura 4.20:* NGC3177 (T=3; AC6). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: painel à esquerda - linha vermelha representa o ajuste do bojo e, verde o ajuste do disco, com n=1. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



*Figura 4.21:* Imagens de NGC4701 - INT. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, *na banda r*; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na *banda z*.



*Figura 4.22:* NGC4701 (T=6; AC5). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: painel à esquerda - linha vermelha representa o ajuste do bojo e, verde o ajuste do disco, com n=1; linha azul representa o ajuste do bojo e, laranja o ajuste do disco, com n=4. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



*Figura 4.23:* Imagens de NGC5633 - INT. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, *na banda r*, 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na *banda z*.



*Figura 4.24:* NGC5633 (T=3; AC6). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: painel à esquerda - linha vermelha representa o ajuste do bojo e, verde o ajuste do disco, com n=1; linha azul representa o ajuste do bojo e, laranja o ajuste do disco, com n=4. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



Figura 4.25: Imagens de NGC2776 - GD. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, na banda r; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na banda z.



*Figura 4.26:* NGC2776 (T=5; AC9). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: painel à esquerda - linha azul representa o ajuste do bojo e, laranja o ajuste do disco, com n=4. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



Figura 4.27: Imagens de NGC2857 - GD. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, na banda r; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na banda z.



*Figura 4.28*: NGC2857 (T=5; AC12). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: painel à esquerda - linha vermelha representa o ajuste do bojo e, verde o ajuste do disco, com n=1; linha azul representa o ajuste do bojo e, laranja o ajuste do disco, com n=4. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



Figura 4.29: Imagens de NGC2942 - GD. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, na banda r; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na banda z.



*Figura 4.30:* NGC2942 (T=5; AC9). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: painel à esquerda - linha vermelha representa o ajuste do bojo e, verde o ajuste do disco, com n=1; linha azul representa o ajuste do bojo e, laranja o ajuste do disco, com n=4. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



Figura 4.31: Imagens de NGC2967. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, *na banda r*; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na *banda z*.



*Figura 4.32:* NGC2967 (T=5; AC9). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: painel à esquerda - linha vermelha representa o ajuste do bojo e, verde o ajuste do disco, com n=1; linha azul representa o ajuste do bojo e, laranja o ajuste do disco, com n=4. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



Figura 4.33: Imagens de NGC3338 - GD. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, na banda r; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na banda z.



*Figura 4.34:* NGC3338 (T=5; AC9). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: painel à esquerda - linha azul representa o ajuste do bojo e, laranja o ajuste do disco, com n=4. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



Figura 4.35: Imagens de NGC3642 - GD. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, na banda r; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na banda z.



*Figura 4.36:* NGC3642 (T=4; AC9). Painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: a) painel central - linha verde - disco e, vermelha - bojo (c/ n=1) e, com modelo de bojo truncado; b) painel à esquerda - linha vermelha - bojo e, verde - disco, (c/ n=1); linha azul - bojo e, laranja - disco, (c/ n=4). Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



Figura 4.37: Imagens de NGC3780 - GD. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, na banda r; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na banda z.



Figura 4.38: NGC3780 (T=5; AC9). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: a) painel central - linha verde representa o ajuste do disco e, vermelha, do bojo, para n=1 com modelo de bojo truncado; b) painel à esquerda - linha azul representa o ajuste do bojo e, laranja o ajuste do disco, com n=4. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



Figura 4.39: Imagens de NGC3897 - GD. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, na banda r; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na banda z.



*Figura 4.40*: NGC3897 (T=4; AC12). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: painel à esquerda - linha vermelha representa o ajuste do bojo e, verde o ajuste do disco, com n=1; linha azul representa o ajuste do bojo e, laranja o ajuste do disco, com n=4. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



Figura 4.41: Imagens de NGC4030 - GD. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, na banda r; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na banda z.



Figura 4.42: NGC4030 (T=4; AC9). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). a) painel central - linha verde representa o ajuste do disco e, vermelha, do bojo, para n=1 com modelo de bojo truncado; b) painel à esquerda - linha vermelha representa o ajuste do bojo e, verde o ajuste do disco, com n=1. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



Figura 4.43: Imagens de NGC4041 - GD. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, na banda r; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na banda z.



*Figura 4.44:* NGC4041 (T=4; AC9). No painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: a) painel central - linha verde representa o ajuste do disco, para n=1 com modelo de bojo truncado; b) painel à esquerda - linha vermelha representa o ajuste do bojo e, verde o ajuste do disco, com n=1. Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).



Figura 4.45: Imagens de NGC5248 - GD. Legenda: da esquerda para a direita e, de cima para baixo, imagens: 1) original, 2) residual do bojo (original - modelo do disco), 3) residual do disco (original - modelo do bojo), 4) residual total (original - modelo da galáxia, na banda r; 5) modelo gerado pelo BMODEL e, 6) residual total, ambas na banda z.



*Figura 4.46:* NGC5248 (T=4; AC12). Painel superior, comportamento dos perfis de cores: linhas verticais representam o comprimento característico do disco (azul), o raio efetivo do bojo (vermelho) obtidos no ajuste e, o "seeing" (preto). Ajuste de modelos aos perfis de brilho superficial: a) painel central - linha verde - disco; vermelha - bojo (p/ n=1) com modelo de bojo truncado; b) painel à esquerda - linha vermelha - bojo; verde - disco (c/ n=1); linha azul - ajuste do bojo; laranja - disco (c/ n=4). Outros painéis, os parâmetros geométricos, elipticidade ( $\epsilon$ ), ângulo de posição (PA) e, coeficiente de Fourier (b4).

## 4.3 Padrões de Braços

Como vimos na secção anterior, imagens residuais foram construídas a partir da subtração das imagens original e modelo ajustado pelo BUDDA. A análise detalhada das **imagens residuais** das galáxias da amostra revelou uma enorme diversidade de subestruturas, imersas na luz difusa das imagens originais, tanto em discos como em bojos.

Observamos, primeiramente, que os padrões de braços podiam ser categorizados em essencialmente três tipos ou classes. Percebemos, posteriormente que, esta categorização parece estar associada a intervalos de cor que variam ligeiramente entre as classes. Além disto, percebemos através dos ajustes de perfis de brilho que, a contribuição do bojo parece ser ligeiramente diferente em cada uma das classe de braços.

As imagens residuais de bojos permitiram encontrar subestruturas como barras nucleares, anéis e espirais nucleares. Estas subestruturas localizadas nas regiões centrais de galáxias têm sido coletivamente definidas como pseudobojos (Fisher & Drory 2008). Desta forma, utilizamos os critérios descritos a seguir para classificar os braços em discos e, verificamos também, o tipo de bojo que eles abrigam, se clássico (**BC**), pseudobojo (**PB**), ou ambos (**BC/PB**).

- **B2** Braços com 2 espirais nítidas saindo da região central ("grand design" ou logarítmicos), perfil de cor entre 2.0 < (u g) < 2.5 e, perfis de brilho mostrando a presença de bojo, apesar de pequena.
- BD Braços difusos e nítidos saindo da região central 1.5 < (u − g) < 2.0, os perfis de brilho mostram a presença do bojo.
- **BM** Braços múltiplos e caóticos espalhados por todo o disco, com regiões HII distribuídas por toda a extensão do disco e, com cor 1.0 < (u - g) < 1.5, diferenciadamente mais azuis, e perfis de brilho que mostram que o bojo não contribui significativamente.

Utilizando então estes critérios, cada uma das galáxias foi inspecionada detalhadamente e, classificada de acordo com o conjunto de informações obtidas pela análise estrutural e de cor. Faremos, então, a seguir, a classificação das galáxias da nossa amostra com uma breve descrição da análise. A classificação consta em negrito juntamente com a identificação da galáxia.

