



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza  
Instituto de Geociências  
Departamento de Astronomia

# Fotometria Superficial de Galáxias IRAS Ultraluminosas

Aluna : Carolina Kehrig  
Orientador : Eduardo Telles (Observatório Nacional)

Projeto de Final de curso para a obtenção do título de Astrônomo.

Março 2001

*A minha família e ao Paulinho*

## RESUMO

Galáxias IRAS ultraluminosas (ULIRGs), caracterizadas por suas altas luminosidades no infravermelho distante,  $L_{fir} > 10^{12}L_{\odot}$ , são as galáxias *starburst* mais luminosas no Universo Local ( $z < 0.5$ ). Grande parte das ULIRGs mostram fortes sinais de interação e/ou fusão. As simulações numéricas de colisões entre galáxias que incorporam gás e estrelas prevêm, como resultado, morfologias durante o processo de colisão muito parecidas com o que se observa. São galáxias que apresentam morfologias típicas de galáxias interactuantes. Elas mostram *bursts* violentos de formação estelar e/ou um núcleo ativo. Esses resultados corroboram com a interpretação de que esses sistemas são galáxias fortemente interactuantes em processo de fusão. Uma outra hipótese é que ULIRGs possam representar um estágio inicial na formação de galáxias elípticas.

Apresentamos neste trabalho uma análise da fotometria superficial nas bandas B,V,R de uma amostra de 13 galáxias IRAS ultraluminosas observadas com o foco primário do telescópio Isaac Newton de 2.5m de Roque de Los Muchachos nas Ilhas Canárias, Espanha.

Fizemos uma descrição morfológica para cada galáxia e, em função destas notas individuais, as dividimos em três grupos, o que nos permitiu analisar morfológicamente o estágio evolutivo da colisão/fusão. Depois verificamos como que seus perfis de brilho na banda R, produzidos por ajustes de elipses das isofotas, se comportam em função de R,  $R^{1/4}$  e  $\log(R)$ . Tendo os perfis para toda extensão da galáxia, fizemos um ajuste linear em duas regiões de cada um dos perfis. A primeira corresponde à parte interna da galáxia e a segunda corresponde à parte externa. Então, para cada galáxia, fizemos um total de 6 ajustes lineares. Com o valor dos resíduos dos ajustes (RMS), verificamos qual dos três perfis (R,  $R^{1/4}$  e  $\log(R)$ ) representava melhor a distribuição de brilho em cada galáxia. Então, relacionando os melhores ajustes com a classe morfológica das ULIRGs verificamos que nossos resultados são compatíveis com a proposta de que as galáxias elípticas possam ser produto de fusões, e que provavelmente as ULIRGs estão representando alguma fase na formação destas galáxias.

**Palavras-chave:** Galáxias:fotometria - Galáxias:interações - Galáxias:elípticas - Galáxias:*starburst* - Galáxias: núcleo ativo de galáxias



## ABSTRACT

Ultraluminous IRAS galaxies (ULIRGs), characterized by their high luminosities in the far-infrared,  $L_{fir} > 10^{12}L_{\odot}$ , are the most luminous starburst galaxies in the Local Universe ( $z < 0.5$ ). Most of the ULIRGs show strong signs of interaction and/or merger. Numerical simulations of collisions between galaxies which take into account gas and stars predict, as a result, morphologies during the process of collision, that are very similar to those that are actually observed. These are galaxies that show typical morphologies of interacting galaxies. They present violent bursts of star formation and/or an active nucleus. These results corroborate the interpretation that these systems are strongly interacting galaxies in the process of merging. Another hypothesis is that the ULIRGs may represent an early stage in the formation of elliptical galaxies.

We present, in this work, an analysis of the surface photometry in the B, V and R bands of a sample of 13 ultraluminous IRAS galaxies observed with the prime focus at the Isaac Newton 2.5m telescope at Los Roque de Los Muchachos, Canary Island, Spain.

We have produced a morphological description for each galaxy and, as a consequence of these individual notes, we have divided them into three groups, which allowed us to analyse morphologically the evolutionary phase of the collision/merger. Afterwards, we have verified how their luminosity profiles in the R band, produced by ellipse fitting to their isophotes, behave as a function of R,  $R^{1/4}$  and  $\log(R)$ . After having the profiles for the whole extension of the galaxy, we have produced linear fits to two different regions for each of the profiles. The first one corresponds to the inner part of the galaxy, while the second one corresponds to the outer part of the galaxy. Thus, we have produced a total of 6 linear fits to each of the galaxies. We verified, using the value of the residuals from the fits (RMS), which of the profiles ( $R$ ,  $R^{1/4}$  and  $\log(R)$ ) better represents the light distribution of each galaxy. Then, relating the best fits to the morphological class of the ULIRGs, we have checked that our results are compatible with the proposal that elliptical galaxies may be a product of mergers, and that probably ULIRGs represent some phase in the formation of these systems.

**Keywords:** Galaxies: Surface photometry - Galaxies: Interactions - Galaxies: Ellipticals - Galaxies: Starburst - Galaxies: Active galactic nuclei



## Agradecimento

Primeiramente, agradeço ao meu orientador Eduardo Telles pela orientação com que conduziu este trabalho e pela confiança depositada em mim. Agradeço também pelas oportunidades que me ofereceu durante esse trabalho e por ter me ajudado no momento em que mais precisei.

Agradeço ao Departamento de Astrofísica do Observatório Nacional por permitir a utilização de seus computadores. Obrigada, também ao João Luis Kohl pelas dicas computacionais.

Aos amigos e professores do ON e Valongo, com quem convivi ao longo de anos. Um agradecimento especial à professora Encarnação e a minha amiga de sempre, Tatiana.

A todos os que de uma maneira ou outra contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade.

Finalmente dedico este trabalho a minha família e ao Paulinho que sempre estiveram ao meu lado e acreditaram em mim. A minha mãe, pelo apoio e conselhos em momentos difíceis. Ao meu pai pela amizade e pelas indispensáveis caronas ao Fundão, Valongo e ON. Sem elas eu não teria chegado até aqui. A minha vó pela ajuda financeira e pelo carro. Ao Paulinho, eu agradeço pelo amor, compreensão e paciência. Obrigada também ao Panther por ter existido em minha vida e ao Zeca por existir.





# Conteúdo

Resumo	i
Abstract	iii
Agradecimentos	v
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2 Observações e Metodologia</b>	<b>7</b>
<b>3 Resultados</b>	<b>11</b>
3.1 Magnitudes Integradas . . . . .	11
3.1.1 Calibração Fotométrica . . . . .	11
3.2 Classificação Morfológica . . . . .	21
3.3 Perfis de Luminosidade . . . . .	35
3.4 Relação entre morfologia e perfis de luminosidade . . . . .	49
<b>4 Discussão e Perspectivas Futuras</b>	<b>53</b>
<b>Referências</b>	<b>57</b>
<b>Apêndices</b>	<b>59</b>
Apêndice A.1 . . . . .	59
Apêndice A.2 . . . . .	63
Apêndice A.3 . . . . .	65



# Lista de Figuras

3.1	Gráfico da diferença entre a magnitude observada e a magnitude encontrada na literatura em função da massa de ar, para a obtenção dos coeficientes de extinção e de ponto zero da escala de magnitude correspondente à banda B para a segunda noite de observação . . . . .	13
3.2	Gráfico da diferença entre a magnitude observada e a magnitude encontrada na literatura em função da massa de ar, para a obtenção dos coeficientes de extinção e de ponto zero da escala de magnitude correspondente à banda V para a segunda noite de observação . . . . .	14
3.3	Gráfico da diferença entre a magnitude observada e a magnitude encontrada na literatura em função da massa de ar, para a obtenção dos coeficientes de extinção e de ponto zero da escala de magnitude correspondente à banda R para a segunda noite de observação . . . . .	15
3.4	Gráfico da diferença entre a magnitude observada e a magnitude encontrada na literatura em função da massa de ar, para a obtenção dos coeficientes de extinção e de ponto zero da escala de magnitude correspondente à banda B para a terceira noite de observação . . . . .	16
3.5	Gráfico da diferença entre a magnitude observada e a magnitude encontrada na literatura em função da massa de ar, para a obtenção dos coeficientes de extinção e de ponto zero da escala de magnitude correspondente à banda V para a terceira noite de observação . . . . .	17
3.6	Gráfico da diferença entre a magnitude observada e a magnitude encontrada na literatura em função da massa de ar, para a obtenção dos coeficientes de extinção e de ponto zero da escala de magnitude correspondente à banda R para a terceira noite de observação . . . . .	18

- 3.7 Comparação entre as magnitudes observadas por nós e magnitudes da literatura para as ULIRGs da amostra. Os círculos azuis correspondem às magnitudes no filtro B, os triângulos verdes no filtro V e os quadrados vermelhos no filtro R. No canto inferior direito do gráfico encontra-se o valor do rms resultante do ajuste linear, para os três filtros. 19
- 3.8 NGC520 → Morfologia peculiar; parece haver duas componentes na diagonal, separadas por uma faixa de poeira; a primeira componente mostra uma região bem brilhante ao norte, com a segunda componente adjacente ao sul; esta parece menos brilhante do que a primeira componente. . . . . 22
- 3.9 NGC772 → Galáxia espiral com núcleo muito brilhante e com pequenas regiões de formação estelar ao longo do braço; há outras galáxias dentro do campo sendo que uma delas (NGC770) está em interação com a NGC772. . . . . 23
- 3.10 NGC3226 e NGC3227 → A galáxia espiral NGC3227 está interagindo com a esferoidal NGC3226; há uma grande quantidade de poeira em torno do sistema. . . . . 24
- 3.11 NGC3656 → Esta galáxia apresenta dois núcleos, um halo bem luminoso e uma faixa de poeira. . . . . 25
- 3.12 NGC1637 → É uma galáxia espiral individual com um núcleo bem brilhante; em 1999 foi descoberta uma supernova próxima ao núcleo. . 26
- 3.13 NGC1023 → É uma galáxia elíptica brilhante, com um pequeno núcleo; está localizada no centro de um grupo de galáxias. . . . . 27
- 3.14 NGC488 → É uma galáxia elíptica arredondada, com núcleo bem brilhante. . . . . 28
- 3.15 NGC523 → Galáxia com morfologia peculiar e uma grande quantidade de poeira; aparentemente apresenta dois núcleos localizados nas duas extremidades da galáxia, sendo o do lado direito mais brilhante. . . . 29
- 3.16 ARP31 → O catálogo de galáxias peculiares feito por Halton Arp, classifica a ARP31 como espiral com irregularidades nos braços, mas na nossa imagem ela aparece como uma espiral normal com pequenas regiões de formação estelar ao longo dos braços. . . . . 30

3.17 ARP141 → Galáxia com morfologia peculiar; apresenta extensões (material ejetado pela galáxia) que podem ser resultantes da colisão, e pequenas aglomerações . . . . .	31
3.18 ARP219 → Esta galáxia apresenta extensões e aparentemente está em processo de interação com uma outra galáxia que está logo acima. . .	32
3.19 ARP215 → Galáxia com núcleo brilhante e uma cauda a esquerda; tem uma morfologia peculiar. . . . .	33
3.20 O painel superior mostra a representação em preto e branco da imagem CCD com as elipses para a NGC520; e o painel inferior mostra as variações do brilho superficial em função de $R$ , $R^{1/4}$ e $\log(R)$ . . . . .	37
3.21 Idem para a NGC772. . . . .	38
3.22 Idem para a NGC3227. . . . .	39
3.23 Idem para a NGC3226. . . . .	40
3.24 Idem para a NGC1637. . . . .	41
3.25 Idem para a NGC1023. . . . .	42
3.26 Idem para a NGC488. . . . .	43
3.27 Idem para a NGC523. . . . .	44
3.28 Idem para a ARP31. . . . .	45
3.29 Idem para a ARP141. . . . .	46
3.30 Idem para a ARP219. . . . .	47
3.31 Idem para a ARP215. . . . .	48

Faint, illegible text listing figures and their corresponding page numbers, likely a table of contents for a technical document.

# Lista de Tabelas

2.1	Descrição das observações das ULIRGs da amostra. . . . .	8
2.2	Características das ULIRGs observadas. . . . .	9
3.1	Velocidade radial heliocêntrica e a velocidade utilizada no cálculo da magnitude absoluta, para cada galáxia. . . . .	20
3.2	Magnitudes integradas e calibradas por nós, e magnitudes absolutas nos três filtros para cada galáxia. . . . .	20
3.3	Resultados do ajuste linear para a região interna das galáxias. . . . .	50
3.4	Resultados do ajuste linear para a região externa das galáxias. . . . .	51
3.5	Melhor ajuste interno. . . . .	52
3.6	Melhor ajuste externo. . . . .	52

Lista de Tabelas

1. Tabela 1	15
2. Tabela 2	20
3. Tabela 3	25
4. Tabela 4	30
5. Tabela 5	35
6. Tabela 6	40
7. Tabela 7	45
8. Tabela 8	50
9. Tabela 9	55
10. Tabela 10	60



# Capítulo 1

## Introdução

Um dos maiores resultados do *Infrared Astronomical Satellite* (IRAS) foi a identificação de uma classe de galáxias luminosas no infravermelho (LIGs :  $L_{fir} > 10^{11} L_{\odot}$ ). Estes objetos emitem mais no infravermelho distante do que em todos os outros comprimentos de onda juntos.

Em luminosidades acima de  $10^{11} L_{\odot}$ , galáxias luminosas no infravermelho tornam-se a população dominante de objetos extragalácticos no Universo local ( $z < 0.5$ ), sendo mais numerosas do que galáxias *starburst* e *Seyfert* selecionadas no óptico (Sanders et al 1999).

As galáxias IRAS ultraluminosas (*ULIRGs - ultraluminous IRAS galaxies*), caracterizadas por suas altas luminosidades no infravermelho distante ( $L_{fir} > 10^{12} L_{\odot}$ ), são as galáxias mais luminosas no Universo Local (ver Sanders & Mirabel 1996). Através de recentes estudos feitos com o *Hubble Space Telescope* (HST), parece que a fração de ULIRGs que mostra evidências de interação está muito próxima de 100%, sendo que as mais próximas ( $z < 0.1$ ) parecem ser *mergers*<sup>1</sup> em estágio avançado, por não apresentarem sinais de interação proeminentes. Este é também o caso das ULIRGs mais luminosas ( $L_{fir} > 2.25 \times 10^{12} L_{\odot}$ , para  $H_0 = 50 \text{ Km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ). Estas ULIRGs podem representar um estágio importante na formação de QSOs (quasares) e poderosas rádio galáxias, e podem também representar um estágio inicial na formação de galáxias elípticas (Sanders et al 1988a; Sanders & Mirabel 1996; Melnick & Mirabel 1990). Nota-se também que a fração de *mergers* observados aumenta claramente com o aumento na luminosidade infravermelha, de aproximadamente 10% em  $L_{fir} < 10^{11} L_{\odot}$

---

<sup>1</sup>Palavra em inglês que significa fusão, e é um termo muito utilizado em artigos sobre o tema

até quase 100% para ULIRGs em  $L_{fir} > 10^{12} L_{\odot}$  (Sanders et al. 1988a; Melnick & Mirabel 1990; Kim 1995; Murphy et al 1996; Clements et al 1996). Acredita-se que estes processos (interação e/ou fusão) geram *starbursts*<sup>2</sup> e atividade nuclear central. Em regiões de intensa formação estelar, estão formando-se estrelas massivas do tipo O e B, as quais são estrelas muito quentes que emitem a maior parte da radiação na faixa do ultravioleta do espectro eletromagnético. Esta radiação aquece a poeira interestelar, que por sua vez reemite no infravermelho distante. Uma questão muito importante sobre as ULIRGs é a natureza de sua fonte de energia. Veilleux et al. (1997) mostraram que em luminosidades acima de  $10^{12.3} L_{\odot}$  o número de ULIRGs que apresentam núcleo galáctico ativo (AGN) aumenta bruscamente. Acredita-se que a fonte de energia das ULIRGs mais luminosas é principalmente o AGN, e a das menos luminosas é o *starburst*. Os *starbursts* e/ou AGNs são abastecidos por uma enorme concentração de gás molecular ( $\sim 10^{10} M_{\odot}$ ) que foi comprimido no núcleo *merger*. De fato, as ULIRGs que foram imageadas com o HST mostram evidências da existência de uma população de aglomerados de estrelas jovens ( $\sim 10^7$  anos) e massivas, embora estes aglomerados contribuam com menos da metade da luminosidade bolométrica da ULIRG (Surace & Sanders 1999). A maior parte da luminosidade parece estar concentrada em uma ou duas pequenas ( $r < 100 \text{ parsecs}$ <sup>3</sup>) regiões centradas no núcleo (ou núcleos), e provavelmente, são estas regiões compactas que “abrigam” *superstarbursts* e/ou um poderoso AGN. O intenso *starburst* circumnuclear presente na fase ULIRG pode também, representar um estágio inicial na formação de aglomerados globulares. Hipóteses razoáveis sobre o tempo de vida da fase infravermelha sugerem que uma fração substancial de todas as galáxias com  $L_B > 10^{10} L_{\odot}$  podem, em algum ponto de suas vidas, passar por uma fase de intensa emissão no infravermelho (Soifer et al. 1987). O tempo de vida médio da fase ULIRG, estimado a partir da separação média e velocidade relativa dos núcleos *mergers*, é aproximadamente de 2 a  $4 \times 10^8$  anos.

Imagens no óptico e infravermelho próximo das galáxias mais brilhantes no infravermelho, mostram claramente que uma fração substancial das LIGs são espirais que estão em colisão ou estão interagindo fortemente. Observações em comprimentos de onda milimétricos, mostram que estas espirais são ricas em gás molecular -  $M(H_2) \sim 10^9 - 3 \times 10^{10} M_{\odot}$  (Sanders et al. 1991) - e que a concentração central deste

<sup>2</sup>Regiões de intensa formação estelar recente, com uma extensão de centenas de parsecs

<sup>3</sup>Parsec é uma unidade de distância muito usada em astronomia, e é normalmente abreviada como pc;  $1 \text{ pc} \sim 3.1 \times 10^{16} \text{ m}$

gás, aumenta com a luminosidade no infravermelho.

Outros estudos recentes de uma grande amostra de ULIRGs imageadas com HST e espectroscopia (Borne et al. 1997,a,b, 1999a,b, 2000; Colina et al. 1999, 2000; Arribas et al. 2000) mostraram alguns resultados interessantes. Em alguns casos as imagens indicam que os *mergers* são bem desenvolvidos com um único núcleo, enquanto outros mostram 2 ou mais núcleos e o resto da amostra é melhor descrita como grupos compactos de 2 ou mais galáxias distintas. Uma possível explicação para esta diversidade é o modelo do múltiplo *merger*. As galáxias que parecem ter se desenvolvido a partir de múltiplos *mergers*, mostram algumas evidências. Estas incluem a presença de mais do que dois núcleos remanescentes distintos e bem separados, ou mais do que duas galáxias, frequentemente com um sistema complexo de caudas e extensões, como visto nas simulações de Weil & Hernquist (1996). Isto então dá base à hipótese de que os grupos compactos são os progenitores de algumas ULIRGs. A partir de uma amostra de quase 130 ULIRGs notou-se que  $\sim 98\%$  apresentam vizinhas próximas, distúrbios de maré, ou encontram-se em processo de *merging*. Em vários casos as galáxias foram anteriormente classificadas como isoladas e/ou não perturbadas a partir de imagens de baixa resolução. Os dados espectroscópicos indicam que pequenas regiões luminosas e ricas em gás estão presentes em muitas ULIRGs.

A morfologia das ULIRGs está provavelmente relacionada com os diferentes estágios da colisão e/ou interação, e com o meio ambiente. Simulações numéricas (Weil & Hernquist 1996) mostram que remanescentes de múltiplos *mergers* são mais arredondados do que os de um *merging* binário, já que este tende a produzir objetos mais alongados. Por isso acredita-se que ULIRGs de aparência arredondada residam em grupos de galáxias. Estas galáxias provavelmente estão no estágio final do *merging* e são objetos mais relaxados; se ajustam bem à lei de  $R^{1/4}$ . Este é o caso de algumas ULIRGs como IR 09427+1929, IR 17432-5157, IR 23140+0348 e IR 04025-8303 (Zheng et al. 1999). À medida em que o processo de relaxação acontece, uma galáxia elíptica ou SO vai se formando, dependendo da razão entre as massas iniciais dos progenitores do *merging* (Barnes 1998).

As ULIRGs são fascinantes, pois permitem um estudo detalhado dos processos pelos quais o meio intergaláctico foi aquecido e poluído e os esferóides massivos (elípticas e bojos) foram formados, e também porque se assemelham às galáxias mais luminosas

e com maior quantidade de poeira em altos *redshifts*<sup>4</sup>. Estas galáxias são excelentes laboratórios locais, nos quais a física e fenomenologia da formação da galáxia podem ser estudadas com mais detalhes do que em altos *redshifts*. Algumas das lições que temos aprendido com o estudo das ULIRGs locais têm grandes implicações. Estas incluem o papel dos *mergers* galácticos na formação de (algumas/todas) galáxias elípticas (Schweizer1997), a eficácia aparente com que tais *mergers* podem transportar muito do material interestelar das galáxias *merging* para a região circumnuclear (Mihos & Hernquist 1994), o subsequente início da formação estelar circumnuclear, e o resultante aquecimento e enriquecimento da abundância de elementos pesados do meio intergaláctico através dos “super ventos” gerados por milhões de supernovas e ventos estelares no *starburst* (Heckman et al 1996).

De acordo com modelos atuais, a formação de uma galáxia é um processo, e não um evento. Logo, perguntar se galáxias normais sempre passam por uma fase ultraluminosa é uma questão razoável. Mais precisamente: o fenômeno ultraluminoso poderia ser uma parte integral da formação de esferóides galácticos (elípticas e bojos)?

O avanço recente nas observações de galáxias em altos *redshifts*, significa que vamos poder começar a responder questões como esta. Futuras missões espaciais no infravermelho e *surveys* mais sensíveis em comprimentos de onda submilimétricos, provavelmente identificarão ULIRGs mais distantes. Isto nos permitirá verificar se as ULIRGs eram mais numerosas em  $z \sim 1-4$ , quando presumimos que a maior parte de elípticas se formaram a partir de *mergers* de espirais.

