

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA

DISTRIBUIÇÃO DE LUMINOSIDADE EM GALÁXIAS ESPIRAIS BARRADAS

Maria de Fátima Saraiva Schröder

Tese realizada sob a orientação da Dra. Miriani G. Pastoriza e co-orientação do Dr. Kepler de Souza Oliveira Filho, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS, em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Física.

Porto Alegre

1992

Para Karina

Agradecimentos

Agradeço a Miriani Pastoriza, minha orientadora de tese, pela indicação deste trabalho, pelo incentivo e pela minha formação . Agradeço ao Kepler Oliveira pela orientação durante as fases deste trabalho que dependeram de implementação de software computacional, e principalmente pela confiança que teve em mim. Agradeço ao Eduardo Bica pelas conversas esclarecedoras e valiosas sugestões. Agradeço ao Alberto Prass, ao Irani Queiroz e ao Marcio Oliveira pela colaboração na execução de programas e na elaboração dos gráficos. Agradeço ao Charles e à Clarissa pela simpatia e disponibilidade com que me ajudaram com o latex. Agradeço à Thaísa Bergmann pelo apoio e coleguismo. Agradeço ao Mauro Wyrzykowski e ao Arthur Boos Jr. pela dedicação e competência no gerenciamento dos computadores do Instituto de Física, e pelo atendimento gentil aos usuários. Agradeço ao Cádio Bevilacqua pela ajuda com as fotografias. Agradeço à direção e ao pessoal dos Observatórios LNA (Brasil) e CTIO (Chile) pela concessão de tempo de telescópio e pela assistência às observações. Agradeço a todos os professores, colegas e funcionários que de uma forma ou outra contribuíram para este trabalho. Um agradecimento especial à minha família, pelo carinho e apoio.

RESUMO

Estudamos, através de fotometria superficial CCD em B, V, R e I, quatro galáxias espirais, classificadas como barradas, com tipos morfológicos entre Sa e Sc: NGC 6835, NGC 5757, IC 1091 e NGC 7412. Para cada galáxia, obtivemos mapas de isofotas e, através do ajuste de elipses às isofotas, determinamos parâmetros como inclinação, orientação no céu e diâmetros. Pelo ajuste de curvas padrões de crescimento às magnitudes integradas, obtivemos magnitudes totais em B e V. Traçamos diferentes tipos de perfis de brilho, tais como perfis de luminosidade ao longo dos eixos maior e menor das galáxias e/ou das barras, perfis de luminosidade promediados elipticamente e perfis azimutais. Os perfis nas direções das barras mostraram que o brilho superficial ao longo dessas componentes decresce de maneira uniforme, com um gradiente quase exponencial, e que é mais íngreme em I do que em B. Decompusemos os perfis de luminosidade médios em componentes bojo e disco, ajustando leis de De Vaucouleurs e exponencial. Os perfis azimutais foram estudados com análise de Fourier para determinar as componentes dominantes na região da barra. Traçamos perfis em várias cores ao longo dos eixos principais das galáxias e constatamos que três delas têm núcleo azul, sugerindo ser esse um fenômeno comum em galáxias barradas. Comparamos as cores nucleares com modelos de síntese de população estelar, o que mostrou que aconteceram eventos de formação estelar nesses núcleos nos últimos 10^8 anos.

ABSTRACT

We obtained CCD surface photometry in the B, V, R, I wavebands, for four barred spiral galaxies with morphological types ranging from Sa to Sc: NGC 6835, NGC 5757, IC 1091, and NGC 7412. For each galaxy we obtained isophote maps, inclination, orientation, and diameters. We determined B and V total magnitudes by fitting standard growth curves to integrated magnitudes. We determined different kinds of luminosity profiles, such as luminosity profiles along the major and minor axis of the galaxies and/or the bars, elliptically averaged luminosity profiles and azimuthal profiles. The profiles along the major axis of the bars showed that the surface brightness along these components decreases smoothly; the gradient is almost exponential and steeper in I than in B. We decomposed the mean luminosity profiles in contributions from bulge and disc, using as fitting functions de Vaucouleurs' law and an exponential law. The azimuthal profiles were studied by Fourier transformations to determine the main components in the bar region. Color profiles along the principal axis of the galaxies revealed that three of them have blue nucleus, suggesting this is a common phenomenon among barred galaxies. A comparison of the nuclear colors with models of stellar population synthesis showed that bursts of star formation occurred in these nuclei during the last 10^8 years.

Índice

I	INTRODUÇÃO	1
I.1	Motivação para a Pesquisa	1
I.2	Revisão Histórica	3
I.2.1	Galáxias Espirais Barradas	3
I.2.2	Distribuição de Luminosidade em Galáxias Espirais Barradas	5
I.2.3	Cores de Galáxias Espirais	9
I.3	Seleção dos Objetos	11
I.4	Organização do Trabalho	12
II	OBTENÇÃO DOS DADOS E REDUÇÃO	13
II.1	Introdução	13
II.1.1	Conceitos de Fotometria	13
II.1.2	Extinção Atmosférica	15
II.2	Observações	17
II.3	Processamento dos Dados	17
II.4	Determinação do Céu	20
II.5	Calibração Fotométrica	21
II.6	Mapas de Isofotas e Parâmetros Geométricos	23
II.7	Determinação das Magnitudes Integradas e Magnitudes Totais	24
II.8	Correções a Serem Aplicadas às Magnitudes	25
II.8.1	Absorção Galáctica	26

II.8.2 Extinção Interna	28
II.9 Correção pelo “Redshift”	29
II.10 Perfis de Luminosidade	29
II.10.1 Perfis ao Longo dos Eixos Maior e Menor	30
II.10.2 Perfis Médios	30
II.10.3 Perfis Azimutais	32
II.11 Correção por Efeito do Seeing	32
II.12 Decomposição dos Perfis de Luminosidade	34
III Fotometria Superficial de NGC 6835	37
III.1 Introdução	37
III.2 Observações	37
III.3 Calibração Fotométrica	38
III.4 Mapas de Isofotas e Parâmetros Geométricos	40
III.5 Perfis de Luminosidade Equivalente e Parâmetros Integrados	41
III.6 Perfis de Luminosidade	42
III.7 Perfis de Cor	45
IV FOTOMETRIA SUPERFICIAL DE NGC 5757	64
IV.1 Introdução	64
IV.2 Observações	66
IV.3 Calibração Fotométrica	66
IV.4 Morfologia	68
IV.5 Mapas de Isofotas e Parâmetros Geométricos	69
IV.6 Parâmetros Fotométricos Integrados	71
IV.7 Perfis de Luminosidade	73
IV.8 Perfis de Luminosidade Médios	75
IV.9 Decomposição dos Perfis	76
IV.10 Perfis de Cor	80

IV.11 Perfis Azimutais	83
V FOTOMETRIA SUPERFICIAL DE IC 1091	104
V.1 Introdução	104
V.2 Observações	104
V.3 Calibração Fotométrica	106
V.4 Morfologia	107
V.5 Parâmetros Geométricos	108
V.6 Parâmetros Fotométricos Integrados	108
V.7 Perfis de Luminosidade	110
V.8 Perfis de Luminosidade Médios - Decomposição	112
V.9 Distribuição de Cor	114
V.10 Perfis Azimutais	115
VI FOTOMETRIA SUPERFICIAL DE NGC 7412	127
VI.1 Introdução	127
VI.2 Observações	129
VI.3 Calibração Fotométrica	129
VI.4 Morfologia	132
VI.5 Mapas de Isofotas e Parâmetros Geométricos	134
VI.6 Distribuição de Luminosidade Integrada e Parâmetros Fotométricos	135
VI.7 Perfis de Luminosidade ao longo dos Eixos Maior e Menor	140
VI.8 Perfis de Luminosidade Médios - Decomposição	141
VI.9 Distribuição de Cor	143
VI.10 Perfis Azimutais	146
VI.11 Decomposição de Fourier	147
VI.11.1 Análise de Fourier com Base de Senos e Cossenos	147
VI.11.2 Análise de Fourier Usando a Base de Espirais Logarítmicas	148

VII DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	173
VII.1NGC 6835	173
VII.2NGC 5757	174
VII.3IC 1091	176
VII.4NGC 7412	177
VII.5DISCUSSÃO COMPARATIVA	178
VII.5.1 Propriedades Globais das Galáxias	180
VII.5.2 Propriedades das Barras	181
VII.5.3 Propriedades dos Bojos	182
VII.5.4 Propriedades dos Discos	182
VII.5.5 Índices de Cor e População Estelar	182
VII.6CONCLUSÕES	183
Referências	185
A Artigos Publicados	193

Relação das Tabelas

III.1	Parâmetros Catalogados de NGC 6835.	47
III.2	Observações de NGC 6835	47
III.3	Fotometria Fotoelétrica em Multiaberturas.	48
III.4	Distribuição de Luminosidade Integrada em NGC 6835.	49
III.5	Parâmetros Globais para NGC 6835	50
III.6	Correção da Magnitude e Cores de NGC 6835.	50
III.7	Parâmetros do Ajuste do Perfil do Eixo Maior de NGC 6835	51
IV.1	Parâmetros catalogados de NGC 5757	65
IV.2	Observações CCD para NGC 5757.	66
IV.3	Fotometria Fotoelétrica de NGC 5757	69
IV.4	Distribuição de Luminosidade Integrada em NGC 5757.	72
IV.5	Correções da Magnitude e Cores de NGC 5757	73
IV.6	Parâmetros Globais de NGC 5757	74
IV.7	Ajuste do Perfil Original de NGC 5757	77
IV.8	Ajuste do Perfil Deconvoluido com Gaussiana	78
IV.9	Ajuste do Perfil Deconvoluido com Estrela	78
IV.10	Termos de Fourier para NGC 5757 B.	85
IV.11	Termos de Fourier para NGC 5757 I.	85
V.1	Parâmetros Catalogados de IC 1091	105
V.2	Observações CCD para IC 1091.	105
V.3	Fotometria Fotoelétrica de IC1091	106

V.4	Distribuição de Luminosidade Integrada em IC 1091.	109
V.5	Correções da Magnitude e Cores de IC 1091	110
V.6	Parâmetros Globais de IC 1091	111
V.7	Parâmetros do Ajuste.	114
VI.1	Parâmetros Catalogados de NGC 7412	128
VI.2	Observações CCD para NGC 7412	129
VI.3	Fotometria Fotoelétrica de NGC 7412	133
VI.4	Distribuição de Luminosidade em Isofotas para NGC 7412	136
VI.5	Distribuição de Luminosidade Integrada em Elipses para NGC 7412.	137
VI.6	Correções da Magnitude e Cores de NGC 7412	138
VI.7	Parâmetros Globais de NGC 7412	139
VI.8	Ajuste do Bojo de NGC 7412.	143
VI.9	Ajuste da Região Externa de NGC 7412.	144
VI.10	Componentes de Fourier de NGC 7412 - B.	149
VI.11	Componentes de Fourier de NGC 7412 - I.	149
VI.12	Componentes Espirais Logarítmicas de NGC 7412-B.	150
VI.13	Componentes Espirais Logarítmicas de NGC 7412-I.	150
VII.1	Principais Parâmetros das Galáxias Estudadas.	178

Relação de Figuras

III.1	Fotografias de NGC 6835	52
III.2	Calibração de NGC 6835	53
III.3	Calibração de NGC 6835	54
III.4	Mapas de Isofotas de NGC 6835	55
III.5	Ajuste de Elipses aos Contornos de NGC 6835	56
III.6	Razões Axiais e Orientações das Isofotas de NGC 6835	57
III.7	Curva de Crescimento para NGC 6835	58
III.8	Perfis de Luminosidade e de Cor ao Longo dos Eixos Principais de NGC 6835	59
III.9	Perfis de Luminosidade Paralelos ao Eixo Maior de NGC 6835	60
III.10	Ajuste Exponencial ao Perfil do Eixo Maior de NGC 6835	61
III.11	Distribuição de Luminosidade Projetada de um Disco Exponencial Inclinado	62
III.12	Ajuste do Perfil de NGC 6835 com um Disco Exponencial Projetado	63
IV.1	Calibração de NGC 5757	86
IV.2	Fotografias de NGC 5757	87
IV.3	Imagem CCD de NGC 5757	88
IV.4	Mapas de Isofotas de NGC 5757	89
IV.5	Ajuste de Elipses aos Contornos de NGC 5757	90
IV.6	Orientações e Razões Axiais das Isofotas de NGC 5757	91
IV.7	Curvas de Crescimento para NGC 5757	92
IV.8	Índices de Concentração para NGC 5757	93
IV.9	Perfis de Luminosidade nas direções da Barra em NGC 5757	94

IV.10 Perfis Promediados Elipticamente de NGC 5757	95
IV.11 Perfis Promediados Elipticamente Deconvoluídos com Gaussiana	96
IV.12 Perfis Promediados Elipticamente Deconvoluídos com Estrela	97
IV.13 Perfis de Cor nas direções da barra em NGC 5757	98
IV.14 Imagens em cor V-I da Região Central de NGC 5757	99
IV.15 Diagramas de Cor para os Núcleos de Galáxias	100
IV.16 Perfis Azimutais na Região da Barra de NGC 5757	101
IV.17 Análise de Fourier na Região da Barra de NGC 5757	102
V.1 Calibração de IC 1091	116
V.2 Imagem CCD de IC 1091	117
V.3 Mapas de Isofotas de IC 1091	118
V.4 Razões Axiais e Orientação das Isofotas	119
V.5 Curvas de Crescimento para IC 1091	120
V.6 Perfis de Luminosidade nas direções da barra de IC 1091	121
V.7 Perfis Promediados Elipticamente para IC 1091	122
V.8 Imagens em Cor de IC 1091	123
V.9 Perfis de Cor nas direções da Barra de IC 1091	124
V.10 Perfis Azimutais para IC 1091	125
V.11 Análise de Fourier	126
VI.1 Calibração de NGC 7412	151
VI.2 Fotografias de NGC 7412	152
VI.3 Imagem CCD de NGC 7412 om Filtro B	153
VI.4 Imagem CCD de NGC 7412 com Filtro I.	154
VI.5 Mapas de Isofotas de NGC 7412.	155
VI.6 Razões Axiais e Orientações das Isofotas de NGC 7412	156
VI.7 Curva de Crescimento Adotada para NGC 7412	157
VI.8 Curva de Crescimento Baseada na Fotometria Fotoelétrica	158

VI.9 Perfis de Luminosidade e de Cor ao Longo dos Eixos Principais de NGC 7412159	
VI.10 Perfis de Luminosidade e de Cor ao Longo da Barra de NGC 7412	160
VI.11 Perfis Médios de NGC 7412 Ajustados com as Leis $r^{1/4}$ e Exponencial . .	161
VI.12 Perfis Médios de NGC 7412 Ajustados com Duas Exponenciais	162
VI.13 Imagem em Cor B-V de NGC 7412	163
VI.14 Imagens em Cor V-I de NGC 7412	164
VI.15 Diagrama de Cor B-V vs. Distância Galactocêntrica para NGC 7412 . . .	165
VI.16 Diagramas de Cor para as Condensações Brilhantes em NGC 7412	166
VI.17 Perfis Azimutais para NGC 7412	167
VI.18 Amplitudes das Componentes de Fourier de NGC 7412	168
VI.19 Amplitudes das Componentes Espirais Logarítmicas, de NGC 7412-B . . .	169
VI.20 Amplitudes das Componentes Espirais Logarítmicas, de NGC 7412-I . . .	170
VI.21 Amplitudes da Componente $m = 2$ em Diferentes Regiões de NGC 7412 .	171

Capítulo I

INTRODUÇÃO

I.1 Motivação para a Pesquisa

A distribuição de luminosidade é uma das poucas evidências observacionais sobre a estrutura interna das galáxias, e mesmo embora se possa aprender bastante simplesmente olhando fotografias de galáxias, se alcança um entendimento muito maior fazendo medidas quantitativas da distribuição de brilho superficial. A Fotometria Superficial tem sido aplicada com sucesso na investigação de nebulosas mesmo antes do caráter extragalático de alguns desses objetos ter sido claramente estabelecido (Capaccioli, 1988). Os estudos pioneiros nesse campo se devem a Reynolds (1913) e Hubble (1930), que encontraram que a distribuição de luminosidade em galáxias elípticas varia com o quadrado da distância ao centro. Uma contribuição muito grande foi dada por de Vaucouleurs, que através de extensivos estudos de material fotográfico, suplementado por fotometria fotoelétrica, encontrou que a distribuição de luminosidade em galáxias normais pode ser descrita em termos de duas componentes principais: uma componente esferoidal característica de galáxias elípticas e do bojo de galáxias espirais, que segue aproximadamente uma lei de distribuição que varia com $r^{\frac{1}{4}}$, sendo r a distância ao centro (de Vaucouleurs 1948, 1962, 1958, 1974), e uma componente achatada característica do disco das galáxias espirais tardias, que segue uma distribuição exponencial (de Vaucouleurs 1958, 1959, 1974).

O progresso nessa área foi inicialmente muito lento, em parte devido ao trabalho difícil

de obter e analisar as placas fotográficas. Desenvolvimentos mais recentes em processamento de imagens e instrumentação, como microdensitômetros PDS e detectores CCD, proporcionaram um grande impulso nesse campo, e atualmente se deve muito do que se sabe sobre a morfologia, distribuição de luminosidade e população estelar de galáxias à fotometria superficial em várias cores, isto é, em várias bandas espectrais.

Um dos importantes resultados advindos dos melhoramentos tecnológicos, os quais aumentaram enormemente tanto a qualidade quanto a quantidade de dados de fotometria superficial, foi que cada vez se torna mais evidente que os perfis de luminosidade das galáxias espirais muitas vezes se desviam do cenário tradicional de um disco exponencial mais um bojo arredondado descrito por uma lei $r^{\frac{1}{4}}$. Tais desvios acontecem tanto no bojo quanto no disco, e estão geralmente associados a regiões de formação estelar, anéis, lentes ou barra (Tsikoudi 1979, Burstein 1979, Boroson 1981), ou a bojos em forma de caixa (Shaw 1987). Conforme é discutido por Kormendy (1982), a barra induz processos de evolução secular cujos produtos finais podem ser lentes ou anéis. Os bojos quadrados, por sua vez, parecem estar relacionados às barras (de Souza e dos Anjos 1987, Dettmar 1991), e portanto a barra é a componente principal a ser investigada para estudar se sua presença realmente altera a estrutura do bojo e do disco. Essa foi a principal motivação deste trabalho, em que apresentamos a fotometria superficial de 4 galáxias barradas: NGC 6835, NGC 5757, IC 1091 e NGC 7412.

O primeiro objetivo deste trabalho é estudar por fotometria superficial B, V, R e I os parâmetros que descrevem a distribuição de luminosidade em galáxias espirais barradas. A análise em diferentes bandas espectrais tem a finalidade de isolar a contribuição de cada componente galáctica, visto que elas não têm todas a mesma população estelar, além de estudar a distribuição da poeira.

Um segundo objetivo é aumentar o número ainda muito reduzido de dados de fotometria superficial para galáxias austrais. Esses dados, além de serem imprescindíveis para o conhecimento das características físicas das galáxias, são a base para uma classificação quantitativa das galáxias e para testar teorias de formação galáctica. Finalmente, combi-

nados a dados cinemáticos, esses dados desempenham um papel fundamental na discussão de questões tão importantes e atuais como a massa das galáxias e do universo.

I.2 Revisão Histórica

I.2.1 Galáxias Espirais Barradas

As galáxias espirais barradas constituem uma categoria muito abundante na classificação de galáxias feita por Hubble (1926), constituindo quase 50% de todas as galáxias com disco (Kormendy, 1982), que incluem as lenticulares e as espirais, e mais de 60% de todas as galáxias espirais (Freeman 1970b). Por isso a formação e evolução de galáxias espirais barradas têm sido estudadas extensivamente, e modelos computacionais têm conseguido reproduzir de maneira consistente a estrutura da barra, mas sua origem e relação com outras componentes galácticas ainda é uma questão aberta.

A principal característica morfológica das barras é que são sistemas triaxiais muito alongados, com razões axiais entre 1:3:15 e 1:1.5:4 (Kormendy 1982), a dimensão menor indicando a provável espessura da barra na direção perpendicular ao plano equatorial. Essa dimensão é muito incerta devido à dificuldade de reconhecer uma barra de perfil (“edge-on”), sendo apenas um limite tirado da fotometria de galáxias de perfil. Esse limite sugere que as barras são sistemas extremamente achatados, como discos. As isofotas na região da barra geralmente têm formas mais retangulares do que elípticas (Athanasoula *et al.* 1990, Kent e Glauddell 1989, Wosniak e Pierce 1991, Ohta *et al.* 1990), mas em algumas galáxias elas têm forma de losango (Wosniak e Pierce 1991) ou triangular (Odehwan 1991). A fotometria publicada de barras mostra que a contribuição de luz da barra à luminosidade total varia desde valores desprezíveis em galáxias com barras muito tênues, até 40% em galáxias com barras intensas (Kormendy 1982, Duval e Athanasoula 1983, Pence e de Vaucouleurs 1985, Buta 1986, Forte *et al.* 1987).