## • NGC2775: Precoce; BC

Imagem original sem nenhuma estrutura marcante de braços no disco e, com bojo aparentemente clássico. As imagens residuais do bojo e do disco mostram claramente 3 padrões diferentes de estrutura. A primeira, a estrutura mais interna, mostra um bojo não esferoidal, compatível com o comportamento do coeficiente de Fourier (b4 < 0). A terceira estrutura mostra a presença de um disco contendo várias oscilações, que lembram filamentos de braços ocorrendo com o mesmo padrão para todo o disco. Esta estrutura de mini-braços que percorre todo o disco não chega até a região central da galáxia, dissipando-se na segunda estrutura da galáxia, região esta que fica entre o disco e o bojo (lente ou anel ?). Imagem residual em z não mostra presença de braços. Os três modelos ajustados a esta galáxia mostram um excesso de luz na região central. Esta é a galáxia mais vermelha da amostra e verificamos que ela não atende aos critérios acima definidos, já que se trata de um objeto precoce.

## • NGC2916: **BD**; **BC**

Imagem original mostrando um disco externo não circular com braços não muito marcantes, mas bem definidos. Apresenta também um bojo elipsoidal não desprezível, presente nas imagens e no perfil de brilho. Imagem residual do bojo revela que o disco se extende até a região próxima do bojo, porém o mesmo não ocorre com os braços. A residual do disco mostra a presença de poucas regiões HII na porção externa dos braços. Imagem residual em z também mostra presença de braços. O perfil de cor em (u-g) em torno de  $(u - g) \sim 1.7$ .

## • NGC3423: **BM**; **PB**

Imagem original mostrando um disco externo circular com vários segmentos de braços e presença de poucas regiões HII. Mostra também um bojo aparentemente clássico. A inspeção da imagem em contagens revelou um disco extenso com baixas contagens, seguido por um "platô" próximo da região central com contagens intermediárias entre
disco externo e bojo. A imagem residual do bojo mostra que existem fragmentos de braços chegando até o centro da galáxia. A residual total mostra braços múltiplos com regiões HII distribuídas por todo o disco e, região do entorno do bojo com o disco removido. Três ajustes foram realizados neste caso: 2 deles que consideraram o bojo e o disco (n=1 e n=4 - painel b)) e, o outro considerando somente um disco (painel intermediário) - Figura 4.10. O perfil de brilho mostra um excesso de luz na região central, que acreditamos ser uma assinatura do pseudobojo. Outra indicação de assinatura de pseudobojo é o comportamento da elipticidade e ângulo de posição semelhante no disco e no "bojo", conforme se vê na Figura 4.10. Esta galáxia foi também identificada como tendo pseudobojo por Drory & Fisher 2007.

# • NGC4158: **BM**; **BC**/**PB**

Imagem original mostrando disco elipsoidal com segmentos de braços múltiplos pouco definidos. A imagem residual do bojo mostra uma estrutura fraca e simétrica, que sugere a presença de uma barra circundada por um anel. A suspeita de barra fica fortalecida quando se observa o perfil de brilho, com características de perfil de tipo II. A imagem residual total mostra claramente a estrutura em anel, bem como fragmentos de braços por todo o disco. A cor da região central está influenciada pela presença da barra, com  $(u - g) \sim 1.8$  e, portanto, compatível com uma contribuição de população estelar velha. Entretanto, a presença do anel interno, fenômeno que ocorre em discos, sugere que esta galáxia pode ter a contribuição de ambos tipos de bojos. Um bojo pequeno e mais interno, clássico e, um outro, mais recente

# • NGC4162: **BM**; **BC**/**PB**

Imagem original com disco apresentando alguns segmentos de braços não muito definidos e, com bojo elipsoidal. Imagem residual do bojo mostra 2 braços saindo da região central (3") em direções opostas. Imagem residual total mostrando múltiplos braços bem definidos. O perfil de cor em (u - g) indica uma região central com população mais velha. O valor mínimo de  $(u - g) \sim 1.3$  ocorre em 3", justamente onde se observa a presença de pequenos segmentos de braços na região central da galáxia, indicando uma população mais azulada e, portanto mais jovem. Acreditamos, portanto, que se trata de um bojo clássico que abriga um pseudobojo.

# • NGC4534: **BD**; sem bojo

Imagem original que mostra um disco irregular com muitas regiões HII e com braços irregulares e difusos. As imagens residuais mostram que esta galáxia, apesar de ter braços, não possui bojo. O perfil de brilho mostra que de fato o bojo não é ajustado e, o de cor, nas três cores avaliadas, é constante ao longo de todo o disco da galáxia.

# • NGC5772: **B2; BC**

Imagem original sem muitas estruturas e com bojo relativamente importante. Residual total mostrando 2 braços "grand design"fracos. Perfil de cor  $(u - g) \sim 1.8$ , ligeiramente mais avermelhado na região central da galáxia. Ajustes na região do bojo mostram um excesso de luz quando se compara os modelos.

# • NGC3177: **BD**; **BC**/**PB**

Percebe-se claramente a presença de um único braço contendo regiões HII e, saindo da região central da galáxia. Alguns segmentos de braços distribuídos no disco também podem ser observados na imagem original. A imagem residual do bojo mostra na região central fragmentos de braços próximos da curvatura do braço principal, simulando um pseudoanel. Esta subestrutura parece estar presente no perfil de brilho, entre 5 < r(") < 10, gerando um excesso de luz quando se compara ao perfil ajustado. A região central parece então abrigar um bojo pequeno, com 3", sem nenhuma elipticidade ou achatamento e, um anel ou fragmento de braço. A imagem no filtro z, entretanto, mostra a presença dos braços até a região central da galáxia, mas não o pseudoanel. Concluímos, portanto, que o pseudoanel, é na verdade um anel formado por população jovem. Desta forma, esta galáxia abriga na região central um bojo clássico e, um pseudobojo. Embora a imagem residual exiba uma estrutura que lembre dois braços, percebe-se que um deles tem um baixo brilho superficial em relação ao outro.

# • NGC3642: **BD**; **PB**

Observa-se na imagem original a presença de braços relativamente suaves compartilhando um bojo de aparência clássica. A imagem residual total mostra claramente um braços chegando até o centro da galáxia que se assemelha a uma barra nuclear. Como braços são estruturas de discos, a estrutura observada não é um bojo, e sim um pseudobojo. Espera-se também que estas estruturas tenham a memória do disco, portanto, o comportamento do ângulo de posição e da elipticidade não devem variar muito quando se compara a região interna com a externa (bojo e disco). Outro aspecto que deve ser observado é o perfil da cor em  $(u - g \sim 1)$ , ou seja, mais azulada exatamente onde se encontra esta estrutura, revelando material de população jovem. Drory & Fisher (2007) também encontraram evidências em favor da presença de um pseudobojo nesta galáxia.

# • NGC3338: **B2; BC**

Esta galáxia possui uma imagem original exibindo um disco elipsoidal com a presença clara de dois braços emergindo da região central. As imagens residuais revelam um bojo bem definido na região central, da ordem de 5.15", inserido dentro de uma barra com dimensão de 10". O comportamento da elipticidade e do ângulo de posição são compatíveis com a presença destas duas estruturas. O perfil de cor em (u-g) revela que nesta região a população estelar aí presente é velha. Portanto, mesmo tendo uma barra na região central, esta é de população velha. Desta forma, ao contrário do encontrado por Drory & Fisher (2007), acreditamos que este não é um caso de pseudobojo e, sim de bojo clássico.

# • NGC3780: **BM**; **PB**

A imagem original revela braços múltiplos com regiões HII distribuídas ao longo do disco externo. Na região interna do disco observamos uma estrutura em forma de um anel com dimensão da ordem de 9.5". Mais próximo ainda da região central encontramos na imagem residual total com um bojo que parece estar imerso dentro de uma barra fraca. O perfil de cor em  $(u - g) \sim 1$  revela uma população estelar jovem. A presença da barra na região central, ainda que fraca, associada a uma cor de população jovem parece se compatibilizar com um pseudobojo.