Uma questão que sempre estamos nos perguntando é para onde estes objetos evoluem. Uma maneira de responder a esta questão é procurar sistemas estelares em *redshift*  $z=0$  com densidades centrais (ver a fig.1 de Binggeli 1994 para medidas de densidades estelares em galáxias locais) em torno de  $100M_{\odot}pc^{-3}$  ou maior, que é o valor encontrado no núcleo das ULIRGs. Kormmendy & Sanders (1992) fizeram esta comparação e mostraram que os únicos candidatos em  $z=0$  eram núcleos de galáxias elípticas gigantes (Eg). Uma conexão adicional entre os densos núcleos moleculares das ULIRGs e os núcleos das elípticas gigantes, é que suas massas e tamanhos são similares, além de suas densidades. A massa típica para ambos está em torno de  $10^9M_{\odot}$  e o raio é de aproximadamente algumas centenas de parsecs (ver Sakamoto et al. 1999 para detalhes da ARP220, a ULIRG mais próxima, e Lauer et al. 1985 para

---

<sup>4</sup>Desvio para o vermelho

as propriedades dos núcleos de elípticas gigantes ). Mas, por outro lado verificou-se que estes núcleos de Eg têm perfis que são mais achatados do que a lei de  $R^{1/4}$  para pequenos raios, o que significa que ainda não podemos responder esta questão.

Embora o destino final das ULIRGs ainda não seja bem compreendido, mais e mais observações mostram que os remanescentes de *mergers* se assemelham a galáxias elípticas ou S0. Por exemplo, o perfil de brilho superficial da IRAS 20551-4250 é razoavelmente bem ajustado à lei de  $R^{1/4}$  (Johansson 1991). Arp220 e NGC6240, as duas ULIRGs mais próximas, têm densidades, dispersões de velocidade e distribuições de brilho superficial central consistentes com o plano fundamental de galáxias elípticas (Doyon et al. 1994). Baker & Clements (1997) estudaram a população estelar velha de 10 ULIRGs próximas, com imagens no infravermelho próximo e concluíram que 8 destas ULIRGs mostram sinais de estrutura elíptica.

Toomre & Toomre (1972) reproduziram com sucesso, as pontes e caudas observadas, usando simulações de duas galáxias disco colidindo. Em 1977, Toomre apresentou a hipótese de que todas as galáxias elípticas poderiam ser remanescentes de *merger* de galáxias disco. Simulações posteriores melhoraram a resolução espacial e deram um tratamento mais realista aos progenitores, adicionando componentes como bojo, halos massivos de matéria escura e gás (White 1978; Farouki & Shapiro 1982; Negroponte & White 1983; Barnes 1992; Hernquist 1992; Heyl et al. 1994; Barnes & Hernquist 1996; Weil & Hernquist 1996; Walker et al. 1996; Mihos & Hernquist 1994). Estas simulações concluem que uma grande faixa de condições iniciais podem resultar na formação de galáxias *early-type*<sup>5</sup>. Além das características elípticas dos remanescentes *mergers* simulados (como por exemplo a lei de  $R^{1/4}$  do perfil de brilho superficial), algumas simulações também tentam revelar a estrutura fina dos remanescentes tal como o formato das isofotas, extensões e caudas (ver Heyl et al. 1994; Springel & White 1998). Como *mergers* de pares de galáxias não produzem todas as características observadas das elípticas, múltiplos *mergers* têm sido considerados (Mamon 1987, Barnes 1984, Barnes 1985, Barnes 1989, Schweizer 1989; Weil & Hernquist 1996); múltiplo *merging* pode ocorrer em grupos compactos, como aqueles descobertos por Hickson (1982,1993).

Enquanto as simulações indicam que *merging* de duas ou mais galáxias disco podem facilmente levar a formação de elípticas, é muito importante testar estas previsões

---

<sup>5</sup> *early-type* são as galáxias elípticas e lenticulares, e *late-type* são as espirais e irregulares

empiricamente. Para este propósito as ULIRGs são ideais, já que, como vimos, estão relacionadas a *merging* e interações de galáxias (Murphy et al. 1996, Clements et al. 1996).

Neste projeto, nós analisamos a fotometria superficial de 13 ULIRGs observadas através de imagens CCD, com o telescópio 2.5m Isaac Newton das Ilhas Canárias. No Capítulo 2 apresentamos as características principais da amostra e descrevemos a metodologia utilizada no tratamento das imagens. No Capítulo 3 é descrita a metodologia para a obtenção das magnitudes integradas e perfis de luminosidade. Neste mesmo capítulo apresentamos o resultado dos ajustes dos perfis para a parte interna e externa de cada galáxia. Depois fizemos uma descrição das ULIRGs seguida de uma classificação morfológica. E por fim relacionamos os melhores ajustes com a classe morfológica das galáxias. A discussão dos resultados obtidos neste trabalho e as perspectivas futuras são apresentadas no último capítulo deste projeto.

## Capítulo 2

# Observações e Metodologia

As imagens CCD das ULIRGs que apresentamos neste trabalho foram obtidas numa missão observacional no período entre 02 e 04 de dezembro de 1992, com telescópio de 2.5m do el Roque de Los Muchachos nas Ilhas Canárias, Espanha. As observações foram feitas com um CCD de 1240 x 1150 pixels, sendo que cada pixel é igual a 0.55", correspondendo portanto a um campo de 11.4' x 10.5'.

Nossa amostra é composta de 13 ULIRGs. Estas foram observadas nos filtros B,V e R do sistema Johnson-Cousins, que possuem comprimentos de onda centrais iguais a 4400Å, 5500Å e 6400Å respectivamente. As galáxias foram observadas com tempos de integração que variaram entre 100 e 1000 segundos. Alguns objetos foram observados somente na banda R. Foram também observadas durante a missão uma série de estrelas padrão fotométricas, que utilizamos para determinarmos as equações de transformação para calibração fotométrica.

A descrição das observações das ULIRGs da amostra é feita na Tabela 2.1. A coluna (1) indica a identificação da galáxia; a coluna (2) apresenta o filtro utilizado; a coluna (3) lista o tempo de exposição em segundos; e a coluna (4) indica a data da observação .

Os dados foram reduzidos através dos programas padrão do pacote *Image Reduction and Analysis Facility* (IRAF). As imagens CCD obtidas foram subtraídas da imagem final de *bias* e divididas pela imagem final de *flatfield* usando-se o programa CCDPROC. A seguir, uma breve descrição de cada uma dessas imagens :

\* *BIAS* - estas imagens são exposições de zero segundo de integração , e combinadas de modo a obtermos o padrão de ruído de leitura do CCD.

\* *FLATFIELD* - estas exposições são usadas para retirar as variações de

ULIRGs	Filtro	$t_{exp}(s)$	Data
Arp31	R	200	04/12/92
Arp141	B	900	04/12/92
	V	600	04/12/92
	R	500	04/12/92
Arp215	R	600	03/12/92
Arp219	R	100	04/12/92
NGC488	R	300	03/12/92
NGC520	B	1000	03/12/92
	V	600	03/12/92
	R	400	03/12/92
NGC523	B	700	03/12/92
	V	300	03/12/92
	R	300	03/12/92
NGC772	R	300	02/12/92
NGC1023	B	500	03/12/92
	V	300	03/12/92
	R	200	03/12/92
NGC1637	B	300	02/12/92
	R	300	02/12/92
NGC3227	B	900	03/12/92
	V	600	03/12/92
	R	600	03/12/92
NGC3226	B	900	03/12/92
	V	600	03/12/92
	R	600	03/12/92
NGC3656	B	900	03/12/92

Tabela 2.1: Descrição das observações das ULIRGs da amostra.



ULIRGs	AR (2000)	DEC (2000)	z	$v_{hel}$ (km/s)
ngc520	01h24m34.9s	+03g47m30s	0.008	2281
ngc772	01h59m19.8s	+19g00m30s	0.008	2472
ngc3227	10h23m30.6s	+19g51m54s	0.004	1157
ngc3226	10h23m27.0s	+19g53m54s	0.004	1151
ngc3656	11h23m38.4s	+53g50m31s	0.009	2869
ngc1637	04h41m28.1s	-02g51m30s	0.002	717
ngc1023	02h40m24.1s	+39g03m46s	0.002	637
ngc488	01h21m46.8s	+05g15m25s	0.007	2272
ngc523	01h25m20.8s	+34g01m29s	0.016	4758
arp31	01h51m08.6s	+21g54m45s	0.010	2931
arp141	07h14m21.0s	+73g28m31s	0.009	2735
arp219	03h39m53.2s	-02g06m47s	0.035	10521
arp215	09h14m05.1s	+40g06m49s	0.008	2562

Tabela 2.2: Características das ULIRGs observadas.

sensibilidade pixel a pixel ao longo do CCD. Como estas imagens vão calibrar a resposta do detetor em cada pixel, é necessário fazer observações de alguma fonte uniformemente iluminada. No nosso caso utilizamos a luz do próprio céu ao entardecer, o que chamamos de *twilight flat*.

A Tabela 2.2 apresenta as principais características da nossa amostra. A coluna (1) indica a identificação da galáxia; as colunas (2) e (3) mostram a ascensão reta e a declinação em coordenadas de 2000.0; a coluna (4) indica o desvio para vermelho; e a coluna (5) mostra a velocidade heliocêntrica. As informações listadas nesta tabela foram obtidas a partir do NED (*Nasa Extragalactic DataBase*)

Neste trabalho de fotometria superficial, o principal objetivo é derivar a magnitude integrada das galáxias e obter os perfis de luminosidade. Mas algumas imagens apresentavam estrelas em torno da galáxia e/ou galáxia com centro saturado. Então para que isto não acarretasse nenhum tipo de efeito na fotometria, tivemos que fazer alguns procedimentos.

Primeiramente as estrelas foram cuidadosamente retiradas com uso da tarefa IMCOPY. A região ocupada pela estrela é substituída por uma região do céu adjacente e de mesmo tamanho. A saturação do núcleo das galáxias foi corrigida com a tarefa IMCALC, a qual nos permite fazer operações matemáticas com as imagens, através de

expressões lógicas. Combinamos duas imagens (do mesmo objeto) : uma de curta exposição , na qual o centro não estava saturado, com uma imagem de longa exposição , de forma que apenas os pixels saturados (contagem > 59000) são substituídos pelos pixels correspondentes da imagem de curta exposição escalada ao tempo de exposição da imagem de longa. Para ilustrar este último procedimento, apresentamos abaixo um exemplo de como a tarefa IMCALC opera:

lpar imcalc

input = "iras0140.fits,iras0141.fits" input image names

output = "iras0140final.fits" output image name

equals = "if im2 < 59000 then im2 else (im1 \* 10.21)" command string

(pixtype = "real") output pixel type

(nullval = 0.) value to substitute for undefined expression

(verbose = yes) print percent done?

(mode = "al")

OBS : iras0140.fits (centro não saturado);iras0141.fits (centro saturado)

Neste ponto estamos prontos para iniciar a fotometria superficial,ou seja, podemos derivar as magnitudes integradas e obter os perfis de brilho.

# Capítulo 3

## Resultados

### 3.1 Magnitudes Integradas

As magnitudes integradas foram calculadas utilizando-se a tarefa PHOT. Esta tarefa mede a contagem total de uma certa imagem dentro de aberturas circulares, já subtraindo o céu correspondente, que é medido dentro de um anel circular que escolhemos para cada caso. A tarefa PHOT nos fornece a magnitude instrumental, que depois foi calibrada por nós conforme descrito abaixo.

#### 3.1.1 Calibração Fotométrica

Para se obter os coeficientes de extinção e os valores de ponto zero da escala de magnitude, as imagens das estrelas padrão foram processadas seguindo a metodologia discutida na seção anterior, ou seja, tiveram o *bias* subtraído e foram divididas pelo *flatfield*. As estrelas saturadas foram checadas com a tarefa IMEXAMINE fazendo-se perfis e superfícies, e não foram utilizadas no cálculo dos coeficientes.

Após este procedimento estávamos prontos para derivar a magnitude instrumental das estrelas padrão, o que foi feito com PHOT. Para cada imagem determinamos os raios internos e externos onde se quer calcular a magnitude da estrela e onde se quer determinar o valor do céu. Em cada imagem essas regiões foram escolhidas de modo a evitar a inclusão de outras estrelas em seus interiores.

Tendo a magnitude instrumental das estrelas padrão, estamos aptos para obter o coeficiente de extinção e o valor de ponto zero, para cada noite nas bandas B,V e R :

$$mag_{inst} - mag_{lit} = KX - \phi$$

onde  $mag_{inst}$  é a medida da magnitude total instrumental;  $mag_{lit}$  é a magnitude encontrada na literatura;  $K$  é o coeficiente de extinção ;  $X$  é a massa de ar; e  $\phi$  é o coeficiente de ponto zero da escala de magnitude.

Então fizemos um gráfico da  $(mag_{inst} - mag_{lit})$  em função da massa de ar, e ajustamos uma reta aos pontos. Pela equação acima, podemos notar que o coeficiente angular da reta corresponde ao coeficiente de extinção e o coeficiente linear corresponde ao ponto zero da escala de magnitude. A seguir apresentamos os gráficos da  $(mag_{inst} - mag_{lit})$  das estrelas observadas durante a missão em função da massa de ar, para cada noite e para cada banda. Os gráficos foram obtidos através de um programa feito no Super Mongo<sup>1</sup> e as rotinas utilizadas para a obtenção destes gráficos são apresentadas no Apêndice A.1. Os resultados do ajuste linear - RMS, coeficiente de extinção e o ponto zero da escala de magnitude, com seus respectivos erros - são apresentados no canto inferior direito de cada gráfico.

Agora, podemos obter as magnitudes calibradas das galáxias. A calibração fotométrica é feita utilizando-se os valores de ponto zero da escala de magnitude e coeficiente de extinção determinados a partir das estrelas padrão conforme descrito anteriormente. A transformação de magnitude instrumental em magnitude calibrada é feita da seguinte maneira :

$$mag_{cal} = mag_{inst} + 2.5\log(t) - KX - \phi$$

onde  $t$  é o tempo de exposição ;  $K$  é o coeficiente de extinção ;  $X$  é a massa de ar;  $\phi$  é o coeficiente de ponto zero da escala de magnitude; e a  $mag_{inst}$  é a medida da magnitude total instrumental.

Em seguida fizemos o cálculo das magnitudes absolutas a partir do módulo de distância:

$$M = mag_{cal} - 5\log(d) - 25 ; d = v/H_o \text{ (lei de Hubble)}$$

onde  $M$  é a magnitude absoluta;  $mag_{cal}$  é a magnitude calibrada;  $d$  é a distância da galáxia em pc;  $H_o$  é a constante de Hubble (usamos  $H_o = 50 \text{ Km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ); e  $v$  não é a velocidade heliocêntrica, e sim a velocidade corrigida dos movimentos peculiares, em  $\text{Km s}^{-1}$ . Esta conversão foi necessária, porque como todas as ULIRGs da amostra estão próximas ( $z < 0.04$ ), elas apresentam movimentos peculiares que devem ser corrigidos a fim de que possamos utilizar a lei de Hubble. Isto porque a distância

---

<sup>1</sup>Pacote computacional de rotinas estatísticas e produção gráfica

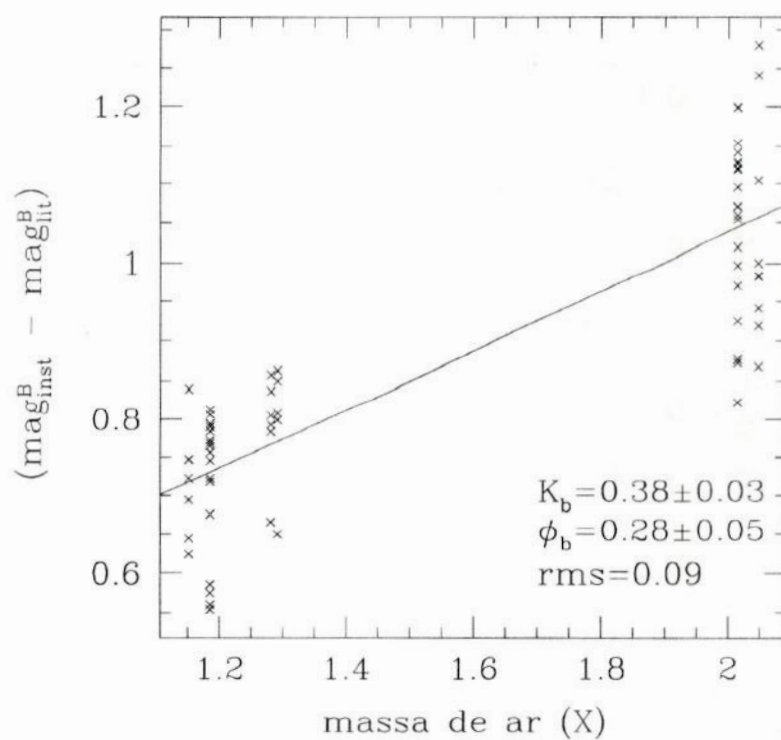


Figura 3.1: Gráfico da diferença entre a magnitude observada e a magnitude encontrada na literatura em função da massa de ar, para a obtenção dos coeficientes de extinção e de ponto zero da escala de magnitude correspondente à banda B para a segunda noite de observação .

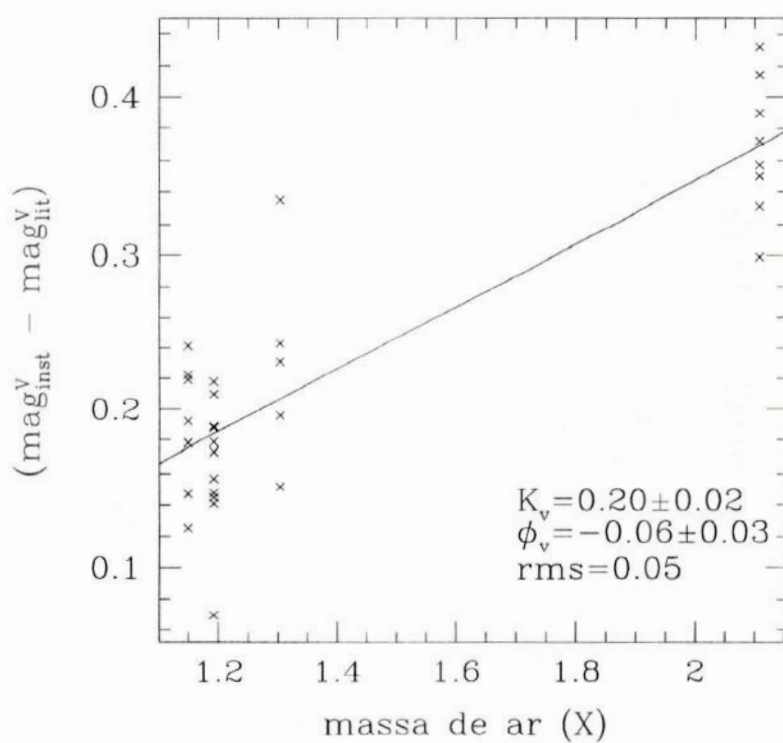


Figura 3.2: Gráfico da diferença entre a magnitude observada e a magnitude encontrada na literatura em função da massa de ar, para a obtenção dos coeficientes de extinção e de ponto zero da escala de magnitude correspondente à banda V para a segunda noite de observação .

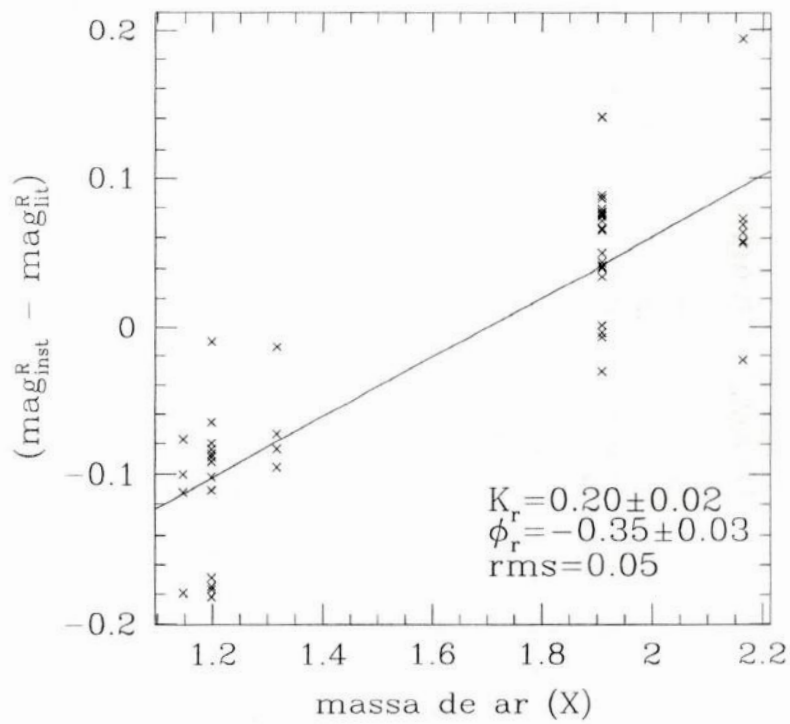


Figura 3.3: Gráfico da diferença entre a magnitude observada e a magnitude encontrada na literatura em função da massa de ar, para a obtenção dos coeficientes de extinção e de ponto zero da escala de magnitude correspondente à banda R para a segunda noite de observação .

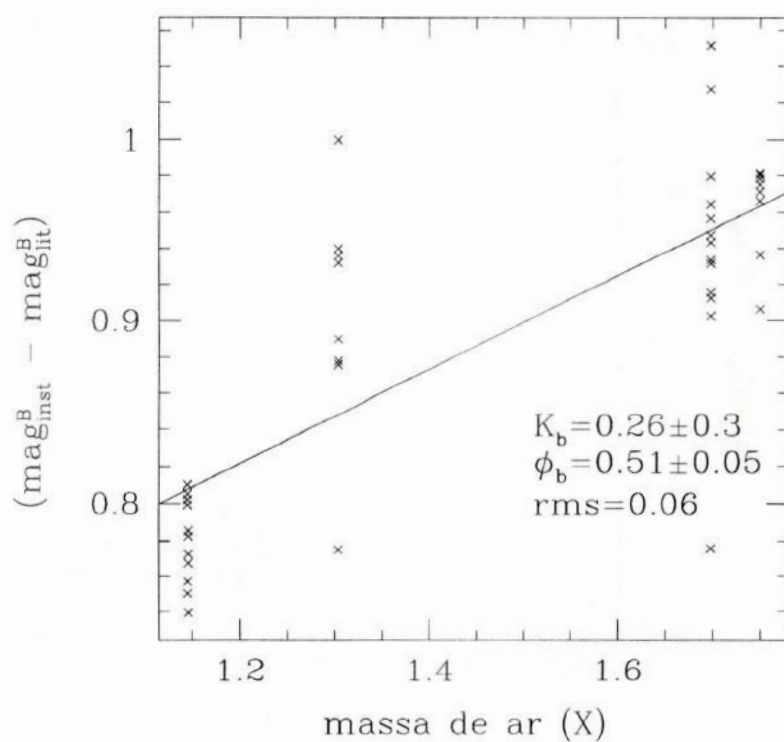


Figura 3.4: Gráfico da diferença entre a magnitude observada e a magnitude encontrada na literatura em função da massa de ar, para a obtenção dos coeficientes de extinção e de ponto zero da escala de magnitude correspondente à banda B para a terceira noite de observação .