A explicação mais aceita para a existência da barra é a mesma que para a estrutura espiral: é a resposta das estrelas a uma onda de densidade (Shu 1987), mas, pelo menos

para alguns objetos, também tem que ser considerada a possibilidade de ela ser um corpo material (Blackmann 1983, Baungart e Peterson 1986). Estudos dinâmicos de galáxias barradas mostram que as barras em geral têm rotação rápida e são suportadas por órbitas quasi-periódicas ao longo da barra (Pfenniger e Norman 1990). Nos pontos resumidos a seguir seguimos Kormendy (1982), Elmegreen e Elmegreen 1985, e Binney e Tremaine 1987). A forma reta da barra sugere que ela gira rigidamente, enquanto as estrelas giram diferencialmente e portanto fluem através da barra ou circulam ao longo dela. Os movimentos estelares geralmente se dão em órbitas alongadas na direção da barra, mas também podem ser quase circulares em barras fracas. O movimento do gás também é não circular, e fica concentrado em certos pontos sob o efeito de ondas de choque cuja localização pode ser identificada como a das franjas escuras comumente presentes nas barras. A posição do fim da barra em relação às orbitas de ressonância provavelmente depende da sua intensidade: normalmente ela termina no raio de corotação ou num raio imediatamente interior a ele, mas em espirais tardias (“late-type”) pode se estender somente até a órbita de ressonância interna de Lindblad.

Existem duas interpretações básicas para a origem das barras: de acordo com a primeira alternativa, deformações tipo barra são produzidas por instabilidades gravitacionais no disco durante a formação da galáxia, e então as barras se desenvolvem desde que o disco seja suficientemente frio para ser instável a essas deformações (Hohl 1971, Ostriker e Peebles 1973, Sellwood e Carlberg 1984). De acordo com a segunda alternativa, as barras se formam por contração anisotrópica da componente esferoidal (Lynden-Bell 1964, Fujimoto, 1968, Miller e Smith 1979, Sazov 1985). As indicações de que as barras são extremamente achatadas na direção do plano galáctico favorecem a primeira hipótese.

A formação dos braços espirais em galáxias barradas tem sido atribuída (i) ao fluxo de partículas através das extremidades de uma barra em crescimento girando rapidamente (Freeman 1975), (ii) à resposta de um disco estelar a uma barra girando rigidamente (Julian e Toomre 1966; Freeman 1975) ou (iii) à resposta de um disco gasoso a uma barra girando rigidamente (Seers e Huntley 1976; Binney e Tremaine 1987), embora esta terceira hipótese

seja enfraquecida pela observação, em muitas galáxias, da estrutura espiral também no disco estelar velho.

I.2.2 Distribuição de Luminosidade em Galáxias Espirais Barradas

Uma propriedade bem conhecida das galáxias espirais é que sua distribuição de luminosidade pode a grosso modo ser representada como uma combinação de duas componentes principais: uma componente esferoidal levemente achatada, o bojo, e uma componente discoidal altamente achatada, o disco (de Vaucouleurs 1962; Freeman 1970). A razão entre as luminosidades do bojo e do disco foi um dos principais critérios qualitativos usados por Hubble (1926) em seu esquema de classificação original.

As representações matemáticas que têm sido usadas para descrever o bojo são as mesmas aplicadas às galáxias elípticas, visto que suas distribuições de brilho são similares. A função mais frequentemente adotada é a função de de Vaucouleurs

$$\log \frac{I}{I_e} = -3.33071 \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right] \quad (\text{I.1})$$

onde I/I_e é a intensidade específica reduzida e r/r_e é o raio reduzido em termos do raio efetivo r_e da isofota com intensidade I_e , e que engloba metade da luminosidade total do esferóide.

O disco das galáxias espirais tem sido geralmente representado por uma distribuição exponencial do tipo

$$I = I_o e^{-\frac{r}{r_o}} \quad (\text{I.2})$$

(Freeman 1970a), onde I_o é a intensidade central e r_o é uma escala de distância característica. Essa distribuição é essencialmente a mesma expressada por de Vaucouleurs (1959a) em termos de quantidades reduzidas como

$$\log \frac{I}{I_e} = -0.7290 \left[\left(\frac{r}{r_e} \right) - 1 \right]$$

onde l/I_e e r/r_e são definidos da mesma maneira que para o esferóide.

Freeman (1970a) foi o primeiro a estudar a sistemática dos parâmetros I_o e r_o , analisando 36 galáxias discoidais frontais. O resultado mais importante do artigo de Freeman foi que em 28 das 36 galáxias a intensidade central I_o tem um valor praticamente constante com média em $21.65 \pm 0.3 \text{ mag B/segarc}^2$. Estudos mais recentes têm geralmente confirmado esse valor, embora com um espalhamento bem maior (Schweizer 1976, Boroson 1981, van der Kruit 1987) e desde que o disco siga a lei exponencial, o que nem sempre ocorre. Van der Kruit e Searle (1981) enfatizam que existe uma grande variedade de perfis discoidais, e o disco exponencial é apenas a melhor aproximação .

Um segundo resultado importante do trabalho de Freeman é que parece haver dois tipos de perfis de disco. Um perfil de tipo I é caracterizado por um decrescimento gradual no brilho superficial desde as regiões dominadas pelo bojo até as regiões dominadas pelo disco, sendo que a transição entre as duas regiões é acompanhada somente por uma variação no gradiente de brilho. Em contraste, um perfil de tipo II é caracterizado por uma depressão na região intermediária entre o bojo e o disco, de forma que o brilho superficial extrapolado do disco é mais brilhante do que a luminosidade do perfil observado nessa região. Um último resultado de Freeman é que o fator de escala r_0 tem uma dependência fraca com o tipo morfológico no sentido de que em sistemas espirais mais tardios ele é menor do que em sistemas espirais mais recentes.

Outros trabalhos importantes sobre discos foram realizados por Kormendy (1977), Burstein (1979c), e van der Kruit e Searle (1981a,b). Kormendy, em um estudo sobre 35 galáxias compactas e normais, apresentou evidências para a existência de discos truncados interna e externamente. Burstein, em um estudo sobre SO's altamente inclinadas, encontrou que a distâncias grandes do plano os perfis de brilho têm excesso de luz em relação ao modelo de um bojo esférico mais um disco fino exponencial, sugerindo a existência de "discos espessos"; para as SO's de frente ele encontrou que um bom ajuste dos perfis de brilho poderia ser obtido sem necessidade de truncamento. Van de Kruit e Searle estudaram discos de perfil, e encontraram que a distribuição bidimensional do disco é:

$$I(r, z) = I_o^D e^{-\frac{r}{r_o}} \operatorname{sech}^2\left(\frac{z}{z_o}\right)$$

onde I_o^D é uma constante, e z_o é a escala de distancia na direção perpendicular ao disco. A dependência com $\operatorname{sech}^2(z/z_o)$ descreve uma camada isotérmica auto-gravitante de estrelas. A projeção da equação acima para uma galáxia de frente ($z=0$) é:

$$I(r) = 2I_o z_o e^{-\frac{r}{r_o}}$$

que tem a mesma forma da função usada por Freeman (1970a).

A origem da distribuição exponencial é desconhecida, mas tem sido investigada por alguns autores. Schwarz (1971) sugeriu que ela pode resultar naturalmente do rearranjo do material do disco sob a influência de barras ou distorções ovais. Silk e Norman (1981) atribuem a natureza exponencial do disco a processos viscosos de acreção. Van der Kruit (1987) mostrou que a distribuição exponencial pode ser explicada se as galáxias se originam de esferas com rotação uniforme, que derivam seu momentum angular de torques de maré em um universo no qual a aglomeração ocorre hierarquicamente, e que colapsam com conservação do momentum angular. Esse modelo explicaria também o valor quase constante do brilho superficial central do disco. Yoshii e Sommer-Larsen (1989) mostraram que a distribuição exponencial pode resultar durante a formação do disco se a viscosidade do gás e a formação estelar têm escalas de tempo comparáveis.

A distribuição de brilho na barra não é bem conhecida, uma vez que essas componentes nunca ocorrem isoladas. A fotometria publicada geralmente mostra que o brilho superficial ao longo do eixo maior é aproximadamente constante até a borda da barra, onde o brilho cai abruptamente (Kormendy 1982). Tentativas de ajustar uma lei de distribuição ao perfil da barra têm mostrado que normalmente a exponencial ajusta bem o perfil na direção do eixo maior (Elmegreen e Elmegreen (1985), Ohta *et al.* 1990, Baungart e Peterson 1986, Pence e de Vaucouleurs 1985, Blackmann 1983, Forte *et al.* 1987). Elmegreen e Elmegreen identificam dois tipos de barras, de acordo com a distribuição de brilho ao longo do eixo maior: as barras *achatadas*, nas quais a exponencial na barra é mais achatada do

que a exponencial ajustada na região dos braços espirais, e as barras *exponenciais*, nas quais a exponencial na barra é tão ou mais íngreme do que a exponencial ajustada nos braços espirais. Eles encontram algumas evidências de que as barras do primeiro tipo são mais extensas e fortes, e são mais comuns em galáxias espirais “early-type”, ao passo que as barras do segundo tipo são menores e fracas e aparecem mais frequentemente em espirais “late-type”. A predominância de um tipo de barra ou outro de acordo com o tipo morfológico ainda tem que ser melhor investigada: de acordo com essa classificação, as barra que Blackman encontra em NGC 7479, e Odewhan encontra em NGC 4618 e NGC 4625, ambas espirais tardias, são achatadas, e as barra que Ohta *et al.* encontram em várias galáxias “early-type” são exponenciais.

Ao longo do eixo menor da barra, diferentes tipos de distribuição têm sido encontrados: segundo Kormendy (1982), o perfil nessa direção da barra é íngreme como uma lei $r^{\frac{1}{4}}$; Baungart e Peterson (1986) encontram uma distribuição exponencial, e Blackman (1983), e Ohta *et al.* (1990) encontram uma distribuição gaussiana.

Devido à dificuldade de identificar uma barra de perfil, fica difícil descrever o perfil da barra na direção perpendicular ao plano do disco. Burstein (1979) encontrou que a distribuição nessa direção para a galáxia NGC 4762 também obedece uma lei $r^{\frac{1}{4}}$. Wakamatsu e Hamabe (1984) encontraram que para a galáxia NGC 4762 a distribuição na direção perpendicular à barra pode ser ajustada por um modelo isotérmico, matematicamente expresso por uma função $sech^2(z)$, onde z é a distância ao plano da galáxia; resultado semelhante foi encontrado por de Carvalho e da Costa (1988) para NGC 1381.

É pouco conhecido como a barra afeta a distribuição de brilho das componentes bojo e disco. Em algumas galáxias, a presença da barra não afeta o perfil radial médio, de forma que os parâmetros estruturais derivados para as componentes principais são indistinguíveis dos parâmetros derivados para essas componentes em galáxias ordinárias (Ohta *et al.* 1990, Kodaira *et al.* 1986); em outros casos, no entanto, a presença da barra gera uma elevação no perfil médio, de forma que ao fazer a decomposição os parâmetros do bojo e do disco ficam diferentes dos das espirais ordinárias (exemplo NGC 5383, Duval e Athanassoula

1983). Em outros casos ainda, o perfil radial médio fica com uma distribuição similar à dos perfis do tipo II de Freeman (1970a) (exemplos: seis das galáxias estudadas por Baungart e Peterson 1986, NGC 4725, estudada por Boroson 1981), e nesses casos fica impossível fazer a decomposição, a menos que se considere também uma função para a barra.

I.2.3 Cores de Galáxias Espirais

As cores observadas das galáxias são controladas por um conjunto de fatores entre os quais os principais são: a composição química média, a idade média da população estelar, e a função inicial de massa (Wirth 1981, Larson e Tinsley 1977). Assim, a grande importância da medida de cores em galáxias é que elas proporcionam informações sobre a formação e a evolução química e dinâmica dessas galáxias.

As abundâncias metálicas no gás interestelar e em estrelas variam sistematicamente de um lugar a outro dentro das galáxias. Visto que elementos pesados supostamente foram sintetizados no interior de estrelas massivas, a abundância metálica atualmente observada em galáxias oferece um traçador da história da formação estelar dentro das galáxias (Binney e Tremaine 1987). Como as abundâncias metálicas podem ser inferidas através das cores, as cores da população estelar fornecem indícios de como a evolução química procedeu à medida que as estrelas se formaram na história da galáxia (Boroson *et al.* 1983).

No cenário de formação galáctica por colapso, a estrutura da galáxia resultante depende da taxa de formação estelar na nuvem protogaláctica: uma taxa elevada de formação estelar leva a um sistema esferoidal, ao passo que um sistema discoidal resultará se a formação estelar for suficientemente lenta para dar tempo ao gás de se estabelecer em um plano antes de se transformar em estrelas. Assim, em uma galáxia elíptica, a maior parte de seu conteúdo gasoso se converteu em estrelas num estágio bem primitivo de sua formação. Em galáxias espirais e irregulares, a conversão de estrelas em gás ocorreu de forma mais lenta e uniforme (Larson e Tinsley 1974).

Vários estudos (Larson e Tinsley 1977, e referências lá citadas) têm demonstrado a sensibilidade das cores UBV à taxa de formação estelar em galáxias, mostrando que as

diferentes cores de galáxias de diferentes tipos morfológicos podem ser explicadas se todas tem a mesma idade mas diferentes taxas de formação estelar ao longo do tempo, de forma que as galáxias “normais” se distribuem ao longo de uma linha no diagrama cor-cor, com uma certa dispersão devida às diferentes taxas de formação estelar intrínsecas a cada galáxia. Galáxias “peculiares” caem fora dessa relação, o que pode ser explicado por surtos de formação estelar mais fortes que resultam em uma cor U-B excessivamente azul comparada com B-V. A influência da metalicidade move as cores paralelamente à linha média, alterando pouco o espalhamento.

Além das galáxias apresentarem cores diferentes de acordo com seu tipo morfológico, quase todas as galáxias apresentam internamente gradientes de cor, geralmente tornando-se mais azuis do centro para fora (Borson *et al.* 1983, Caldwell 1983, Jensen e Thuan 1982, Schweizer 1976). Esses gradientes de cor são interpretados como devidos principalmente a diferenças de metalicidade em galáxias early-type (Wirth 1981, Vader *et al.* 1988) embora em galáxias espirais diferenças de idade também se tornem importantes, o que está de acordo com o cenário de formação galáctica exposto acima. Algumas galáxias apresentam um gradiente para o azul em direção ao centro dentro do núcleo (Borson *et al.* 1983, Vader *et al.* 1988), o qual é interpretado como sinal de formação estelar recente no núcleo.

A história da formação estelar em galáxias pode ser derivada da análise da população estelar. Whipple (1935) foi o primeiro a demonstrar um método para derivar informações quantitativas sobre as populações estelares em sistemas compostos. Diversas variações da técnica têm sido aplicadas por vários autores para estudos de síntese de populações em galáxias, geralmente feitos com bibliotecas de espectros estelares ou com bibliotecas contendo uma mistura de estrelas e aglomerados globulares (Pagel e Edmunds 1981, Pickles 1985 e referências lá citadas).

Uma nova variação do método foi desenvolvida por Bica e Alloin (1986, 1987a), utilizando como parâmetros a idade e a metalicidade, e implicitamente levando em conta a função inicial de massa e a evolução estelar pelo uso de espectros reais de aglomerados estelares, o que torna a síntese menos dependente de suposições teóricas. Os resultados,

inicialmente expressados em termos de proporções de fluxo de cada componente, foram transformados em contribuições de massa através da análise da evolução fotométrica de um aglomerado estelar (Arimoto e Bica 1989), usando o código evolucionário desenvolvido por Arimoto e Yoshii (1986).

Considerando a observação frequente de surtos de formação estelar em diferentes tipos de galáxias (galáxias interagentes, galáxias com núcleo ativo, galáxias compactas azuis, etc), Bica, Alloin e Schmidt 1990, utilizam a síntese de população estelar para simular a aparência atual de eventos de formação estelar ocorridos nos últimos 3×10^9 anos em núcleos de galáxias. Eles calculam o espectro resultante da combinação de surtos de diferentes idades e com diferentes contribuições em massa, superpostos à população mais velha, assim como as magnitudes e cores resultantes após convoluir o espectro resultante com as respostas dos filtros B, V, R e I. Eles encontram que o surto de formação estelar é mais proeminente nas cores B-V e mais atenuada em V-R, como resultado da maior sensibilidade do filtro B à presença de estrelas quentes. O método desenvolvido por Bica, Alloin e Schmidt é muito importante para o presente trabalho, pois embora a solução não seja única, ele permite, utilizando apenas as cores, identificar e datar possíveis eventos de formação estelar ocorridos nos núcleos das galáxias estudadas.

I.3 Seleção dos Objetos

As galáxias estudadas no presente trabalho fazem parte de uma amostra mais ampla selecionada do Second Reference Catalogue of Bright Galaxies (de Vaucouleurs, de Vaucouleurs e Corwin 1976 - daqui em diante RC2), usando como critérios:

- 1.º) que tivessem tipos morfológicos entre SBa e SBb, sem peculiaridades fortes para serem representativas de seu tipo;
- 2.º) que tivessem latitudes galácticas mais altas do que 30° e portanto fora do plano de nossa galáxia, para evitar muitas estrelas de campo e o efeito de avermelhamento frontal;
- 3.º) que tivessem declinações mais ao sul que 10° para serem visíveis nos observatórios do Brasil e do Chile;

4.º) que tivessem diâmetros menores que 200" para caberem dentro do chip CCD; (esta condição foi relaxada no caso de NGC 7412 porque achamos que a galáxia era muito interessante);

5.º) que não tivessem fotometria superficial detalhada publicada.

Nossa amostra inicial sofreu posteriores restrições devido a condições meteorológicas não favoráveis durante os turnos de observação e mesmo devido à dificuldade de trabalhar com um número grande de objetos com as técnicas de redução muito precárias de que dispúnhamos no início deste trabalho. Neste trabalho estamos apresentando as galáxias para as quais obtivemos maior número de dados.

I.4 Organização do Trabalho

O conteúdo desta tese está assim distribuído: no capítulo 2 descrevemos as observações e as técnicas utilizadas para reduzir e analisar os dados. Nos capítulos 3 a 6 aplicamos as técnicas descritas para as galáxias NGC 6835, NGC 5757, IC 1091 e NGC 7412. No capítulo 7 resumimos os resultados obtidos para cada galáxia, fazemos uma discussão comparativa entre elas e apresentamos as conclusões.

Capítulo II

OBTENÇÃO DOS DADOS E REDUÇÃO

II.1 Introdução

II.1.1 Conceitos de Fotometria

A grandeza mais característica de um campo de radiação é uma constante chamada intensidade específica I , que é a energia por unidade de área e por unidade de tempo que está sendo emitida pela fonte. Na posição do observador, essa energia é captada ao longo de uma direção θ , que é o ângulo entre a linha de visada e a direção normal à superfície emissora, e dentro de um ângulo sólido ω , que será tanto menor quanto mais distante estiver o objeto. Formalmente, a intensidade específica é definida como a energia que atravessa um elemento de área dA , por intervalo de tempo, dentro de um elemento de ângulo sólido $d\omega$, na direção θ , ou seja,

$$I = \frac{dE}{dt dA \cos\theta d\omega}$$

A intensidade específica, por sua definição, não depende da distância da fonte emissora. Geralmente é medida em $erg\ cm^{-2}\ s^{-1}\ str^{-1}$.

Outra quantidade de grande interesse é o fluxo F , que é a energia por unidade de área e por unidade de tempo que chega ao detector, e é o que se mede realmente. Formalmente, o fluxo em um dado ponto e em uma dada direção é a quantidade líquida de energia radiante

cruzando a unidade de área, por unidade de tempo, ou seja,

$$dF = \frac{dE}{dAdt} = I \cos \theta d\omega \Rightarrow F = \int I \cos \theta d\omega$$

Ao contrário da intensidade específica, o fluxo de radiação cai com o quadrado da distância (r), de forma que o fluxo que chega na Terra é muito menor do que o fluxo na superfície do astro, estando diluído por um fator de $\frac{1}{r^2}$.

Para uma estrela esférica de raio R , o fluxo na sua superfície será

$$F(R) = \frac{L}{4\pi R^2}$$

onde L é a luminosidade intrínseca em um comprimento de onda, ou brilho intrínseco do astro, que é a energia total emitida por segundo em todas as direções.

O fluxo a uma distância r da estrela será

$$F(r) = \frac{L}{4\pi r^2}$$

Nesse caso, $F(r)$ é o fluxo integrado sobre toda a superfície da estrela, e a luminosidade da estrela pode ser obtida diretamente multiplicando o fluxo dela proveniente pela área sobre a qual o fluxo se distribui.