# • NGC4030: **BM**; **BC**/**PB**

Esta galáxia apresenta fragmentos de braços robustos e múltiplos na imagem original. As imagens residuais revelam que, na verdade, existem vários braços que parecem ter uma estrutura mais filamentar do que se observa na imagem original. Uma análise mais detalhada da imagem residual total mostrou que existem segmentos de braços que chegam até o centro da galáxia. Considerando que o comportamento do ângulo de posição no bojo e disco não muda e, que além disto observa-se nas imagens residuais a presença de braços alcançando a região central, esta galáxia poderia estar abrigando um pseudobojo, como concluem Drory & Fisher (2007). Entretanto, ao analisar o comportamento da cor, verifica-se que a região central tem cor mais avermelhada, indicativo da presença de estrelas velhas. Talvez este seja um caso onde coexistam um bojo clássico e um pseudobojo.

# • NGC4041: **BM**; **BC**?/**PB**

Trata-se de uma galáxia com AGN e com disco que apresenta pequenos braços emergindo do disco. Todas as imagens residuais revelam vários sistemas embutidos, como barra nuclear, fragmentos de braços, bojo não triaxial pequeno e, um material irregular contornando a região central. O perfil de cor e de brilho revelam o mesmo padrão encontrado por Trujillo & Pohlen (2008) e, interpretados com sendo devido a uma mudança radial na população estelar e, não uma descontinuidade na distribuição de massa.

# • NGC5248: **B2**; **BC/PB**

A aparência da imagem original mostra um disco elipsoidal com a presença clara de 2 braços simétricos emergindo da região central e um bojo elipsoidal. A imagem residual do bojo revela um bojo não triaxial na região central, com várias subestruturas como regiões HII e, vários segmentos de braços que se assemelham àqueles de espirais tardias. A imagem residual total mostra que estas subestruturas estão imersas em uma barra fraca, de onde saem os 2 braços visíveis na imagem original. Uma curiosidade adicional neste caso é que esta galáxia mostra a presença de faixas de poeira ("dust lanes") radiais. Todas estas características são previstas no Cenário Secular e indicativas de pseudobojos.

# • NGC5633: **BD**; **PB**

Imagem original exibindo um disco achatado e com regiões HII densas e, bojo elipsoidal. Imagem residual mostrando braços na região central da galáxia. Esta material próximo da região central é de população mais jovem como mostra o perfil de cor em (u-g) e, ausente na imagem residual na banda z. O comportamento do ângulo de posição e elipticidade não variam muito quando se compara a região central e o disco externo. Acreditamos tratar-se de um pseudobojo.

# • NGC4701: **BD**; **PB**

Imagem original mostrando três braços principais saindo da região central da galáxia. Imagem residual do bojo mostrando esta componente ligeiramente achatada e com os braços saindo da região central. Devido ao material próximo do centro e ao comportamento do perfil de cor em (u-g) também classificamos este bojo como pseudobojo.

# • NGC3897: **B2; BC**

Imagem original mostrando dois braços saindo do disco externo. Imagem residual do bojo mostra um bojo achatado e, o perfil de cor em (u-g) mostra que nesta região a população estelar é velha. A imagem residual do disco mostra uma estrutura que lembra um anel, porém a população estelar aí também parece velha. Classificamos este bojo como sendo clássico.

# • NGC2967: **BM**; **BC**/**PB**

Imagem original mostrando disco não achatado e, braços com várias regiões HII, semelhantes aos que emergem de galáxias barradas, porém não se observa a barra. Nas imagens residuais uma barra muito fraca parece estar presente. Um bojo pequeno e não achatado parece estar imerso em uma estrutura triaxial. Este caso também parece ser compatível com uma estrutura de bojo clássico coexistindo com pseudobojo.

# • NGC2942: **B2; BC**

Imagem original exibindo dois braços principais, típicos de "grand design". As imagens residuais mostram um bojo não achatado e, o disco achatado com braços chegando até a região central da galáxia. Nenhuma das componentes apresenta estruturas atípicas. O perfil de cor em (u-g) mostra que trata-se de população velha. Classificamos o bojo como sendo clássico.

# • NGC2857: **B2; BC**

Imagens originais e residuais muito semelhantes, também na banda z. Observa-se que os braços não chegam a região central e que nenhuma estrutura irregular aparece no entorno do bojo. O perfil médio de cor mostra que a região central possui uma cor em (u-g) que é compatível com uma população velha. Classificamos este bojo também como clássico.

# • NGC2776: **BM**; **BC**

Imagem original exibindo disco não achatado e com multibraços emergindo da região central. Imagem residual do bojo mostrando um bojo também não achatado. O perfil médio de cor mostra que a região central tem cor mais avermelhada, compatível com população velha. Capítulo 4. Resultados

# Capítulo 5.

# Conclusões e Perspectivas

O objetivo principal deste estudo foi verificar se efeitos de evolução secular internos, responsáveis pela evolução dinâmica de galáxias e, previstos teoricamente, podiam ser identificados em uma amostra de galáxias espirais tardias e, com diferentes estruturas de braços em discos. A partir do catálogo de Elmegreen & Elmegreen (1982, 1987), selecionamos uma subamostra de galáxias "grand design" floculentas e, intermediárias, de face e, não-barradas, para realizar este estudo.

A partir desta subamostra, imagens de galáxias foram então obtidas na base de dados do Sloan, em 4 bandas (g, r, u e z). Construímos, então, perfis de cores e de brilho superficial e, estimamos gradientes de cores para todas as galáxias da subamostra. Utilizamos o código de decomposição bidimensional bojo-disco, BUDDA e, a partir dos parâmetros estimados construímos imagens sintéticas da galáxia total, assim como de suas componentes bojo e disco. Estas foram então utilizadas para obtenção de imagens residuais de bojos, discos e, total das galáxias. A análise das imagens residuais bem como o comportamento dos perfis radiais de cores permitiram desenvolver um método que foi utilizado para verificar algumas das previsões do cenário secular. Os principais resultados que encontramos foram:

Existe correlação entre os gradientes de cor e, esta correlação é melhor no caso dos gradientes  $G(u-g) \ge G(g-r)$ . Entre os gradientes  $G(u-g) \ge G(r-z)$  parece haver uma correlação muito pobre. Correlações entre os gradientes de cor indicam que os mesmos fenômenos físicos são responsáveis pela origem dos gradientes nas cores.

A amplitude de valores de gradientes na cor (u - g) para as galáxias "grand-design" é a maior de toda a amostra analisada, seguida pelas floculentas. As galáxias de tipo intermediário são as que possuem as menores amplitudes de valores para o gradiente. Os valores médios encontrados para os gradientes são: (u - g) = -0.34(0.09), para as "grand design", (u - g) = -0.24(0.07) para as floculentas e, (u - g) = -0.39(0.06) para as intermediárias. Considerando todos os tipos de espirais, o valor médio global do gradiente nesta cor é de  $G(u - g)_{total} = -0.32(0.08)$ .

No caso da cor (g - r), as floculentas representam a maior variação, posteriormente as "grand design"e, as intermediárias. De todas as cores analisadas, esta foi a que teve menor variação na amplitude de valores do gradiente entre os tipos de galáxias analisadas. Valores médios são, respectivamente, (g-r) = -0.17(0.03), (g-r) = -0.16(0.05), (g-r) =-0.18(0.03). O valor médio global em (g - r) é de  $G(g - r)_{total} = -0.16(0.04)$ .

Em (r-z) os valores são  $\triangle G(r-z) = 0.54$  para as "grand design",  $\triangle G(r-z) = 0.43$ para as floculentas e,  $\triangle G(r-z) = 0.08$  para as intermediárias. Os valores médios neste caso, são (r-z) = -0.21(0.03) para as floculentas, (r-z) = -0.25(0.05) para as "grand design" e (r-z) = -0.26(0.04) para as intermediárias. O valor médio global em (r-z)é de  $G(r-z)_{total} = -0.24(0.04)$ .