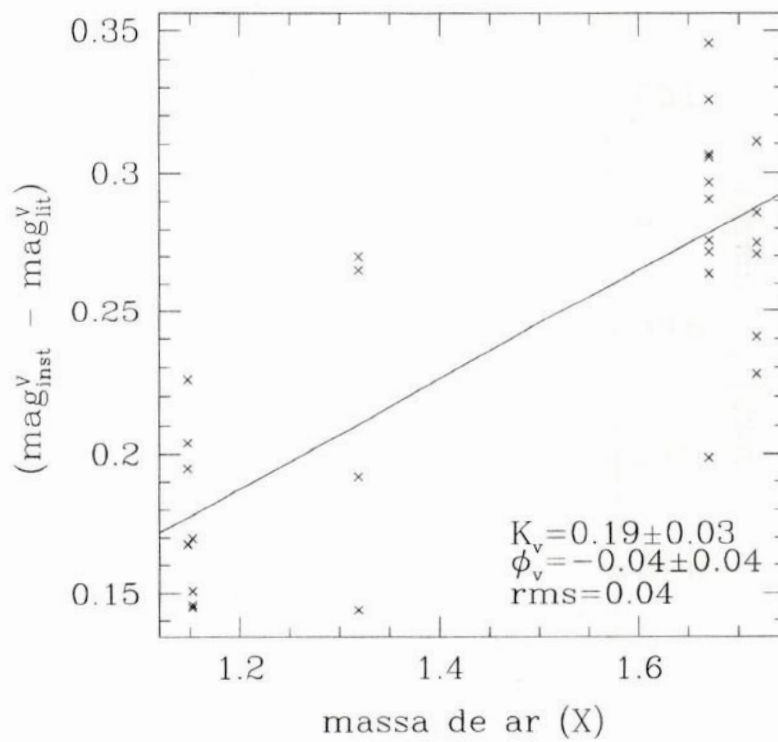


Figura 3.5: Gráfico da diferença entre a magnitude observada e a magnitude encontrada na literatura em função da massa de ar, para a obtenção dos coeficientes de extinção e de ponto zero da escala de magnitude correspondente à banda V para a terceira noite de observação .

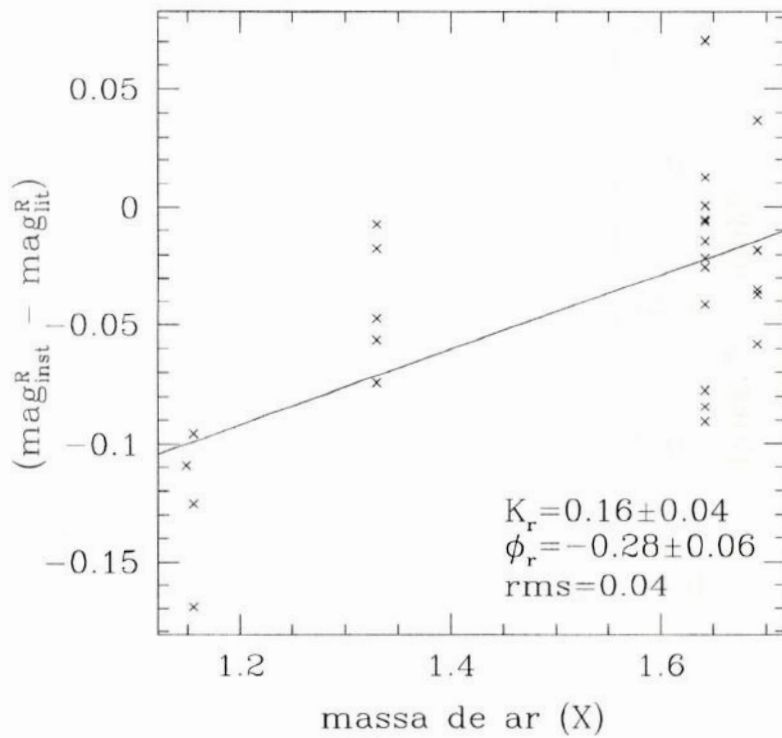


Figura 3.6: Gráfico da diferença entre a magnitude observada e a magnitude encontrada na literatura em função da massa de ar, para a obtenção dos coeficientes de extinção e de ponto zero da escala de magnitude correspondente à banda R para a terceira noite de observação .

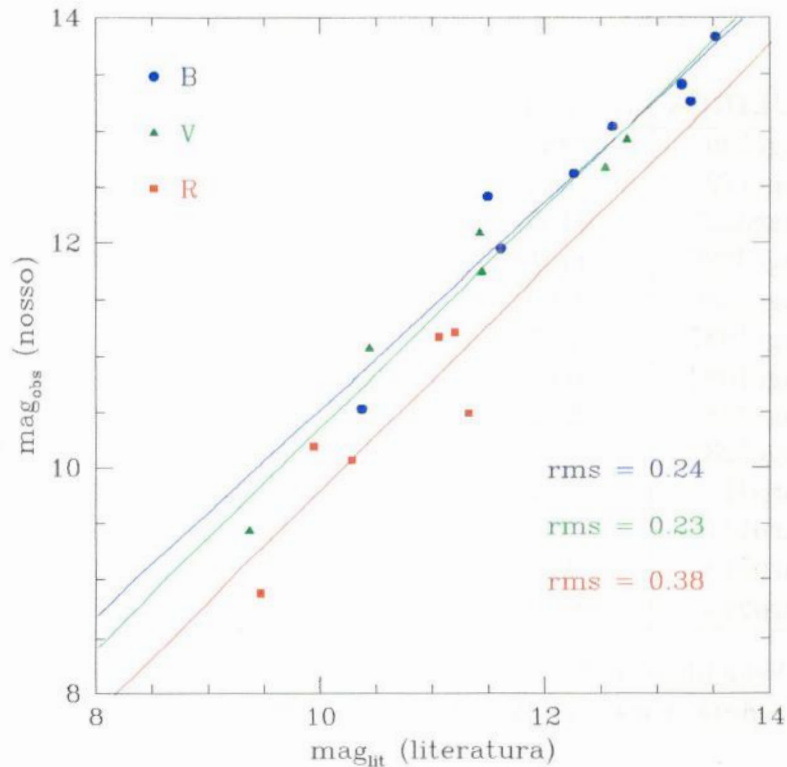


Figura 3.7: Comparação entre as magnitudes observadas por nós e magnitudes da literatura para as ULIRGs da amostra. Os círculos azuis correspondem às magnitudes no filtro B, os triângulos verdes no filtro V e os quadrados vermelhos no filtro R. No canto inferior direito do gráfico encontra-se o valor do rms resultante do ajuste linear, para os três filtros.

obtida a partir da lei de Hubble só é válida para galáxias a grandes distâncias. A correção das velocidades foi feita através do NED e os resultados são mostrados na Tabela 3.1. A coluna (1) mostra o nome das galáxias, a coluna (2) indica a velocidade heliocêntrica, a coluna (3) mostra a velocidade corrigida dos movimentos peculiares ; e a coluna (4) mostra o módulo da diferença entre as duas velocidades.

Na Tabela 3.2 a coluna (1) mostra o nome das galáxias; as colunas (2),(3) e (4) indicam as magnitudes integradas obtidas com a nossa calibração com seus respectivos erros fotométricos internos para os filtros B,V e R respectivamente; e as colunas (5),(6),(7) listam as magnitudes absolutas para cada filtro.

Na Figura 3.7 (este gráfico foi obtido através de um programa feito no Super Mongo, e as rotinas são apresentadas no Apêndice A.2), mostramos a comparação en-

ULIRGs	$v_{hel}$ (km/s)	$v_{corr}$ (km/s)	$ v_{hel} - v_{corr} $ (km/s)
ngc520	2281	1970	311
ngc772	2472	2197	275
ngc3227	1157	1480	323
ngc3226	1151	1474	323
ngc3656	2869	3049	180
ngc1637	717	670	47
ngc1023	637	432	205
ngc488	2272	1958	314
ngc523	4758	4477	281
arp31	2931	2651	280
arp141	2735	2745	10
arp219	10521	10378	143
arp215	2562	2778	216

Tabela 3.1: Velocidade radial heliocêntrica e a velocidade utilizada no cálculo da magnitude absoluta, para cada galáxia.

ULIRGs	$m_b$	$m_v$	$m_r$	$M_b$	$M_v$	$M_r$
ngc520	$12.64 \pm 0.05$	$11.75 \pm 0.03$	$11.19 \pm 0.03$	-20.34	-21.23	-21.79
ngc772			$10.08 \pm 0.03$			-23.14
ngc3227	$11.96 \pm 0.05$	$11.09 \pm 0.03$	$10.51 \pm 0.03$	-20.4	-21.27	-21.84
ngc3226	$13.06 \pm 0.05$	$12.10 \pm 0.03$	$11.51 \pm 0.03$	-19.29	-20.25	-20.84
ngc3656	$13.28 \pm 0.05$			-20.65		
ngc1637	$12.43 \pm 0.05$		$11.38 \pm 0.03$	-18.20		-19.25
ngc1023	$10.55 \pm 0.05$	$9.45 \pm 0.03$	$8.90 \pm 0.03$	-19.13	-20.24	-20.79
ngc488			$10.20 \pm 0.06$			-22.76
ngc523	$13.84 \pm 0.05$	$12.94 \pm 0.04$	$12.35 \pm 0.06$	-20.92	-21.82	-22.41
arp31			$13.05 \pm 0.06$			-20.58
arp141	$13.43 \pm 0.05$	$12.69 \pm 0.04$	$12.17 \pm 0.06$	-20.27	-21.00	-21.53
arp219			$13.81 \pm 0.06$			-22.78
arp215			$11.23 \pm 0.03$			-22.49

Tabela 3.2: Magnitudes integradas e calibradas por nós, e magnitudes absolutas nos três filtros para cada galáxia.

tre as magnitudes integradas das ULIRGs obtidas com a nossa calibração e as magnitudes da literatura listadas no NED, nos três filtros (B,V e R). Os valores de RMS mostram que existe uma diferença entre as magnitudes observadas por nós e magnitudes da literatura, mas podemos perceber que esta diferença é maior do que os nossos erros fotométricos. Além disso esta diferença está de acordo com o erro fotométrico encontrado na época em que estas magnitudes (listadas no NED) foram medidas, época na qual as observações eram feitas em placas fotográficas.

## 3.2 Classificação Morfológica

As Figuras 3.8 - 3.19 apresentam as imagens CCD coloridas originadas da combinação nas bandas B,V e R, feita pela tarefa RGB SUN. Para aquelas galáxias que foram observadas apenas em um filtro, apresentamos a imagem em preto e branco. As legendas dessas figuras mostram uma breve descrição de cada uma das ULIRGs. Com base nas notas individuais de cada galáxia (descritas nas legendas das Figuras 3.8 a 3.19), dividimos as ULIRGs em três classes morfológicas :

**Grupo I :** Neste grupo estão as galáxias que não apresentam sinais de interação e/ou fusão. Estas galáxias podem estar num estágio avançado de fusão, e representar a fase inicial de uma galáxia elíptica (NGC1023, NCG488, NGC1637, ARP31).

**Grupo II :** Fazem parte deste grupo aquelas galáxias que estão em processo de interação (NGC772,NGC3226,NGC3227,ARP219). Das quatro galáxias, a única que já apresenta sinais de interação (como por exemplo *loops*) é a ARP219. O que acontece é que muitas vezes o encontro entre as galáxias não é forte o suficiente para resultar em fusão. Neste tipo de interação a estrutura das duas galáxias se mantém, mas as forças de maré ( $F_{mar} \propto r^{-3}$ , onde r é a separação entre as galáxias) podem fazer surgir extensões. Provavelmente este é o caso da ARP219.

**Grupo III :** Este grupo é formado pelas galáxias que apresentam morfologia peculiar, ou seja, objetos que mostram fortes sinais de interação e/ou fusão como por exemplo extensões, caudas e múltiplos núcleos. As simulações numéricas têm reproduzido este tipo de morfologia através de interações de maré em colisões entre galáxias (NGC520,NGC523,NGC3656,ARP141,ARP215).



Figura 3.8: NGC520 → Morfologia peculiar; parece haver duas componentes na diagonal, separadas por uma faixa de poeira; a primeira componente mostra uma região bem brilhante ao norte, com a segunda componente adjacente ao sul; esta parece menos brilhante do que a primeira componente.



Figura 3.9: NGC772 → Galáxia espiral com núcleo muito brilhante e com pequenas regiões de formação estelar ao longo do braço; há outras galáxias dentro do campo sendo que uma delas (NGC770) está em interação com a NGC772.

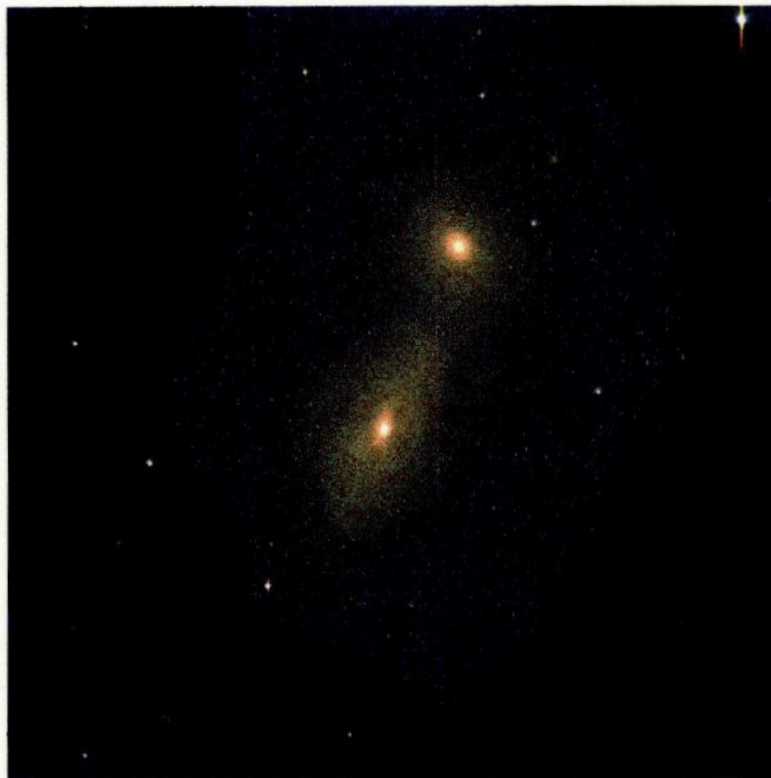


Figura 3.10: NGC3226 e NGC3227 → A galáxia espiral NGC3227 está interagindo com a esferoidal NGC3226; há uma grande quantidade de poeira em torno do sistema.



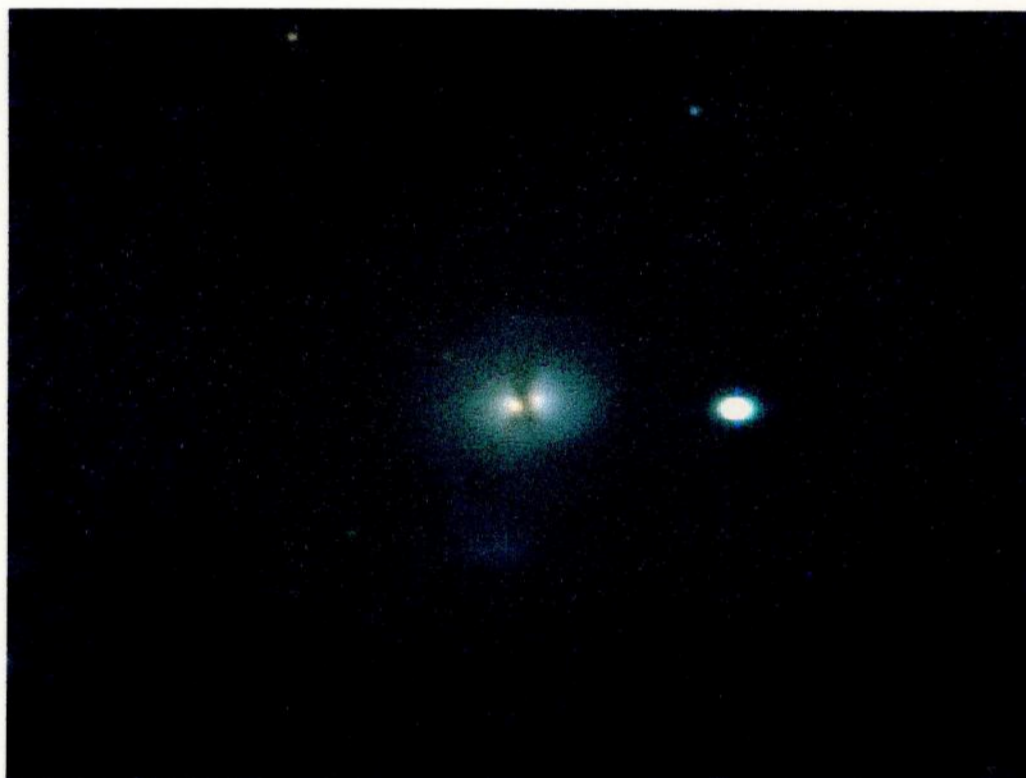


Figura 3.11: NGC3656 → Esta galáxia apresenta dois núcleos, um halo bem luminoso e uma faixa de poeira.



Figura 3.12: NGC1637 → É uma galáxia espiral individual com um núcleo bem brilhante; em 1999 foi descoberta uma supernova próxima ao núcleo.



Figura 3.13: NGC1023 → É uma galáxia elíptica brilhante, com um pequeno núcleo; está localizada no centro de um grupo de galáxias.

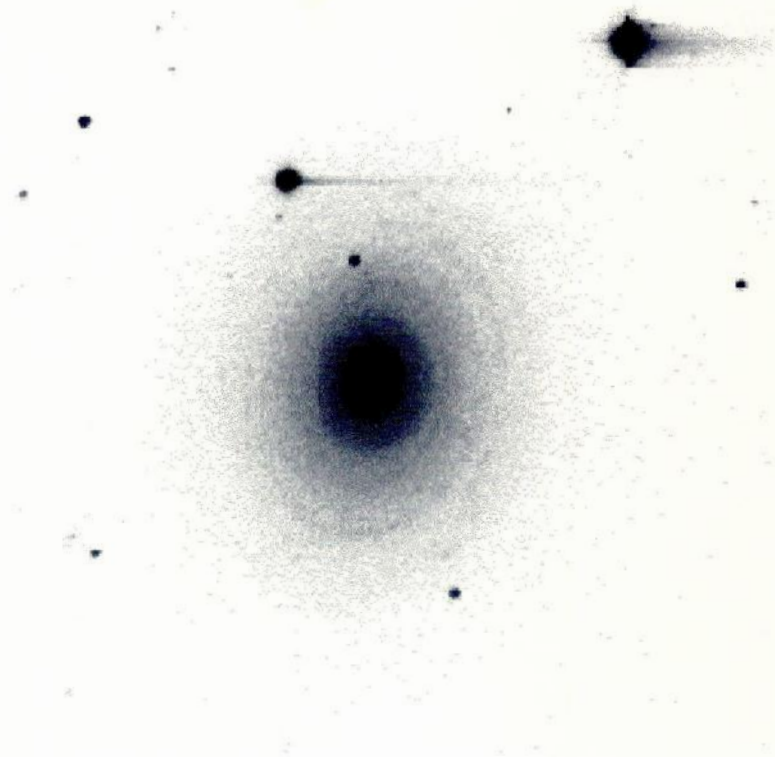


Figura 3.14: NGC488 → É uma galáxia elíptica arredondada, com núcleo bem brilhante.

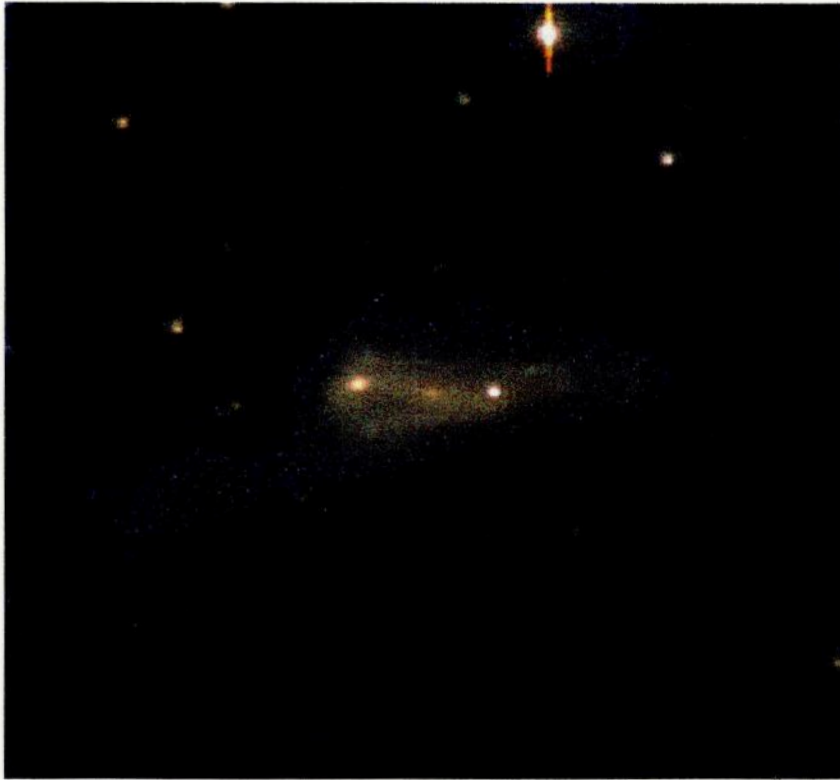


Figura 3.15: NGC523 → Galáxia com morfologia peculiar e uma grande quantidade de poeira; aparentemente apresenta dois núcleos localizados nas duas extremidades da galáxia, sendo o do lado direito mais brilhante.