Para objetos extensos, como galáxias, se observa o fluxo provindo de diferentes partes de sua superfície, de forma que para obter o fluxo integrado temos que integrar o fluxo sobre toda a superfície.

Supondo que o objeto tem simetria esférica, o fluxo integrado até um raio R sobre sua superfície, observado a uma distância r , será:

$$F_R(r) = 2\pi \int_0^R B(r') r' dr'$$

Nesta expressão, $B(r')$ é o brilho superficial a uma distancia r' do centro do objeto. O brilho superficial é o brilho emitido por cada unidade de área do astro, e varia de um ponto da superfície do astro a outro. Por exemplo, em galáxias elípticas e em bojos de galáxias espirais, o brilho superficial $B(r)$ normalmente segue uma distribuição que cai com $r^{\frac{1}{4}}$, ao

passo que em discos a distribuição geralmente cai exponencialmente. O brilho superficial em um ponto do objeto pode ser identificado como a intensidade específica naquele ponto, e portanto é independente da distância.

O brilho integrado monocromático aparente de um astro é o fluxo medido na Terra, também chamado luminosidade aparente. Normalmente é expresso em escala de magnitude, que por definição é:

$$m = -2.5 \log F + \text{const.}$$

O brilho superficial é medido em *magnitudes/segarc*², que abreviaremos por *m/*"². Considerando que magnitude é uma medida de *energia/tempo* (luminosidade) e *segarc*² é uma medida de área angular, vê-se que as dimensões de brilho superficial e intensidade específica são iguais.

A magnitude aparente total de um objeto extenso em princípio é obtida integrando seu fluxo até um raio infinito, ou seja:

$$m_T = -2.5 \log F_T + \text{const.} = -2.5 \log \left[2\pi \int_0^\infty B(r') r' dr' \right] + \text{const.}$$

As magnitudes totais da maioria das galáxias são difíceis de medir devido ao baixo brilho superficial de suas partes externas, e à contribuição do brilho do céu, sendo que na maioria das vezes é necessário usar um método de extrapolação. Uma maneira de contornar o problema é determinar a magnitude integrada até um certo nível de brilho superficial. Se o nível tem brilho superficial suficientemente baixo, a magnitude integrada assim definida se aproximará bastante da magnitude total da galáxia.

II.1.2 Extinção Atmosférica

A atmosfera da terra afeta as medidas, de forma que as magnitudes observadas devem ser ajustadas aos valores que teríamos se as observações fossem feitas fora da atmosfera. O efeito da atmosfera é absorver e espalhar a radiação em outras direções, processos esses que são descritos por um coeficiente de absorção *k*, usualmente medido em *cm*⁻¹. A perda relativa de fluxo sofrida pela luz ao atravessar uma distância *s* ao longo da camada atmosférica

será:

$$dF = -F \cdot k \cdot ds \Rightarrow \frac{dF}{F} = -k \cdot s$$

Chamandó F_o o fluxo fora da atmosfera, o fluxo que chega à Terra, obtido por integração da equação acima, é:

$$F = F_o e^{-\int k ds}$$

Chamando $\tau = -\int k ds =$ profundidade ótica,

$$F = F_o e^{-\tau}$$

A espessura ótica é uma função da distância zenital z , e supondo que a camada atmosférica é formada por camadas plano- paralelas, ela pode ser expressa por $\tau = \tau_o \sec z$ onde τ_o é a espessura ótica na direção do zênite, e o fluxo será:

$$F = F_o e^{-\tau_o \sec z}$$

Em magnitudes, essa equação fica:

$$m = m_o + 1.086 \tau_o \sec z = m_o + K \cdot X$$

onde $K = 1.086 \tau_o$ é o coeficiente de extinção, e $X = \sec z$ é a massa de ar.

A diferença $(m - m_o)$ é a extinção atmosférica em magnitudes, e é determinada através de estrelas padrões para as quais m_o é conhecido.

A constante K é característica do meio, e depende do comprimento de onda, sendo mais correto escrever

$$m(\lambda) = m_o(\lambda) + K(\lambda) \cdot X$$

Além da extinção atmosférica, é necessário levar em conta também a extinção interestelar, devida à poeira interestelar concentrada principalmente no plano da Galáxia, e que extingue a luz das estrelas. A extinção interestelar depende da direção em que se encontra o objeto, visto que a distribuição de matéria na nossa galáxia é não homogênea. A luz provinda de outras galáxias também sofre extinção dentro das próprias galáxias. A correção por esses efeitos será discutida na seção II.8, deste capítulo.

II.2 Observações

A análise fotométrica apresentada aqui está baseada em imagens diretas CCD tomadas com o telescópio de 91 cm, escala de 16.5 "/mm, do Observatório Interamericano de Cerro Tololo (CTIO), e com o telescópio de 160 cm, escala de 12.9 "/mm do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), no Brasil, em três turnos de observação entre 1987 e 1990. Nas observações feitas no CTIO foi utilizado um chip da Texas Instruments, TI n.º 1, que tem um formato de 800x800 pixels de 15 μm cada um, uma boa eficiência quântica no azul e um ruído de leitura de 5 elétrons. Os pixels foram automaticamente somados 2x2 para diminuir o ruído de leitura, de forma que ficaram com um tamanho efetivo de 30 μm ; o formato efetivo do chip ficou, portanto, 400x400 pixels, e a escala final do chip ficou 0.496 segundos de arco por pixel.

Nas observações no LNA, foi utilizado um chip de marca GEC modelo P8603S, sem "coating", com um formato de 394x575 pixels, com um tamanho de 22 μm cada um. No telescópio foi usado um redutor focal de forma que a escala final do chip ficou de 0.56 segundos de arco por pixel. O ruído de leitura é 6.8 elétrons.

Os filtros usados foram os do sistema BVRI. Nas observações no LNA apenas os filtros V, R e I foram usados visto que aquele chip GEC não tem resposta útil no azul.

II.3 Processamento dos Dados

Os dados "crus" foram processados utilizando as diversas formas de exposições para calibração feitas todas as noites. Essas exposições consistiram em frames de "bias", que são frames com tempos de exposição nulos, e flatfields, que foram obtidos expondo o CCD a uma tela uniforme iluminada por uma lâmpada, dentro da cúpula. Tipicamente foram tomados 25 frames de bias por noite e 25 frames de flatfield.

O objetivo da maioria dos dados de calibração é remover os efeitos aditivos, como o nível do pedestal eletrônico (medido na região do "overscan" em cada frame), o nível de "pre-flash" (medido nos frames de bias), e, se necessário, a corrente escura (que seria

medida em frames de longa exposição não expostos à luz, os “darks”). Os dados de flat-field irão remover os ganhos multiplicativos (diferenças de ganho pixel a pixel) e variações de iluminação através do chip.

O pré-processamento dos dados obtidos no CTIO foi feito no próprio observatório, com o computador PDP-11 que controlava o CCD. No caso dos dados obtidos no LNA, o processamento foi feito no Instituto de Física. Em ambos os casos o processamento seguiu um comportamento padrão, isto é, as imagens da galáxia foram subtraídas do bias medido na região do overscan, recortadas para eliminar a região do overscan e os defeitos das bordas do CCD, subtraídas das imagens de bias e então divididas por uma imagem do flatfield médio obtido com o filtro correspondente à imagem da galáxia.

A seguir damos uma explicação mais detalhada da necessidade de cada um desses passos, e como foram feitos:

Em um detector CCD, quando a luz incide na sua superfície, elétrons constituindo um pacote de carga são produzidos e coletados em uma determinada área definida por um eletrodo carregado positivamente. A superfície do CCD é constituído por várias dessas áreas, chamadas pixeis (elementos de imagem). Quando se completa a exposição, os elétrons coletados são transportados para um amplificador, e para um conversor analógico-digital, que transforma a carga em cada pacote em um número binário que ao ser lido pelo computador é traduzido como o número de contagens (N).

Ao obter os frames no telescópio, o sinal de saída (o número de contagens N) fica “levantado” devido a um “bias” surgido no processo de leitura do sinal. Esse bias varia com a posição no chip, principalmente ao longo das colunas, variando pouco ao longo das linhas. Para removê-lo usa-se os dados na região do overscan, que são algumas colunas na margem do frame, não expostas à luz.

Para fazer a subtração, todas as colunas da região do overscan são promediadas em uma só coluna, e a essa coluna é ajustada uma função suave (spline, Legendre ou Chebyshev) do número da linha. A função ajustada é então subtraída de todas as colunas do frame.

Neste ponto, toda a região do overscan é recortada do frame, juntamente com as

primeiras e últimas colunas de dados, onde os efeitos de borda são importantes, de forma a manter somente a parte da imagem que contém dados úteis. Esse procedimento de subtração do overscan e recorte dos frames é aplicado a todos os frames: bias, flatfields, darks (se houver) e objeto. O tamanho final dos frames após o recorte foi de 397x399 para as imagens do CTIO e de 378x571 para as do LNA.

Se o frame foi pré-exposto à luz antes de ser exposto ao telescópio, o que às vezes é necessário para “aquecer” os pixels de forma a eles passarem a ter uma resposta linear ou aumentar a transmissão dos elétrons acumulados em cada pixel, haverá ainda uma quantidade não nula de contagens superpostas à imagem. Para remover esse sinal, além de possíveis variações ao longo das linhas, ainda não corrigidas com o procedimento anterior, usam-se os frames de bias. Esses frames são combinados para minimizar os efeitos de ruído, raios cósmicos, e rejeitar pixels ruins (pixels com transmissão não linear); o frame final obtido é subtraído de todos os outros tipos de imagens: flatfields, darks e objeto. Para as imagens obtidas no CTIO essa combinação foi feita fazendo a média dos frames 5 a 5, e depois aplicando um filtro de mediana aos frames resultantes. Nas imagens do LNA a combinação foi feita calculando a média dos frames, excluindo da média os pixels muito desviados da média (5 sigma).

Em alguns CCD's, existe também uma quantidade não desprezível de corrente de escuro adicionada em longas exposições. Para removê-la, se tomam frames com exposições longas com o diafragma fechado, chamados “darks”. Os darks são submetidos a todos os passos de pré-processamento descritos até aqui. No nosso caso, como sempre usamos CCD refrigerado, a corrente de escuro foi totalmente desprezível, de forma que não tivemos necessidade de usar frames de dark.

O próximo e último passo é fazer a correção do flatfield, que irá remover as variações de ganho pixel a pixel. Isso é feito combinando as imagens de flatfield da mesma forma que foram combinadas as imagens de bias, porém agrupadas por filtro, e a imagem final em cada filtro é normalizada. Finalmente a imagem de objeto em cada filtro é dividida pelo flatfield correspondente.

O procedimento seguido nesta etapa pode ser sumarizado através da equação :

$$N_s(i) = [N_e(i) - \text{Overscan} - \text{Zero}(i)] / \text{Flatfield}$$

onde $N_s(i)$ se refere ao número de contagens em cada pixel na imagem final (i varia de 1 ao numero total de pixeis), $N_e(i)$ se refere ao número de contagens em cada pixel na imagem inicial, *overscan* é o bias da coluna de leitura, $\text{zero}(i)$ é o bias de cada pixel, e *flatfield* é a média final de todos os flatfiels, já normalizada.

As reduções subsequentes, consistindo da determinação do céu, calibração fotométrica e toda a análise dos dados, foram feitas no computadores Cobra MV8000 e SUN Sparcstations do Instituto de Física da UFRGS, com o pacote APPHOT do Image Reduction and Analysis Facilities (IRAF), do National Optical Astronomy Observatories (NOAO), e outros programas em Fortran desenvolvidos por nós mesmos ou cedidos por outros pesquisadores.

II.4 Determinação do Céu

O fluxo proveniente da galáxia, F_g , vem recoberto pelo fluxo devido ao céu noturno, F_c , de forma que o sinal da galáxia é obtido como:

$$N_g = N_{g+c} - N_c$$

O brilho do céu noturno tem como componentes principais o “airglow” (luz emitida pelo átomos e moléculas na alta atmosfera ao se chocarem com o vento solar), a luz zodiacal (luz solar espalhada pela poeira interplanetária concentrada no plano da eclíptica), a luz solar espalhada pela Lua (é a principal componente se a Lua está acima do horizonte), e a luz estelar espalhada pela poeira interestelar.

A determinação do brilho do céu é feita ajustando uma função à distribuição de intensidades dos pixeis em várias regiões livres da contaminação de estrelas ao redor da galáxia. Normalmente é usado um polinômio de baixa ordem, visto que polinômios de alta ordem podem introduzir efeitos não físicos, pois se corre o risco de ajustar o erro do céu, em vez do valor do céu. Quando não existem gradientes evidentes de brilho do céu, o que é comum

em CCD's devido a seu pequeno tamanho, pode-se usar o céu como um valor constante. Nesse caso pode-se calcular o modo, ou a mediana ou mesmo a média da distribuição de intensidades em diferentes regiões do frame, e depois promediar os valores de céu obtidos de forma a obter o valor final do brilho do céu. A expressão final para o valor do brilho do céu, medido em um determinado pixel da imagem não contaminado por estrelas ou galáxia, e que tem um número de contagens N_c , em magnitudes instrumentais (não calibradas), é :

$$m_c = -2.5 \log \frac{N_c}{t} + const.$$

onde t é o tempo de exposição da imagem. Para expressar o brilho do céu em unidades de $m/''^2$, devemos dividir o número de contagens também pela área angular de cada pixel.

Uma boa determinação de céu é crucial nos níveis de baixo brilho superficial, e uma determinação incorreta do céu introduz grandes erros nas partes externas dos perfis de brilho e nas isofotas correspondentes. Se o brilho do céu for superestimado, os perfis tendem a cair muito depressa na parte externa, e as isofotas ficam acumuladas nessa região. Se, pelo contrário, o brilho do céu for subestimado, os perfis cairão muito devagar na parte de fora, estendendo a galáxia além de seu limite real, e as isofotas ficam mais separadas (ver figuras 2 e 3 em Capaccioli 1988)

Em alguns casos não conseguimos fazer a determinação do céu diretamente nos frames, por termos poucas regiões livres da contaminação de estrelas e galáxia. Nesses casos tivemos que fazer uma determinação indireta a partir da comparação das magnitudes instrumentais com magnitudes fotoelétricas disponíveis para o objeto. O procedimento usado está descrito em detalhe quando o primeiro caso se apresenta.

Em geral, o desvio padrão médio do céu em cada região foi de 2% em todos os filtros, e a média de todas as regiões teve um desvio padrão de 0.5%.

II.5 Calibração Fotométrica

A calibração fotométrica consiste em converter o sistema instrumental, constituído pelo conjunto CCD+filtro, para um sistema padrão. As maneiras mais usuais de fazer isso são:

1.º) Através de medidas de estrelas padrões.

Seleciona-se um conjunto de estrelas padrões de cores diferentes e mede-se o fluxo de cada estrela em cada um dos filtros. A magnitude instrumental de cada estrela, numa banda (filtro), é determinada pela expressão

$$m(i) = -2.5 \log \left[\sum N(i, j) - N_c \right] / t$$

onde $N(i, j)$ é o número de contagens referente ao pixel da estrela localizado na linha i e coluna j , sendo que o somatório se faz dentro de um diafragma circular de raio tal que englobe toda a estrela, N_c é o número de contagens do céu e t é o tempo de exposição. No nosso caso, calculamos as magnitudes B, V, R, e I, e as cores B-V, V-R, V-I e R-I.

Uma vez tendo-se obtido as magnitudes e cores instrumentais, ajustam-se ao conjunto de pontos obtidos para cada banda, retas do tipo

$$m_p(i) = m_o(i) + a \cdot C_p(i) + b$$

$$C_p(i) = a' \cdot C_o(i) + b'$$

onde $m_p(i)$ é a magnitude padrão para a estrela i na banda, $m_o(i)$ é a magnitude instrumental $m(i)$ corrigida por extinção atmosférica conforme o primeiro parágrafo deste capítulo, C_p é uma cor no sistema padrão e C_o é a mesma cor no sistema instrumental, corrigida por extinção atmosférica. As constantes a e a' são os termos de cor e as constantes b e b' são os pontos zeros.

2.º) Através de fotometria fotoelétrica em múltiplos diafragmas:

Faz-se fotometria fotoelétrica em multiaberturas do objeto no sistema padrão. Depois comparam-se as magnitudes integradas obtidas pela fotometria fotoelétrica com magnitudes integradas obtidas com o CCD dentro da mesma abertura. Então, ao invés de se ter um conjunto de medidas de diferentes estrelas, tem-se um conjunto de medidas de diferentes diafragmas para a mesma galáxia. Identificando cada diafragma i pelo seu raio r_i , teremos, para cada banda, um conjunto de equações:

$$m_p(r_i) = m_o(r_i) + a \cdot C_p(r_i) + b$$

A calibração dos frames não seguiu um comportamento padrão para todas as galáxias, e mesmo diferentes conjuntos de frames de uma mesma galáxia tiveram calibrações diferentes, devido a terem sido observados em diferentes condições (diferentes telescópios e/ou diferentes noites).

Em princípio, sempre procuramos fazer a calibração utilizando estrelas padrões para determinar os termos de cor entre os sistemas CCD e fotoelétrico, assim como para determinar os coeficientes de extinção. No entanto, na maioria das vezes optamos por um coeficiente de extinção médio, por não obtermos precisão suficiente na nossa determinação, e em todos os casos acabamos desconsiderando os termos de cor, pelo mesmo motivo, fazendo a calibração somente com o ponto zero.

Mesmo nos casos em que dispúnhamos de estrelas padrões para fazer a calibração, procuramos inicialmente fazer uma checagem da calibração obtida através das estrelas com a fotometria fotoelétrica em multiaberturas. Isto foi feito simulando fotometria em multiaberturas centrada no núcleo, e comparando as magnitudes e cores obtidas para o CCD com as magnitudes e cores obtidas dentro dos diafragmas equivalentes através da fotometria fotoelétrica. Para essa comparação foram utilizadas as medidas fotoelétricas em múltiplas aberturas obtidas por nós, com o telescópio de 1,6 m do LNA em junho de 1989 (ver apêndice A2), assim como todas as medidas encontradas na literatura. O resultado dessa checagem mostrou que a calibração com as estrelas não reproduz bem as magnitudes e cores fotoelétricas, havendo sempre necessidade de acrescentar uma constante obtida da comparação com a fotometria fotoelétrica em multidiafragmas.

II.6 Mapas de Isofotas e Parâmetros Geométricos

Os mapas de isofotas apresentados neste trabalho foram traçados utilizando uma subrotina desenvolvida por Ismael Perez-Fournon (Instituto de Astrofísica de Canárias - Te-

nerife - Espanha).

Para a obtenção dos parâmetros geométricos, utilizamos principalmente os contornos isofotais traçados com a subrotina CONTOUR do IRAF. O ângulo de posição e a razão axial das isofotas foram determinados ajustando elipses, usando mínimos quadrados, aos contornos isofotais.

Para determinar a inclinação das galáxias, assumimos que o disco pode ser representado por um esferóide oblato, de forma que

$$\cos^2 i = \frac{(q^2 - q_0^2)}{(1 - q_0^2)} \quad (\text{Hubble 1926}) \quad (\text{II.1})$$

onde q é a razão axial aparente e q_0 é o achatamento intrínseco do disco. Derivamos a razão axial aparente a partir da razão axial média das isofotas mais externas. O achatamento intrínseco é dado por

$$\log q_0 = 0,60 + 0,045T \quad (\text{Bottinelli et al. 1983}) \quad (\text{II.2})$$

onde T é o estágio na sequência de Hubble.

II.7 Determinação das Magnitudes Integradas e Magnitudes Totais

As magnitudes integradas dentro das isofotas foram calculadas utilizando um algoritmo do IRAF que permite demarcar uma determinada área dentro da galáxia, e depois soma as intensidades de todos os pixels que estão dentro dessa área. Demarcamos a área traçando um polígono de aproximadamente 100 vértices sobre cada isofota, de maneira a reproduzir sua forma o melhor possível.

As magnitudes totais não são fáceis de determinar, porque nunca se sabe com certeza onde termina a galáxia. Um método usual de calcular a magnitude total é extrapolando o perfil de luminosidade equivalente até o raio equivalente $r^* = \infty$ supondo um decaimento exponencial após o último raio equivalente medido (ver definição na seção II.10.2).

O problema de usar este método é que, em muitas galáxias, o perfil de luminosidade equivalente não é exponencial na parte mais externa, além do que muitas vezes o último nível de brilho superficial atingido não é fraco o suficiente para permitir uma extrapolação realista.

Outra maneira de se calcular as magnitudes totais é através das curvas de crescimento padrões. A curva de crescimento de uma galáxia mostra como varia, em média, sua magnitude integrada com o aumento da distância radial, e a forma da curva depende do tipo morfológico da galáxia. As curvas padrões foram definidas a partir de um grande número de galáxias com fotometria superficial atingindo brilhos superficiais suficientemente fracos para permitir uma extrapolação da magnitude integrada até raio infinito.