A decomposição bojo-disco nos permitiu obter alguns parâmetros estruturais como elipticidade, ângulo de posição, raio característico do disco, raio efetivo do bojo, entre outros. Entre as correlações relevantes encontradas, verificamos que galáxias floculentas apresentam uma clara correlação entre os ângulos de posição de bojos e discos. Algumas "grand design" também seguem esta correlação (ver Figura 4.4). É interessante observar que as "grand design" que se aproximam da correlação encontrada para as galáxias floculentas, apresentam bojos clássicos e pseudobojos coexistindo ou, possuem barras fracas.

A análise detalhada das **imagens residuais** das galáxias da amostra revelou uma enorme diversidade de subestruturas, imersas na luz difusa das imagens originais, tanto em discos como em bojos. Observamos que os padrões de braços podiam ser categorizados em essencialmente três tipos ou classes: braços difusos ou dispersos (BD), braços com 2 espirais nítidas saindo da região central - "grand design" ou logarítmicos (B2) e, braços múltiplos ou caóticos (BM).

Percebemos, posteriormente que, esta categorização parece estar associada a intervalos de cor que variam ligeiramente entre as classes. Além disto, observamos através dos ajustes de perfis de brilho que, a contribuição do bojo parece ser ligeiramente diferente em cada uma das classe de braços.

As imagens residuais de bojos permitiram encontrar subestruturas como barras nucleares, anéis e espirais nucleares e, deformidades estruturais nucleares, traçadoras de pseudobojos (Fisher & Drory 2008). Aplicamos, então, os critérios de classificação de braços em discos e, avaliamos também, o tipo de bojo que eles abrigam, se clássico (**BC**), pseudobojo (**PB**), ou ambos (**BC/PB**).

Aplicando este critério encontramos doze galáxias candidatas a possuírem pseudobojos. Cinco delas, NGC3423, NGC3642, NGC3780, NGC5633, NGC4701 somente com pseudobojos. Sete com pseudobojos coexistindo com bojos clássicos, NGC2967, NGC5248, NGC4030, NGC 3177, NGC4162, NGC4158 e NGC4041. Com bojos puramente clássicos, encontramos oito galáxias, NGC2775, NGC2916, NGC5772, NGC3338, NGC3897, NGC2942, NGC2857 e NGC2776. Encontramos uma galáxia, NGC4534, que não possui bojo, porém, apresenta segmentos de braços claramente visíveis.

Estes resultados indicam que nossa subamostra se constitui de 57% de galáxias candidatas a possuírem pseudobojos, 38% de bojos clássicos e, aproximadamente 5% de galáxias sem bojos. Se considerarmos, separadamente, aquelas galáxias que possuem bojos clássicos coexistindo com pseudobojos (BC+PB) e, aquelas somente com pseudobojos (PB), o percentual seria, respectivamente, 33.3% de (BC+PB) e, 23.8% com PB.

Interessante enfatizar que no caso de NGC5248 identificamos uma barra fraca submersa no disco, de onde saem os dois braços visíveis na imagem original e, diversas subestruturas compartilhando a região central, como espirais nucleares. Uma curiosidade adicional neste caso é que esta galáxia mostra a presença de faixas radiais de poeira. De todas as galáxias da subamostra analisada, este nos pareceu o exemplo mais claro e rico dos efeitos previstos no cenário secular.

Outra particularidade que nos parece interessante enfatizar é que nenhuma das galáxias floculentas da nossa amostra mostrou a presença de barras fracas imersas no disco. Esta componente foi encontrada somente no caso das "grand design".

A presença de bojos clássicos e pseudobojos em galáxias, reflete histórias evolutivas diferentes. Os bojos clássicos foram formados em um cenário onde o halo e a formação da galáxia ocorreu cedo e, portanto, as estrelas seriam mais velhas no bojo e no disco e, mais avermelhadas. Por outro lado, a formação dos pseudobojos ocorreria de forma menos violenta, em ambientes com baixa densidade e, em um longo período de evolução do disco e, não perturbado por fusões. Ocorreria, então, mais tarde e, portanto, geraria sistemas mais azuis (Kormendy & Kennicutt 2004).

Nossos resultados indicam que a maioria (33.3%) dos bojos das galáxias analisadas possuem pseudobojos coexistindo com bojos clássicos. Galáxias que abrigam estes tipos de bojos possuem essencialmente estruturas residuais de braços múltiplos ou difusos (BM ou BD). São as galáxias da subamostra que são medianamente azuladas quando se compara ao grupo das que possuem bojos clássicos e, ao grupo daquelas que possuem somente pseudobojos. Uma única galáxia de tipo B2 (NGC5248) foi classificada como tendo BC+PB, que pertence a um grupo pequeno, possuindo também uma barra fraca e, com um bojo da ordem de 3" de diâmetro. Bojos relativamente pequenos podem sugerir que a galáxia sofreu poucos eventos de fusões. Neste caso, se a galáxia sofreu poucos eventos de acresção, é possível que eventos seculares não sejam totalmente removidos. Ademais, se a galáxia apresenta barra, esta componente poderia ser a responsável pelos efeitos seculares observados.

Galáxias que possuem somente pseudobojos (23.8%) possuem tipos residuais de braços BM ou BD e são as mais azuis da subamostra. Portanto, 57% das galáxias da nossa amostra candidatas a possuírem pseudobojos têm padrões de braços múltiplos ou difusos. Esta característica de braços se correlaciona com os tipos de galáxias floculentas e intermediárias. No caso das galáxias que possuem bojos clássicos, a diversidade de tipos de braços residuais é maior (B2, BM e BD).

Como estamos analisando efeitos de evolução secular e, este parece ocorrer com mais frequência e clareza em galáxias floculentas, é possível então que galáxias relativamente isoladas, como parece ser o caso das galáxias floculentas, sofram maior influência dos efeitos de evolução secular, pois livres de efeitos de fusões, tiveram mais tempo de evoluír secularmente.

Este efeito também deve ocorrer em "grand design" como mostram nossos resultados, porém, como este tipo de objeto é encontrado mais facilmente em ambientes com maior densidade, eventos de fusões podem remover os efeitos seculares. Se os eventos de fusões envolverem acresção de pequenas galáxias, talvez seja possível reter a memória dos efeitos seculares. Os bojos de galáxias "grand design" analisados neste estudo e, que mostram a presença de pseudobojos são relativamente pequenos, sugerindo portanto, poucos eventos de fusões.

# 5.1 Perspectivas

Pretendemos dar continuidade aos estudos de efeitos de evolução secular aplicando o método desenvolvido neste estudo a uma amostra mais representativa do ponto de vista estatístico. Seria desejável também estudar uma amostra de objetos mais precoce e barrados. Além disto, as galáxias identificadas neste estudo poderiam servir como alvos para estudos mais aprofundados. Outro aspecto que poderia complementar a análise realizada seria incluir estudos cinemáticos.