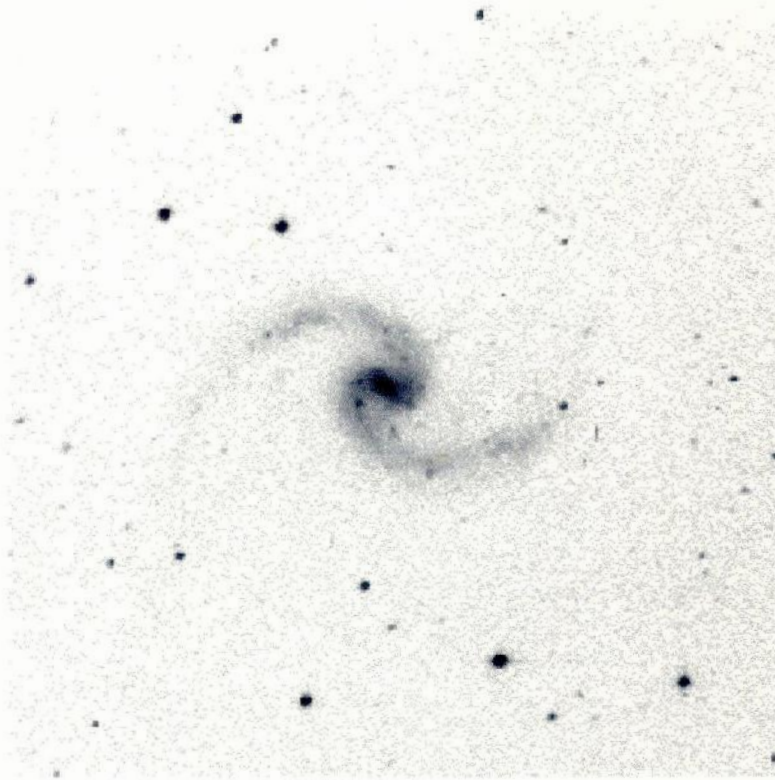


Figura 3.16: ARP31 → O catálogo de galáxias peculiares feito por Halton Arp, classifica a ARP31 como espiral com irregularidades nos braços, mas na nossa imagem ela aparece como uma espiral normal com pequenas regiões de formação estelar ao longo dos braços.

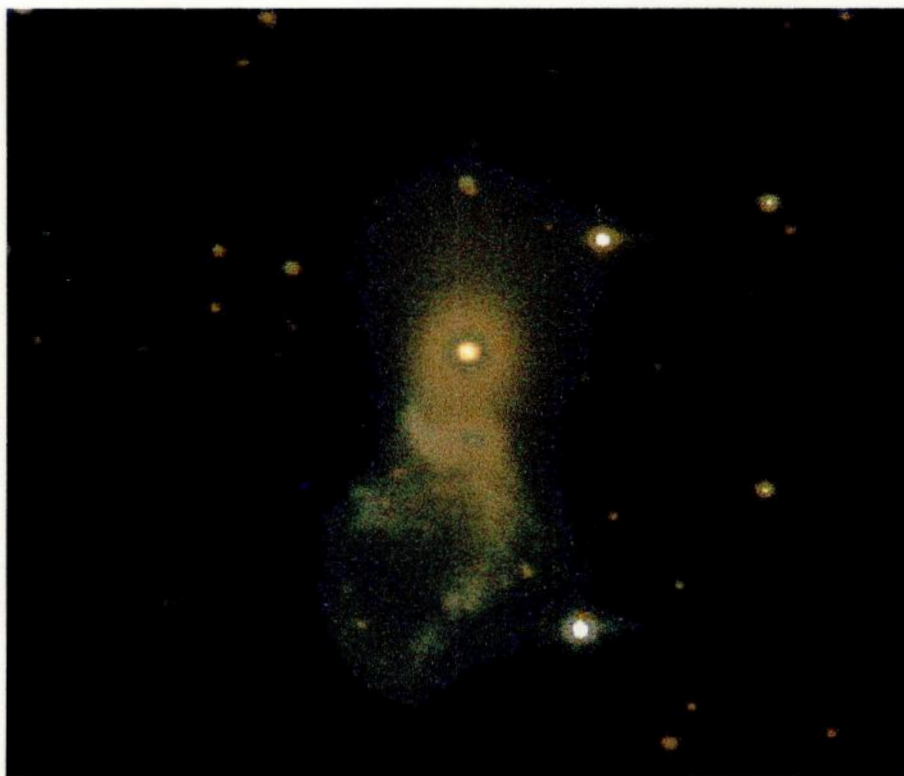


Figura 3.17: ARP141 → Galáxia com morfologia peculiar; apresenta extensões (material ejetado pela galáxia) que podem ser resultantes da colisão, e pequenas aglomerações .

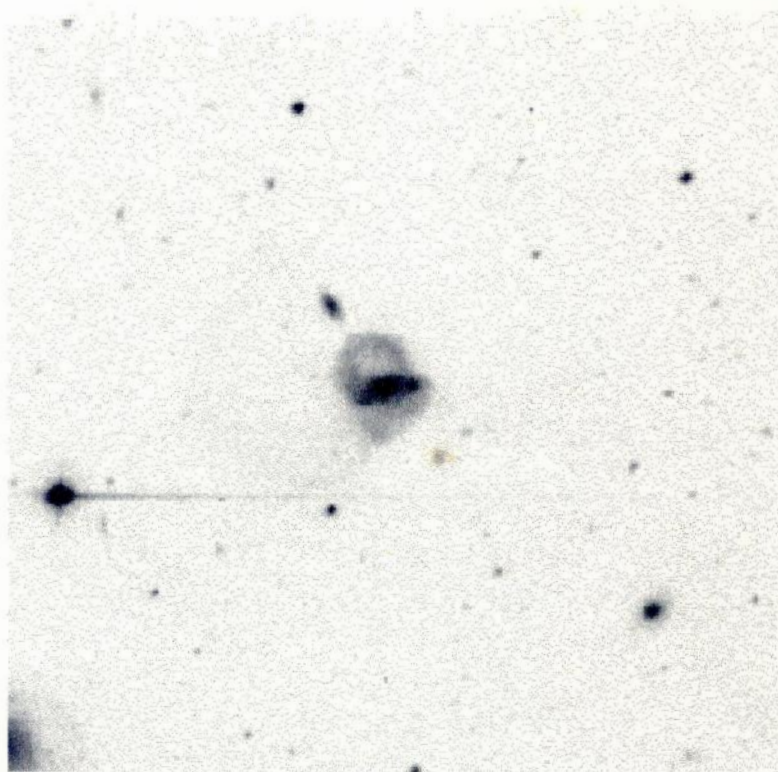


Figura 3.18: ARP219 → Esta galáxia apresenta extensões e aparentemente está em processo de interação com uma outra galáxia que está logo acima.



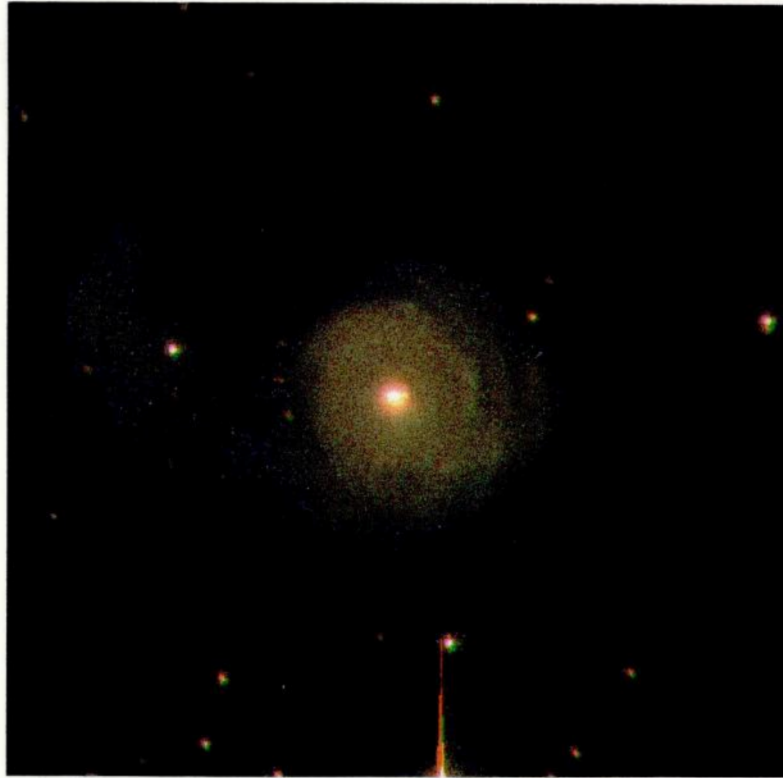


Figura 3.19: ARP215 → Galáxia com núcleo brilhante e uma cauda a esquerda; tem uma morfologia peculiar.



### 3.3 Perfis de Luminosidade

Os perfis de luminosidade de galáxias são geralmente feitos utilizando-se ajuste de elipses às isofotas. Para este ajuste, e para derivar os parâmetros morfológicos isofotais (elipticidade, ângulo de posição, semi-eixo maior etc) utilizamos a tarefa ELLIPSE do pacote ISOPHOTE. Esta tarefa ajusta as elipses que melhor reproduzem as isofotas de uma imagem.

Obviamente, sabemos que as elipses não são uma boa representação para as isofotas das galáxias da nossa amostra, já que a maior parte delas apresenta uma morfologia peculiar. Mas é o que podemos fazer se quisermos comparar a fotometria destas ULIRGs com a fotometria encontrada na literatura.

A tarefa ELLIPSE nos fornece uma tabela que contém os parâmetros morfológicos para cada isofota. No próximo passo usamos a tarefa TCALC que cria colunas nesta tabela através de expressões matemáticas. As variáveis nestas expressões são os nomes das colunas contidas na tabela. Então, adicionamos um conjunto de quatro colunas em cada tabela: brilho superficial,  $R$  (distância em segundos de arco, a partir do centro galáctico),  $R^{1/4}$  e  $\log(R)$ . Estas colunas serão necessárias quando quisermos obter os perfis de luminosidade.

Através de um programa feito no Super Mongo, obtivemos os gráficos do brilho superficial em função de  $R$  (raio em segundos de arco),  $R^{1/4}$  e  $\log(R)$ , para cada galáxia (as rotinas utilizadas para a obtenção dos perfis são apresentadas no Apêndice A.3). Fizemos os perfis apenas na banda R, pois futuramente pretendemos estudar a distribuição de massa nestas galáxias, que é dominada pelas estrelas de baixa massa mais avermelhadas.

Tendo os perfis para toda a extensão da galáxia, fizemos um ajuste linear em duas regiões de cada um dos perfis. A primeira corresponde à parte interna da galáxia e a segunda corresponde à parte externa. O tamanho de cada uma destas regiões, foi determinado fazendo-se uma análise do perfil correspondente à galáxia inteira. O ajuste linear é feito através da tarefa TLINEAR. Das Figuras 3.20 a 3.31 apresentamos dois painéis para cada galáxia da amostra (com exceção da NGC3656, para a qual só temos imagem no filtro B). Cada página mostra estes painéis para um objeto. O painel superior apresenta as elipses (resultantes da tarefa ELLIPSE) sobre a representação em preto e branco da imagem CCD. O painel inferior mostra as distribuições do brilho superficial ( $\mu_R$ ) na banda R, em função de  $R$ ,  $R^{1/4}$  e  $\log(R)$ .

Neste painel, a reta vermelha representa o ajuste linear para a região interna da galáxia e a reta de cor azul, o ajuste linear feito para a região externa. Mostramos também o valor do RMS correspondente a cada ajuste.

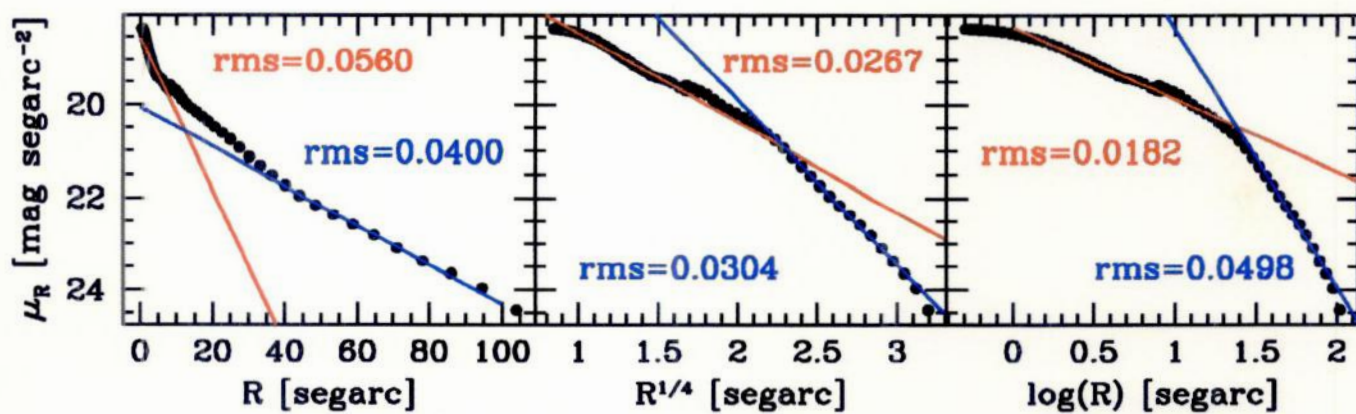
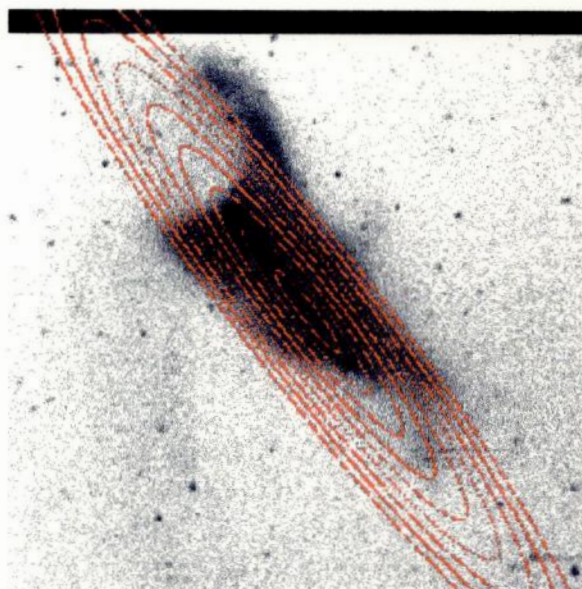


Figura 3.20: O painel superior mostra a representação em preto e branco da imagem CCD com as elipses para a NGC520; e o painel inferior mostra as variações do brilho superficial em função de  $R$ ,  $R^{1/4}$  e  $\log(R)$ .

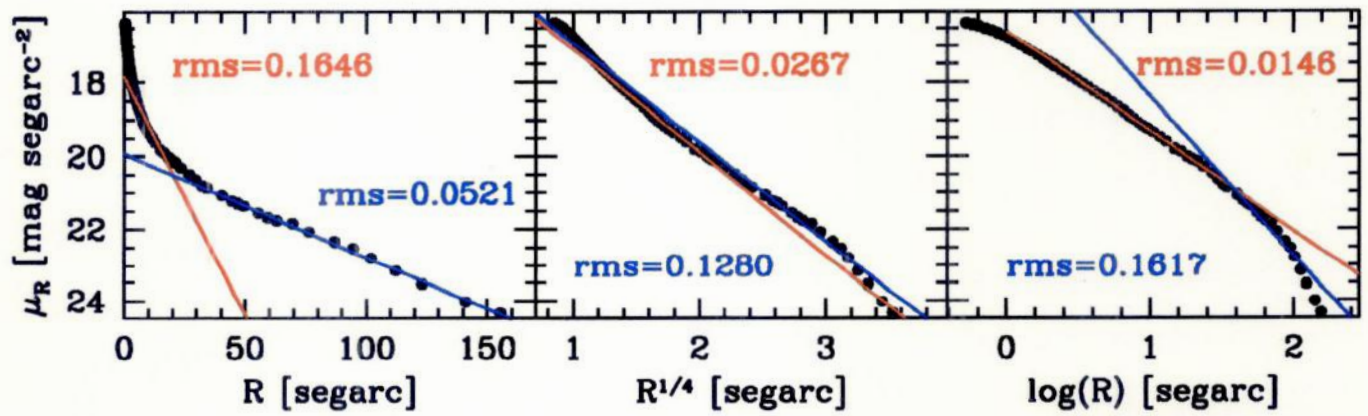
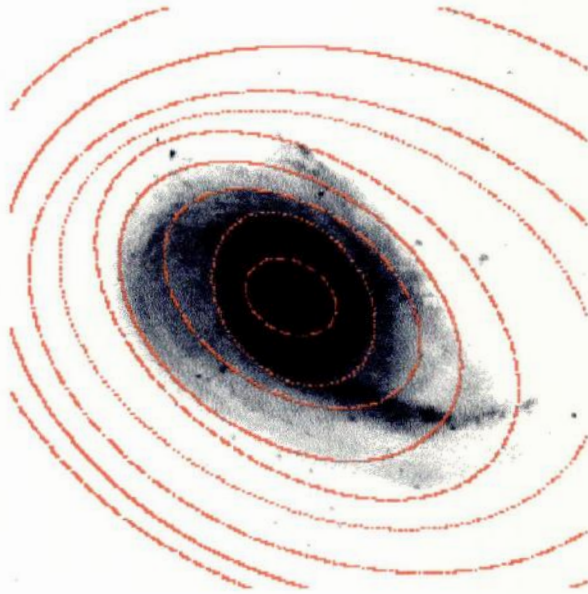


Figura 3.21: Idem para a NGC772.

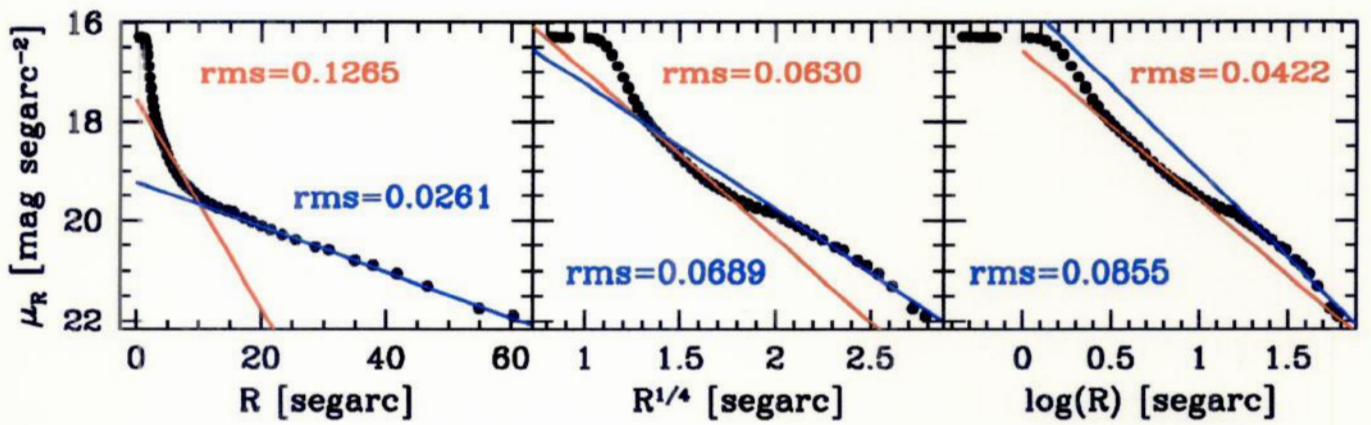
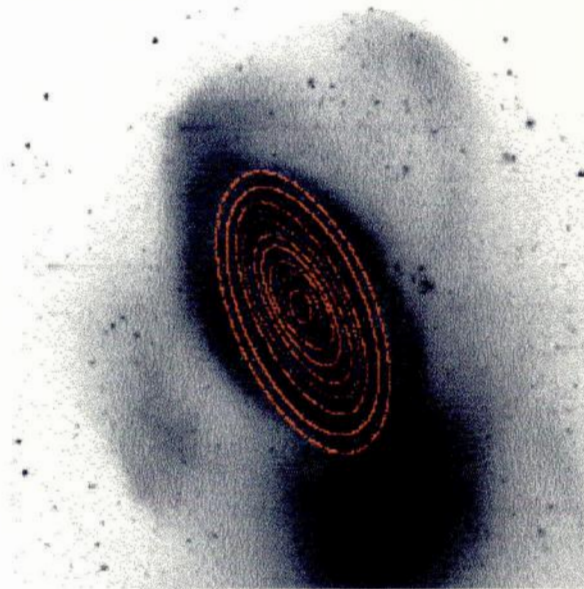


Figura 3.22: Idem para a NGC3227.

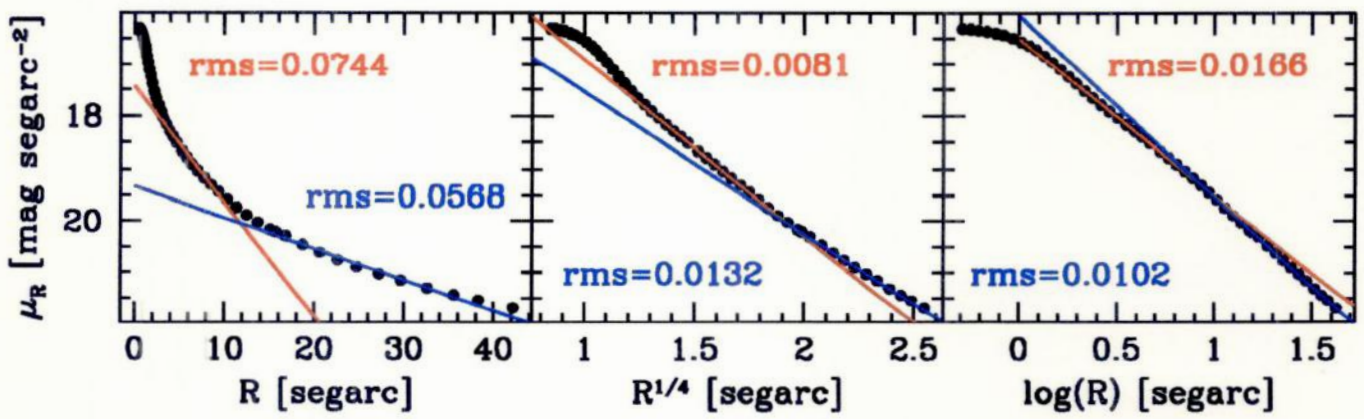


Figura 3.23: Idem para a NGC3226.