Neste trabalho, calculamos as magnitudes totais em B e V usando as curvas de crescimento padrões dadas no RC3 (H. Corwin 1989, comunicação privada). Cada curva tem como parâmetros livres a magnitude total e o raio efetivo (o raio que contém metade da luminosidade total). O procedimento que seguimos foi ajustar por mínimos quadrados as curvas de crescimento para o estágio numérico da galáxia na sequência de Hubble às magnitudes integradas de forma a determinar qual o par de parâmetros (magnitude total, raio efetivo) que melhor reproduz a curva de dados.

II.8 Correções a Serem Aplicadas às Magnitudes

Como foi mencionado no início deste capítulo, as magnitudes totais observadas e cores integradas de galáxias sofrem de três tipos de efeitos de extinção : a absorção galáctica, devido à poeira dentro da nossa galáxia, a absorção produzida por obscurações internas nas galáxias, e o efeito do “redshift”, que é o avermelhamento devido à recessão das galáxias. Outro efeito que pode alterar as magnitudes e cores é o “seeing”, que é o alargamento das imagens estelares devido à turbulência atmosférica. O seeing não afeta as magnitudes totais, mas afeta as magnitudes integradas até um certo raio, e portanto as magnitudes superficiais, pois altera a distribuição espacial de energia.

II.8.1 Absorção Galáctica

Muitas tentativas têm sido feitas de determinar o método mais adequado para determinar o avermelhamento sofrido pela luz provinda de objetos extragalácticos ao cruzar a nossa galáxia até a posição da Terra, apesar do que ainda não foi estabelecido qual é o melhor método.

Um trabalho pioneiro nesse sentido foi feito por Hubble (1934), que fez um extenso estudo da distribuição de galáxias no espaço e encontrou um número maior de galáxias nas regiões próximas aos polos galácticos, e um número cada vez menor à medida que se aproximava do plano da Via Láctea, onde ele estimou um enfraquecimento da luz em 0.25 mag (no sistema fotográfico). Hubble encontrou que seus dados ajustavam bem uma lei de $\text{cosec}|b|$, sendo b a latitude Galáctica, mas que havia também uma dependência na longitude Galáctica que se tornava importante para baixas latitudes.

O tipo de análise feita por Hubble foi repetido e confirmado por vários outros autores. Shane e Wirtanen (1967) aplicaram a lei de cossecante a contagens de galáxias, mas encontraram um valor para o coeficiente de absorção de 0.5, o dobro do valor obtido por Hubble; Holmberg (1975) aplicou a mesma lei às magnitudes superficiais de galáxias Sa-Sb-Sc, encontrando um coeficiente de absorção de 0.26, quase o mesmo valor de Hubble; Sandage (1973) adotou um modelo um tanto hipotético em que a extinção segue uma lei de cossecante para valores de $|b| < 40^\circ$, e é nula para latitudes $|b| > 50^\circ$, introduzindo o conceito de janelas polares.

No modelo proposto por de Vaucouleurs, de Vaucouleurs e Corwin (1976) no RC2, baseado num trabalho anterior de de Vaucouleurs e Malik (1969) em que eles reanalisaram os dados de Hubble, a extinção em magnitudes na banda B tem a forma:

$$A_B(\ell, b) = 0.19(1 + S_N \cdot \cos b) |C| \quad (b > 0)$$

ou

$$A_B(\ell, b) = 0.21(1 + S_S \cdot \cos b) |C| \quad (b < 0)$$

onde ℓ é a longitude Galática, $S_N(\ell)$ e $S_S(\ell)$ são coeficientes dependentes da longitude contendo os termos de uma série harmônica em ℓ , e $C = cosec(b + 0.25^\circ - 1.7^\circ sen\ell - 1.0^\circ cos 3\ell)$

Esse modelo adotado no RC2 não admite o conceito de janelas polares, mas também não dá nenhuma demonstração de que a lei $cosecb$ se aplica para altas latitudes. No entanto, em um estudo feito por de Vaucouleurs e Buta (1983), usando cinco diferentes indicadores do avermelhamento, eles concluíram que de fato existe poeira mesmo nos polos, além de confirmar o valor médio de 0.2 para o coeficiente de extinção .

Outro traçador da extinção Galática é a distribuição de hidrogênio neutro, que foi usado em combinação com contagens de galáxias no método de Burstein and Heiles (1978, 1982), o qual foi adotado no “Surface Photometry Catalogue of the ESO - Uppsala Galaxies” (Lauberts e Valentijn 1989, daqui em diante SPC). Esses autores concluíram que nem contagens de galáxias nem distribuição de hidrogênio podem, sozinhos, prever o avermelhamento, primeiro porque os dados têm espalhamento muito grande para que a variação de contagens de galáxias com $cosecb$ seja significativa; segundo porque a razão gás-poeira não é constante. Porém, através da relação entre esses dois indicadores, pode-se derivar a razão variável gás-poeira e daí determinar o avermelhamento. Eles encontraram duas expressões adequadas para descrever o avermelhamento:

$$E(B - V) = \frac{A_B}{4} = -0.0372 + 0.357 \times 10^{-3} N_H - 0.346 \times 10^{-4} R \cdot N_H$$

ou

$$E(B - V) = \frac{A_B}{4} = -0.0171 + 0.399 \times 10^{-3} N_H + 0.140 \times 10^{-6} N_H^2 - 0.126 \times 10^{-3} N_H \log N_{gal}$$

Na primeira expressão, R é uma correção para a razão gás-poeira, e contém a dependência com $cosecb$, a qual Burstein e Heiles acreditam ser um problema devido a efeitos seletivos nos dados usados por Heiles (1976) para derivar R ; N_H é a densidade de coluna do hidrogênio neutro e N_{gal} é o número de galáxias. As duas expressões são igualmente corretas para $|b| > 15^\circ$, mas a segunda é mais adequada para latitudes menores.

Os dados de N_{gal} usados por Burstein and Heiles se baseiam nos números dados por Shane and Wirtanen (1967), que não contém objetos com declinação $< -23^\circ$. Portanto para objetos de declinação mais ao sul que isso, eles aplicam a equação

$$E(B - V) = -0.0555 + 0.433 \times 10^{-3} N_H,$$

que pode conter grandes erros na predição de $E(B-V)$ devido à variação na razão gás-poeira.

Neste trabalho, usamos para cada galáxia a absorção na nossa galáxia dada no RC2, e o excesso de cor em $(B-V)$ calculado como no RC2 por $E(B - V) = A_B/R + 1$, onde usamos $R = 3.0$ (Allen, 1973). Para calcular os excessos nas cores $(V-R)$ e $(V-I)$ devido à absorção usamos as razões entre excessos de cor encontradas por Schild (1977) e confirmadas por Lahulla (1987): $E(V-R)/E(B-V) = 0.79$ e $E(V-I)/E(B-V) = 1.55$.

II.8.2 Extinção Interna

Sistemas estelares externos, assim como a Galáxia, são constituídos de estrelas misturadas com gás e poeira. A poeira produz efeitos de extinção que se tornam importantes principalmente em galáxias orientadas de perfil em relação à linha de visada, pois a poeira tende a se concentrar no plano do disco. Portanto a extinção interna é uma função da inclinação i da galáxia.

De acordo com Heidmann, Heidmann, e de Vaucouleurs (1971), a absorção interna em B , é dada por:

$$A_B(i) = 0.70 \log(\sec i) \tag{II.3}$$

A inclinação está fortemente relacionada com a variável $\log R_{25}$, que é o logaritmo decimal da razão entre os diâmetros maior e menor na isofota de brilho superficial $\mu_B = 25 \text{ m}''^2$ (RC2). Portanto, quando a inclinação não é conhecida, a expressão para a absorção interna pode ser substituída pela relação equivalente

$$A_B(i) = \alpha(T) \log R_{25}$$

onde $\alpha(T)$ depende do tipo morfológico (T) da galáxia, e vale 0.8 para galáxias espirais Sa - Sd ($1 < T < 8$)

Neste trabalho, usamos a relação II.3 para calcular a extinção interna em B. Para calcular os excessos de cor devido à extinção interna usamos relações similares às usadas no cálculo dos excessos de cor devido à absorção Galáctica.

II.9 Correção pelo “Redshift”

O redshift desloca todo o espectro da galáxia, modificando os fluxos que passam pelas bandas espectrais dos filtros. O efeito do redshift nas magnitudes, denominado correção -K, é a diferença de magnitude entre uma distribuição espectral de energia afetada pelo redshift e a não afetada. De acordo com o RC2, depois de Pence (1976), a correção K é diretamente proporcional à velocidade radial $c \cdot z$ (em Km/s) para valores de z pequenos (menores do que 0.1 c). Na magnitude B, a correção é:

$$K_B(z, T) = k'_B(T) \times c \cdot z$$

onde $k'_B(T)$ depende do tipo morfológico, c é a velocidade da luz, e z é o parâmetro de redshift. A correção no índice de cor B-V é similar, variando o coeficiente K'_{B-V} . Os coeficientes K'_B e K'_{B-V} são listados abaixo.

$10^4 \times K'_B(T)$	$10^4 \times K'_{B-V}(T)$	
0.15	0.095	T < 0
0.15 - 0.025T	0.095 - 0.010T	0 < T < 3
0.075 - 0.010(T-3)	0.065	T > 3

Como as galáxias que selecionamos têm baixa velocidade de recessão, não foi necessário fazer correção pelo redshift, pois em todos os casos o termo de redshift ficou menor do que a incerteza na determinação das magnitudes.

II.10 Perfis de Luminosidade

Em uma galáxia normal de forma bem regular, como em geral são as galáxias elípticas, os principais aspectos da distribuição de luminosidade são descritos pelos perfis ao longo dos eixos maior e menor. A maioria das galáxias, no entanto, não tem uma forma tão

regular. Além disso, as galáxias têm diferentes orientações no céu, e portanto diferentes tipos de perfis de brilho têm que ser usados para encontrar a melhor representação da distribuição de luz dos diferentes tipos de galáxias, ou mesmo para representar diferentes tipos de distribuição de uma mesma galáxia. No caso das galáxias que analisamos, 3 tipos de perfil foram calculados: perfis ao longo dos eixos maior e menor, perfis radiais médios, e perfis azimutais.

II.10.1 Perfis ao Longo dos Eixos Maior e Menor

Estes perfis têm o propósito principal de revelar detalhes estruturais que são dispersados em outros tipos de perfil. Neste trabalho, foram obtidos pela composição de dois perfis radiais separados de 180° , traçados nas direções dos eixos maior e menor da galáxia. Os perfis radiais foram calculados através de uma interpolação bidimensional da distribuição de brilho iniciando no centro da galáxia e em direções determinadas, resultando em pontos igualmente espaçados a partir do centro.

II.10.2 Perfis Médios

Os perfis radiais médios representam a distribuição de luz radial média, suavizando detalhes muito brilhantes ou muito escuros localizados em regiões específicas como braços espirais e franjas de absorção .

Um tipo de perfil médio muito usado é o *Perfil de Luminosidade Equivalente* (de Vaucouleurs 1974, de Vaucouleurs e Davoust 1980, Pence e de Vaucouleurs 1985), que é um gráfico do brilho superficial de uma dada isofota versus o raio equivalente da isofota.

O raio equivalente é um parâmetro definido por de Vaucouleurs (1962) como:

$$r^* = (A/\pi)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{II.4})$$

ou seja, considerando uma isofota de forma qualquer e área total A , o seu raio equivalente é o raio de uma isofota circular de área A .

Outro tipo de perfil radial médio é o *Perfil Promediado Elipticamente*, que é um gráfico do brilho superficial médio ao longo de uma elipse com forma e orientação determinadas

pelo ajuste às isofotas externas, em função do eixo maior da elipse (ou do raio equivalente da elipse, se desejado).

Perfis deste tipo foram usados primeiramente por Boroson (1981) que fez a média elíptica a partir de perfis radiais. Mais recentemente, os perfis promediados elipticamente têm sido obtidos promediando o brilho superficial em anéis circulares no plano da galáxia (anéis elípticos no plano do céu) (Carignan 1986, Ohta *et al.* 1990, Odewhan 1991). A principal vantagem em relação ao método de Boroson é que conforme se move para as partes externas, mais e mais pixels são incluídos na média, o que resulta num aumento da razão sinal/ruído nos níveis de baixo brilho superficial, e portanto num suavizamento do perfil.

Para a obtenção dos perfis radiais médios de duas galáxias, NGC 5757 e IC 1091, usamos o método de Boroson. Para isso, ajustamos uma elipse a uma isofota externa. Então traçamos 36 perfis radiais, espaçados de 10° . A seguir combinamos cada um com o seu suplementar e alongamos cada perfil resultante de acordo com o raio da elipse no ângulo de posição a ele correspondente.

Determinamos o raio da elipse em cada ângulo em relação ao eixo maior pela expressão:

$$r^2 = [(\cos^2(\theta - \theta_0))/a^2 + (\sin^2(\theta - \theta_0))/b^2]^{-1}$$

onde a e b são os eixos maior e menor da elipse, θ é o ângulo de posição do perfil de raio r , e θ_0 é o ângulo de posição do eixo maior.

Fizemos o alongamento dos perfis multiplicando o espaçamento radial entre os pontos por um fator a/r . Então fizemos uma interpolação dos perfis para ficarem todos com os mesmos espaçamentos em r . Finalmente combinamos os 18 perfis fazendo uma média aritmética simples.

Para a obtenção dos perfis radiais de NGC 7412 fizemos a média do brilho superficial em anéis elípticos concêntricos, usando um programa cedido por Steve Odewhan em 1989, então na Universidade do Texas, em Austin, Texas. Com esse programa fizemos também o ajuste de elipses, os perfis azimutais, e a análise de Fourier sobre os perfis azimutais.

II.10.3 Perfis Azimutais

Os perfis azimutais mostram a variação do brilho superficial em função do ângulo azimutal com respeito à linha dos nodos (intersecção do plano do céu com o plano da galáxia). Foram inicialmente introduzidos por Schweizer (1976) para separar as componentes disco e braços em galáxias espirais, mas também são muito importantes para o estudo de barras, que aparecem nesses perfis como “bumps” simétricos superpostos à distribuição achatada (Ohta *et al.* 1990). Para obter os perfis azimutais, o plano da galáxia é dividido em anéis circulares, e cada anel é dividido em setores de larguras azimutais determinadas. No plano do céu, cada círculo é uma elipse, com orientação e razão axial iguais às das elipses ajustadas às isofotas mais externas. Para cada anel corresponde um perfil azimutal, caracterizado pelo raio médio do anel, e cada ponto do perfil corresponde à distribuição de brilho média dentro do setor.

II.11 Correção por Efeito do Seeing

A distribuição de luz observada em uma imagem astronômica, \mathbf{B}_{obs} , representa a distribuição de luz verdadeira, \mathbf{B} , convoluída pela função de espalhamento pontual da imagem (“point-spread function”), \mathbf{PSF} , que representa os efeitos cumulativos de seeing, movimentos do telescópio e foco incorreto, proporcionando uma medida da resolução espacial da fotometria superficial. A distribuição observada pode, então, ser expressada como

$$\mathbf{B}_{\text{obs}} = \mathbf{B} * \mathbf{PSF},$$

onde $*$ representa a convolução .

Assumindo simetria circular, a \mathbf{PSF} é o perfil de brilho aparente de imagens estelares determinadas por uma combinação da distribuição de luz de estrelas fracas e brilhantes observadas em condições atmosféricas e instrumentais tão parecidas quanto possível às condições em que foi observada a galáxia. Embora em geral se usem gaussianas para aproximar a \mathbf{PSF} , o perfil do seeing tem asas significativas (Lauer 1985), o que indica que uma aproximação mais real para descrever a \mathbf{PSF} é uma gaussiana com asas exponenciais.

Uma vez determinada a PSF, existem duas maneiras básicas de extrair a distribuição verdadeira a partir de observações contaminadas por seeing. Uma delas é supor um modelo para o objeto observado, convoluir esse modelo com o seeing, e então ajustar o modelo convoluído às observações. Esse método tem a desvantagem de que os núcleos das galáxias, que são as regiões mais afetadas pelo seeing, não seguem uma lei de distribuição de brilho padrão, de forma que fica difícil decidir que modelo ajustar. A outra maneira é aplicar algum método de deconvolução diretamente sobre as observações. Nosso trabalho utilizou a deconvolução direta das observações .

Vários métodos de deconvolução têm sido propostos por diferentes autores (Bracewell 1955; Lauer 1985; Bendinelli *et al.* 1986), mas o que tem provado ser o mais eficiente é o desenvolvido por Lucy (1974), que foi implementado como uma subrotina especialmente desenvolvida para fotometria de galáxias no Observatório Astronômico de Pádua, na Itália, e cedida a nós por Massimo Capaccioli. O método numérico de Lucy permite encontrar uma função $F(x)$ que esteja onada a uma função observável $f(x')$ pela integral

$$f(x') = \int F(x)P(x', x)dx$$

onde $P(x', x)$ é uma distribuição de probabilidades que pode ser identificada com a **PSF** no caso em que $f(x')$ é a distribuição de brilho observada e $F(x)$ é a distribuição de brilho verdadeira que se quer determinar. Lucy segue uma técnica iterativa para estimar $F(x)$: a partir de uma $P(x', x)$ conhecida, ele sugere como primeira aproximação para $F(x)$ a própria $f(x')$ para estimar a probabilidade inversa $Q(x, x') = F(x)P(x', x)/f(x')$, e calcula a segunda aproximação para $F(x)$ pela integral

$$F(x) = \int f(x')Q(x, x')dx'$$

O processo continua até que algum critério de convergência seja atingido. O maior problema do algoritmo é a falta de um critério objetivo de convergência. Lucy dá um limite de 5 a 10 iterações, mas nos testes feitos para restaurar as imagens do Hubble Space Telescope, usando este mesmo método, a convergência ocorreu após 20 iterações (Hertz and Cobb 1991), e Capaccioli (1988) cita outros casos em que a convergência ocorre somente

após 15 ou 20 iterações. Nos casos em que aplicamos a deconvolução aos perfis de brilho, adotamos de 4 a 5 o número de iterações, pois depois disso o ruído nas asas dos perfis começou a aumentar muito acentuadamente.

II.12 Decomposição dos Perfis de Luminosidade

Uma decomposição quantitativa da distribuição de luminosidade foi feita pioneiramente por de Vaucouleurs (1958), que mostrou que os perfis de brilho de M31 e outras espirais podem ser separados em contribuições devido a cada componente, e determinou os parâmetros fotométricos característicos de cada uma. Desde a década de 70, diversos autores têm aplicado o método de decomposição dos perfis de luminosidade a um número cada vez maior de galáxias (Freeman 1970; Kormendy 1977; Tsikoudi 1979, 1980; Burstein 1979b; Boroson, 1981; Simien e de Vaucouleurs 1982; Duval e Athanassoula 1983; Buta 1984; Kent 1985, Ohta *et al.* 1990; etc).

O sucesso na aplicação da decomposição tem sido limitado, devido principalmente a que a maioria das galáxias apresentam componentes adicionais, como barras, lentes e anéis, cuja luz se encontra superposta à das componentes principais, o que torna a decomposição extremamente difícil. Apesar disso, a decomposição dos perfis continua sendo um procedimento importante para inferir a existência dessas componentes em galáxias espirais e galáxias S0's e sua relação com outras propriedades das galáxias, que variam sistematicamente ao longo da sequência de Hubble.

O método adequado para a decomposição do perfil de luminosidade depende de se a galáxia está de frente (“face-on”) ou de perfil (“edge-on”). Técnicas úteis para galáxias “face-on” foram desenvolvidas por Kormendy (1977), Boroson (1981), e Kent(1985), entre outros. Um dos métodos de Kormendy, que é o mais usado, especifica “a priori” a forma analítica da função de ajuste de cada componente, e também o intervalo radial em que cada uma domina. Então a componente que está melhor definida é ajustada no intervalo em que ela domina. A contribuição assim calculada é subtraída do perfil observacional ao longo de todo o raio, e o perfil residual é ajustado com a outra componente no intervalo

em que esta domina. A contribuição desta componente é subtraída do perfil original, e o processo é repetido de uma maneira iterativa até que os parâmetros convirjam.

O outro método recomendado por Kormendy consiste em fazer o ajuste, por mínimos quadrados não lineares, de todos os parâmetros simultaneamente. Este método tem a desvantagem de ser pouco útil nos casos em que o perfil tem contribuições de outras componentes, como barras ou lentes, na região intermediária entre o bojo e o disco. Além disso, conforme Kormendy já havia salientado, os parâmetros do bojo e do disco são muito fortemente acoplados, o que significa que as contribuições relativas do esferóide e do disco podem variar consideravelmente sem afetar a qualidade do ajuste.