# Referências Bibliográficas

- Abadi, Mario G.; Moore, Ben; Bower, Richard G.; 1999MNRAS.308..947A
- Alladin, S. M.; Narasimhan, K. S. V. S.; 1982PhR....92..339A
- Atkinson, N., Conselice, C.J., Fox, N.; 2007arXiv0712.1316A
- Athanassoula, E.; 1992MNRAS.259..345A
- Athanassoula, E.; 2006astro.ph.10113A
- Baade, W.; 1944ApJ...100..137B
- Bakos, Judit; Trujillo, Ignacio; 2008arXiv0807.2776B
- Barnes, Joshua E.; 1989Natur.338..123B
- Barnes, J.; 1990dig..book..186B
- Barnes, J.; 1992ApJ...393..484B
- Barnes, J.; 1998giis.conf..275B
- Barnes, Joshua E.; Hernquist, Lars; 1992ARAA..30..705B
- Barth, Aaron J.; 1998ApJ...496..133B
- Beckman, J. E.; Cepa, J.; 1990AA...229...37B
- Biermann, P; Shapiro, S. L.; 1979ApJ...230L..33B
- Blanton M. R., et al. 2003, ApJ, 594,186
- Braine et al.; 1993AAS...97..887B
- Burbidge, E. M., and Burbidge G. R. (1959). Astrophys. J. 130, 20
- Buta, R.; Combes, F.; 1996FCPh...17...95B
- Canzian, Blaise; 1998ApJ...502..582C
- Carollo et. al.; 1997AJ....114.2366C
- Carollo et al.; 1998AJ....116...68C
- Cepa, J.; Beckman, J. E; 1990AA...239...85C

- Combes et. al.; 1990AA...233...82C
- Combes; astro-ph/9904031
- Combes, F.; 2006astro.ph..8612C Courteau, Stephane; de Jong, Roelof S.; Broeils,
- Adrick H.; 1996ApJ...457L..73C
- Cowie; 1996AJ....112..839C
- Debattista et. al.; 2006ApJ...645..209D
- Debattista e Shen; 2007ApJ...654L.127D
- de Jong, R. S.; van der Kruit, P. C.; 1994AAS..106..451D
- de Jong, R. S.; 1996AA...313...45D
- de Souza, R. S.; Tese de Livre Docência, Departamento de Astronomia. Instituto As-
- tronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo
- de Souza, R. E.; Dos Anjos, S.; 1987AAS...70..465D
- de Souza, R. E.; Gadotti, D. A.; dos Anjos, S.; 2004ApJS..153..411D
- de Vaucouleurs, G.; 1958ApJ...128..465D
- de Vaucouleurs, Gerard; 1961ApJS....5..233D
- de Vaucouleurs, G.; 1974IAUS...58....1D
- de Vaucouleurs et. al.; 1991trcb.book.....D
- de Vaucouleurs, G.; de Vaucouleurs, A.; 1964RC1...C...0000d
- de Vaucouleurs, G; de Vaucouleurs, A; Corwin, H. G.; 1976RC2...C...0000d
- Dressler, A.; 1980ApJ...236..351D
- Drory, Niv; Fisher, David B.; 2007ApJ...664..640D
- Driver, S. P., et al. 2006, MNRAS, 368, 414
- Elmegreen B. G., Elmegreen D. M., 1989, ApJ, 342, 677
- Elmegreen, D. M.; Elmegreen, B. G.; 1982MNRAS.201.1021E
- Elmegreen, D. M.; Elmegreen, B. G.; 1984ApJS...54..127E
- Elmegreen, Debra Meloy; Elmegreen, Bruce G.; 1987ApJ...314....3E
- Elmegreen, Debra Meloy; Elmegreen, Bruce G.; 1990ApJ...364..412E
- Elmegreen, Debra Meloy; 1998ggs..book.....E
- Eggen, O. J.; Lynden-Bell, D.; Sandage, A. R.; 1962ApJ...136..748E
- Erwin et al; 2005ApJ...626L..81E
- Erwin et al; 2007arXiv0712.1473E

- Erwin, Peter; Pohlen, Michael; Beckman, John E.; 2008AJ....135...20E
- Eskridge et al.; 2002ApJS..143...73E
- Fathi, K.; Peletier, R. F.; 2003AA...407...61F
- Firmani, C.; Avila-Reese, V.; 1998astro.ph..3090F
- Fisher, David B.; 2007AAS...211.1319F
- Fisher, David B.; Drory, Niv; 2008AJ....136..773F
- Fisher, David B.; 2006ApJ...642L..17F
- Franç ois, Vangioni-Flam Audouze; 1990ApJ...361..487F
- Fukugita et al; 1996AJ....111.1748F
- Gadotti, D. A.; dos Anjos, S.; 2001AJ....122.1298G
- Gadotti, D. A.; de Souza, R. E.; 2003ApJ...583L..75G
- Gadotti, Dimitri Alexei; 2007arXiv0708.2842G
- Garcia, A. M.; 1993AAS..100...47G
- Gerhard, O. E.; 1981MNRAS.197..179G
- Gerola, H.; Seiden, P E.; 1978ApJ...223..129G
- Gonç alves, A. C. et al.; 1999AAS..135..437G
- González-García, Antonio César; Balcells, Marc; 2005MNRAS.357..753G
- Ibata, Rodrigo A.; Gilmore, Gerard F.; 1995MNRAS.275..605I
- Illingworth, G. (1982). In Internal Kinematics and Dynamics of Galaxies, IAU Sympo-
- sium No.100, edited by E. Athanassoula (Reidel, Dordrecht), p.257
- Hernquist, Lars; 1992ApJ...400..460H
- Hernquist, Lars; Spergel, David N.; 1992ApJ...399L.117H
- Hubble, E. 1936, The Realm of the Nebulae (Oxford: Oxford University Press)
- Humason, M.L.: 1936, ApJ, 83, 10
- Jarvis, B. J.; 1986AJ.....91...65J
- Jesseit et. al.; 2005MNRAS.360.1185J
- Kauffmann et al.; 2003MNRAS.341...33K
- Kampakoglou, Marios; Silk, Joseph; 2007MNRAS.380..646K
- Kendall et al.; 2008MNRAS.387.1007K
- Kennicutt et. al.; 2000ApJ...529..786M
- Kenney, J. D. P; Crowl, H.; van Gorkom, J.; Vollmer, B.; 2004IAUS..217..370K

- Komossa et al.; 1999AA...349...88K
- Kormendy, J.; 1979ApJ...227..714K
- Kormendy, J.1981, in The Structure and Evolution of Normal Galaxies, ed. S. M. Fall
- and D. Lynden-Bell (Cambridge: Cambridge Univ. Press), p.85
- Kormendy, J. J., 1982, Observations of galaxy structure and dynamics, in Morphology
- and Dynamics of Galaxies, 12th Advanced Course of the SSAA, eds. L. Martinet, & M.
- Mayor (Geneva Observatory: Geneva), 155
- Kormendy, J.; 1983IAUS..100..193K
- Kormendy, John; Cornell, Mark E.; 2004ASSL..319..261K
- Kormendy, John; Kennicutt, Robert C., Jr.; 2004ARAA..42..603K
- Kormendy, J.; Fisher, D. B.; 2005RMxAC..23..101K
- Larson, R. B.: 1990, PASP, 102 (653), 709
- Leavitt, Henrietta S.; 1908AnHar..60...87L
- Lanzoni et. al.; 2005MNRAS.361..369L
- Liu et. al.; 2005ApJS..157...59L
- Lynden-Bell, D.; Kalnajs, A. J.; 1972MNRAS.157....1L
- Maciejewski, Andrzej J.; astro-ph/0611259
- MAjrquez, I. et al.; 1999AAS..140....1M
- Naab, Thorsten; Burkert, Andreas; 2003ApJ...597..893N
- Naab, Thorsten; Trujillo, Ignacio; 2006MNRAS.369..625N
- Negroponte, J.; White, S. D. M.; 1983MNRAS.205.1009N
- Nilson, P.; 1973UGC...C...0000N
- Ma, J.; 2002AA...388..389M
- Martinet, L.; astro-ph/9408014
- Martinet, L.; 1995FCPh...15..341M
- MacArthur, Courteau & Holtzman; Rev. Mex. A, 17, 180-181 (2003)
- MacArthur, Courteau, Bell & Holtzman; The Astrophysical Journal Supplement Series,
- 152:175-199, 2004-June
- Mc William, Andrew; Rich, R. Michael; 1994ApJS...91..749M
- Moellenhoff C., Heidt J.; 2001AA...368...16M
- Moore, Ben; Lake, George; Katz, Neal; 1998ApJ...495..139M