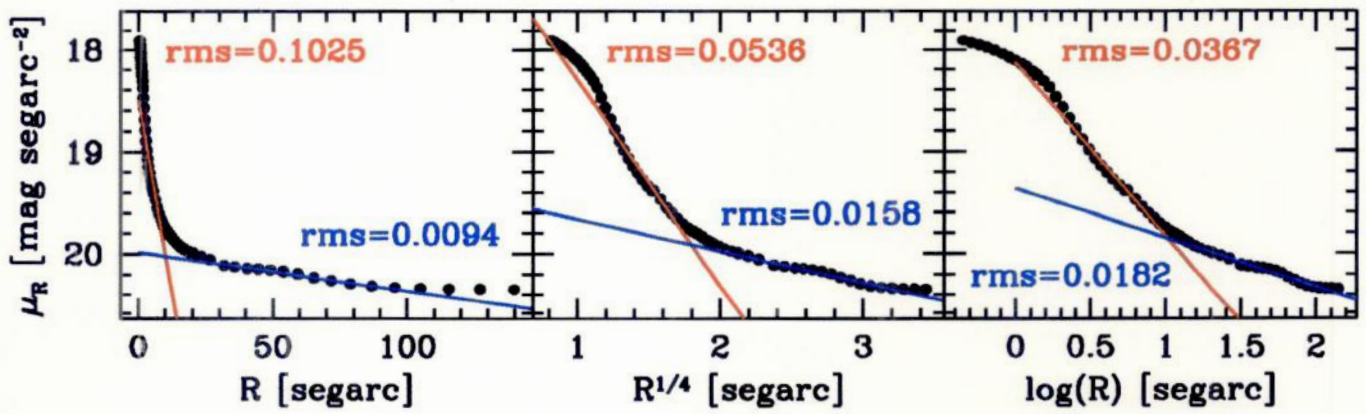
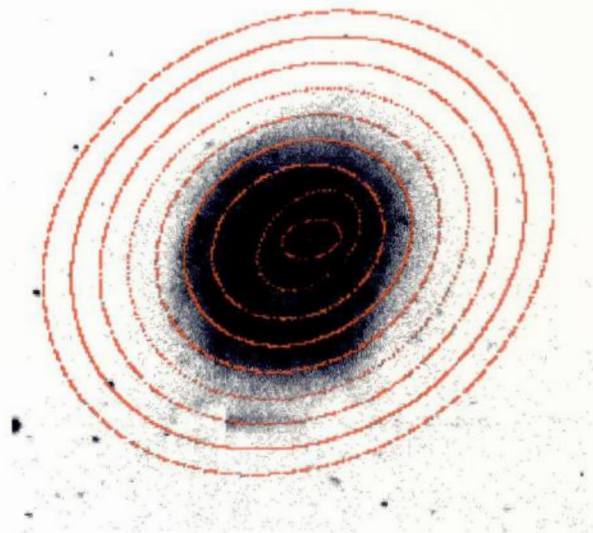


Figura 3.24: Idem para a NGC1637.

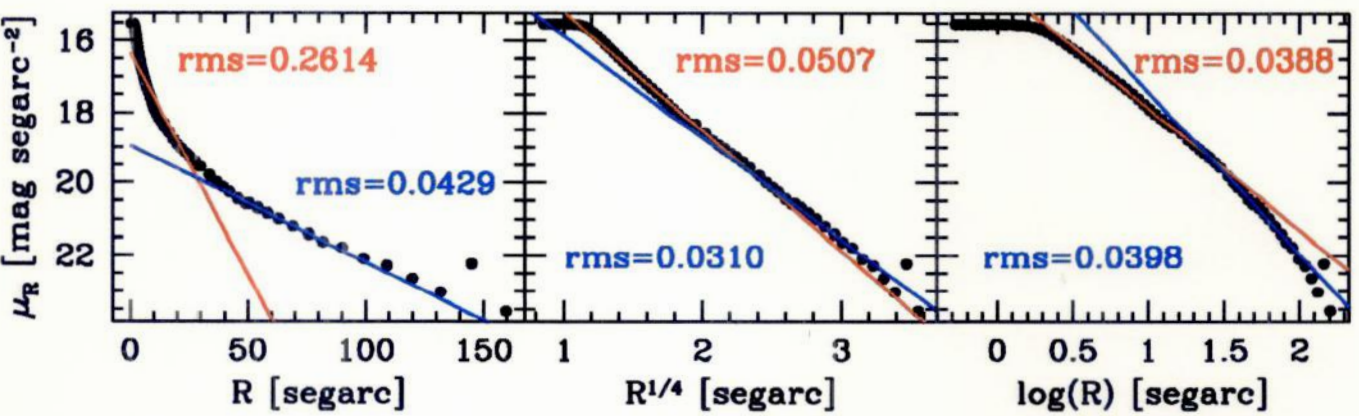
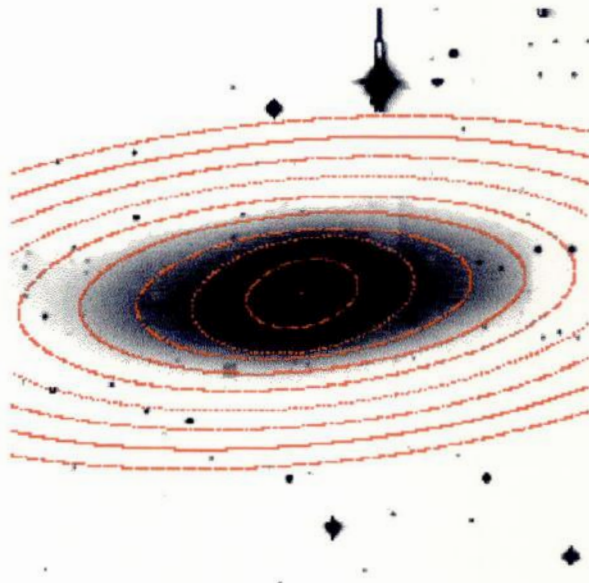


Figura 3.25: Idem para a NGC1023.

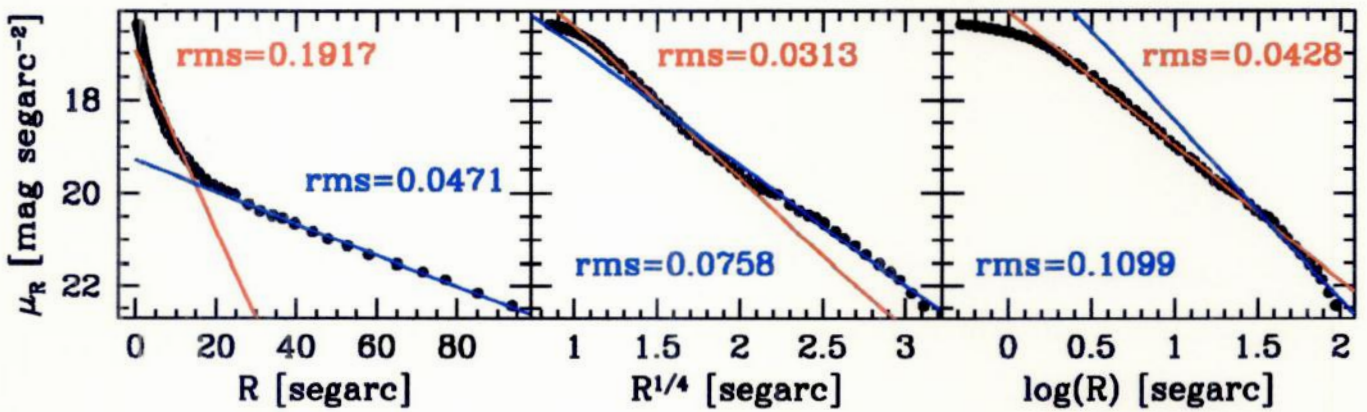
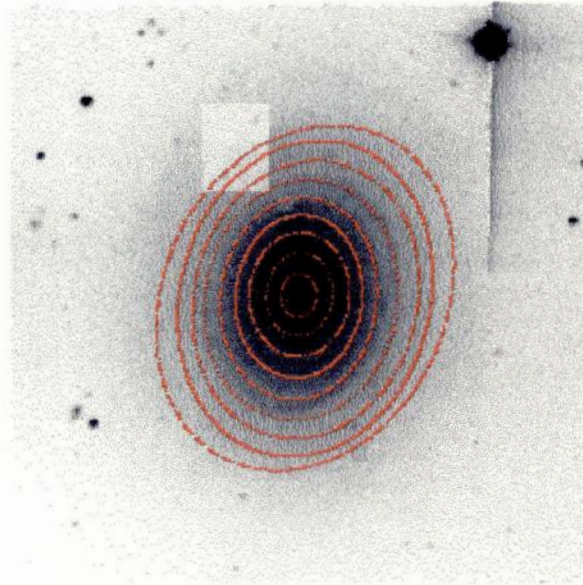


Figura 3.26: Idem para a NGC488.

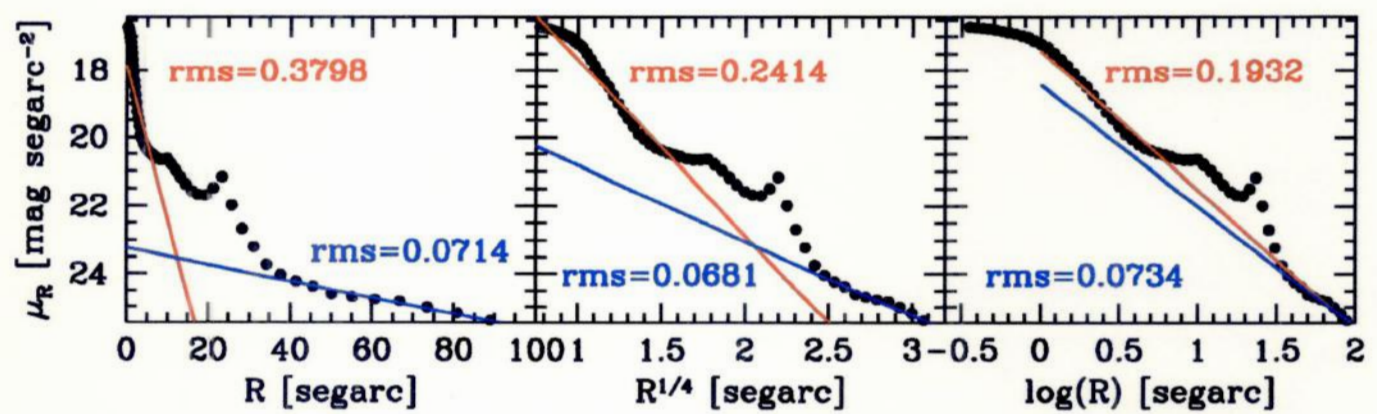
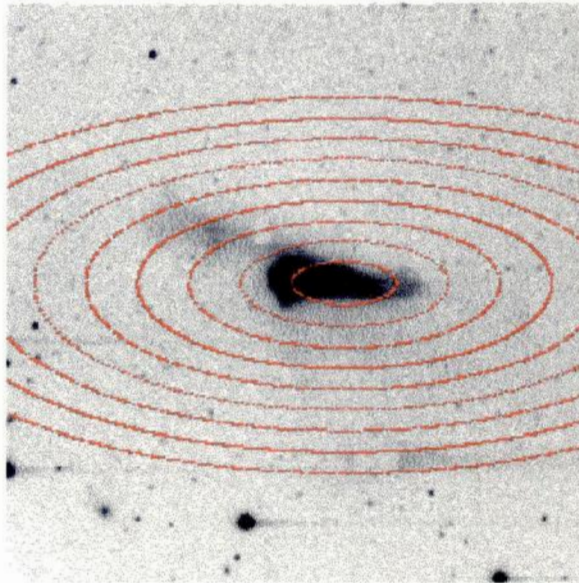


Figura 3.27: Idem para a NGC523.

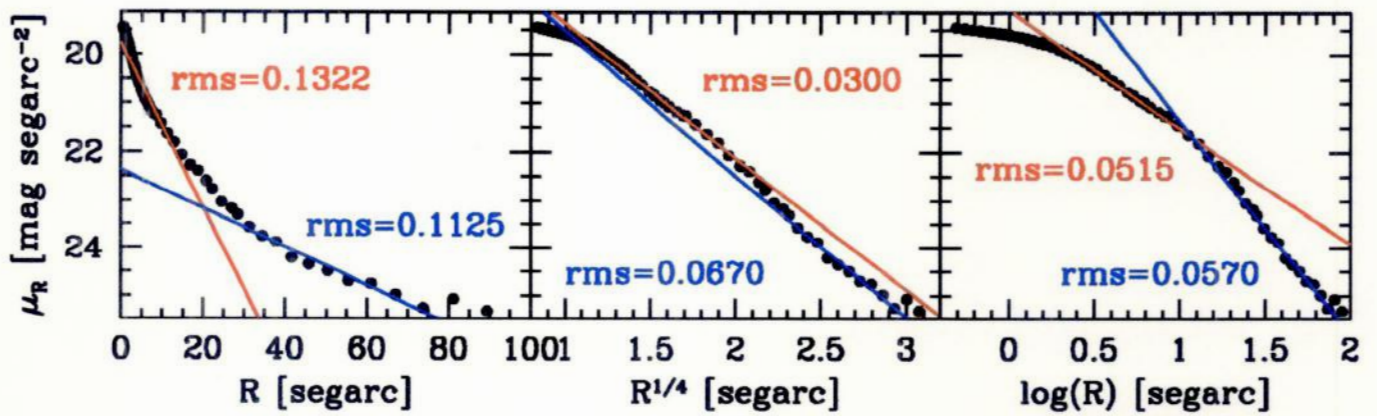
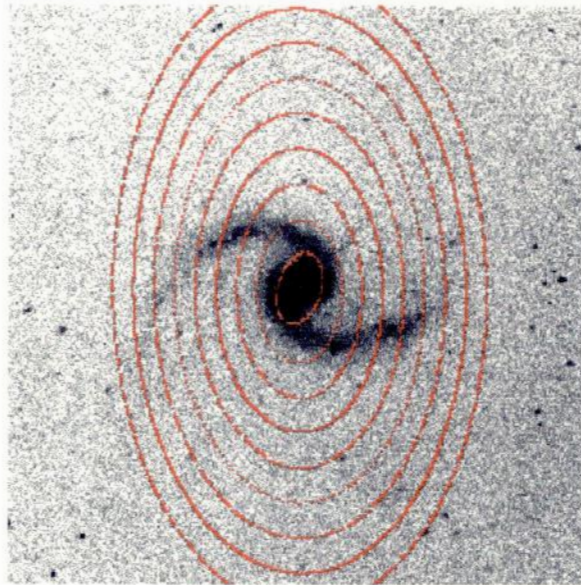


Figura 3.28: Idem para a ARP31.

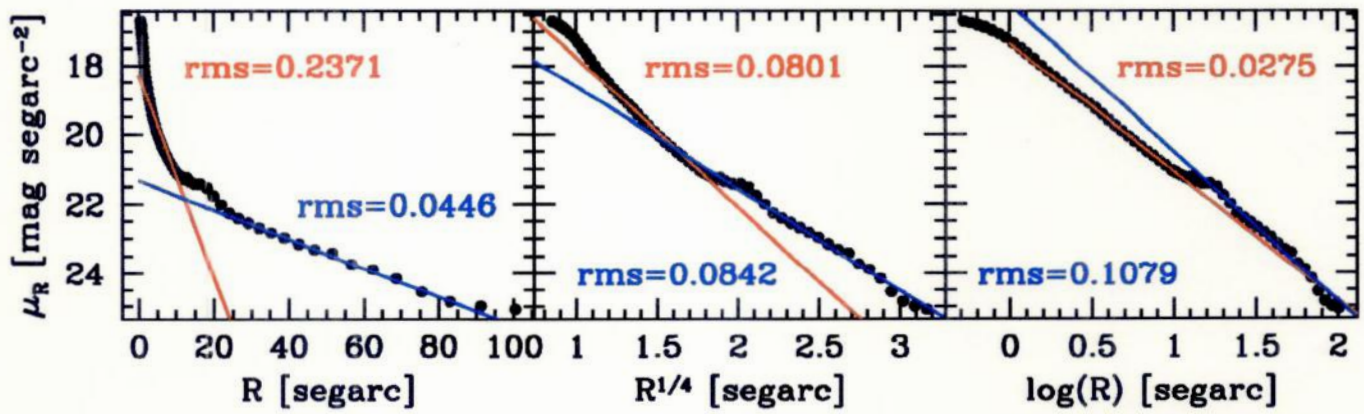
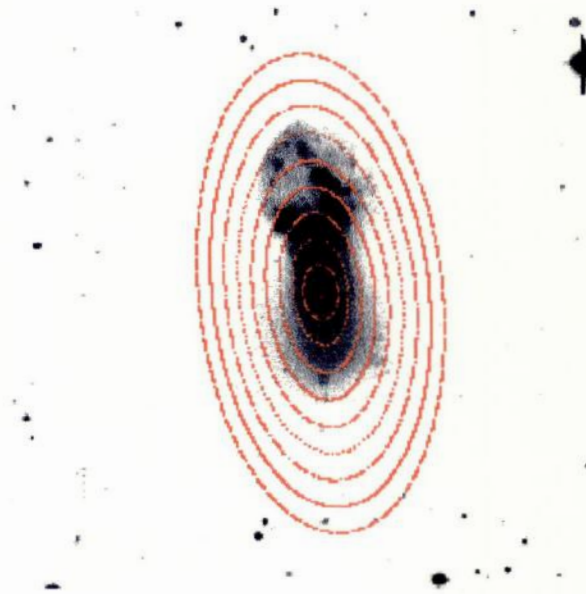


Figura 3.29: Idem para a ARP141.

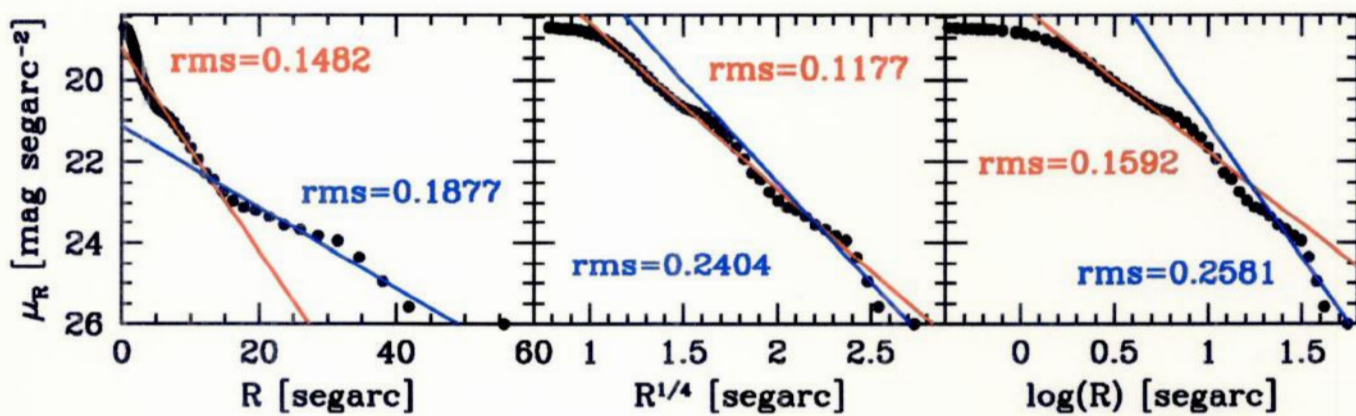
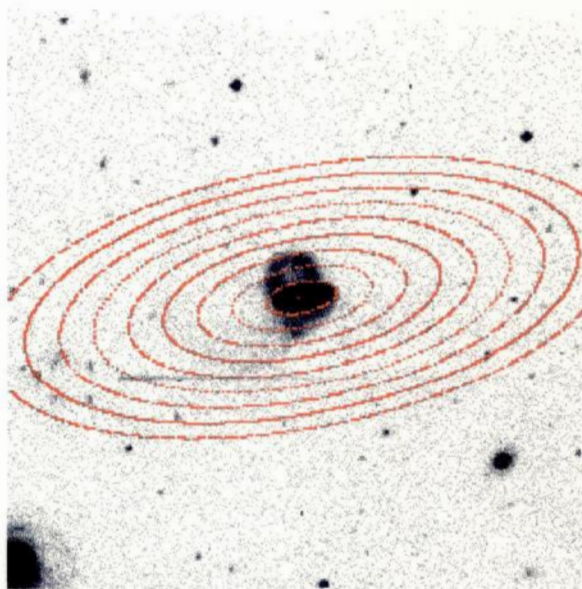


Figura 3.30: Idem para a ARP219.