O método de Boroson (1981) é baseado no método iterativo de Kormendy, com a diferença de que ele aplica o método primeiro ao perfil promediado elipticamente, para determinar a escala de brilho do bojo e do disco, e depois aplica a técnica iterativa separadamente para 18 perfis radiais, mantendo o brilho superficial central do disco e o brilho efetivo do bojo nos valores determinados a partir do perfil promediado elipticamente, e resolvendo só para as escalas de distância de cada componente.

No trabalho de Kent (1985), ele geralmente opta por um ajuste por mínimos quadrados não lineares em que ele inclui os perfis dos eixos maior e menor, e admite funções de ajuste variadas, não se restringindo às leis de *de Vaucouleurs* e exponencial.

Uma decomposição de perfis “edge-on” foi feita primeiramente por Tsikoudi (1979, 1980), que analisou independentemente os eixos maior e menor de três galáxias usando técnicas similares à das galáxias “face-on”. Métodos mais específicos para galáxias “edge-on” foram desenvolvidas por van der Kruit e Searle (1981a), Hamabe (1982), e Shaw e Gilmore (1989). O método de van der Kruit e Searle consiste em produzir modelos bidimensionais (direções radial e vertical) para os discos, e então subtrair estes modelos da fotometria superficial; eles assumem que toda luz não ajustada pelo modelo é devida ao bojo. Hamabe adotou um modelo tridimensional semi-empírico para a componente esferoidal. Shaw e Gilmore usaram um algoritmo que ajusta toda a distribuição bidimensional projetada, e que permite a combinação de diferentes componentes de brilho.

Conforme salienta Kormendy (1982), as técnicas de decomposição para galáxias de frente ou de perfil são ambas úteis e se complementam. Para o estudo de barradas, especificamente, as galáxias de frente são mais adequadas, pois, como já foi mencionado na secção I, a distinção entre barradas e não barradas é difícil de fazer em galáxias de perfil.

Capítulo III

Fotometria Superficial de NGC 6835

III.1 Introdução

NGC 6835 é uma galáxia de perfil (“edge-on”), com classificação morfológica controversa: ela é classificada como uma SB(s)a?/ no RC2, e como uma galáxia amorfa no Revised Shapley-Ames Catalog (RSA; Sandage and Tammann, 1981). Alguns parâmetros da galáxia, tirados do RC2 e do RSA, são listados na Tabela III.1.

A estrutura da galáxia é ilustrada na Figura III.1, onde ficam evidentes as manchas brilhantes e faixas de poeira irregularmente distribuídas ao longo do plano galáctico.

Esta galáxia foi detectada em 21 cm por Bottinelli *et al.* (1984), que derivou um módulo de distância de 29.4 mag (com um erro maior do que 1.7 mag), a partir da largura da linha HI. Distintos valores da velocidade de recessão corrigida pelo movimento solar com respeito ao Grupo Local, estão publicadas no RC2, no RSA e em um recente “survey” de “redshift” feito por da Costa *et al.* (1984). A média de todos os valores é $V_o = 1713 \pm 2 \text{ Km s}^{-1}$. Adotando este valor para a velocidade de recessão V_o , e usando $H = 75 \text{ Km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, obtemos uma distância de 22.84 Mpc. A escala da imagem é, portanto, $1'' = 110.7 \text{ pc}$.

III.2 Observações

As observações foram feitas com um CCD TI n.º 1 no telescópio de 91 cm do Observatório Interamericano de Cerro Tololo (ver detalhes do equipamento na seção II.2),

durante um turno em junho de 1987 . Os filtros usados foram os filtros B (azul), V (visual), R (vermelho) e I (infravermelho). Os detalhes das observações são listados na Tabela III.2.

III.3 Calibração Fotométrica

A calibração fotométrica inicialmente foi efetuada a partir de 7 estrelas padrões das Regiões-E (Graham 1982), observadas na mesma noite que a galáxia. A partir dessas estrelas, apenas para a cor (B-V) pudemos determinar um termo de cor acurado, que foi idêntico àquele das equações típicas do CCD (Walker e Suntzeff, 1987). Apesar disso, uma comparação da fotometria em multiaberturas simuladas a partir dos frames CCD, com a fotometria fotoelétrica em multiaberturas encontrada na literatura e complementada com valores recentes obtidos por nós mesmos, mostrou haver desvios sistemáticos entre a fotometria CCD e a fotoelétrica. Como a calibração depende muito criticamente da determinação do céu, e o céu num CCD é difícil de determinar, pois o chip pode facilmente estar todo contaminado pela galáxia, resolvemos determinar simultaneamente o céu e a constante de calibração diretamente a partir da fotometria fotoelétrica listada na Tabela III.3. Ao fazer isso, assumimos que as medidas de fotometria fotoelétrica estão livres de quaisquer erros sistemáticos, o que é bastante plausível uma vez que foram obtidos por diferentes autores independentemente. O método usado foi comparar as medidas de fotometria em multiaberturas, $M(r)$, com o número total de contagens dentro de uma abertura simulada dentro do mesmo raio no frame da galáxia, $N(r)$, ajustando por mínimos quadrados as contagens às medidas fotoelétricas. O número de contagens referentes ao céu, N_c , e a constante de calibração, C , foram encontradas de forma a satisfazer:

$$M(r) = \frac{C - 2.5 \log[N(r) - N_c \cdot \pi r^2]}{t},$$

onde t é o tempo de exposição .

As transformações finais usadas foram:

$$B = b + (22.16 \pm 0.05),$$

$$V = v + (22.34 \pm 0.06),$$

$$R = r + (22.50 \pm 0.03),$$

$$I = i + (21.64 \pm 0.04).$$

onde b , v , r , e i são as magnitudes instrumentais. Os valores de brilho do céu correspondentes a cada filtro foram $B = 19.74$, $V = 19.47$, $R = 19.38$, e $I = 18.97$ m². As cores do céu resultantes são consistentes com lua em fase de quarto, e o brilho alto é consistente com a proximidade da lua com que a galáxia foi observada. Os erros apresentados em todo este trabalho são um desvio padrão, e nas equações de transformação eles representam a dispersão na média devido às diferentes medidas fotoelétricas.

Comparando as cores CCD resultantes com as cores fotoelétricas, encontramos as seguintes diferenças médias:

$$\overline{V_{CCD} - V_{FF}} = 0.005 \pm 0.022,$$

$$\overline{(B - V)_{CCD} - (B - V)_{FF}} = -0.003 \pm 0.002,$$

$$\overline{(V - R)_{CCD} - (V - R)_{FF}} = 0.077 \pm 0.008,$$

$$\overline{(R - I)_{CCD} - (R - I)_{FF}} = 0.004 \pm 0.005.$$

Essa comparação mostra que não existem diferenças sistemáticas nas cores resultantes, a não ser em (V-R). No entanto, como existe uma grande dispersão na fotometria publicada para o filtro V, e nos filtros R e I existem apenas as poucas medidas feitas por nós mesmos para calibrar os frames CCD, não é adequada a inclusão de um termo de cor extra nas equações de transformação.

As Figuras III.2 e III.3 mostram as diferenças entre os valores calibrados do CCD, obtidos a partir da síntese de aberturas circulares, e a fotometria fotoelétrica, plotados contra o tamanho da abertura e contra magnitudes.

III.4 Mapas de Isofotas e Parâmetros Geométricos

Os mapas de isofotas são apresentados nas Figuras III.4, nas magnitudes B, V, R, e I. As isofotas externas são muito regulares, mantendo a mesma elipticidade e ângulo de posição. Na região intermediária, elas se tornam distorcidas, apresentando uma concavidade voltada para o sul. Esta concavidade é mais evidente nos contornos em B, e provavelmente é causada pela estreita faixa de poeira que aparece na fotografia em luz azul (Figura III.1), paralela ao semi-eixo maior sudoeste. Na região interna, as isofotas se tornam mais arredondadas, embora mantendo a forma elíptica.

Em todas as bandas, as isofotas internas variam a direção do ângulo de posição em relação às isofotas externas, o que pode ser interpretado de duas maneiras: 1.º) como um efeito de poeira no disco, ou 2.º) como uma indicação da existência de um bojo triaxial (Mihalas e Binney 1981). A detecção dessa variação também no frame I reforça a segunda alternativa, visto que o frame I é o menos afetado pela poeira.

Para determinar o ângulo de posição e a elipticidade das isofotas, ajustamos elipses aos contornos I. Algumas das elipses ajustadas são mostradas na Figura III.5. Aqui, novamente, a banda I foi escolhida por ser a menos afetada pela poeira, que deforma as isofotas. A Figura III.6 mostra as curvas de razão axial e ângulo de posição baseadas no ajuste das elipses. A razão axial das isofotas decresce muito rapidamente desde o centro até um mínimo suave com $q = b/a = 0.19$ nas proximidades da isofota com semi-eixo maior $a = 32.2''$, correspondendo aproximadamente à isofota com brilho superficial $\mu_I = 20.1 \text{ m}''^2$.

Derivamos a razão axial aparente a partir da razão axial média medida para as cinco isofotas mais externas, o que resultou em $q = 0.253$. O achatamento intrínseco calculado pela Equação II.2 para $T = 1$ resulta em $q_0 = 0.2264$. Isso leva a uma inclinação de aproximadamente $83^\circ \pm 2^\circ$. Este valor concorda com a inclinação $i = 81^\circ$ dada por Bottinelli *et al.* (1983). Com exceção da região interna a $12''$, o ângulo de posição se mantém aproximadamente constante em torno de $71.64^\circ \pm 0.47^\circ$. O semi-diâmetro derivado na isofota $\mu_I = 23$, a qual corresponde a $\mu_B = 25$ assumindo que a cor (B-I) não varia para níveis mais

externos do que $\mu_B = 24$, é $76''$ ou 8.4 Kpc.

III.5 Perfis de Luminosidade Equivalente e Parâmetros Integrados

As magnitudes B, V, R, e I foram integradas dentro de diferentes níveis isofotais, e estão listadas na Tabela III.4. Os níveis isofotais estão identificados por seus raios equivalentes r^* , definidos pela Equação II.4.

Os principais parâmetros integrados estão listados na Tabela III.5. Nós calculamos a magnitude total de duas maneiras:

1.º) Ajustamos as curvas de crescimento B e V à fotometria fotoelétrica dentro de diafragmas circulares, usando as curvas padrão do RC3 para o estágio $T = 1$ (Sa). O resultado é $B_T = 13.44 \pm 0.10$ e $V_T = 12.56 \pm 0.09$, com a cor correspondente $(B - V)_T = 0.88$. O erro em (B-V) é estimado a partir dos resultados da fotometria fotoelétrica como sendo em torno de 0.04 mag. A magnitude B total e a cor (B-V) estão em boa concordância com os valores do RC2 de $B_T = 13.4 \pm 0.15$ e $(B - V)_T = 0.87 \pm 0.06$.

2.º) Ajustamos a curva de crescimento padrão em V à fotometria CCD integrada dentro das próprias isofotas V, representadas por seus raios equivalentes, dando peso maior às isofotas com raios equivalentes maiores do que $r^* = 10''$. Esta curva de crescimento está apresentada na Figura III.7. Nós não ajustamos as curvas de crescimento às isofotas B porque elas não vão tão fundo na galáxia, isto é, elas não se estendem a níveis superficiais tão fracos quanto as isofotas V. A maior isofota V, com $r^* = 38''$, é circunscrita por uma abertura circular de $45''$ de raio, portanto muito maior do que o maior diafragma observado com fotometria fotoelétrica. Note que desde que nós calibramos nossa fotometria CCD com a fotometria fotoelétrica, não existem desvios sistemáticos entre os valores CCD e os fotoelétricos. Este método, que segue a definição de curva de crescimento dada no RC2, dá uma magnitude total de $V_T = 12.43 \pm 0.07$, e um raio equivalente efetivo $r_e^* = 12.5''$. Usando o valor de (B-V) obtido com o primeiro método, resulta a magnitude integrada $B_T =$

13.31 ± 0.08 . Este valor está em boa concordância com o valor 13.28 obtido por extrapolação do perfil de luminosidade médio equivalente, que é um gráfico do brilho superficial de uma dada isofota versus o seu raio equivalente, assumindo um declínio exponencial após $r^* = 12''$, e adicionando a contribuição observada do bojo, que é de 0.13 mag.

Usando o valor de B_T obtido com o segundo método, e fazendo as correções por absorção galáctica e extinção interna com os termos listados na Tabela III.6, chegamos a uma magnitude total corrigida $B_T^\circ = 12.16 \pm 0.08$, o que dá uma magnitude total absoluta no filtro B de $M_T^\circ(B) = -19.63 \pm 0.08$.

A cor corrigida $(B - V)^\circ = 0.59$ é muito azul comparada com o $(B - V)^\circ$ típico para uma galáxia Sa (de Vaucouleurs 1977), sendo mais característica de galáxias Sc.

A partir da densidade de fluxo integrado da linha de 21 cm do hidrogênio neutro (HI), dado por Bottinelli *et al.* (1982), e usando a relação entre fluxo e massa do HI dada no RC2, calculamos $M_{HI} = 2.80 \times 10^9 M_\odot$, o que conduz a uma razão $\frac{M_{HI}}{L_B} = 0.45 \frac{M_\odot}{L(B)_\odot}$. De acordo com Roberts (1975), esse valor é típico de galáxias Sc. Uma outra medida da razão entre a massa de hidrogênio e a luminosidade é o índice do hidrogênio $HI = B_T^\circ - m_{21}^\circ$, conforme é definido no RC2. Usando o valor $m_{21}^\circ = 10.84$, dado por Bottinelli *et al.* (1984) para NGC 6835, encontramos que $HI = 1.32$. De acordo com a relação entre HI e o tipo morfológico T derivada por de Vaucouleurs e Buta (1983), esse valor é mais típico de uma espiral tardia, com $T = 8$. Deve-se notar, entretanto, que existe uma larga variação na razão entre fluxo de HI e a magnitude ótica entre galáxias espirais do mesmo tipo de Hubble, e que as incertezas na correção da magnitude pela inclinação podem ser grandes, tornando incerta qualquer indicação de tipo morfológico.

III.6 Perfis de Luminosidade

Os perfis de luminosidade foram calculados através de uma interpolação bidimensional da distribuição de luminosidade através do centro da galáxia, em uma direção determinada. Os perfis foram corrigidos pelo efeito do “seeing” usando a técnica da deconvolução de Lucy (1974; ver secção II.11). O seeing foi obtido fazendo a média de vários perfis radiais traçados

sobre estrelas situadas no mesmo frame da galáxia.

A Figura III.8 ilustra os perfis de brilho superficial e índices de cor, traçados pixel a pixel ao longo dos eixos maior e menor, em todas as bandas passantes. Os perfis de cor são mostrados somente para a região interna, visto que o ruído é muito grande para $\mu_B > 23.2$.

Ao longo do eixo maior, o perfil tem uma forma complexa. Na parte interna, ele não cai tão depressa quanto um bojo esférico, e forma uma pequena saliência no lado sudoeste, mais proeminente na banda I, o que pode estar indicando a existência de uma barra nuclear. Ao fim da região do bojo ($r = 8''$), existem dois patamares simetricamente colocados com respeito ao núcleo. Estes patamares aparecem melhor definidos no perfil B. O patamar sudoeste termina em uma forte saliência centrada em $r = 17''$, correspondendo à mancha brilhante visível na fotografia no lado sudoeste da galáxia. Outra saliência é encontrada no lado oposto do perfil, na posição $r = 25''$ nordeste. A amplitude das duas saliências não varia substancialmente nas diferentes cores, mas a saliência nordeste parece mais notável no perfil B devido à absorção que a precede (depressão localizada em $r = 20''$ nordeste). Esta absorção corresponde à faixa de poeira perpendicular ao semieixo maior nordeste, e sua cor indica ser provocada por poeira. Os perfis mostram um gradiente de luminosidade mais acentuado no lado nordeste no que no lado sudoeste.

O patamar nordeste da galáxia tem uma distribuição de brilho superficial característico de uma estrutura tipo barra ou lente, *i.e.*, o brilho permanece aproximadamente constante até uma margem externa íngreme (Kormendy 1982). Provavelmente o patamar sudoeste teria o mesmo comportamento se não fosse pela saliência no final da estrutura. Geralmente é difícil distinguir entre barras e lentes numa galáxia de perfil. Uma tentativa de estimar a espessura dessa estrutura foi feita traçando quatro perfis paralelos ao eixo maior da galáxia a diferentes distâncias do plano (z) (Figura III.9). Foram usados somente os perfis no lado noroeste da galáxia porque eles são menos perturbados pela absorção. Pela Figura III.9 vemos que a estrutura se estende no máximo até $z = 3''$ (332 pc). O seu semi-diâmetro maior observado é de $13.5'' = 1.5$ kpc, o que implica numa razão axial $z/a = 0.22$, que está um pouco acima do limite máximo para ser uma barra, de acordo com Kormendy (1982).

Mas se for uma barra e estiver com seu eixo maior inclinado em relação à linha de visada, o seu diâmetro deprojetado será maior, e a razão axial será menor. Um indício a favor de que essa estrutura seja uma barra é que NGC 6835 tem um núcleo azul típico de galáxias “starburst”, e o fenômeno de formação estelar no núcleo de galáxias espirais geralmente está vinculado à presença de barras (Sérsic e Pastoriza 1965, 1967; Arsenault 1989)

O perfil ao longo do eixo maior, após a superposição dos dois semi-eixos, fica com a forma típica de um perfil do tipo II (Freeman 1970a), embora Freeman tenha usado essa designação para galáxias pouco inclinadas. Um ajuste por mínimos quadrados mostra que, como nos perfis de tipo II, a região do perfil dominada pelo disco segue uma lei exponencial (equação I.2), mas a distribuição é mais fraca do que uma exponencial na região entre o bojo e o disco. Uma tentativa de ajustar a bojo com uma lei de *de Vaucouleurs* (equação I.1) confirma que ele não obedece essa lei. A Figura III.10 mostra o ajuste da exponencial ao longo dos perfis do eixo maior superposto. Os parâmetros do ajuste são mostrados na Tabela III.7. Entretanto, esses parâmetros não se referem à distribuição verdadeira do disco, mas sim à sua distribuição projetada, uma vez que ele está inclinado de quase 90°.

Com a finalidade de investigar a verdadeira distribuição de luminosidade do disco, isto é, a distribuição que teria o disco se aparecesse de frente (“face-on”), calculamos como um disco exponencial aparece quando ele é visto de perfil. Fizemos isso integrando um disco exponencial teórico ao longo da direção do plano. Esta derivação é similar àquela feita por Burstein (1979c) para a aproximação do disco fino, com a diferença de que estamos interessados na distribuição ao longo do eixo maior, não perpendicular a ele, e estamos considerando que o disco tem uma espessura finita, de forma que pequenos desvios de $i = 90^\circ$ não afetarão de modo significativo o resultado. Nós encontramos que, para um disco exponencial, de perfil, com intensidade central I_0 , escala de distância r_0 , e raio R , a intensidade integrada a uma distância x do centro, ao longo do eixo maior, é dada por:

$$I(x) = 2 \int_x^R I_x \exp(-r/r_0) r (r^2 - x^2)^{-1/2} dr$$

A Figura III.11 mostra a distribuição de intensidade integrada para diferentes valores de

R/r_0 . A distribuição integrada difere significativamente de uma exponencial somente para valores de R/r_0 menores do que 10. Embora para $R/r_0 > 10$ o disco integrado mantenha seu carácter exponencial, seus parâmetros não são os mesmos que os do disco intrínseco, i. e., o disco exponencial deprojetado. Os parâmetros desse disco deprojetado podem ser inferidos da função ajustada.

A Figura III.12 mostra a função que melhor ajusta o perfil B ao longo do eixo maior. Essa função tem $R/r_0 = 11.1$, $r_0 = 13.5'' \pm 0.5''$ (1.49 ± 0.04 Kpc), e $I_0 = 28.31 \frac{L_\odot}{pc^2}$, o que expresso em magnitudes corresponde a $\mu_0(B) = 23.42 \pm 0.07 m/m^2$. Esses parâmetros são compatíveis com um disco pequeno e de fraca luminosidade.

III.7 Perfis de Cor

O principal aspecto que podemos identificar nos perfis de cor (Figura III.8) é o pronunciado gradiente desde o núcleo, com índice de cor local $(B - V) = 0.48 \pm 0.03$, $(V - R) = 0.51 \pm 0.02$, e $(V - I) = 1.04 \pm 0.03$, até as regiões vizinhas, com índices de cor local médios $(B - V) = 0.86 \pm 0.08$, $(V - R) = 0.58 \pm 0.06$, e $(V - I) = 1.21 \pm 0.07$. Os perfis de cor do lado sudoeste aparecem levemente mais avermelhados e mais suaves do que os do lado nordeste, o qual mostra pequenas variações na região da faixa de poeira (mais vermelha) e na região da saliência (mais azul), embora não possamos distinguir diferenças reais de cor entre esses aspectos, com a precisão atingida.