- Morgan, W. W.; Mayall, N. U.; 1957PASP...69..291M
- Morgan, W. W.; 1958PASP...70..364M
- Mueller, M. W.; Arnett, W. D.; 1976ApJ...210..670M
- Patterson, F. Shirley; 1940BHarO.914....9P
- Peletier, R, F.; arXiv0707.4063
- Peletier, R. F.; Balcells, M.; 1996AJ....111.2238P
- Peebles, P. J. E.; 1995SSRv...72..680P
- Pérez-Ramírez et al.; 2000MNRAS.317..234P
- Pfenniger, D.; 1993IAUS..153..387P
- Pipino, A.; Matteucci, F.; 2008AA...486..763P
- Pohlen, M.; Trujillo, I.; 2006AA...454..759P
- Postman, M.; Geller, M. J.; 1984ApJ...281...95P
- Prendergast KH. 1964. Astron. J. 69:147
- Puerari, I.; Dottori, H. A.; 1992AAS...93..469P
- Puerari et al.; 2000AA...359..932P
- Puerari et al; 2001ASPC..230..151P
- Rich, R. Michael; Terndrup, Donald; 1997ASPC..127..129R
- Rix, Hans-Walter; Rieke, Marcia J.; 1993ApJ...418..123R
- Roberts, W. W., Jr.; Huntley, J. M.; van Albada, G. D.; 1979ApJ...233...67R
- Sakamoto, Kazushi; 1999ApJS..124..403S
- Sandage, Allan; 1975gaun.book.....1S
- Sandage, A.; Bedke, J.; 1994CAG1..B...0000S
- Sanders RH, Tubbs AD. 1980. Ap. J.235:803
- Schlegel et al.; 1998ApJ...500..525S
- Schneider, S. E. et al.; 1986AJ.....92..742S
- Schweizer, F.; 1976ApJS...31..313S
- Sellwood, J. A.; Wilkinson, A.; 1993RPPh...56..173S
- Shen et al.; 2003, MNRAS, 343,978
- Shimasaku et al.; 2001AJ....122.1238S
- Silk, Joseph; Bouwens, Rychard; 1999ApSS.265..379S
- Simien, F.; de Vaucouleurs, G.; 1986ApJ...302..564S

- Sodré, L., Jr.; Cuevas, H.; 1994VA.....38..287S
- Sodré, L., Jr.; Cuevas, H.; 1997ASPC..114..149S
- Sorensen, S. A.; Matsuda, T.; Fujimoto, M.; 1976ApSS..43..491S
- Sparke, Linda S.; Gallagher, John S., III; 2000gaun.book.....S
- Stoughton et al.; 2002AJ....123..485S
- Strateva et al.; 2001AJ....122.1861S
- Spitzer, Lyman, Jr.; Schwarzschild, Martin; 1951ApJ...114..385S
- Spitzer, Lyman, Jr.; Schwarzschild, Martin; 1953ApJ...118..106S
- Takase, Bunshiro; Miyauchi-Isobe, Nagako; 1986AnTok..21..127T
- Takeuchi, Tsutomu T. et. al; 1999ApJS..121..445T
- Toomre, Alar; Toomre, Juri;1972ApJ...178..623T
- Tully et. al.; 1998AJ....115.2264T
- Turner, E. L.; Gott, J. R., III; 1976ApJS...32..409T
- Turner, E. L.; 1976ComAp...6..127T
- Thomas et al 2005; 2005ApJ...621..673T
- Trujillo, I.; Graham, Alister W.; Caon, N.; 2001MNRAS.326..869T
- van den Bergh, Sidney; 1960ApJ...131..215V
- van den Bergh, Sidney; 1997AJ....113.2054V
- Zhang, Xiaolei; 1996ApJ...457..125Z
- Zhang, Xiaolei; 1998ApJ...499...93Z
- Zhang, Xiaolei; 1999 Ap<br/>J $\ldots 518 \ldots 613 Z$
- Zhang, Xiaolei; 2002, A large scale energy source for feeding ISM turbulence in spiral
- galaxies, ApSS, 281, 281
- Zhang, Xiaolei; 2003JKAS...36..223Z
- Zhang, Xiaolei; 2004ASSL..319..317Z

Apêndice

# Informações Gerais

# • NGC3177

Essa é uma galáxia de classe de braço intermediário, cujo tipo de Hubble é 3, ou seja, ela é uma galáxia Sb. Segundo Sandage & Bedke (1994), esta galáxia possui um sistema com 2 braços, sendo que eles são bem diferentes, no que se refere ao seu "pitch angle" e ao brilho superficial elevado de um braço em relação ao outro muito mais fraco. Braços externos muito fracos existem, sendo que a classificação Sb é devida à delgadeza dos seus braços, a taxa de formação estelar, e ao tamanho do bojo (menor do que uma Sa, e maior do que uma Sc típica). Além disso, segundo de Vaucouleurs & de Vaucouleurs (1964), esta galáxia parece apresentar um pseudoanel muito brilhante envolvendo um núcleo muito pequeno e brilhante, com os braços espirais parecendo sair desse pseudoanel.

# • NGC5633

Essa é uma galáxia de classe de braço intermediário, cujo tipo de Hubble é 3, ou seja, ela é uma galáxia Sb. Segundo Sandage & Bedke (1994), esta galáxia é composta por 2 conjuntos de braços: um conjunto de braços internos com alto brilho superficial e situandose nos primeiros kiloparsecs à partir do centro da galáxia; e outro conjunto, com braços externos de menor brilho superficial. de Vaucouleurs & de Vaucouleurs (1964) sugeriram que esta galáxia possuisse um pseudoanel e um anel externo.

• NGC2967

Essa é uma galáxia de classe de braço "grand design", cujo tipo de Hubble é 5, ou seja, ela é uma galáxia Sc. Segundo Sandage & Bedke (1994), esta é uma galáxia que apresenta algum

anel interno. Segundo Pohlen & Trujillo 2006, esta galáxia possui um perfil exponencial do tipo III-d, ou seja, elas exibem uma quebra em seus perfis de brilho em um determinado raio, à partir do qual o perfil tem uma pequena tendência de crescimento para as regiões mais externas.

## • NGC2775

Essa é uma galáxia de classe de braço floculento, cujo tipo de Hubble é 2, ou seja, ela é uma galáxia Sab, muito embora alguns autores, tal como, Eskridge et al. 2002, considerem-na uma galáxia do tipo S0-a, pois essa galáxia possui pouco HI. NGC2775 parece possuir um LINER e sua principal característica é a presença de 2 bandas espirais de absorção por poeira no disco externo, ou seja, 2 "dust lanes", segundo Eskridge et al. 2002. Sandage & Bedke (1994) citam a presença de um possível anel; o disco parece ser desprovido de estruturas, e o que ele chama de anel parece ser uma região onde o disco é mais fino, situando-se entre a parte central da galáxia e o disco externo, com seus braços floculentos. Segundo Liu et al. (2005), NGC2775 está no catálogo de fontes ultraluminosas em raios X do satélite Rosat, muito embora esta não esteja contida em nenhum catálogo de AGNs. Quanto à presença de companheiras, NGC2775 está em contato com NGC2777, mas não há sinais de pertubação.

## • NGC3897

Essa é uma galáxia de classe de braço "grand design", cujo tipo de Hubble é 4, ou seja, ela é uma galáxia Sbc. Ela possui braços espirais estreitos, os quais emergem de alguma região perto do núcleo (conforme Canzian & Blaise, 1998). Ainda, segundo Nilson (1973); esta galáxia parece possuir uma companheira, UGC6784.