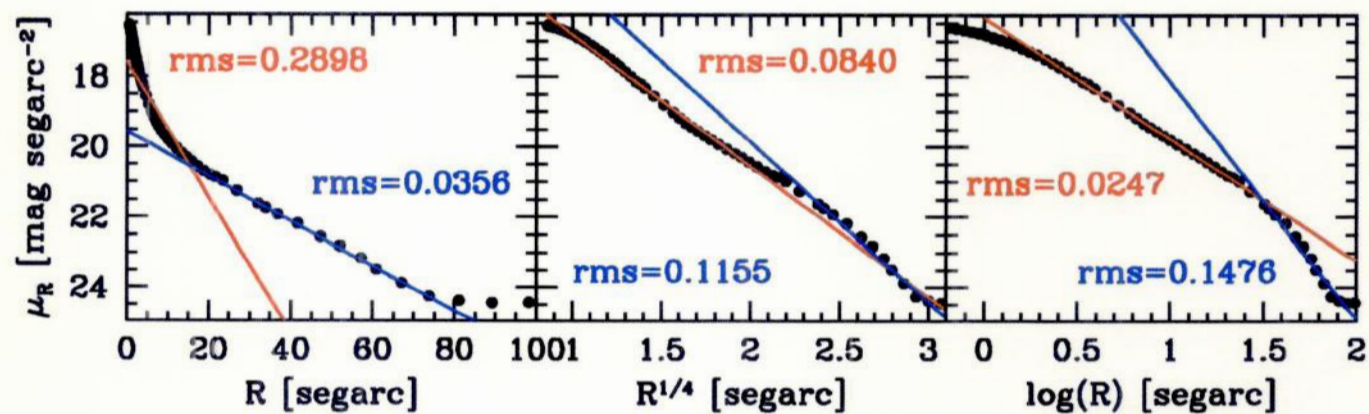
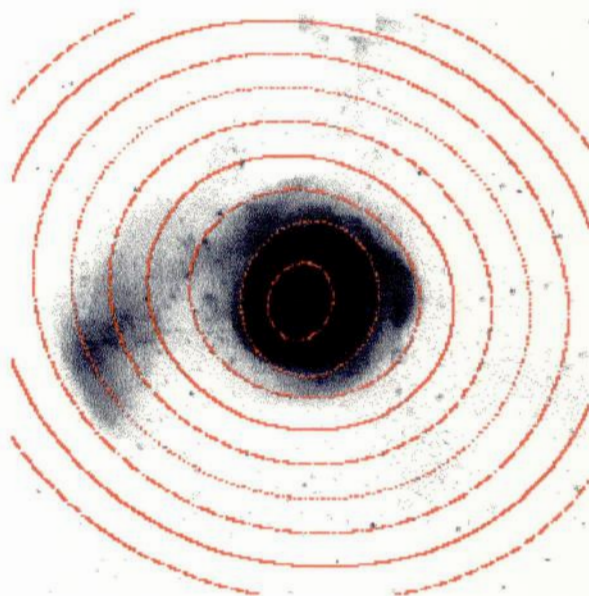


Figura 3.31: Idem para a ARP215.



### 3.4 Relação entre morfologia e perfis de luminosidade

Nas Tabelas 3.3 e 3.4 apresentamos a classificação morfológica das ULIRGs (de acordo com as nossas três classes morfológicas descritas acima; E=elíptica e S=espiral) junto com os resultados do ajuste linear feito nos perfis para a região interna e externa da galáxia, respectivamente. A coluna (1) mostra o nome da galáxia; a coluna (2) lista o coeficiente linear resultante do ajuste com seu respectivo erro; a coluna (3) indica o coeficiente angular resultante do ajuste com seu respectivo erro; a coluna (4) mostra o rms resultante do ajuste; a coluna (5) mostra a região da galáxia onde foi feito o ajuste; a coluna (6) lista o tipo do perfil de luminosidade; e a coluna (7) indica a classificação morfológica

Analisando as Tabelas 3.3 e 3.4 podemos verificar qual é o melhor ajuste para a parte interna e externa de cada galáxia. Isto é possível porque conhecemos o RMS e, o tipo de perfil ( $r, r^{1/4}$  ou  $\log r$ ) correspondente ao menor RMS é aquele que melhor descreve a distribuição de brilho da galáxia, pois significa um melhor ajuste. Verificamos se havia alguma relação entre a classe morfológica das galáxias e os perfis de brilho correspondentes ao melhor ajuste. Esta análise encontra-se de forma resumida na Tabela 3.5 e 3.6, onde a primeira corresponde à parte interna das galáxias e a segunda corresponde à parte externa. A coluna (1) indica a classe morfológica, a coluna (2) indica o número de galáxias correspondente a cada classe, cujo perfil de brilho é melhor representado por uma exponencial, a coluna (3) lista o número de galáxias correspondente a cada classe, cujo perfil de brilho é melhor representado pela lei de  $r^{1/4}$  (conhecida como lei de de Vaucouleurs); e a coluna (4) mostra o número de galáxias correspondente a cada classe, cujo perfil de brilho é melhor representado por uma lei de potência.

ULIRGs	a	b	rms	$\Delta R$ (segarc)	ajuste interno	classificação morfológica
ngc520	$18.53 \pm 0.04$	$0.16 \pm 0.01$	0.0560	2.08-7.10	r	III
	$16.48 \pm 0.07$	$1.94 \pm 0.05$	0.0267		$r^{1/4}$	
	$18.28 \pm 0.02$	$1.57 \pm 0.03$	0.0182		logr	
ngc772	$17.83 \pm 0.08$	$0.13 \pm 0.01$	0.1646	3.08-19.70	r	S;II
	$14.25 \pm 0.07$	$2.82 \pm 0.04$	0.0414		$r^{1/4}$	
	$16.57 \pm 0.01$	$2.74 \pm 0.01$	0.0146		logr	
ngc3227	$17.55 \pm 0.09$	$0.21 \pm 0.01$	0.1265	3.10-10.84	r	S;II
	$13.64 \pm 0.16$	$3.35 \pm 0.10$	0.0630		$r^{1/4}$	
	$16.57 \pm 0.05$	$3.00 \pm 0.06$	0.0422		logr	
ngc3226	$17.41 \pm 0.06$	$0.22 \pm 0.01$	0.0744	2.89-10.31	r	E;II
	$13.53 \pm 0.02$	$3.38 \pm 0.01$	0.0081		$r^{1/4}$	
	$16.52 \pm 0.02$	$2.98 \pm 0.03$	0.0166		logr	
ngc1637	$18.49 \pm 0.06$	$0.15 \pm 0.01$	0.1025	2.05-9.15	r	S;I
	$16.28 \pm 0.12$	$2.02 \pm 0.08$	0.0536		$r^{1/4}$	
	$18.13 \pm 0.03$	$1.70 \pm 0.05$	0.0367		logr	
ngc1023	$16.33 \pm 0.09$	$0.12 \pm 0.01$	0.2614	3.14-29.83	r	E;I
	$11.86 \pm 0.06$	$3.33 \pm 0.03$	0.0507		$r^{1/4}$	
	$14.44 \pm 0.03$	$3.43 \pm 0.02$	0.0388		logr	
ngc488	$16.92 \pm 0.08$	$0.19 \pm 0.01$	0.1917	1.93-15.70	r	E;I
	$13.11 \pm 0.04$	$3.28 \pm 0.03$	0.0313		$r^{1/4}$	
	$16.04 \pm 0.03$	$2.92 \pm 0.03$	0.0428		logr	
ngc523	$17.85 \pm 0.21$	$0.45 \pm 0.05$	0.3798	1.47-7.46	r	III
	$12.50 \pm 0.48$	$5.18 \pm 0.35$	0.2414		$r^{1/4}$	
	$17.41 \pm 0.12$	$4.10 \pm 0.22$	0.1932		logr	
arp31	$19.77 \pm 0.06$	$0.17 \pm 0.01$	0.1322	1.96-14.75	r	S;I
	$16.62 \pm 0.04$	$2.75 \pm 0.03$	0.0300		$r^{1/4}$	
	$19.09 \pm 0.03$	$2.41 \pm 0.04$	0.0515		logr	
arp141	$18.27 \pm 0.11$	$0.29 \pm 0.02$	0.2371	1.89-11.65	r	III
	$13.41 \pm 0.13$	$4.33 \pm 0.08$	0.0801		$r^{1/4}$	
	$17.35 \pm 0.02$	$3.73 \pm 0.02$	0.0275		logr	
arp219	$19.23 \pm 0.06$	$0.25 \pm 0.01$	0.1482	1.92-14.66	r	II
	$14.62 \pm 0.17$	$4.02 \pm 0.11$	0.1177		$r^{1/4}$	
	$18.22 \pm 0.10$	$3.53 \pm 0.13$	0.1592		logr	
arp215	$17.58 \pm 0.11$	$0.19 \pm 0.01$	0.2898	2.14-18.80	r	III
	$13.09 \pm 0.11$	$3.73 \pm 0.06$	0.0840		$r^{1/4}$	
	$16.32 \pm 0.01$	$3.45 \pm 0.02$	0.0247		logr	

Tabela 3.3: Resultados do ajuste linear para a região interna das galáxias.

ULIRGs	a	b	rms	$\Delta R$ (segarc)	ajuste externo	classificação morfológica
ngc520	$20.05 \pm 0.05$	$0.04 \pm 0.00$	0.0400	36.47-86.00	r	III
	$12.71 \pm 0.15$	$3.58 \pm 0.05$	0.0304		$r^{1/4}$	
	$12.67 \pm 0.25$	$5.64 \pm 0.14$	0.0498		logr	
ngc772	$19.91 \pm 0.04$	$0.03 \pm 0.00$	0.0521	32.47-123.21	r	S;II
	$14.19 \pm 0.33$	$2.71 \pm 0.11$	0.1280		$r^{1/4}$	
	$13.97 \pm 0.43$	$4.39 \pm 0.24$	0.1617		logr	
ngc3227	$19.22 \pm 0.03$	$0.04 \pm 0.00$	0.0261	19.96-54.93	r	S;II
	$14.71 \pm 0.28$	$2.52 \pm 0.12$	0.0689		$r^{1/4}$	
	$15.53 \pm 0.30$	$3.46 \pm 0.20$	0.0855		logr	
ngc3226	$19.31 \pm 0.06$	$0.06 \pm 0.00$	0.0568	15.09-38.32	r	E;II
	$14.81 \pm 0.05$	$2.72 \pm 0.02$	0.0132		$r^{1/4}$	
	$16.06 \pm 0.03$	$3.46 \pm 0.02$	0.0102		logr	
ngc1637	$19.97 \pm 0.01$	$0.00 \pm 0.00$	0.0094	31.78-86.80	r	S;I
	$19.34 \pm 0.06$	$0.31 \pm 0.02$	0.0158		$r^{1/4}$	
	$19.36 \pm 0.07$	$0.48 \pm 0.04$	0.0182		logr	
ngc1023	$18.94 \pm 0.05$	$0.03 \pm 0.00$	0.0429	39.39-90.06	r	E;I
	$13.01 \pm 0.14$	$2.85 \pm 0.05$	0.0310		$r^{1/4}$	
	$12.85 \pm 0.19$	$4.55 \pm 0.11$	0.0398		logr	
ngc488	$19.28 \pm 0.03$	$0.03 \pm 0.00$	0.0471	22.86-93.62	r	E;I
	$14.21 \pm 0.18$	$2.59 \pm 0.07$	0.0758		$r^{1/4}$	
	$14.53 \pm 0.25$	$3.89 \pm 0.15$	0.1099		logr	
ngc523	$23.23 \pm 0.08$	$0.02 \pm 0.00$	0.0714	37.69-97.75	r	III
	$18.58 \pm 0.29$	$2.22 \pm 0.10$	0.0681		$r^{1/4}$	
	$18.43 \pm 0.32$	$3.57 \pm 0.18$	0.0734		logr	
arp31	$22.36 \pm 0.12$	$0.04 \pm 0.00$	0.1125	28.45-73.79	r	S;I
	$16.55 \pm 0.28$	$2.97 \pm 0.11$	0.0670		$r^{1/4}$	
	$16.88 \pm 0.23$	$4.46 \pm 0.14$	0.0570		logr	
arp141	$21.30 \pm 0.04$	$0.04 \pm 0.00$	0.0446	24.04-75.45	r	III
	$15.66 \pm 0.27$	$2.95 \pm 0.11$	0.0842		$r^{1/4}$	
	$16.17 \pm 0.33$	$4.33 \pm 0.20$	0.1079		logr	
arp219	$21.12 \pm 0.28$	$0.10 \pm 0.01$	0.1877	19.51-41.82	r	II
	$12.64 \pm 1.39$	$4.92 \pm 0.60$	0.2404		$r^{1/4}$	
	$14.57 \pm 1.26$	$6.51 \pm 0.86$	0.2581		logr	
arp215	$19.55 \pm 0.04$	$0.06 \pm 0.00$	0.0356	26.80-73.74	r	III
	$10.70 \pm 0.47$	$4.57 \pm 0.18$	0.1155		$r^{1/4}$	
	$11.34 \pm 0.57$	$6.79 \pm 0.34$	0.1476		logr	

Tabela 3.4: Resultados do ajuste linear para a região externa das galáxias.

Classe morfológica	r	$r^{1/4}$	logr
I	0	2	2
II	0	2	2
III	0	0	4

Tabela 3.5: Melhor ajuste interno.

Classe morfológica	r	$r^{1/4}$	logr
I	2	1	1
II	3	0	1
III	2	2	0

Tabela 3.6: Melhor ajuste externo.

## Capítulo 4

# Discussão e Perspectivas Futuras

Analisando a classificação morfológica feita no Capítulo 3, podemos classificar morfológicamente o estágio evolutivo da interação e/ou fusão. Os objetos do grupo I não mostram sinais de interação e/ou fusão; são objetos mais relaxados, ou seja, talvez estejam caminhando para o equilíbrio dinâmico e, portanto, podem estar representando a fase inicial de uma galáxia elíptica, já que as elípticas são sistemas em equilíbrio dinâmico.

Temos que chamar atenção para o fato de que a ARP31 e a NGC1637 não têm uma aparência arredondada como as outras galáxias do grupo I; são duas galáxias espirais que obviamente não estão representando a fase inicial de uma elíptica. Então, somos tentados a nos perguntar: qual estágio evolutivo da interação e/ou fusão elas estariam representando realmente? A resposta para esta pergunta, nós ainda não temos. O que podemos dizer é que de acordo com o que vemos nas imagens CCD destas galáxias e de acordo com nosso critério de classificação morfológica, elas devem fazer parte do grupo I (galáxias que não apresentam sinais de interação /fusão). Provavelmente, se tivéssemos imagens de maior resolução, poderíamos notar irregularidades nos braços da ARP31 e/ou da NGC1637. Se este fosse o caso, elas teriam sido classificadas como membros do grupo III (galáxias que apresentam morfologia peculiar). Outra hipótese, é que estas galáxias podem já ter sofrido algum tipo de interação que não foi forte o suficiente para resultar em fusão, e a estrutura delas se manteve.

Já os objetos do grupo III mostram morfologias perturbadas, ou seja, são galáxias classificadas como peculiares, e os objetos do grupo II ainda estão em processo de interação. Isto sugere uma sequência evolutiva, no sentido de que as galáxias do grupo II estariam evoluindo para o grupo III, e as do grupo III para o grupo I, até

que elas atinjam o equilíbrio dinâmico formando uma galáxia elíptica (Barnes 1998).

Então, baseados nessa sequência evolutiva, verificamos que as galáxias elípticas podem ser realmente o produto de fusões, como mostrado por simulações numéricas. Mas devemos ressaltar que as elípticas que supostamente estão representando o estágio final da fusão (como por exemplo a NGC488 e NGC1023) apresentam peculiaridades como a intensa emissão no infravermelho distante (o que não é observado em elípticas normais); poderíamos chama-las de “elípticas ULIRGs”. Um resultado muito semelhante é encontrado em Zheng et al. (1999), no qual foi feita a fotometria superficial, junto com uma análise morfológica de 13 ULIRGs observadas com o HST.

No capítulo anterior, as Tabelas 3.5 e 3.6 mostram a relação entre a classe morfológica das galáxias e o perfil de luminosidade. Mas, antes de analisarmos estes resultados, vamos descrever como é o perfil de brilho encontrado na maior parte de elípticas e espirais.

Nas elípticas, o fluxo é mais intenso no centro, onde a maior parte das estrelas está concentrada, e é mais fraco à medida em que nos afastamos dele. O perfil de brilho dessas galáxias normalmente é melhor representado pela lei de  $r^{1/4}$  (de Vaucouleurs 1948). Mas existem exceções; algumas elípticas brilhantes apresentam um desvio da lei de  $r^{1/4}$  nos perfis correspondentes às suas partes externas. Isto indica que a estrutura das regiões interna e externa é diferente para estas galáxias. Apesar deste fato ainda não ser bem compreendido, existe a evidência de que interações e/ou fusões de galáxias podem originar objetos deste tipo. Um outro tipo de galáxias elípticas cuja região externa também não é bem representada pela lei de de Vaucouleurs, são as galáxias cD. O perfil de brilho descrito por uma lei de potência é o que melhor representa a parte externa dessas galáxias (Bachall 1977). Estes objetos são elípticas gigantes que apresentam propriedades peculiares como: halos muito extensos (até 1Mpc que corresponde aproximadamente a 3 milhões de anos-luz<sup>1</sup>), núcleos múltiplos, e localização em centros de aglomerados. Tudo isso indica que as galáxias cD se formaram por canibalismo galáctico. Isto ocorre quando uma galáxia muito grande interage com outra muito menor, e as forças de maré da galáxia maior podem ser tão fortes a ponto de destruir a estrutura da galáxia menor, cujos pedaços serão incorporados pela maior. O perfil de brilho correspondente ao bojo das espirais, normalmente é bem descrito pela lei de de Vaucouleurs, enquanto que o brilho super-

---

<sup>1</sup>O ano-luz (AL) é a distância percorrida pela luz em um ano, e 1AL equivale a  $9.46 \times 10^{12}$  km

ficial dos discos decai exponencialmente. Portanto as galáxias espirais possuem perfis bem representados por uma exponencial. Abaixo apresentamos as representações dos perfis:

$$I(r) \propto e^{-r} \rightarrow \text{Disco de espirais}$$

$$I(r) \propto e^{-r^{1/4}} \rightarrow \text{Bojo de espirais e elíptica}$$

$$I(r) \propto r^\alpha \rightarrow \text{Região externa das cDs}$$

Então analisando a Tabela 3.5, verificamos que nenhum dos perfis de brilho correspondentes à parte interna das galáxias é melhor descrito por uma exponencial; são melhor representados pela lei de  $r^{1/4}$  ou pela lei de potência. Olhando cuidadosamente a Tabela 3.3, verificamos também que aquelas ULIRGs cujas partes internas são melhor descritas pela lei de potência, apresentam como segunda opção para o melhor ajuste a lei de  $r^{1/4}$ . Isto indica a formação ou talvez a presença de um bojo nas ULIRGs da amostra.

Mais uma vez a discussão dos resultados nos leva a acreditar que as galáxias elípticas podem ser o produto de fusões, e que as ULIRGs estão representando algum estágio na formação dessas galáxias.

Agora vamos analisar a parte externa das ULIRGs. Pela Tabela 3.6 notamos que a região externa da maior parte das ULIRGs é melhor representada por uma exponencial, indicando que ainda há a evidência de um disco na maioria dessas galáxias. Isto nos leva a acreditar que estas galáxias ainda não representam elípticas. Mas existem exceções, como é o caso da NGC1023 e NGC488, que provavelmente estão representando uma elíptica. Observamos também que de todas as galáxias do grupo II (estão em processo de interação) a única cujo perfil da parte externa é melhor descrito pela lei de potência é a NGC3226. Isto pode estar nos indicando que ela é uma galáxia cD. Como descrevemos acima estas galáxias são elípticas gigantes, e realmente a NGC3226 tem uma aparência esferoidal. Todos os outros objetos deste grupo apresentam um perfil para a região externa melhor descrito por uma exponencial. Isto é razoável pelo fato de que, como estas galáxias ainda estão em processo de interação, não houve tempo suficiente para destruir o disco. Já para as galáxias do grupo III (apresentam morfologia peculiar) os perfis que melhor representam suas regiões externas dividem-se igualmente entre a exponencial e a lei de  $r^{1/4}$ . Acreditamos que estas ULIRGs estão no estágio inicial de fusão. Então podemos dizer que para algumas destas galáxias o processo de fusão ainda não destruiu seus discos,

justamente por estar no início; enquanto que outras provavelmente já evoluíram um pouco mais e estão começando a mostrar características de uma elíptica.

Portanto, a partir da nossa análise de fotometria de ULIRGs, concluímos que o perfil de brilho superficial é uma importante ferramenta para estudarmos o processo de *merging* e também de tentar compreender o estágio evolutivo da colisão e/ou fusão, junto com a classificação morfológica.

Através de mapas de cor, juntamente com modelos de síntese de populações estelares, pretendemos interpretar o conteúdo estelar e derivar a taxa de formação estelar. Esses resultados serão utilizados para um estudo comparativo das propriedades de estrutura e população estelar em *starbursts* de uma grande faixa de luminosidade (de regiões HII gigantes em galáxias irregulares, como 30Dourados na Grande Nuvem de Magalhães e NGC604 em M33; passando por galáxias anãs *starbursts*, as chamadas galáxias HII; galáxias *starbursts* clássicas; ULIRGs; até possivelmente quasares). Pretendemos também verificar a hipótese da formação de galáxias anãs em caudas de maré, as quais emanam das galáxias disco em processo de *merging*. Trabalhos recentes levantaram a possibilidade de que colisões entre galáxias gigantes, ejetam matéria para o meio intergaláctico, e as galáxias anãs formariam-se a partir da condensação deste material ejetado. Neste cenário, regiões de formação estelar que surgem nas caudas de maré podem tornar-se sistemas gravitacionalmente ligados, os quais se separam do sistema *merging* e se assemelham a galáxias HII.

Este estudo permitirá uma melhor descrição da história de formação estelar em galáxias onde o fenômeno *starburst* ocorre e contribuirá para nossa melhor compreensão sobre evolução galáctica, ingrediente essencial para respondermos questões atuais da cosmologia observacional.