A cor azul do núcleo sugere que ele esteja provavelmente associado a eventos de formação estelar. Para investigar tal possibilidade, comparamos as cores medidas com cores sintéticas calculadas por Bica, Alloin e Schmidt (1990), a partir de modelos de simulação de surtos de formação estelar superpostos a uma população velha de no mínimo 10^{10} anos (ver Figura IV.15). As cores do núcleo, corrigidas como na Tabela III.6, são $(B - V)^\circ = 0.20 \pm 0.03$, $(V - R)^\circ = 0.29 \pm 0.02$, e $(V - I)^\circ = 0.60 \pm 0.02$, sendo compatíveis com eventos de formação estelar ocorridos nos últimos 5×10^7 anos até a época presente, superpostos a um substrato de população velha, onde o burst contribui no mínimo com 10% em massa, e é fortemente dominante em fluxo.

Também comparamos as cores nucleares de NGC 6835 com aquelas observadas no núcleo de NGC 5236, com $(B - V) = 0.19$, $(V - R) = 0.32$, e $(V - I) = 0.72$ (Pastoriza *et al.* 1992). A similaridade entre as cores nucleares das duas galáxias é outra evidência de que um burst de formação estelar é uma boa interpretação para a cor azul do núcleo, ainda que emissão em CO não tenha sido detectada na galáxia (Rowan-Robinson *et al.* 1990).

Outra evidência para formação estelar é a observação de um espectro nuclear com linhas brilhantes de emissão tais como $H\alpha$, [NII], [OIII], [SII] e $H\beta$, com razões de intensidade

$$\log([NII]_{6583}/H\alpha_{6563}) = -0.41,$$

$$\log([OII]_{5007}/H\beta_{4861}) = -0.2, e$$

$$\log([SII]_{6717+6731}/H\alpha_{6563}) = -0.6$$

(L.N. da Costa 1989, comunicação privada). Usando os diagramas diagnósticos de razões de intensidade (ver figuras 12.1 e 12.3 em Osterbrock 1989), encontramos que o espectro de emissão de NGC 6835 é típico de uma Região HII de moderada excitação, o que suporta a interpretação do núcleo da galáxia como um sítio de formação estelar.

Ascensão Reta (1950)	19h 51.76min
Declinação (1950)	-12° 41.8'
ℓ, b	28.52, -19.60
Tipo morfológico de Hubble no RC2	SB(s)a?sp
Tipo morfológico e classe de luminosidade no RSA	amorfa?
Diâmetro isofotal D_{25} no RC2	161.5"
Razão axial R_{25}^{-1} no RC2	3.63
Velocidade radial heliocêntrica no RC2 (km/s)	1581
Velocidade radial heliocêntrica no RSA (km/s)	1631
Magnitude total B_T^a no RC2	13.4
Magnitude total B_T^a no RSA	13.13
Cor integrada $(B - V)_T^a$ no RC2	0.87
Extinção Galática A_B no RC2	0.73

Tabela III.1: Parâmetros catalogados de NGC 6835. ^a Ver Tabela III.5 para valores obtidos da presente fotometria superficial.

Filtro	Exposição (seg)	Seeing (segarc)
B	900	3.6
V	600	3.2
R	200	3.0
I	300	2.9

Tabela III.2: Observações de NGC 6835

A	$\log(A/0.1')$	U-B	B-V	V	V-R	R-I	Fonte ^a
9.0"	0.18	-0.08	0.62	14.35	0.52	0.53	SK
11.6	0.29	-0.04	0.65	14.14	0.54	0.54	SK
15.5	0.41	0.05	0.69	13.75	0.58	0.57	SK
19.3	0.51	0.05	0.71	13.52	0.60	0.59	SK
24.5	0.61	0.09	0.74	13.40	0.60	0.57	SK
28.1	0.67	0.22	0.76	13.45	-	-	LdV
30.1	0.70	-	-	13.41	-	-	LdV
30.1	0.70	0.17	0.77	13.30	-	-	LdV
36.2	0.78	0.18	0.76	13.18	-	-	LdV
36.2	0.78	0.15	-	13.17	-	-	LdV
54.7	0.96	-	-	12.86	-	-	LdV
54.7	0.96	0.25	0.83	12.98	-	-	LdV
60.0	1.00	0.14	0.83	12.77	-	-	LdV
64.3	1.03	-	0.88	12.68	-	-	LdV
68.9	1.06	0.19	0.90	12.82	-	-	LdV
77.3	1.11	0.26	0.92	12.65	0.58	0.62	SK

Tabela III.3: Fotometria Fotoelétrica em Multiaberturas. ^aFontes: SK = Schröder e Kepler 1991; LdV = Longo e de Vaucouleurs 1983.

r^*	μ_B	μ_I	B	V	R	I
6	20.5	18.4	14.68	14.03	13.39	12.80
8	20.9	18.7	14.37	13.69	13.03	12.44
10	21.3	19.0	14.13	13.41	12.74	12.17
12	21.6	19.4	13.97	13.22	12.55	11.96
14	21.9	19.6	13.85	13.08	12.41	11.81
16	22.3	19.9	13.74	12.95	12.30	11.69
18	22.4	20.2	13.66	12.87	12.21	11.60
20	22.7	20.4	13.60	12.80	12.15	11.54
22	23.0	20.6	13.56	12.75	12.10	11.48
24	23.2	20.8	13.51	12.72	12.06	11.43
26	23.5	21.1	13.47	12.67	12.03	11.41
28	23.8	21.4	13.45	12.65	12.01	11.37
30	24.1	21.5	-	12.63	11.97	11.34
32	24.3	21.8	-	12.62	11.94	11.31
34	24.6	22.0	-	12.60	11.94	11.31
36	24.9	22.3	-	12.59	11.94	11.31
38	25.1	22.5	-	12.58	11.94	11.31

Tabela III.4: Distribuição de Luminosidade Integrada em NGC 6835.

Distância (Mpc) ($H = 75 \text{ Km/s/Mpc}$)	22.82
Magnitude total aparente V_T	12.43 ± 0.08
Magnitude total aparente corrigida V_T°	11.57
Magnitude total absoluta corrigida M_V	-20.21
Cor total observada (B-V)	0.88 ± 0.04
Cor total corrigida $(B - V)^\circ$	0.59
Raio equivalente efetivo $r_e^*(V)$	12.5"
Brilho superficial medio efetivo $\mu_{V,e}^a$	19.9
Índices de concentração (em V)	
$C_{21} = r_e^*/r_1^*$	2.34
$C_{32} = r_2^*/r_e^*$	1.80
Luminosidade total $L_T(L_\odot)^b$	1.04×10^{10}

Tabela III.5: *Parâmetros Globais para NGC 6835.* ^a $\mu_{V,e}$ = brilho superficial médio dentro da isofota que contém metade da luminosidade total, segundo a definição de de Vaucouleurs (1962);

^b usando $M_\odot(V) = 4.83$.

	A_B	E(B-V)	E(V-R)	E(V-I)
Absorção galáctica	0.73	0.18	0.14	0.28
Absorção interna	0.42	0.11	0.08	0.16
Absorção total	1.15	0.29	0.22	0.44

Tabela III.6: *Correção da magnitude e cores de NGC 6835, calculadas como na seção II.8.*

Parâmetro	B	V	R	I
Intervalo de ajuste (")	25 - 65	25 - 65	20 - 60	25 - 65
$I_0(m/''^2)$	19.54	18.83	18.16	17.5
σ	0.11	0.06	0.07	0.08
$r_0 (")$	15.37	17.43	16.21	17.50
σ	0.51	0.40	0.42	0.48
$r_0(\text{kpc})$	1.68	1.93	1.78	1.42
σ	0.04	0.03	0.03	0.04

Tabela III.7: Parâmetros do ajuste exponencial aos perfis do eixo maior.

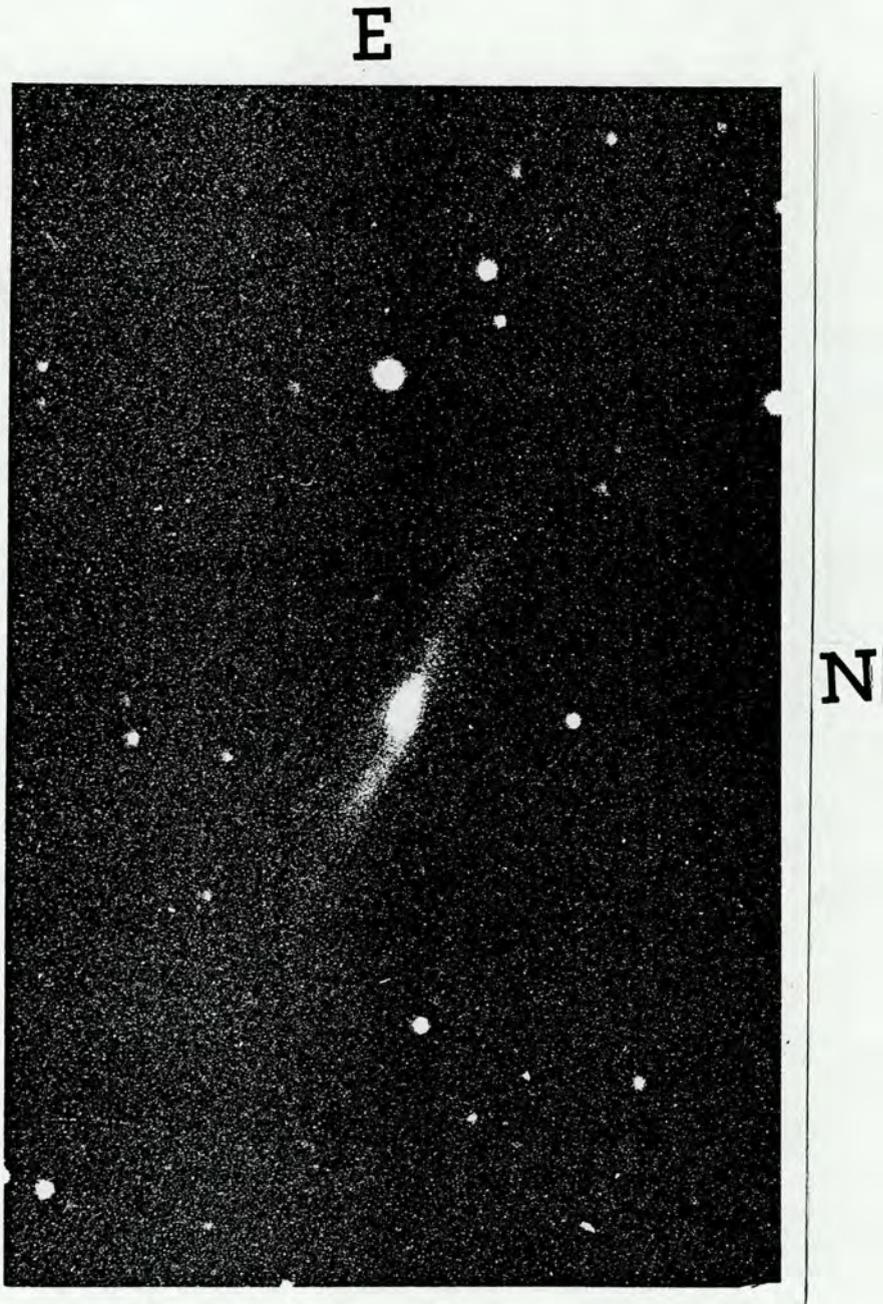


Figura III.1: Fotografia de NGC 6835 obtida com a câmara Cassegrain acoplada ao telescópio de 1.60 m do Laboratório Nacional de Astrofísica. O filtro usado é o IJa-O (azul). O tempo de exposição foi 60 min. A escala é $1 \text{ mm} = 1.33''$

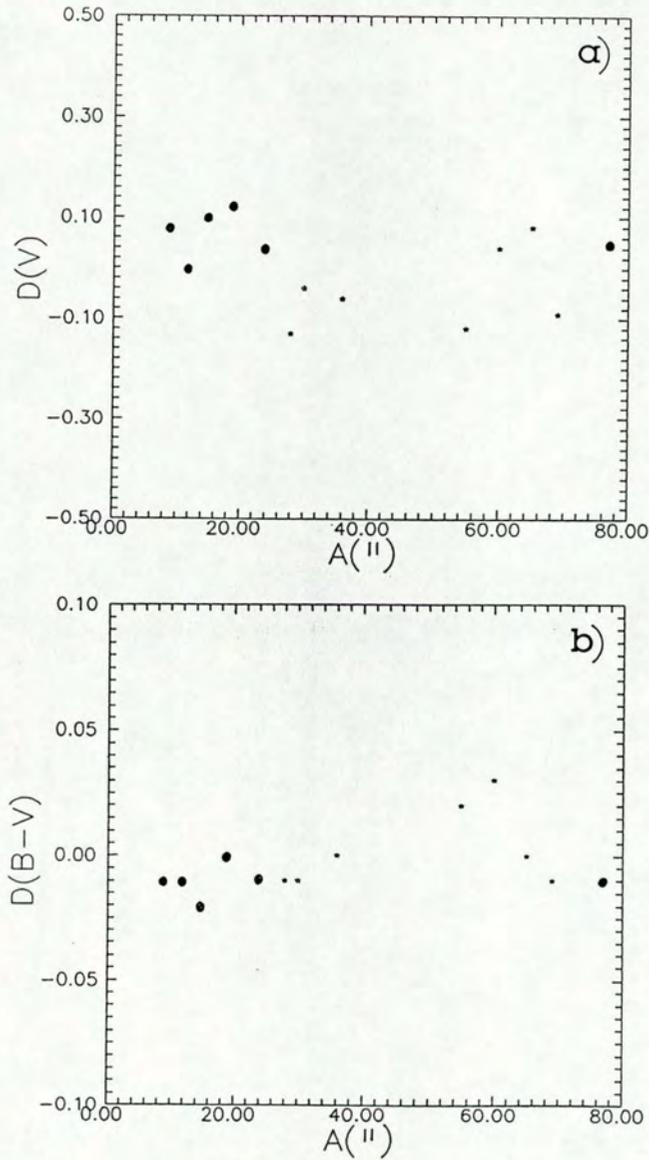


Figura III.2: Diferenças entre a fotometria CCD sintetizada em diferentes diafragmas e a fotometria fotoelétrica, em função do tamanho do diafragma. Os círculos indicam a fotometria fotoelétrica obtida por nós, e as estrelas indicam a fotometria fotoelétrica publicada. a) Diferenças entre as magnitudes V; b) diferenças entre as cores (B-V).

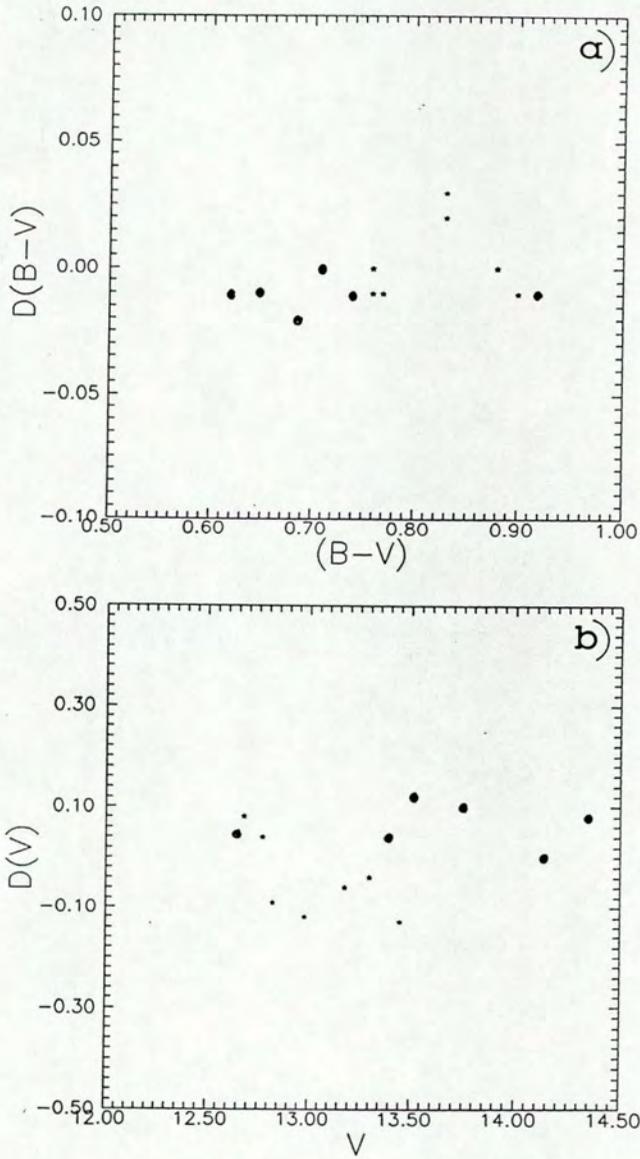


Figura III.3: Diferenças entre a fotometria CCD sintetizada em diferentes diafragmas e a fotometria fotoelétrica, em função da magnitude $V(b)$ e da cor $(B-V)$ (a). Os círculos indicam a fotometria fotoelétrica, obtida por nós, e os asteriscos indicam a fotometria fotoelétrica publicada.

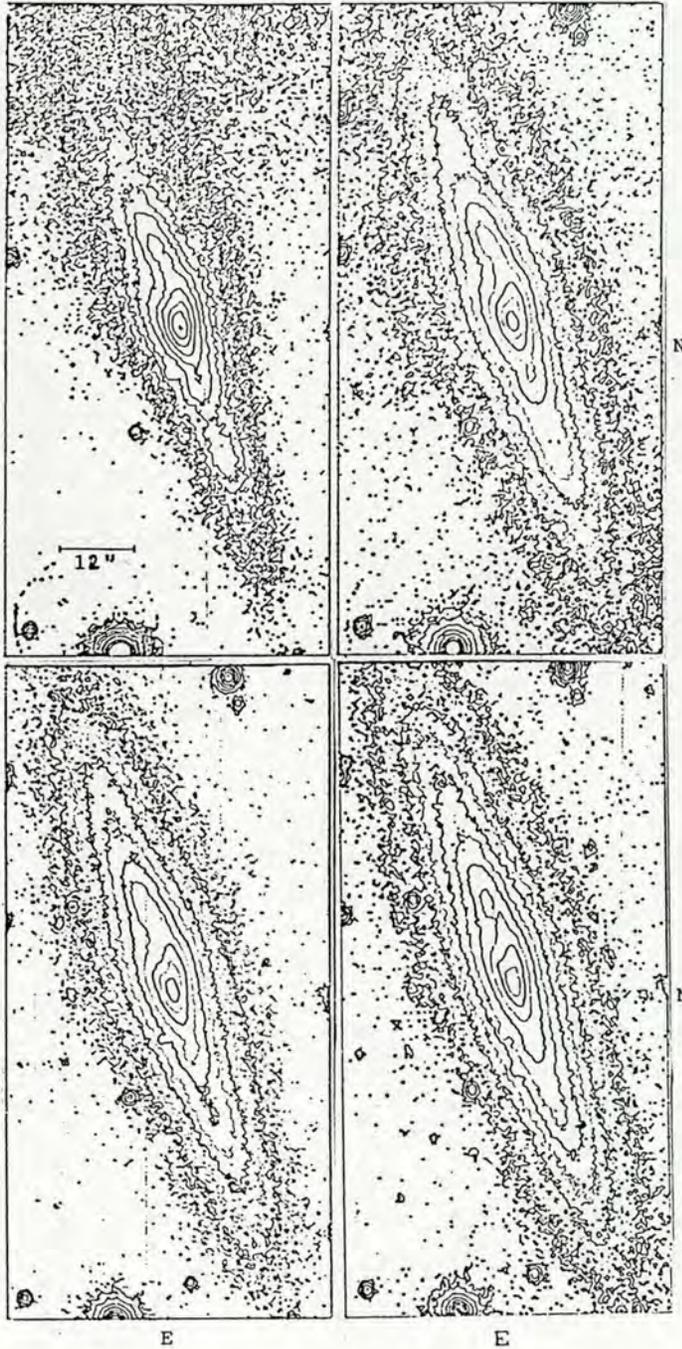


Figura III.4: Mapas de isofotas de NGC 6835 em B (quadro superior esquerdo), V (quadro superior direito), R (quadro inferior esquerdo) e I (quadro inferior direito). Os níveis isofotais mostrados são: μ_B de 18.5 a 23.5; μ_V de 18.3 a 23.3; μ_R de 17.4 a 21.9; e μ_I de 17.5 a 22.0. O intervalo entre os níveis é 0.5 em todos os mapas.