# • NGC2916

Essa é uma galáxia de classe de braço floculento, cujo tipo de Hubble é 3, ou seja, ela é uma galáxia Sb. Segundo de Vaucouleurs et al. (1976) essa galáxia possui muitas regiões HII, as quais parecem estar distribuídas em filamentos radiais de forma assimétrica (conforme Nilson 1973). Ainda segundo Nilson (1973), NGC2916 parece possuir uma companheira UGC5103.

# • NGC3423

Essa é uma galáxia de classe de braço floculento, cujo tipo de Hubble é 6, ou seja, ela é uma galáxia Scd. Segundo Eskridge et al. (2002) essa galáxia possui baixo brilho superficial, sendo que há um bojo levemente elíptico embebido no disco. Há traços de estrutura espiral, 6 pequenos braços que saem de uma região próxima ao centro, mas que não são de nenhuma maneira, braços como os das galáxias "grand design". Nestes braços há vários sítios de formação estelar. Segundo de Vaucouleurs et al. 1964, esta galáxia possui um núcleo muito brilhante e pequeno, com indício de existência de um LINER de baixa luminosidade (Braine et al. 1993). Ela é uma galáxia com perfil de brilho do tipo II-CT, a região interna à 30" tem alto brilho superficial, ao passo que as regiões externas tem um descréscimo em seu perfil (conforme Pohlen & Trujillo 2006).

• NGC4162

Essa é uma galáxia de classe de braço floculento, cujo tipo de Hubble é 4, ou seja, ela é uma galáxia Sbc. Essa galáxia, segundo Márquez et al. (1999), possui um anel circumnuclear, com 3 braços espirais saindo do anel ao norte e 3 saindo ao sul, muito embora de Vaucouleurs (1964) proponha que essa região fosse um anel com mais ou menos 3" de raio. Ainda citando essa referência: há variação da elipticidade e do ângulo de posição com a distância, o que poderia indicar a presença de uma possível barra.

• NGC2857

Essa é uma galáxia de tipo de classe de braço "grand design", cujo tipo de Hubble é 5, ou seja, ela é uma galáxia Sc. Essa galáxia, segundo Nilson 1973, possui baixo brilho superficial, e tem 2 braços grandes e finos. Além de possuir uma galáxia companheira, UGC5000. Há no SIMBAD a indicação de uma fonte infravermelha no centro desta galáxia, entretanto não fica claro se esta pertence ou não à NGC2857 (ausência de "redshift" para comparação).

## • NGC3780

Essa é uma galáxia de classe de braço "grand design", cujo tipo de Hubble é 5, ou seja, ela é uma galáxia Sc. Segundo Sandage & Bedke (1994), essa galáxia parece ter um anel. Parece haver um disco fino, de onde braços bem ramificados com vários pontos de formação estelar sairiam (conforme de Vaucouleurs et al. 1964). Como o caso de NGC2857, há indicação de fonte infravermelha no centro sem indicação de quem ela pertença. Esta galáxia possui 2 companheiras não interagentes, sejam elas NGC3804 e UGC6640 (conforme de Vaucouleurs et al. 1976).

# • NGC4030

Essa é uma galáxia de classe de braço "grand design", cujo tipo de Hubble é 4, ou seja, ela é uma galáxia Sbc. Segundo Carollo et al. 1998, essa galáxia possui braços espirais nucleares floculentos numa possível configuração que se assemelha à um anel, sendo que este núcleo é pequeno e brilhante e está embebido em um grande bojo elíptico, o qual está localizado dentro de um disco, que tem a sua parte interna com muitos pontos de formação estelar, e sua parte externa quiescente (conforme Eskridge et al. 2002). Ainda quanto à parte fotométrica, segundo Pohlen & Trujillo (2006), NGC4030 é uma galáxia com perfil de brilho exponencial do tipo III em suas partes mais externas. Esta galáxia encontra-se em um grupo composta pelas galáxias UGC6993 (Sb), UGC7000 (Irr), UGC7011 (Sb) e UGC6970 (Irr)segundo Schneider & Bedke (1994), embora Pohlen & Trujillo (2006) argumentem que esta galáxia seja uma galáxia isolada.

# • NGC4041

Essa é uma galáxia de classe de braço "grand design", cujo tipo de Hubble é 4, ou seja, ela é uma galáxia Sbc. de Vaucouleurs et al. (1964), diz que essa galáxia tem uma região central muito brilhante, a qual deve ser muito provavelmente devido um AGN do tipo "Seyfert" (segundo o SIMBAD). Não há nenhuma menção à presença de barras (coforme Sakamoto 1999; Pohlen & Trujillo 2006), mas pode parecer haver uma barra central; pois além de o bojo parecer levemente elíptico, a existência do AGN citado acima (o qual muitas vezes está associado à presença de barras) favoreceria este cenário, e além disso, há uma distribuição axissimétrica de 3 kpc em diâmetro de gás molecular com pico central (conforme Sakamoto 1999). Alguns autores como Nilson (1973), propõe que essa galáxia possua um anel. Ainda, segundo Sandage & Bedke (1994), NGC4041 tem várias candidatas à regiões HII. Pohlen & Trujillo 2006, citam que NGC4041 tenha um perfil de brilho exponencial do tipo III-d, assim como NGC2967. NGC4041 forma um "triplet cinemático" com NGC4036, UGC7009 e outra galáxia sem redshift conhecido (conforme Sandage & Bedke 1994)

• NGC4158

Essa é uma galáxia de classe de braço floculento, cujo tipo de Hubble é 3, ou seja, ela é uma galáxia Sb. Essa galáxia possui um núcleo muito brilhante e braços filamentares (conforme de Vaucouleurs & de Vaucouleurs 1964), sendo que esse núcleo parece ser circundado por um anel, conforme proposto por Nilson (1973).

• NGC5772

Essa é uma galáxia de classe de braço floculento, cujo tipo de Hubble é 3, ou seja, ela é uma galáxia Sb. Segundo de Vaucouleurs & Vaucouleurs (1964), NGC5772 possui um núcleo muito brilhante, circundado por um anel (conforme Nilson 1973).

• NGC4534

Essa é uma galáxia de classe de braço floculento, cujo tipo de Hubble é 7.5, ou seja, ela é uma galáxia Sd. Embora esta galáxia esteja classificada no RC3 como não barrada, Takase & Miyauchi-Isobe (1986), citam que o seu núcleo, a barra e um dos seus braços contêm vários pontos com excesso de emissão no ultravioleta. Segundo o SIMBAD essa galáxia é uma galáxia de baixo brilho superficial.

• NGC4701

Essa é uma galáxia de classe de braço intermediário, cujo tipo de Hubble é 6, ou seja, ela é uma galáxia Sc. Conforme de Vaucouleurs & de Vaucouleurs (1964), essa galáxia possui um núcleo muito pequeno e brilhante. Os braços externos são débeis e filamentares. Em muito essa galáxia se assemelha à NGC5633, com uma pequena espiral nos primeiros kiloparsecs à partir do centro da galáxia. Faz parte de um grupo (SIMBAD) de galáxias, sendo que uma das galáxias do grupo é uma "Seyfert".

#### • NGC5248

Essa é uma galáxia de classe de braço "grand design", cujo tipo de Hubble é 4, ou seja, ela é uma galáxia Sbc. Segundo Eskridge et al. (2002), essa galáxia possui uma pequena fonte puntual embebida em uma pequena e larga barra. Ambos estão embebidos em um bojo elíptico e luminoso com ângulo de posição deslocado de 45° do da barra, muito embora Sakamoto (1999) e Moellenhoff (2001) argumentem que NGC5248 não é uma galáxia barrada, e a estrutura central, confundida com uma barra, seja um par de espirais centrais que se assemelham à uma barra devido à presença de "dust lanes" na beirada "leading" desta. Outros autores, tais como, Pérez-Ramírez et al. (2000) sugerem que a estrutura acima seja um anel central com alta taxa de formação estelar, sendo que a assinatura desse anel se verifica por volta de 7" nos vários perfis de brilho (verificamos algo semelhante em nossos perfis). Outras características marcantes de NGC5248 referem-se aos seus braços espirais, sendo que seu disco interno é dominado por 2 braços espirais, quebrando-se em 3 segmentos de baixo brilho superficial (conforme Sandage & Bedke, 1994). Faz parte de um grupo de galáxias (Simbad) NGC5248, sendo parte de um grupo de galáxias.