---

## Referências

- Arribas, S., Colina, L., & Borne, K.D. 2000, *Apj*, 545, 228
- Bahcall, N.A. 1977, *Ann. Rev. Astrophys*, 15, 505
- Baker, A.C., & Clements, D.L., 1997, *IAUS*, 186,106
- Barnes, J.E. 1984, *MNRAS*, 208, 873
- Barnes, J.E. 1985, *MNRAS*, 215, 517
- Barnes, J.E. 1989, *Nature*, 338, 123
- Barnes, J.E. 1992, *ApJ*, 393, 484
- Barnes, J.E., & Hernquist, L. 1996, *ApJ*, 471, 115
- Barnes, J.E. 1998, *astro-ph/9811242*
- Binggeli, B., 1994, in Meylan, G., Prugneil, P., ed., *ESO Conference and Workshop Proceedings No. 49 : Dwarf Galaxies*. European Space Observatory, Munich, p.13
- Borne, K.D., et al. 1997a, in *IAU Symp. 179: New Horizons from Multi-Wavelength Sky Surveys*, Dordrecht: Kluwer, pp. 275-277
- Borne, K.D., et al. 1997b, in *Star Formation, Near and Far*, Woodbury: AIP, pp. 295-298
- Borne, K.D., et al. 1999a, *Ap&SS*, 266, 137
- Borne, K.D., Colina, L., Bushhouse, H., & Lucas, R.A. 1999b, *Apj*, 527, 554
- Borne, K.D., Bushhouse, H., Colina, L., & Lucas, R.A. 2000, *Apj*, 529, L77
- Clements, D.L., et al. 1996, *MNRAS*, 279, 459
- Colina, L., Arribas, S., & Borne, K.D. 1999, *Apj*, 527, L13
- Colina, L., Arribas, S., Borne, K.D., & Monreal, A. 2000, *Apj*, 533, L9
- Doyon, R., et al. 1994, *ApJ*, 437, 23
- Farouki, R.T. & Shapiro, S.L 1982, *ApJ*, 259, 103
- Heckman, T., Dahlem, M., Eales, S., Weaver, K., & Fabbiano, G. 1996, *ApJ*, 457, 616
- Hernquist, L. 1992, *Apj*, 400, 460
- Heyl, J., Hernquist, L., & Spergel, D.N. 1994, 427, 165
- Hickson, P. 1982, *ApJ*, 255, 382
- Hickson, P. 1993, *Ap. Lett. Comm*, 29,1

- Johansson, L., 1991, *A&A*, 241, 389
- Kim, D.-C. 1995, Ph.D. Tese, Universidade do Havai
- Kormendy, J., Sanders, D.B., 1992, *ApJ*, 390, L53
- Lauer, T.R., 1985, *ApJ*, 292, 104
- Mamon, G.A. 1987, *ApJ*, 321, 622
- Melnick, J., & Mirabel, I.F. 1990, *A&A*, 231, L9
- Mihos, J.C., & Hernquist, L. 1994, *ApJ*, 431, L9
- Murphy, T.W., et al. 1996, *A.J.*, 111, 1025
- Negroponte, J. & White, S.D. 1983, *MNRAS*, 205, 1009
- Sakamoto, K., Scoville, N.Z., Yun, M.S., Crosas, M., Genzel, R., Tacconi, L.J., 1999, *ApJ*, 514, 68
- Sanders, D.B., et al. 1988a, *ApJ*, 325, 74
- Sanders, D.B., Scoville, N.Z., & Soifer, B.T. 1991, *ApJ*, 370, 158
- Sanders, D.B., & Mirabel, I.F. 1996, *ARAA*, 34, 725
- Sanders, D.B., et al. 1999, astro-ph/9909114
- Schweizer, F. 1989, *Nature*, 338, 119
- Schweizer, F. 1997, in *Proc. IAU Symp.* 186, 1
- Soifer, B.T., et al. 1987, *ApJ*, 320, 238
- Springel, V., & White, S.D. 1998, astro-ph/9807320
- Surace, J.A., & Sanders, D.B. 1999, *ApJ*, 512, 162
- Toomre, A., & Toomre, J. 1972, *ApJ*, 178, 623
- de Vaucouleurs, G. 1948, *Ann. Astrophys*, 11, 247
- Veilleux, S., Sanders, D.B., & Kim, D.-C. 1997, *ApJ*, 484, pp. 92-107
- Zheng, Z., et al. 1999, astro-ph/9909053
- Walker, I.R., Mihos, J.C., & Hernquist, L. 1996, *ApJ*, 460, 121
- Weil, M.L., & Hernquist, L. 1996, *ApJ*, 460, 101
- White, S.D. 1978, *MNRAS*, 184, 185

**APÊNDICE A.1:**

Rotinas utilizadas para a produção dos gráficos através dos quais obtivemos os coeficientes de extinção e de ponto zero da escala de magnitude, correspondentes a segunda noite de observação.

standards

```
data night2.dados
read {star 1.s B_V 2 V 3 V_R 4 b 5 Xb 6 tb 7 v 8 Xv 9 tv 10 r 11 Xr 12 tr 13}
```

bb

```
set mb = b + 2.5*LG(tb)
set B = B_V + V
set mb_B = mb - B
```

```
define last (dimen(B)-1)
define nk (0)
do i=0,$last{
  if (b[$i] < 900.) {
    define nk ($nk+1)
  }
}
set dimen(mb_B1) = $nk
set dimen(Xb1) = $nk
```

```
define k (0)
do i=0,$last{
  if (b[$i] < 900.) {
    set mb_B1[$k] = mb_B[$i]
    set Xb1[$k] = Xb[$i]
    define k ($k+1)
  }
}
```

```
lsq Xb1 mb_B1 Xb1 _y _rms
```

```
set res = sqrt((( $a * Xb1 + $b) - mb_B1)**2)
define rms2 (2. * $rms)
```

```
define nk1 (0)
```

```
do i=0,($nk-1){
  if (res[$i] < $rms2) {
    define nk1 ($nk1+1)
  }
}
```

```
set dimen(mb_B2) = $nk1
set dimen(Xb2) = $nk1
```

```
define k (0)
do i=0,($nk-1){
if (res[$i] < $rms2) {
set mb_B2[$k] = mb_B1[$i]
set Xb2[$k] = Xb1[$i]
define k ($k+1)
}
}
```

```
erase
```

```
#lim Xb2 mb_B2 box points Xb2 mb_B2
location 6000 29000 6000 29000
expand 1.7
```

```
xlabel massa de ar (X)
ylabel (mag{B}{inst} - mag{B}{lit})
fit Xb2 mb_B2
```

```
echo Kb = $a ($sig_a) phi_b = $b ($sig_b) rms = $_rms for second night
```

```
set bo = mb - $a*Xb + $b
```

```
relocate 1.7 0.70
putlabel 6 {K_{b}=0.38\pm0.03}
```

```
relocate 1.7 0.65
putlabel 6 {\phi_b=0.28\pm0.05}
```

```
relocate 1.7 0.6
putlabel 6 {rms=0.09}
expand 1.0001
```

vvv

```
set mv = v + 2.5*LG(tv)
set mv_V = mv - V
```

```
define last (dimen(V)-1)
define nk (0)
do i=0,$last{
if (v[$i] < 900.) {
define nk ($nk+1)
}
}
set dimen(mv_V1) = $nk
set dimen(Xv1) = $nk
```

```
define k (0)
do i=0,$last{
if (v[$i] < 900.) {
set mv_V1[$k] = mv_V[$i]
set Xv1[$k] = Xv[$i]
define k ($k+1)
}
}
```

```
lsq Xv1 mv_V1 Xv1 _y _rms
```

```
set res = sqrt((( $\$a$  * Xv1 +  $\$b$ ) - mv_V1)**2)
define rms2 (2. *  $\$_{rms}$ )
```

```
define nk1 (0)
do i=0, ( $\$nk-1$ ) {
if (res[ $\$i$ ] <  $\$rms2$ ) {
define nk1 ( $\$nk1+1$ )
}
}
set dimen(mv_V2) =  $\$nk1$ 
set dimen(Xv2) =  $\$nk1$ 
```

```
define k (0)
do i=0, ( $\$nk-1$ ) {
if (res[ $\$i$ ] <  $\$rms2$ ) {
set mv_V2[ $\$k$ ] = mv_V1[ $\$i$ ]
set Xv2[ $\$k$ ] = Xv1[ $\$i$ ]
define k ( $\$k+1$ )
}
}
```

```
erase
#lim Xv2 mv_V2 box points Xv2 mv_V2
location 6000 29000 6000 29000
expand 1.7
xlabel massa de ar (X)
ylabel (mag^{V}_{inst} - mag^{V}_{lit})
fit Xv2 mv_V2
echo Kv =  $\$a$  ( $\$sig_a$ ) phi_v =  $\$b$  ( $\$sig_b$ ) rms =  $\$_{rms}$  for second night
```

```
set vo = mv -  $\$a$ *Xv +  $\$b$ 
```

```
relocate 1.7 0.14
putlabel 6 {K_{v}=0.20\pm0.02}
```

```
relocate 1.7 0.12
putlabel 6 {\phi_v=-0.06\pm0.03}
```

```
relocate 1.7 0.1
putlabel 6 {rms=0.05}
expand 1.0001
```

```
set mr = r + 2.5*LG(tr)
set R = V - V_R
set mr_R = mr - R
```

```
define last (dimen(R)-1)
define nk (0)
do i=0,  $\$last$  {
if (r[ $\$i$ ] < 900.) {
define nk ( $\$nk+1$ )
}
}
set dimen(mr_R1) =  $\$nk$ 
```

```

set dimen(Xr1) = $nk

define k (0)
do i=0,$last{
if (r[$i] < 900.) {
set mr_R1[$k] = mr_R[$i]
set Xr1[$k] = Xr[$i]
define k ($k+1)
}
}

lsq Xr1 mr_R1 Xr1 _y _rms

set res = sqrt((( $a * Xr1 + $b) - mr_R1)**2)
define rms2 (2. * $_rms)

define nk1 (0)
do i=0,($nk-1){
if (res[$i] < $rms2) {
define nk1 ($nk1+1)
}
}
set dimen(mr_R2) = $nk1
set dimen(Xr2) = $nk1

define k (0)
do i=0,($nk-1){
if (res[$i] < $rms2) {
set mr_R2[$k] = mr_R1[$i]
set Xr2[$k] = Xr1[$i]
define k ($k+1)
}
}

erase
#lim Xr2 mr_R2 box points Xr2 mr_R2
location 6000 29000 6000 29000
expand 1.7
xlabel massa de ar (X)
ylabel (mag^{R}_{inst} - mag^{R}_{lit})
#expand 1.0001
fit Xr2 mr_R2
echo Kr = $a ($sig_a) phi_r = $b ($sig_b) rms = $_rms for second night

set ro = mr - $a*Xr + $b

expand 1.8
relocate 1.7 -0.12
putlabel 6 {K_{r}=0.20\pm0.02}

relocate 1.7 -0.14
putlabel 6 {\phi_r=-0.35\pm0.03}

relocate 1.7 -0.16
putlabel 6 {rms=0.05}
expand 1.0001

```

**APÊNDICE A.2:**

Rotinas utilizadas para a obtenção do gráfico de comparação entre as magnitudes observadas por nós e magnitudes da literatura.

```
data compb.dat
read {nome 1.s bobs 2 blit 3}
```

```
erase
expand 1.5
lim 8 14 8 14 box
ylabel mag_{obs} (nosso)
xlabel mag_{lit} (literatura)
ptype 10 3 ctype blue
points blit bobs
lsq blit bobs blit yy rms
echo rms(B) $rms
relocate 12 10
putlabel 6 {rms = 0.24}
relocate 0 $b
define y2 ($b + $a * 20)
draw 20 $y2
ctype default
```

```
data compv.dat
read {nome 1.s vobs 2 vlit 3}
ptype 3 3 ctype green
points vlit vobs
lsq vlit vobs vlit yy rms
echo rms(V) $rms
relocate 12 9.5
putlabel 6 {rms = 0.23}
relocate 0 $b
define y2 ($b + $a * 20)
draw 20 $y2
ctype default
```

```
data compr.dat
read {nome 1.s robs 2 rlit 3}
ptype 4 3 ctype red
points rlit robs
lsq rlit robs rlit yy rms
echo rms(R) $rms
relocate 12 9
putlabel 6 {rms = 0.38}
relocate 0 $b
```

```
define y2 ($b + $a * 20)
draw 20 $y2
ctype default
```

```
relocate 8.5 13.5
ptype 10 3 ctype blue
dot
putlabel 6 { B}
```

```
relocate 8.5 13.0
ptype 3 3 ctype green
dot
putlabel 6 { V}
```

```
relocate 8.5 12.5
ptype 4 3 ctype red
dot
putlabel 6 { R}
```

```
ctype default
```

APENDICE A.2  
Rotinas utilizadas para a criação  
entre os macrográficos de texto  
rotinas.

Este capítulo  
traz (nome 1 a topa 1 de  
nome  
aprox 1.2  
lin 4 14 14 14  
Ylinal non (non) non  
xatal non (11) (11)  
ptype 10 3 ctype blue  
putlabel 6 { B  
dot  
relocate 8.5 13.5  
relocate 8.5 13.0  
relocate 8.5 12.5  
putlabel 6 { V  
putlabel 6 { R  
ctype default

Este capítulo  
traz (nome 1 a topa 1 de  
nome  
aprox 1.2  
lin 4 14 14 14  
Ylinal non (non) non  
xatal non (11) (11)  
ptype 10 3 ctype blue  
putlabel 6 { B  
dot  
relocate 8.5 13.5  
relocate 8.5 13.0  
relocate 8.5 12.5  
putlabel 6 { V  
putlabel 6 { R  
ctype default

Este capítulo  
traz (nome 1 a topa 1 de  
nome  
aprox 1.2  
lin 4 14 14 14  
Ylinal non (non) non  
xatal non (11) (11)  
ptype 10 3 ctype blue  
putlabel 6 { B  
dot  
relocate 8.5 13.5  
relocate 8.5 13.0  
relocate 8.5 12.5  
putlabel 6 { V  
putlabel 6 { R  
ctype default



**APÊNDICE A.3:****Rotinas utilizadas para a obtenção dos perfis de luminosidade.**

```

gc1637r ## NGC1637   imagem=clean0057final

##location 10000 20000 10000 20000
data clean0057finallivre.dat   ## leitura dos dados
read {r 1 r4 2 logr 3 mr 4}   ## definicao das vetores

expand 1.001

## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R

#erase

window -3 3 1 1   ## define janela 3x3
lweight 3   ## grossura da linha no grafico
ctype default   ## cor
mm mr   ## min e max do vetor
define y1 ($_max+0.3)   ## definica de uma variavel
define y2 ($_min-0.3)   ## $ entra com o valor da variavel
##toplabel NGC 1637
lim r $y1 $y2 box   ##limites do grafico
xlabel R [segarc]
ylabel \mu_R [mag segarc^{-2}]

ctype default
ptype 10 3   ##tipo de pontos
points r mr

ctype red
define aa (18.491791 + 200*0.14990557)
relocate 0 18.491791
draw 200 $aa
relocate 10 18
putlabel 6 {rms=0.1025}

ctype blue
define bb (19.974439 + 200*0.003922851)
relocate 0 19.974439
draw 200 $bb
relocate 60 19.8
putlabel 6 {rms=0.0094}

## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R**1/4

window -3 3 2 1