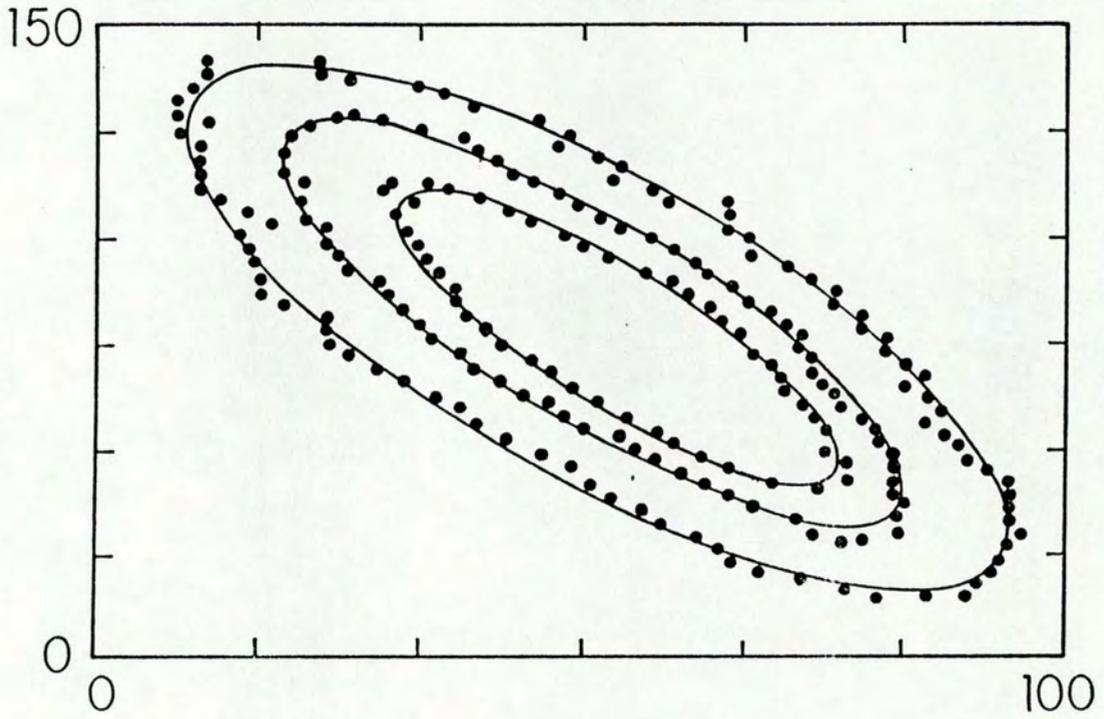


Figura III.5: Ajustes elipsoidais aos contornos I com $\mu_I = 21.9, 20.8$ e 19.8 . As dimensões da imagem estão dadas em segundos de arco.

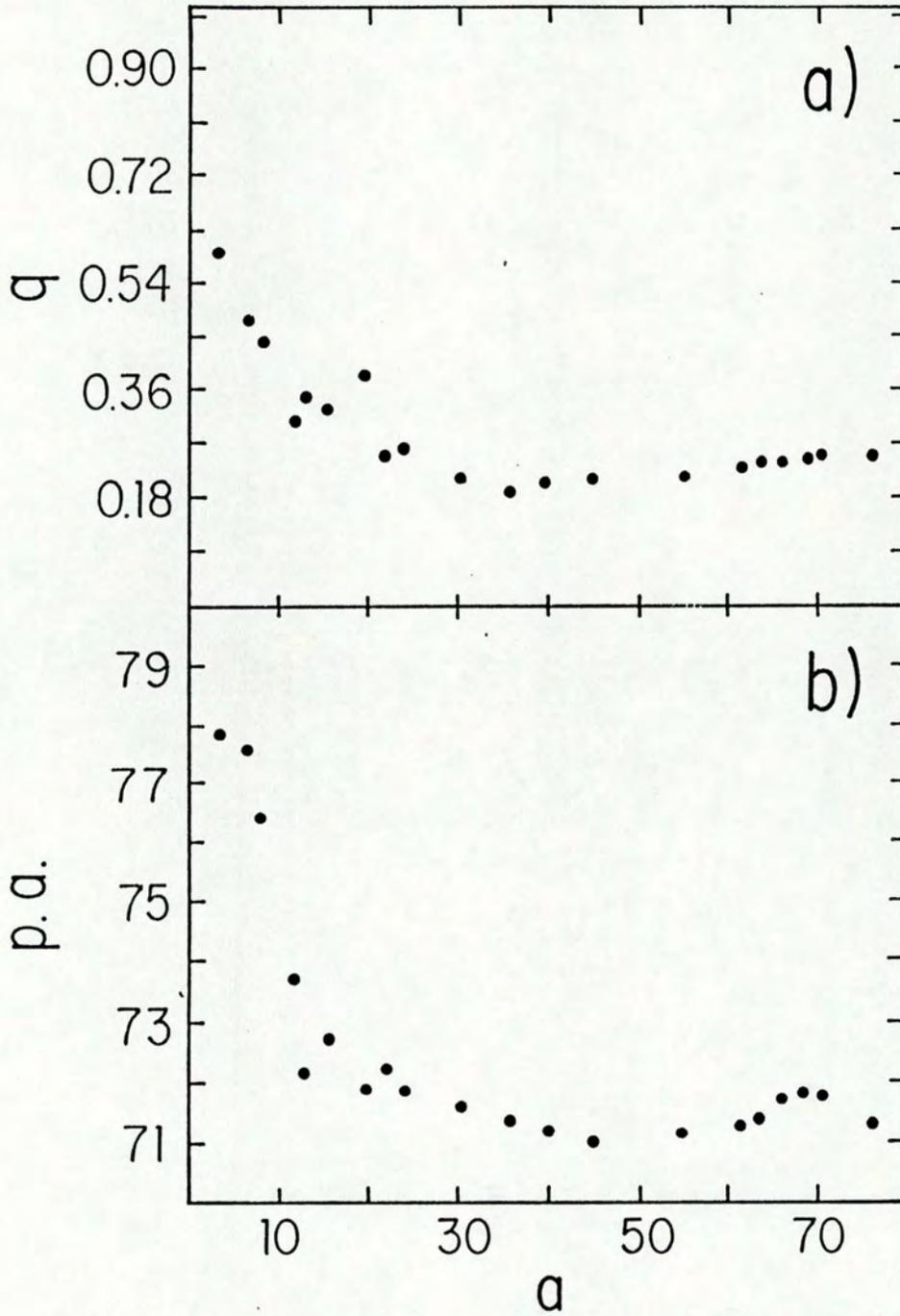


Figura III.6: (a) Razões axiais q das isofotas I baseadas no ajuste de elipses. O parâmetro a é o semieixo maior em segundos de arco. (b) Ângulos de posição das isofotas I em graus.

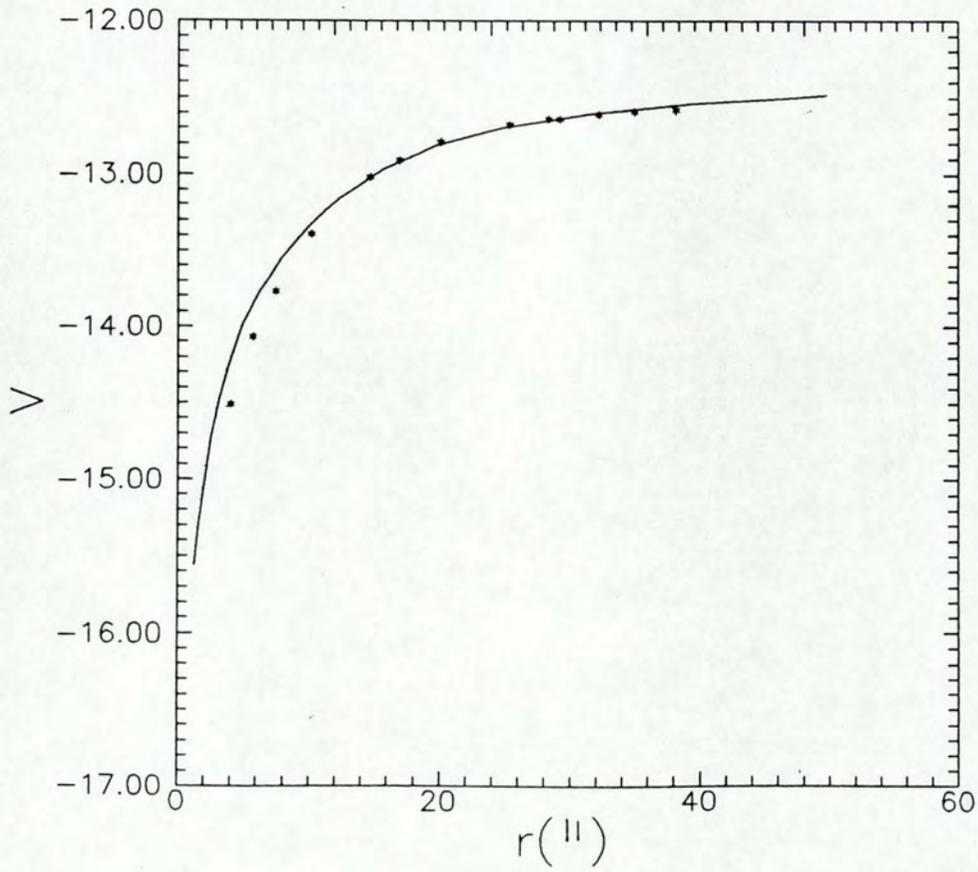


Figura III.7: Curva de crescimento padrão V (RC3) ajustada à fotometria integrada em isofotas.

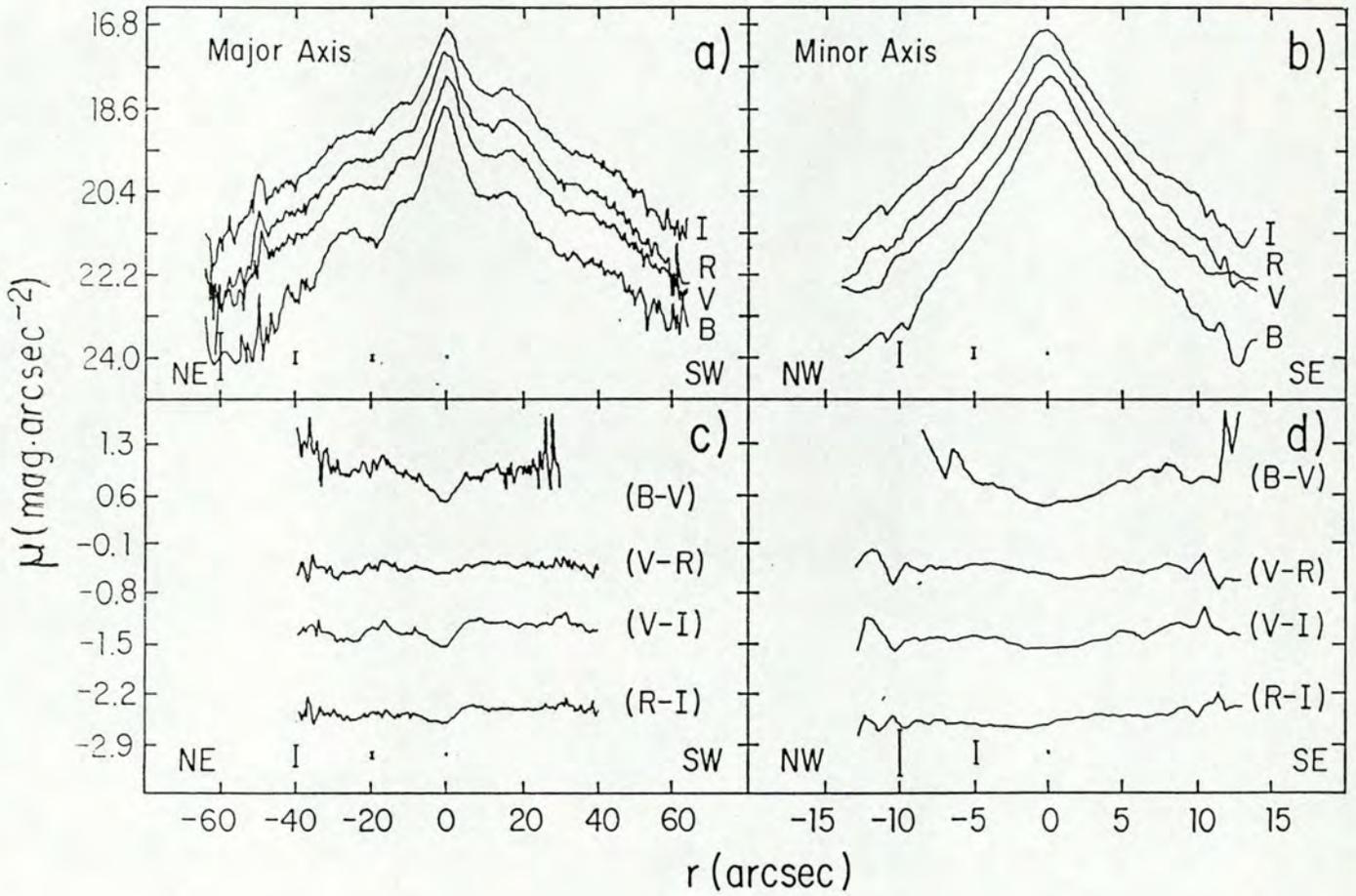


Figura III.8: (a) Perfis de luminosidade ao longo do eixo maior. (b) Perfis de luminosidade ao longo do eixo menor. (c) Perfis de índices de cor ao longo do eixo maior. (d) Perfis de índices de cor ao longo do eixo menor. Os perfis (V-R), (V-I) e (R-I) estão deslocados de -1.0, -2.5 e -3.0 m^2 respectivamente. As barras de erros (1σ) estão mostradas embaixo de cada curva. Todos os perfis são pixel a pixel.

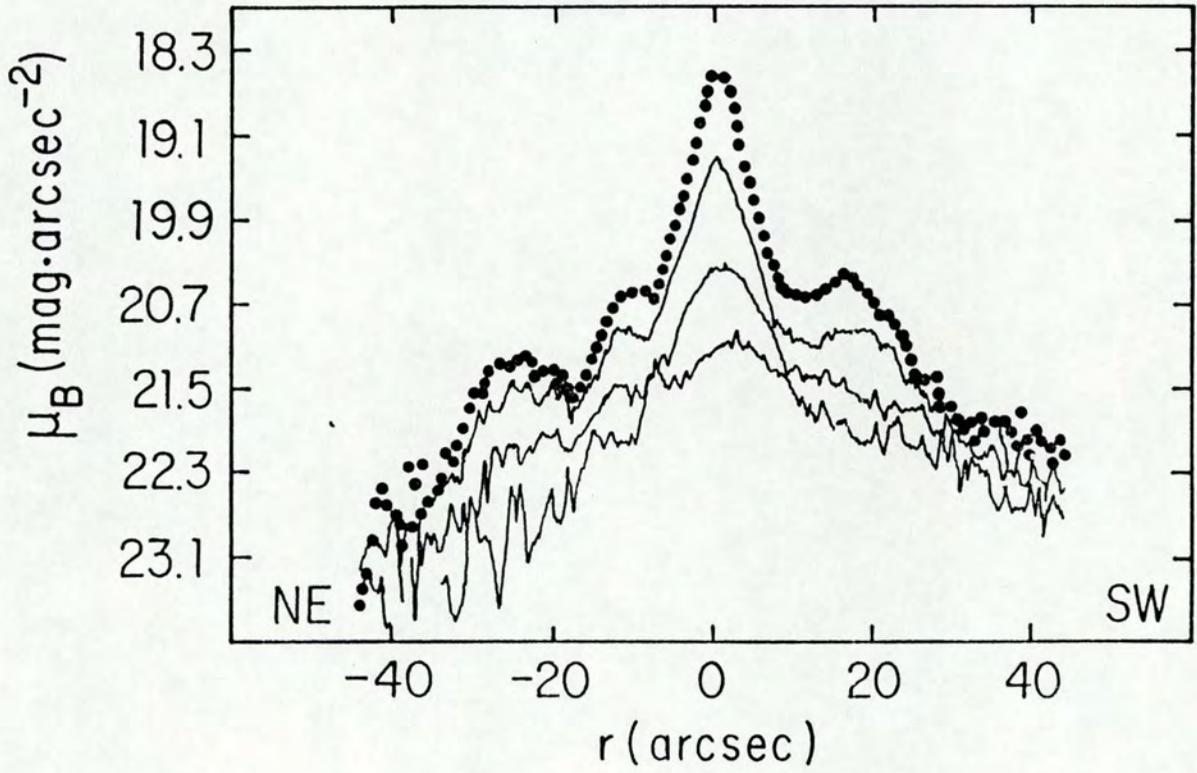


Figura III.9: Perfis de luminosidade B paralelos ao eixo maior. Os perfis foram traçados com intervalos de 1.5" desde $z = 0''$, o eixo maior (círculos), até $z = 4.5''$.

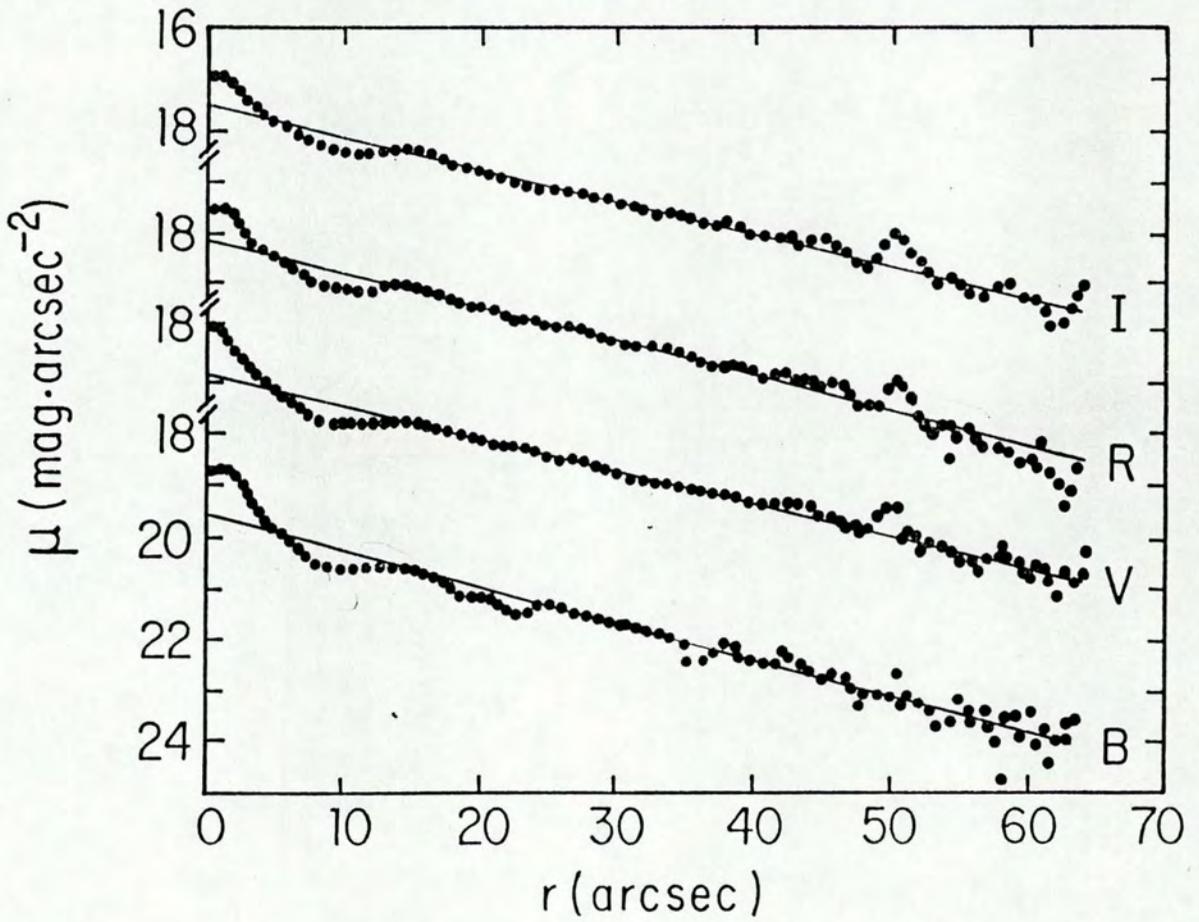


Figura III.10: Ajuste exponencial à região do disco; perfis ao longo do eixo maior.