# • NGC2776

Essa é uma galáxia de classe de braço "grand design", cujo tipo de Hubble é 5, ou seja, ela é uma galáxia Sc. Essa galáxia possui um bojo vermelho, o que indica falta de população estelar jovem, ao passo que os braços são abundantes em regiões HII, sendo muito azulados devido à população estelar jovem (conforme Takeuchi et al. 1999). Segundo Sandage & Bedke (1994), NGC2776 parece possuir um sistema de anel, com os braços espirais saindo dele. Essa galáxia possui um perfil de brilho exponencial do tipo I com leve aumento no brilho por volta de 25" (conforme Pohlen & Trujillo 2006) e verificado em nossos perfis, sendo que tais são devidos à presença dos braços espirais.

## • NGC3642

Essa é uma galáxia de classe de braço "grand design", cujo tipo de Hubble é 4, ou seja, ela é uma galáxia Sbc. Essa galáxia possui um padrão espiral regular nas partes internas, com alto brilho superficial em parte do disco, e braços externos com regiões HII brilhantes (conforme Sandage & Bedke 1994); sendo que essa região externa foi catalogada por de Vaucouleurs & Vaucouleurs (1964), como um pseudoanel externo. Os braços externos acabam se enrolando em si mesmos, delineando este pseudoanel. Voltando às partes internas de NGC3642: Barth (1999) propõe que esta galáxia possua um anel. Segundo Pohlen & Trujillo (2006), essa galáxia tem um perfil de brilho exponencial do tipo III-d. Outra duas características marcantes desta galáxia também devem ser citadas aqui: NGC3642 possui um LINER com emissão compacta no ultravioleta e emissão em raio-X (Komossa 1999; Barth 1998) e emissão larga em  $H_{\alpha}$  (Gonçalves et al. 1999). Esta galáxia parece estar em um grupo de 5 galáxias, conforme Garcia 1993.

• NGC3338

Essa é uma galáxia de classe de braço "grand design", cujo tipo de Hubble é 5, ou seja, ela é uma galáxia Sc. Embora em Sandage & Bedke (1994) não conste que esta galáxia seja barrada, Eskridge et al. 2002, conclui que esta possui uma barra não global (barradas do tipo AB) com anel. De posse das imagens residuais, percebemos realmente uma região central mais alongada, alinhada ao eixo principal da galáxia (com algo mais interno que parece ser um bojo). O anel proposto por Sandage parece existir, mas não é uma estrutura latente. Mais outras duas características marcantes de NGC3338: ela possui um LINER (Gonçalves et al. 1999, Komossa et al. 1999). E está em um grupo com outras 2 galáxias UGC5826 e UGC5832, segundo Scheneider et al. (1986).

• NGC2942

Essa é uma galáxia de classe de braço "grand design", cujo tipo de Hubble é 5, ou seja, ela é uma galáxia Sc. Essa galáxia tem um núcleo pequeno e brilhante com 2 braços principais que se ramificam (conforme de Vaucouleurs & de Vaucouleurs 1964). Esta galáxia parece possuir uma companheira, segundo Nilson (1973).

# Tabelas

Galáxias "grand design"							
Nome	V(erro)(km/s)	D(Mpc)	$\log D_{25}$	( heta)	d	escala=d/ $\theta$	
NGC2776	2961(17)	41.704	1.48	181.197103	36.632096	0.202167	
NGC2857	5186(15)	73.042	1.35	134.323268	47.538839	0.353914	
NGC2942	4774(19)	67.239	1.35	134.323268	43.761780	0.325794	
NGC2967	2154(27)	30.338	1.48	181.197103	26.617566	0.146898	
NGC3338	1695(30)	23.873	1.77	353.306193	40.937716	0.115870	
NGC3642	2046(22)	28.817	1.73	322.219078	44.990228	0.139626	
NGC3780	2855(20)	40.211	1.49	185.417726	36.136972	0.194895	
NGC3897	6904(25)	97.239	1.29	116.990676	55.130505	0.471238	
NGC4030	1926(40)	27.127	1.62	250.121630	32.862076	0.131384	
NGC4041	1704(22)	24.000	1.43	161.492088	18.790440	0.116355	
NGC5248	1679(36)	23.648	1.79	369.957001	42.328971	0.114416	

 $Tabela \ B.1 - Tabela \ de \ conversão \ entre \ segundos \ de \ arco \ e \ kpc \ para \ as \ galáxias "grand \ design". A coluna escala indica o \ quanto \ 1"vale \ em \ kiloparsec.$ 

Galáxias Floculentas							
Nome	V(erro)(km/s)	D(Mpc)	$\log D_{25}$	$(\theta)$	d	escala=d/ $\theta$	
NGC2775	1570(23)	22.113	1.63	255.947711	27.423191	0.107144	
NGC2916	4089(24)	57.592	1.39	147.282535	41.129004	0.279252	
NGC3423	1046(16)	14.732	1.58	228.113638	16.257099	0.071268	
NGC4158	2978(30)	41.944	1.28	114.327643	23.224145	0.203137	
NGC4162	3098(29)	43.634	1.37	140.653729	29.731184	0.211379	
NGC4534	992(9)	13.972	1.41	154.223747	10.467760	0.067874	
NGC5772	5462(23)	76.930	1.32	125.357768	46.736055	0.372821	

Tabela B.2 - Tabela de conversão entre segundos de arco e kpc para as galáxias floculentas. A coluna escala indica o quanto 1"vale em kiloparsec.

Galáxias de Tipo Intermediário							
Nome	V(erro)(km/s)	D(Mpc)	$\log D_{25}$	( heta)	d	escala=d/ $\theta$	
NGC4701	349(20)	4.915	1.44	165.253722	3.941766	0.023853	
NGC5633	2891(23)	40.718	1.30	119.715739	23.622188	0.197319	
NGC3177	1681(27)	23.676	1.16	86.726386	9.964925	0.114901	

Tabela B.3 - Tabela de conversão entre segundos de arco e kpc para as galáxias de tipo intermediário. A coluna escala indica o quanto 1"vale em kiloparsec.

# Livros Grátis

(<u>http://www.livrosgratis.com.br</u>)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração Baixar livros de Agronomia Baixar livros de Arquitetura Baixar livros de Artes Baixar livros de Astronomia Baixar livros de Biologia Geral Baixar livros de Ciência da Computação Baixar livros de Ciência da Informação Baixar livros de Ciência Política Baixar livros de Ciências da Saúde Baixar livros de Comunicação Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE Baixar livros de Defesa civil Baixar livros de Direito Baixar livros de Direitos humanos Baixar livros de Economia Baixar livros de Economia Doméstica Baixar livros de Educação Baixar livros de Educação - Trânsito Baixar livros de Educação Física Baixar livros de Engenharia Aeroespacial Baixar livros de Farmácia Baixar livros de Filosofia Baixar livros de Física Baixar livros de Geociências Baixar livros de Geografia Baixar livros de História Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura Baixar livros de Literatura de Cordel Baixar livros de Literatura Infantil Baixar livros de Matemática Baixar livros de Medicina Baixar livros de Medicina Veterinária Baixar livros de Meio Ambiente Baixar livros de Meteorologia Baixar Monografias e TCC Baixar livros Multidisciplinar Baixar livros de Música Baixar livros de Psicologia Baixar livros de Química Baixar livros de Saúde Coletiva Baixar livros de Servico Social Baixar livros de Sociologia Baixar livros de Teologia Baixar livros de Trabalho Baixar livros de Turismo