```

```
lweight 3
ctype default
```

```
lim r4 $y1 $y2 box 1 0 0 0
#lim 1 2 20 18.2 box 1 0 0 0
xlabel R^{1/4} [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points r4 mr
```

```
expand 1.001
```

```
ctype red
define cc (16.277816 + 4*2.0186508)
relocate 0 16.277816
draw 4 $cc
relocate 1.2 18
putlabel 6 {rms=0.0536}
```

```
ctype blue
define dd (19.343467 + 4*0.31375547)
relocate 0 19.343467
draw 4 $dd
relocate 2.0 19.6
putlabel 6 {rms=0.0158}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE LOG(R)
```

```
window -3 3 3 1
lweight 3
ctype default
```

```
lim logr $y1 $y2 box 1 0 0 0
#lim 0 1.2 20 18.2 box 1 0 0 0
xlabel log(R) [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points logr mr
```

```
ctype red
define ee (18.127586 + 3*1.697785)
relocate 0 18.127586
draw 3 $ee
relocate 0.3 18
putlabel 6 {rms=0.0367}
```

```
ctype blue
define ff (19.358016 + 3*0.48403737)
relocate 0 19.358016
draw 3 $ff
relocate -0.3 20.2
putlabel 6 {rms=0.0182}
```

```
ngc772r ## NGC772 imagem=clean0059final
```

```
##location 10000 20000 10000 20000
data clean0059finallivre.dat ## leitura dos dados
read {r 1 r4 2 logr 3 mr 4} ## definicao das vetores
```

```
expand 1.001
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R
```

```
#erase
```

```
window -3 3 1 3
```

```
## define janela 3x3
```

```
lweight 3
```

```
## grossura da linha no grafico
```

```
ctype default
```

```
## cor
```

```
mm mr
```

```
## min e max do vetor
```

```
define y1 ($_max+0.3)
```

```
## definica de uma variavel
```

```
define y2 ($_min-0.3)
```

```
## $ entra com o valor da variavel
```

```
##toplabel NGC 772
```

```
lim 0 170 24.5 $y2 box
```

```
#lim 0.5 29 21 16 box
```

```
##limites do grafico
```

```
xlabel R [segarc]
```

```
ylabel \mu_R [mag segarc^{-2}]
```

```
ctype default
```

```
pctype 10 3
```

```
##tipo de pontos
```

```
points r mr
```

```
ctype red
```

```
define gg (17.829606 + 250*0.13061763)
```

```
relocate 0 17.829606
```

```
draw 250 $gg
```

```
relocate 20 17.5
```

```
putlabel 6 {rms=0.1646}
```

```
ctype blue
```

```
define hh (19.91374 + 250*0.028656374)
```

```
relocate 0 19.91374
```

```
draw 250 $hh
```

```
relocate 80 21
```

```
putlabel 6 {rms=0.0521}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R**1/4
```

```
window -3 3 2 3
```

```
lweight 3
```

```
ctype default
```

```
lim r4 24.5 $y2 box 1 0 0 0
```

```
#lim 0.8 2.3 21 16 box 1 0 0 0
```

```
xlabel R^{1/4} [segarc]
```

```
ctype default
```

```
pctype 10 3 points r4 mr
```

```
expand 1.001
```

```
ctype red
```

```
define ii (14.251267 + 4*2.82269)
```

```
relocate 0 14.251267
```

```
draw 4 $ii
```

```
relocate 1.6 17.5
```

```
putlabel 6 {rms=0.0267}
```

```
ctype blue
define jj (14.192847 + 4*2.7117978)
relocate 0 14.192847
draw 4 $jj
relocate 1 23
putlabel 6 {rms=0.1280}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE LOG(R)
```

```
window -3.3 3 3
lweight 3
ctype default
```

```
lim logr 24.5 $y2 box 1 0 0 0
#lim -0.3 1.5 21 16 box 1 0 0 0
xlabel log(R) [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points logr mr
```

```
ctype red
define kk (16.56872 + 3*2.7408981)
relocate 0 16.56872
draw 3 $kk
relocate 0.9 17.5
putlabel 6 {rms=0.0146}
```

```
ctype blue
define ll (13.974742 + 3*4.3890904)
relocate 0 13.974742
draw 3 $ll
relocate 0 23.0
putlabel 6 {rms=0.1617}
```

```
ngc520r ## NGC520 imagem=clean0070final
```

```
##location 10000 20000 10000 20000
data clean0070finallivre.dat ## leitura dos dados
read {r 1 r4 2 logr 3 mr 4} ## definicao das vetores
```

```
expand 1.001
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R
```

```
#erase
```

```
window -3 3 1 2 ## define janela 3x3
lweight 3 ## grossura da linha no grafico
ctype default ## cor
mm mr ## min e max do vetor
define y1 ($_max+0.3) ## definica de uma variavel
define y2 ($_min-0.3) ## $ entra com o valor da variavel
##toplabel NGC 520
lim r $y1 $y2 box ##limites do grafico
#lim 0.5 40 22 18 box
xlabel R [segarc]
ylabel \mu_R [mag segarc^{-2}]
```

```
ctype default
ptype 10 3
points r mr ##tipo de pontos
```

```
ctype red
define mm (18.527162 + 100*0.16545466)
relocate 0 18.527162
draw 100 $mm
relocate 20 19
putlabel 6 {rms=0.0560}
```

```
ctype blue
define nn (20.053567 + 100*0.042485568)
relocate 0 20.053567
draw 100 $nn
relocate 45 21.0
putlabel 6 {rms=0.0400}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE  $R^{*1/4}$ 
```

```
window -3 3 2 2
lweight 3
ctype default
```

```
lim r4 $y1 $y2 box 1 0 0 0
#lim 0.8 2.5 22 18 box 1 0 0 0
xlabel  $R^{1/4}$  [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points r4 mr
```

```
expand 1.001
```

```
ctype red
define oo (16.47741 + 4*1.9399441)
relocate 0 16.47741
draw 4 $oo
relocate 1.9 19
putlabel 6 {rms=0.0267}
```

```
ctype blue
define pp (12.71106 + 4*3.5783855)
relocate 0 12.71106
draw 4 $pp
relocate 1 23.5
putlabel 6 {rms=0.0304}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE LOG(R)
```

```
window -3 3 3 2
lweight 3
ctype default
```

```
lim logr $y1 $y2 box 1 0 0 0
#lim -0.3 1.6 22 18 box 1 0 0 0
xlabel log(R) [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points logr mr
```

```
ctype red
define qq (18.285742 + 3*1.5715029)
relocate 0 18.285742
draw 3 $qq
relocate -0.2 21
putlabel 6 {rms=0.0182}
```

```
ctype blue
define rr (12.668829 + 3*5.6367384)
relocate 0 12.668829
draw 3 $rr
relocate 0.5 23.5
putlabel 6 {rms=0.0498}
```

```
ngc1023r ## NGC1023   imagem=clean0077final
```

```
##location 10000 20000 10000 20000
data clean0077finallivre.dat   ## leitura dos dados
read {r 1 r4 2 logr 3 mr 4}   ## definicao das vetores
```

```
expand 1.001
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R
```

```
#erase
```

```
window -3 3 1 1           ## define janela 3x3
lweight 3                 ## grossura da linha no grafico
ctype default             ## cor
mm mr                     ## min e max do vetor
define y1 ($_max+0.3)     ## definica de uma variavel
define y2 ($_min-0.3)     ## $ entra com o valor da variavel
##toplabel NGC 1023
lim r $y1 $y2 box
#lim 0.5 34 20 15.5 box   ##limites do grafico
xlabel R [segarc]
ylabel \mu_R [mag segarc^{-2}]
```

```
ctype default
ptype 10 3                ##tipo de pontos
points r mr
```

```
ctype red
define ss (16.333569 + 200*0.12378381)
relocate 0 16.333569
draw 200 $ss
relocate 20 16.5
putlabel 6 {rms=0.2614}
```

```
ctype blue
define tt (18.940368 + 200*0.032339187)
relocate 0 18.940368
draw 200 $tt
relocate 70 20.0
```

```
putlabel 6 {rms=0.0429}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R**1/4
```

```
window -3 3 2 1
```

```
lweight 3
```

```
ctype default
```

```
lim r4 $y1 $y2 box 1 0 0 0
```

```
#lim 0.8 2.4 20 15.5 box 1 0 0 0
```

```
xlabel R^{1/4} [segarc]
```

```
ctype default
```

```
pctype 10 3 points r4 mr
```

```
expand 1.001
```

```
ctype red
```

```
define uu (11.862873 + 4*3.3297873)
```

```
relocate 0 11.862873
```

```
draw 4 $uu
```

```
relocate 1.8 16.5
```

```
putlabel 6 {rms=0.0507}
```

```
ctype blue
```

```
define vv (13.007918 + 4*2.846231)
```

```
relocate 0 13.007918
```

```
draw 4 $vv
```

```
relocate 1.0 22.0
```

```
putlabel 6 {rms=0.0310}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE LOG(R)
```

```
window -3 3 3 1
```

```
lweight 3
```

```
ctype default
```

```
lim logr $y1 $y2 box 1 0 0 0
```

```
#lim -0.3 1.5 20 15.5 box 1 0 0 0
```

```
xlabel log(R) [segarc]
```

```
ctype default
```

```
pctype 10 3 points logr mr
```

```
ctype red
```

```
define xx (14.439304 + 3*3.4289101)
```

```
relocate 0 14.439304
```

```
draw 3 $xx
```

```
relocate 0.9 16.5
```

```
putlabel 6 {rms=0.0388}
```

```
ctype blue
```

```
define zz (12.848896 + 3*4.5534538)
```

```
relocate 0 12.848896
```

```
draw 3 $zz
```

```
relocate -0.1 22.0
```

```
putlabel 6 {rms=0.0398}
```

```
arp215r ## ARP215 imagem=clean0085final
```

```
##location 10000 20000 10000 20000
data clean0085finallivre.dat ## leitura dos dados
read {r 1 r4 2 logr 3 mr 4} ## definicao das vetores
```

```
expand 1.001
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R
```

```
#erase
```

```
window -3 3 1 2 ## define janela 3x3
lweight 3 ## grossura da linha no grafico
ctype default ## cor
mm mr ## min e max do vetor
define y1 ($_max+0.3) ## definica de uma variavel
define y2 ($_min-0.3) ## $ entra com o valor da variavel
##toplabel ARP 215
lim 0 100 25 $y2 box
#lim 0.5 19 21 16.5 box ##limites do grafico
xlabel R [segarc]
ylabel \mu_R [mag segarc^{-2}]
```

```
ctype default
ptype 10 3 ##tipo de pontos
points r mr
```

```
ctype red
define yy (17.577007 + 250*0.19270868)
relocate 0 17.577007
draw 250 $yy
relocate 10 17.5
putlabel 6 {rms=0.2898}
```

```
ctype blue
define ww (19.554374 + 250*0.063836881)
relocate 0 19.554374
draw 250 $ww
relocate 45 21
putlabel 6 {rms=0.0356}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R**1/4
```

```
window -3 3 2 2
lweight 3
ctype default

lim 0.8 3.1 25 $y2 box 1 0 0 0
#lim 0.8 2.1 21 16.5 box 1 0 0 0
xlabel R^{1/4} [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points r4 mr
```

```
expand 1.001
```

```
ctype red
```



```
define a1 (13.089633 + 4*3.7269399)
relocate 0 13.089633
draw 4 $a1
relocate 1.7 17.5
putlabel 6 {rms=0.0840}
```

```
ctype blue
define a2 (10.704997 + 4*4.5669937)
relocate 0 10.704997
draw 4 $a2
relocate 1 23.5
putlabel 6 {rms=0.1155}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE LOG(R)
```

```
window -3 3 3 2
lweight 3
ctype default
```

```
lim -0.2 2 25 $y2 box 1 0 0 0
#lim -0.3 1.3 21 16.5 box 1 0 0 0
xlabel log(R) [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points logr mr
```

```
ctype red
define a3 (16.320812 + 3*3.4479343)
relocate 0 16.320812
draw 3 $a3
relocate -0.1 21
putlabel 6 {rms=0.0247}
```

```
ctype blue
define a4 (11.338495 + 3*6.7939422)
relocate 0 11.338495
draw 3 $a4
relocate 0.5 23.5
putlabel 6 {rms=0.1476}
```

```
ngc3227r ## NGC3227 imagem=clean0107final
```

```
##location 10000 20000 10000 20000
data clean0107finalnortelivre.dat ## leitura dos dados
read {r 1 r4 2 logr 3 mr 4} ## definicao das vetores
```

```
expand 1.001
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R
```

```
#erase
```

```
window -3 3 1 3 ## define janela 3x3
lweight 3 ## grossura da linha no grafico
ctype default ## cor
mm mr ## min e max do vetor
define y1 ($_max+0.3) ## definica de uma variavel
define y2 ($_min-0.3) ## $ entra com o valor da variavel
```

```
##toplabel NGC 3226
lim r $y1 $y2 box
#lim 0.5 15 20 16 box ##limites do grafico
xlabel R [segarc]
ylabel \mu_R [mag segarc^{-2}]
```

```
ctype default
ptype 10 3 ##tipo de pontos
points r mr
```

```
ctype red
define a5 (17.553583 + 80*0.20941445)
relocate 0 17.553583
draw 80 $a5
relocate 10 17
putlabel 6 {rms=0.1265}
```

```
ctype blue
define a6 (19.21946 + 80*0.044916835)
relocate 0 19.21946
draw 80 $a6
relocate 25 19.5
putlabel 6 {rms=0.0261}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R**1/4 ..
```

```
window -3 3 2 3
lweight 3
ctype default
```

```
lim r4 $y1 $y2 box 1 0 0 0
#lim 1 2 20 16 box 1 0 0 0
xlabel R^{1/4} [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points r4 mr
```

```
expand 1.001
```

```
ctype red
define a7 (13.64338 + 3*3.3464207)
relocate 0 13.64338
draw 3 $a7
relocate 1.4 17
putlabel 6 {rms=0.0630}
```

```
ctype blue
define a8 (14.714209 + 3*2.5215905)
relocate 0 14.714209
draw 3 $a8
relocate 0.9 21
putlabel 6 {rms=0.0689}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE LOG(R)
```

```
window -3 3 3 3
lweight 3
ctype default
```

```
lim logr $y1 $y2 box 1 0 0 0
#lim 0 1.2 20 16 box 1 0 0 0
xlabel log(R) [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points logr mr
```

```
ctype red
define a9 (16.568753 + 3*3.0025817)
relocate 0 16.568753
draw 3 $a9
relocate 0.6 17
putlabel 6 {rms=0.0422}
```

```
ctype blue
define a10 (15.527185 + 3*3.4568157)
relocate 0 15.527185
draw 3 $a10
relocate -0.3 21
putlabel 6 {rms=0.0855}
```

```
ngc3226r ## NGC3226 imagem=clean0107final
```

```
##location 10000 20000 10000 20000
data clean0107finalsullivre.dat ## leitura dos dados
read {r 1 r4 2 logr 3 mr 4} ## definicao das vetores
```

```
expand 1.001
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R
```

```
#erase
```

```
window -3 3 1 2 ## define janela 3x3
lweight 3 ## grossura da linha no grafico
ctype default ## cor
mm mr ## min e max do vetor
define y1 ($_max+0.3) ## definica de uma variavel
define y2 ($_min-0.3) ## $ entra com o valor da variavel
##toplabel NGC 3226
lim r $y1 $y2 box ##limites do grafico
#lim 0.5 10 19.5 16 box
xlabel R [segarc]
ylabel \mu_R [mag segarc^{-2}]
```

```
ctype default
ptype 10 3 ##tipo de pontos
points r mr
```

```
ctype red
define a11 (17.415008 + 50*0.22140319)
relocate 0 17.415008
draw 50 $a11
relocate 6 17
putlabel 6 {rms=0.0744}
```

```
ctype blue
```

```
define a12 (19.315903 + 50*0.060644798)
relocate 0 19.315903
draw 50 $a12
relocate 19 19.5
putlabel 6 {rms=0.0568}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R**1/4
```

```
window -3 3 2 2
lweight 3
ctype default
```

```
lim r4 $y1 $y2 box 1 0 0 0
#lim 0.8 1.8 19.5 16 box 1 0 0 0
xlabel R^{1/4} [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points r4 mr
```

```
expand 1.001
```

```
ctype red
define a13 (13.527362 + 3*3.3809271)
relocate 0 13.527362
draw 3 $a13
relocate 1.3 17
putlabel 6 {rms=0.0081}
```

```
ctype blue
define a14 (14.810477 + 3*2.7166932)
relocate 0 14.810477
draw 3 $a14
relocate 0.9 21
putlabel 6 {rms=0.0132}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE LOG(R)
```

```
window -3 3 3 2
lweight 3
ctype default
```

```
lim logr $y1 $y2 box 1 0 0 0
#lim -0.3 1 19.5 16 box 1 0 0 0
xlabel log(R) [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points logr mr
```

```
ctype red
define a15 (16.520029 + 3*2.9855017)
relocate 0 16.520029
draw 3 $a15
relocate 0.45 17
putlabel 6 {rms=0.0166}
```

```
ctype blue
```

```
define a16 (16.063516 + 3*3.4616465)
relocate 0 16.063516
draw 3 $a16
relocate -0.25 21
putlabel 6 {rms=0.0102}
```

```
ngc488r ## NGC488 imagem=clean0139final
```

```
##location 10000 20000 10000 20000
data clean0139finallivre.dat ## leitura dos dados
read {r 1 r4 2 logr 3 mr 4} ## definicao das vetores
```

```
expand 1.001
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R
```

```
#erase
```

```
window -3 3 1 2 ## define janela 3x3
lweight 3 ## grossura da linha no grafico
ctype default ## cor
mm mr ## min e max do vetor
define y1 ($_max+0.3) ## definica de uma variavel
define y2 ($_min-0.3) ## $ entra com o valor da variavel
##toplabel NGC 488
lim r $y1 $y2 box ##limites do grafico
#lim 0.5 21 20 16 box
xlabel R [segarc]
ylabel \mu_R [mag segarc^{-2}]
```

```
ctype default
ptype 10 3 ##tipo de pontos
points r mr
```

```
ctype red
define yy (16.919391 + 200*0.19195011)
relocate 0 16.919391
draw 200 $yy
relocate 10 17
putlabel 6 {rms=0.1917}
```

```
ctype blue
define ww (19.277463 + 200*0.034166165)
relocate 0 19.277463
draw 200 $ww
relocate 42 19.7
putlabel 6 {rms=0.0471}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R**1/4
```

```
window -3 3 2 2
lweight 3
ctype default
```

```
lim r4 $y1 $y2 box 1 0 0 0
#lim 0.8 2.1 20 16 box 1 0 0 0
xlabel R^{1/4} [segarc]
```

```
ctype default
```

```
pctype 10 3 points r4 mr
```

```
expand 1.001
```

```
cctype red
```

```
define aa (13.108569 + 4*3.2827557)
```

```
relocate 0 13.108569
```

```
draw 4 $aa
```

```
relocate 1.5 17
```

```
putlabel 6 {rms=0.0313}
```

```
cctype blue
```

```
define bb (14.21039 + 4*2.5920679)
```

```
relocate 0 14.21039
```

```
draw 4 $bb
```

```
relocate 1 21.5
```

```
putlabel 6 {rms=0.0758}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE LOG(R)
```

```
window -3 3 3 2
```

```
lweight 3
```

```
cctype default
```

```
lim logr $y1 $y2 box 1 0 0 0
```

```
#lim -0.3 1.3 20 16 box 1 0 0 0
```

```
xlabel log(R) [segarc]
```

```
cctype default
```

```
pctype 10 3 points logr mr
```

```
cctype red
```

```
define cc (16.036578 + 3*2.9218726)
```

```
relocate 0 16.036578
```

```
draw 3 $cc
```

```
relocate 0.8 17
```

```
putlabel 6 {rms=0.0428}
```

```
cctype blue
```

```
define dd (14.533746 + 3*3.8891341)
```

```
relocate 0 14.533746
```

```
draw 3 $dd
```

```
relocate -0.2 21.5
```

```
putlabel 6 {rms=0.1099}
```

```
ngc523r ## NGC523 imagem=clean0141final
```

```
##location 10000 20000 10000 20000
```

```
data clean0141finallivre.dat ## leitura dos dados
```

```
read {r 1 r4 2 logr 3 mr 4} ## definicao das vetores
```

```
expand 1.001
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R
```

```
#erase
```

```
window -3 3 1 1
```

```
## define janela 3x3
```

```

lweight 3                ## grossura da linha no grafico
ctype default            ## cor
mm mr                    ## min e max do vetor
define y1 ($_max+0.3)    ## definica de uma variavel
define y2 ($_min-0.3)    ## $ entra com o valor da variavel
##toplabel NGC 523
lim 0 100 25.5 $y2 box
#lim 0.3 6 20.5 16.5 box ##limites do grafico
xlabel R [segarc]
ylabel \mu_R [mag segarc^{-2}]

ctype default
ptype 10 3                ##tipo de pontos
points r mr

ctype red
define xx (17.848694 + 200*0.45537592)
relocate 0 17.848694
draw 200 $xx
relocate 10 18
putlabel 6 {rms=0.3798}

ctype blue
define zz (23.233269 + 200*0.024662333)
relocate 0 23.233269
draw 200 $zz
relocate 45 23.3
putlabel 6 {rms=0.0714}

## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R**1/4

window -3 3 2 1
lweight 3
ctype default

lim 0.75 3.2 25.5 $y2 box 1 0 0 0
#lim 0.8 1.6 20.5 16.5 box 1 0 0 0
xlabel R^{1/4} [segarc]

ctype default
ptype 10 3 points r4 mr

expand 1.001

ctype red
define a1 (12.504796 + 4*5.1812869)
relocate 0 12.504796
draw 4 $a1
relocate 1.3 18
putlabel 6 {rms=0.2414}

ctype blue
define a2 (18.585 + 4*2.2200109)
relocate 0 18.585
draw 4 $a2
relocate 0.9 24
putlabel 6 {rms=0.0681}

```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE LOG(R)
```

```
window -3 3 3 1  
lweight 3  
ctype default
```

```
lim -0.6 2 25.5 $y2 box 1 0 0 0  
#lim -0.4 0.8 20.5 16.5 box 1 0 0 0  
xlabel log(R) [segarc]
```

```
ctype default  
ptype 10 3 points logr mr
```

```
ctype red  
define a3 (17.414536 + 3*4.102152)  
relocate 0 17.414536  
draw 3 $a3  
relocate 0.4 18  
putlabel 6 {rms=0.1932}
```

```
ctype blue  
define a4 (18.434145 + 3*3.5694723)  
relocate 0 18.434145  
draw 3 $a4  
relocate -0.35 24  
putlabel 6 {rms=0.0734}
```

```
arp31r ## ARP31 imagem=clean0156
```

```
##location 10000 20000 10000 20000  
data clean0156livre.dat ## leitura dos dados  
read {r 1 r4 2 logr 3 mr 4} ## definicao das vetores
```

```
expand 1.001
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R
```

```
#erase
```

```
window -3 3 1 3 ## define janela 3x3  
lweight 3 ## grossura da linha no grafico  
ctype default ## cor  
mm mr ## min e max do vetor  
define y1 ($_max+0.3) ## definica de uma variavel  
define y2 ($_min-0.3) ## $ entra com o valor da variavel  
##toplabel ARP 31  
lim 0 100 25.5 $y2 box ##limites do grafico  
#lim 0.5 15 22 19.5 box  
xlabel R [segarc]  
ylabel \mu_R [mag segarc^{-2}]
```

```
ctype default  
ptype 10 3 ##tipo de pontos  
points r mr
```

```
ctype red  
define ee (19.768231 + 200*0.16976375)
```



```
relocate 0 19.768231
draw 200 $ee
relocate 12 20.5
putlabel 6 {rms=0.1322}
```

```
ctype blue
define ff (22.362819 + 200*0.04029294)
relocate 0 22.362819
draw 200 $ff
relocate 45 23.5
putlabel 6 {rms=0.1125}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R**1/4
```

```
window -3 3 2 3
lweight 3
ctype default
```

```
lim 0.8 3.2 25.5 $y2 box 1 0 0 0
#lim 0.9 1.9 22 19.5 box 1 0 0 0
xlabel R{1/4} [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points r4 mr
```

```
expand 1.001
```

```
ctype red
define gg (16.618916 + 4*2.7487713)
relocate 0 16.618916
draw 4 $gg
relocate 1.8 20.5
putlabel 6 {rms=0.0300}
```

```
ctype blue
define hh (16.55222 + 4*2.9672003)
relocate 0 16.55222
draw 4 $hh
relocate 1 24.5
putlabel 6 {rms=0.0670}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE LOG(R)
```

```
window -3 3 3 3
lweight 3
ctype default
```

```
lim -0.4 2 25.5 $y2 box 1 0 0 0
#lim -0.3 1.2 22 19.5 box 1 0 0 0
xlabel log(R) [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points logr mr
```

```
ctype red
define ii (19.090648 + 3*2.4080047)
relocate 0 19.090648
```

```
draw 3 $ii
relocate -0.2 22.3
putlabel 6 {rms=0.0515}
```

```
ctype blue
define jj (16.883675 + 3*4.4612363)
relocate 0 16.883675
draw 3 $jj
relocate 0.3 24.5
putlabel 6 {rms=0.0570}
```

```
arp141r ## ARP141 imagem=clean0158final
```

```
##location 10000 20000 10000 20000
data clean0158finallivre.dat ## leitura dos dados
read {r 1 r4 2 logr 3 mr 4} ## definicao das vetores
```

```
expand 1.001
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R
```

```
window -3 3 1 2 ## define janela 3x3
lweight 3 ## grossura da linha no grafico
ctype default ## cor
mm mr ## min e max do vetor
define y1 ($_max+0.3) ## definica de uma variavel
define y2 ($_min-0.3) ## $ entra com o valor da variavel
##toplabel ARP 141
lim r $y1 $y2 box ##limites do grafico
#lim 0.5 16 21.5 17 box
xlabel R [segarc]
ylabel \mu_R [mag segarc^{-2}]
```

```
ctype default
ptype 10 3 ##tipo de pontos
points r mr
```

```
ctype red
define kk (18.272442 + 200*0.29066249)
relocate 0 18.272442
draw 200 $kk
relocate 12 18
putlabel 6 {rms=0.2371}
```

```
ctype blue
define ll (21.298685 + 200*0.042408002)
relocate 0 21.298685
draw 200 $ll
relocate 42 22
putlabel 6 {rms=0.0446}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R**1/4
```

```
window -3 3 2 2
lweight 3
ctype default
```

```
lim r4 $y1 $y2 box 1 0 0 0
#lim 1 2 21.5 17 box 1 0 0 0
xlabel R^{1/4} [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points r4 mr
```

```
expand 1.001
```

```
ctype red
define mm (13.414108 + 4*4.3347529)
relocate 0 13.414108
draw 4 $mm
relocate 1.42 18
putlabel 6 {rms=0.0801}
```

```
ctype blue
define nn (15.66125 + 4*2.9478591)
relocate 0 15.66125
draw 4 $nn
relocate 1 24
putlabel 6 {rms=0.0842}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE LOG(R)
```

```
window -3 3 3 2
lweight 3
ctype default
```

```
lim logr $y1 $y2 box 1 0 0 0
#lim -0.1 1.2 21.5 17 box 1 0 0 0
xlabel log(R) [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points logr mr
```

```
ctype red
define oo (17.349542 + 3*3.7338776)
relocate 0 17.349542
draw 3 $oo
relocate 0.65 18
putlabel 6 {rms=0.0275}
```

```
ctype blue
define pp (16.169556 + 3*4.32842)
relocate 0 16.169556
draw 3 $pp
relocate -0.2 24
putlabel 6 {rms=0.1079}
```

```
arp219r ## ARP219 imagem=clean0165
```

```
##location 10000 20000 10000 20000
data clean0165livre.dat ## leitura dos dados
read {r 1 r4 2 logr 3 mr 4} ## definicao das vetores
```

```
expand 1.001
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R
```

```
#erase
```

```
window -3 3 1 1
```

```
lweight 3
```

```
ctype default
```

```
mm mr
```

```
define y1 ($_max+0.3)
```

```
define y2 ($_min-0.3)
```

```
##toplabel ARP 219
```

```
lim 0 60 26 $y2 box
```

```
#lim 0.4 18 23 19 box
```

```
xlabel R [segarc]
```

```
ylabel \mu_R [mag segarc^{-2}]
```

```
## define janela 3x3
```

```
## grossura da linha no grafico
```

```
## cor
```

```
## min e max do vetor
```

```
## definica de uma variavel
```

```
## $ entra com o valor da variavel
```

```
##limites do grafico
```

```
ctype default
```

```
ptype 10 3
```

```
points r mr
```

```
##tipo de pontos
```

```
ctype red
```

```
define qq (19.230263 + 100*0.24738415)
```

```
relocate 0 19.230263
```

```
draw 100 $qq
```

```
relocate 7 19.5
```

```
putlabel 6 {rms=0.1482}
```

```
ctype blue
```

```
define rr (21.118265 + 100*0.09941072)
```

```
relocate 0 21.118265
```

```
draw 100 $rr
```

```
relocate 26 22.7
```

```
putlabel 6 {rms=0.1877}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE R**1/4
```

```
window -3 3 2 1
```

```
lweight 3
```

```
ctype default
```

```
lim 0.7 2.9 26 $y2 box 1 0 0 0
```

```
#lim 1.1 2 23 19 box 1 0 0 0
```

```
xlabel R^{1/4} [segarc]
```

```
ctype default
```

```
ptype 10 3 points r4 mr
```

```
expand 1.001
```

```
ctype red
```

```
define ss (14.619915 + 4*4.0161906)
```

```
relocate 0 14.619915
```

```
draw 4 $ss
```

```
relocate 1.63 19.7
```

```
putlabel 6 {rms=0.1177}
```

```
ctype blue
```

```
define tt (12.640721 + 4*4.9235214)
relocate 0 12.640721
draw 4 $tt
relocate 0.9 24.5
putlabel 6 {rms=0.2404}
```

```
## PERFIL DE BRILHO EM FUNCAO DE LOG(R)
```

```
window 13 3 3 1
lweight 3
ctype default
```

```
lim -0.4 198.26 $y2 box 1 0 0 0
#lim 0 1.2 23 19 box 1 0 0 0
xlabel log(R) [segarc]
```

```
ctype default
ptype 10 3 points logr mr
```

```
ctype red
define uu (18.22448 + 3*3.5271153)
relocate 0 18.22448
draw 3 $uu
relocate -0.23 22
putlabel 6 {rms=0.1592}
```

```
ctype blue
define vv (14.568001 + 3*6.5094545)
relocate 0 14.568001
draw 3 $vv
relocate 0.3 24.7
putlabel 6 {rms=0.2581}
```