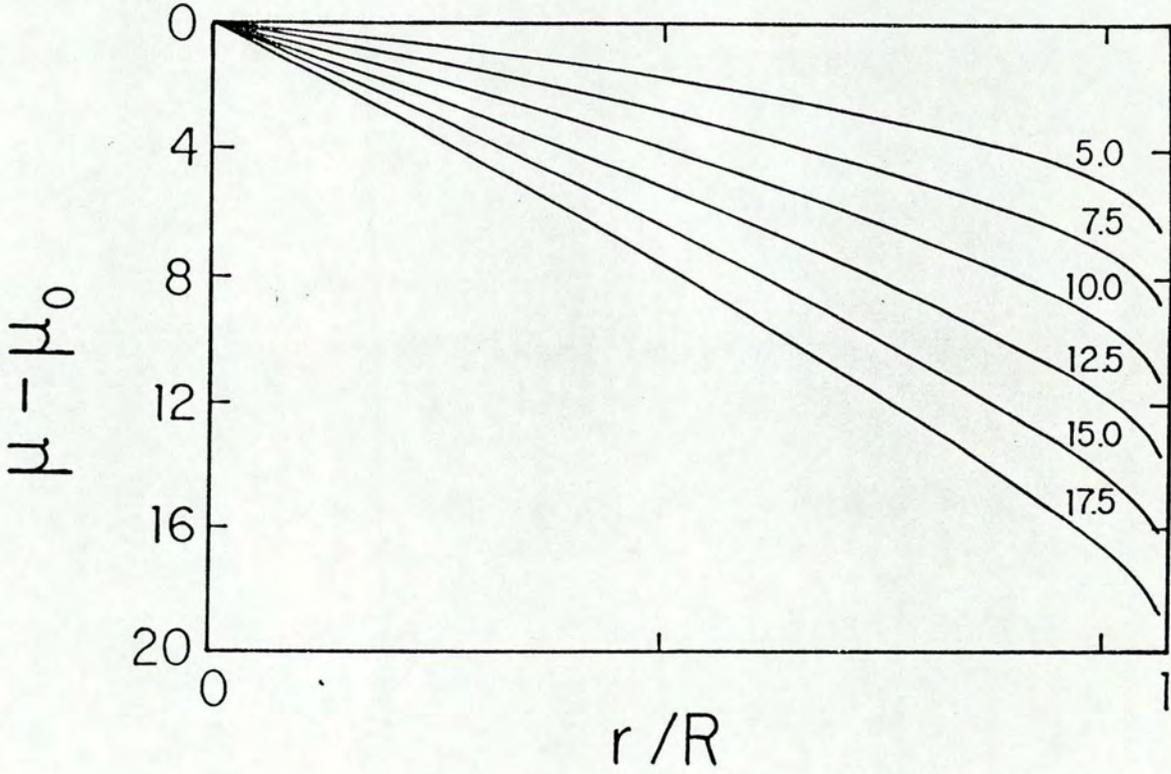


Figura III.11: Distribuição de luminosidade obtida por integração de um disco exponencial ao longo da direção do plano. Cada curva se refere a diferentes valores de R/r_0 . R é o semi-diâmetro total do disco, r_0 é a escala de distância do disco e μ_0 é o brilho superficial central do disco.

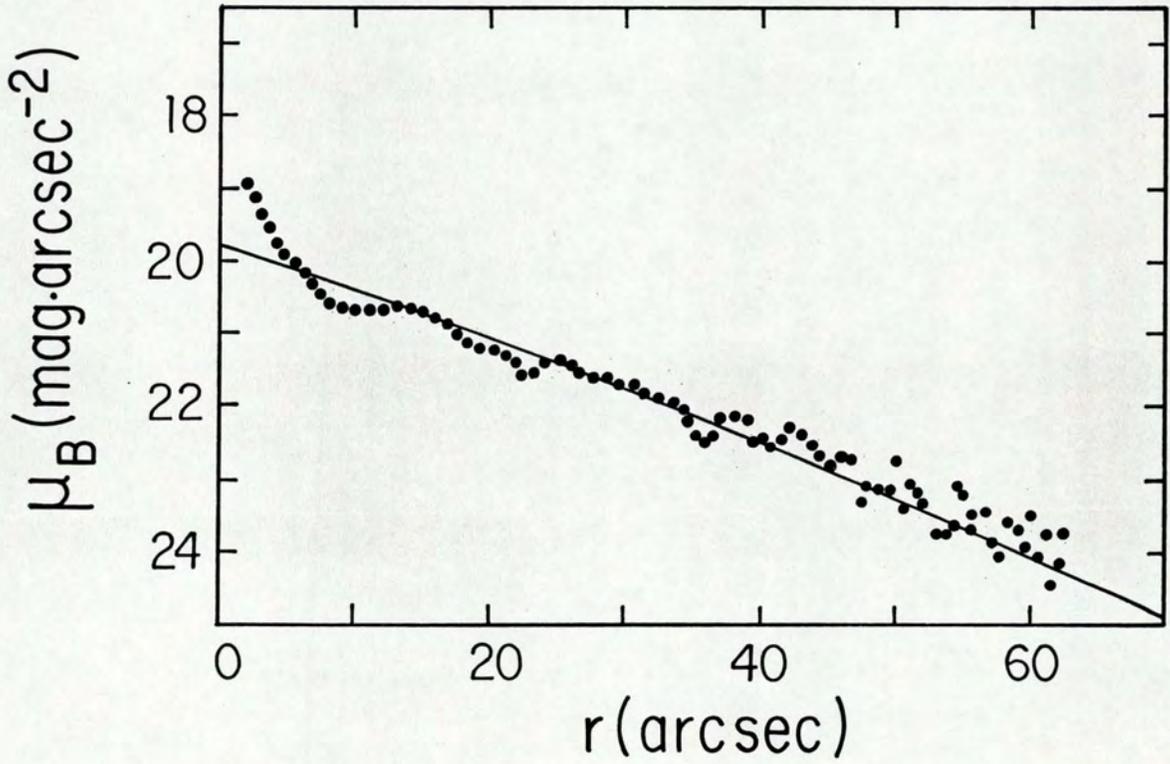


Figura III.12: Ajuste do perfil observado (círculos) com uma distribuição obtida por integração de um disco exponencial com $\mu_0 = 23.42$, e $r_0 = 13.5''$.

Capítulo IV

FOTOMETRIA SUPERFICIAL DE NGC 5757

IV.1 Introdução

NGC 5757 é um exemplo bem típico de espiral barrada vista de frente. Ela está classificada no RC2 como SRB(r)b. O anel externo (R) não está muito bem definido, talvez devendo ser descrito mais como um pseudo-anel R'. Na classificação de Elmegreen e Elmegreen (1987), que usa como critério os braços espirais, ela recebe a classe 5, dedicada às galáxias com dois braços curtos e simétricos, na região interna, e braços externos irregulares. Alguns parâmetros da galáxia, tirados do Second Reference Catalogue of Bright Galaxies (RC2; de Vaucouleurs, de Vaucouleurs e Corwin 1976), do Surface Photometry Catalogue of the ESO-Uppsala Galaxies (SPC; Lauberts e Valentijn 1989) e do Revised Shapley-Ames Catalogue of Bright Galaxies (RSA; Sandage e Tammann 1981,) são listados na Tabela IV.1.

Usando a velocidade radial de 2659 Km/s dada no SPC , e usando $H = 75 \text{ Km/s/Mpc}$, a distância de NGC 5757 é 35.45Mpc. O módulo de distância $\mu_0 = 33.69$ derivado por Buta e de Vaucouleurs (1983) a partir do diâmetro do anel interno da galáxia, indica uma distância maior, de 54 Mpc, mas por uma questão de homogeneidade adotaremos a distância derivada da velocidade radial. O fator de escala correspondente portanto é $1'' = 171.8 \text{ pc}$.

Ascensão Reta (1950)	14h44.95min
Declinação (1950)	-18°52.3'
ℓ, b	337.47, 35.87
Tipo morfológico no RC2	(R)SB(r)b
Tipo morfológico e classe de luminosidade no RSA	SBb(rs)II
Diâmetro isofotal D_{25} no RC2	125"
Diâmetro isofotal D_{25}^B no SPC	141"
Razão axial R_{25}^{-1} no RC2	1.12
Razão axial a/b no SPC	1.58
Velocidade radial heliocêntrica (Km/s)	
no RC2	2625
no RSA	2771
no SPC	2659
Magnitude total B_T^a	
no RC2	12.6
no RSA	12.62
no SPC	12.77
Cor integrada $(B - R)_T$ no SPC	1.25
Extinção Galática A_B	
no RC2	0.37
no SPC	0.34

Tabela IV.1: Parâmetros catalogados de NGC 5757. ^a Ver TabelaIV.6 para valor obtido da nossa fotometria superficial

Filtro	Tempo de exposição (seg)	Telescópio
B	300	91 cm - CTIO
V	200	91 cm - CTIO
R	100	91 cm - CTIO
I	100	91 cm - CTIO
V	3600	160 cm - LNA
R	1200	160 cm - LNA
I	1200	160 cm - LNA

Tabela IV.2: Observações CCD para NGC 5757.

IV.2 Observações

Para NGC 5757 foram inicialmente obtidos frames B, V, R e I com um CCD TI no telescópio de 91 cm do CTIO, durante um turno em junho/87, com tempos de exposição de 300, 200, 100 e 100 seg respectivamente. Como estas imagens estavam subexpostas na parte externa, houve necessidade de fazermos novas observações com tempos de exposição maiores. As novas observações foram feitas com um CCD GEC no telescópio de 160 cm do LNA, em junho/90. Como esse CCD não tem sensibilidade no azul, foram usados apenas os filtros V, R e I. Para a análise no azul, usamos o frame B obtido no CTIO. Um sumário das observações usadas é dado na Tabela IV.2.

IV.3 Calibração Fotométrica

Antes de iniciarmos a calibração propriamente dita, determinamos a intensidade do céu em todos os frames disponíveis, fazendo a média aritmética do número de contagens obtidas dentro de diafragmas circulares de 30 pixels de raio, dispostos em regiões das imagens livres da contaminação por estrelas e galáxia. Os valores obtidos foram: $N_c(B) = 77 \pm 10$, $N_c(V) = 127 \pm 12$, $N_c(R) = 153 \pm 12$ e $N_c(I) = 180 \pm 13$, para os frames do CTIO e $N_c(V) = 1047 \pm 17$, $N_c(R) = 867 \pm 18$, e $N_c(I) = 1746 \pm 41$, para os frames do LNA. Os erros

colocados são devido à dispersão interna dentro de cada diafragma mais a dispersão na média.

A calibração fotométrica dos frames B, V, R e I obtidos no CTIO inicialmente foi feita a partir de 7 estrelas padrões das regiões E de Graham (Graham 1982), observadas na mesma noite que a galáxia, e que foram usadas para determinar os termos de cor. O ajuste do ponto zero foi feito através da fotometria fotoelétrica em múltiplos diafragmas disponível na literatura para essa galáxia, acrescida da obtida por nós com essa finalidade. A fotometria fotoelétrica completa está listada na Tabela IV.3.

Para a calibração dos frames V, R e I obtidos no LNA, foi utilizada apenas a fotometria fotoelétrica em multidiafragmas, uma vez que não foi possível observar estrelas padrões durante o turno em junho/90. Assim as equações de calibração foram determinadas apenas com o termo constante, comparando as medidas da fotometria fotoelétrica em multiaberturas com a fotometria instrumental CCD obtida dentro das aberturas sintetizadas no frame. Esse procedimento é aceitável no caso de NGC 5757 porque a galáxia não apresenta um gradiente de cor integrada pronunciado, de forma que é possível substituir o termo em cor por uma constante sem alterar significativamente a calibração. Tendo isso em conta, e por uma questão de homogeneidade, reduzimos também a calibração do frame do CTIO a uma única constante. As equações de transformação finais usadas foram:

Para as imagens do CTIO:

$$B = b + (22.24 \pm 0.04)$$

$$V = v + (22.40 \pm 0.06)$$

$$R = r + (22.63 \pm 0.07)$$

$$I = i + (21.65 \pm 0.24)$$

Para as imagens do LNA:

$$V = v + (19.92 \pm 0.08)$$

$$R = r + (21.00 \pm 0.07)$$

$$I = i + (20.31 \pm 0.05)$$

onde b , v , r , e i são as magnitudes instrumentais. Os erros representam a dispersão na média devido às diferentes medidas.

A Figura IV.1(a) mostra as magnitudes CCD obtidas da síntese de aberturas, antes da calibração, plotadas contra as magnitudes fotoelétricas. A Figura IV.1(b) mostra as diferenças entre as magnitudes CCD calibradas com as equações acima e as magnitudes fotoelétricas, também plotadas contra as magnitudes fotoelétricas. Uma comparação das magnitudes e cores CCD resultantes com as magnitudes e cores fotoelétricas resulta nas diferenças médias

$$\overline{V_{CCD} - V_{FF}} = -0.000 \pm 0.078,$$

$$\overline{(B - V)_{CCD} - (B - V)_{FF}} = 0.001 \pm 0.026,$$

$$\overline{(V - R)_{CCD} - (V - R)_{FF}} = -0.020 \pm 0.050,$$

$$\overline{(R - I)_{CCD} - (R - I)_{FF}} = 0.000 \pm 0.033,$$

o que mostra que não existem diferenças sistemáticas nas magnitudes e cores resultantes, e portanto a exclusão do termo de cor na transformação não gerou efeito sistemático.

Os valores do brilho do céu correspondente a cada filtro, foram: $B = 22.19 \pm 0.13$, $V = 21.37 \pm 0.09$, $R = 20.65 \pm 0.08$ e $I = 19.49 \pm 0.02$, para o céu em Cerro Tololo, em junho/87, com lua quarto minguante um pouco abaixo do horizonte, e $V = 20.00 \pm 0.02$, $R = 20.08 \pm 0.02$ e $I = 18.64 \pm 0.02$, para o céu em Pico dos Dias, em junho/90, com lua em fase próxima da cheia, porém também um pouco abaixo do horizonte.

IV.4 Morfologia

A morfologia global da galáxia é ilustrada nas fotografias e na imagem CCD mostradas nas Figuras IV.2 e IV.3. A foto de curta exposição ilustra as partes mais internas do objeto, onde se destaca o núcleo, extremamente brilhante e de aparência estelar, e a barra, na qual se pode observar uma faixa de absorção ao lado do núcleo. A barra é mais prolongada

A(")	V	B-V	V-R	R-I	Fonte ^a
9.0	14.46	0.58	0.56	0.55	SK
11.6	13.92	0.62	0.55	0.56	SK
15.5	13.70	0.65	0.57	0.57	SK
17.0	13.70	0.62	0.55	0.61	HM
19.3	13.44	0.70	0.57	0.57	SK
24.0	13.41	0.66	0.56	0.61	HM
24.5	13.27	0.71	0.56	0.56	SK
42.5	12.46	0.98	-	-	LdV
77.3	12.23	0.72	0.51	0.49	SK

Tabela IV.3: Fotometria Fotoelétrica de NGC 5757. ^aFontes: SK = Schröder e Kepler 1991; HM = Hamuy e Masa 1987; LdV = Longo e de Vaucouleurs 1983.

para o lado sul, e termina em dois braços espirais curtos mas largos, sendo o do lado sul bem mais desenvolvido. Essas componentes encontram-se imersas em outra, formando um conjunto de aparência quase retangular, como pode ser visto na foto de maior exposição, e que lembra a forma das isofotas na região das “plumas” em NGC 1433 (Buta 1986). O disco da galáxia é observado quase de frente, e superposto a ele se pode perceber uma estrutura espiral muito fragmentada, formada, de um lado, por um conjunto de fragmentos brilhantes que parecem ter origem na extremidade norte da componente retangular, e do outro, por dois arcos espirais, cada um com origem aparente em um dos vértices do lado sul do retângulo, e sendo um deles o prolongamento do braço originado na extremidade sul da barra. Esses dois arcos quase se encontram, formando um pseudo-anel que envolve metade da galáxia, e que levou à classificação (R) no RC2.

IV.5 Mapas de Isofotas e Parâmetros Geométricos

Os mapas de isofotas são apresentados nas Figuras IV.4, nas magnitudes B, V, R e I. As isofotas mais externas, que aparecem nos mapas V e R, mostram níveis superficiais não

visíveis na fotografia. Elas se referem ao disco da galáxia, e são quase circulares, indicando que o objeto está quase de frente. No mapa IV.4(a) pode-se apreciar o pseudo-anel, localizado a $40''$ do núcleo, e as bordas da componente retangular, com isofotas bastante irregulares, alteradas pelos fragmentos de braços espirais e pelas manchas brilhantes distribuídas irregularmente. As isofotas correspondentes à barra da galáxia são bastante achatadas, e apresentam reentrâncias causadas por zonas de absorção, indicando a presença de poeira na barra. No extremo sul da barra aparece uma grande condensação brilhante, muito clara no mapa em B, coincidindo com a origem de um braço espiral. Essa formação prolonga as isofotas da barra para o sul, dando-lhe a aparência assimétrica. No outro extremo da barra aparece outra condensação brilhante, porém muito menos notável, coincidindo com a origem do outro braço espiral. Na região do núcleo as isofotas são muito circulares, consistentes com um núcleo esférico.

No restante desta seção usamos apenas as imagens V, R e I de longa exposição, além da imagem B.

O ângulo de posição e a elipticidade das isofotas foram determinados ajustando elipses, através de mínimos quadrados, aos contornos B, V, R e I. A Figura IV.5 mostra as elipses ajustadas às isofotas R, e a Figura IV.6 mostra as curvas de razão axial e ângulo de posição resultantes, em função do semi-eixo maior. A razão axial é quase 1 no centro, decrescendo em seguida rapidamente para um mínimo com $b/a = 0.3$ na região com semi-eixo maior em torno de $22''$ ($\mu_V = 20.1 \text{ m}''^2$). A partir daí, a razão axial aumenta até um máximo com $b/a = 0.85$ em $a = 50''$, passando então a decrescer suavemente até as isofotas mais externas medidas, com a em torno de $60''$. O semi-diâmetro da galáxia, determinado a partir dessas isofotas, que correspondem aproximadamente a $\mu_B = 25$, é de 10.3 Kpc.

O ângulo de posição das isofotas varia de maneira parecida com a variação da razão axial, mostrando que as isofotas mais achatadas, encontradas na região intermediária, têm uma orientação diferente das isofotas mais circulares, presentes nas regiões interna e externa. O ângulo de posição do eixo maior da galáxia, determinado para as isofotas com $a = 60''$ e com $a = 50''$, resulta respectivamente nos valores $ap = 31^\circ$ e $ap = 24^\circ$. Assumindo que as

isofotas mais achatadas correspondem à barra da galáxia, então a barra tem razão axial observada de 0.32, uma extensão (ponta a ponta) de 7.5 kpc, e um ângulo de posição de -9° , formando um ângulo de 40° com o eixo maior da galáxia. Convém notar, no entanto, que as elipses mais achatadas correspondem à região no fim da barra onde nascem os braços espirais, distorcendo as isofotas, e que a barra, realmente, deve acabar antes.

A inclinação da galáxia foi determinada pela equação II.1. Derivamos a razão axial aparente a partir da razão axial média medida para as isofotas B, V e R com semi-eixo maior em torno de $60''$, correspondendo a $\mu_B \simeq 25$, $\mu_V \simeq 24$ e $\mu_R \simeq 23$, o que resultou em $q = 0.798$. O achatamento intrínseco para o tipo morfológico T= 3 (Sb) é $q_0 = 0.185$. Isso leva a uma inclinação de aproximadamente $38^\circ \pm 2^\circ$.

Como a curva da razão axial versus semi-eixo maior das isofotas (Figura IV.6(b)) tem um máximo em $a = 50''$, calculamos também a inclinação correspondente a essas isofotas, encontrando o valor de 33° .

Determinações prévias da inclinação e orientação do eixo maior de NGC 5757 foram feitas por Grosbøl (1985), a partir das placas vermelhas do Palomar Sky Survey. Grosbøl encontrou os valores $i = 31^\circ$ e $a.p. = 22^\circ$, similares aos que medimos na isofota com $a = 50''$. Essa galáxia consta também no SPC, no qual lhe são atribuídos para a razão axial e ângulo de posição os valores $b/a = 0.63$ e $a.p. = 4^\circ$, que não se enquadra em nenhuma das nossas isofotas.

IV.6 Parâmetros Fotométricos Integrados

As magnitudes B, V, R e I, integradas em áreas compreendidas por níveis isofotais de intensidade decrescente, estão listadas na Tabela IV.4. A integração foi feita utilizando um algoritmo do IRAF que permite demarcar uma determinada área dentro da galáxia, e depois soma as intensidades de todos os pixels que estão dentro dessa área. Demarcamos a área traçando um polígono de muitos vértices (100 no máximo) sobre cada isofota, de forma a reproduzir a isofota o melhor possível, e a integrar diretamente dentro das isofotas. Na Tabela IV.4, os níveis isofotais estão identificados por seus raios equivalentes, r^* , conforme

r^*	a	μ_B	μ_V	μ_R	μ_I	B	V	R	I
3.6	4.2	19.8	19.1	18.5	18.0	14.90	14.30	13.87	13.27
4.7	5.3	20.3	19.6	19.0	18.4	14.68	14.09	13.62	13.02
7.2	11.6	20.9	20.1	19.4	19.0	14.38	13.71	13.20	12.74
11.4	22.2	21.4	20.6	20.0	19.5	13.97	13.27	12.71	12.30
16.2	27.3	21.9	21.1	20.5	20.0	13.64	12.95	12.36	11.81
22.4	30.5	22.4	21.6	21.0	20.6	13.35	12.64	12.09	11.56
30.1	37.8	22.8	22.1	21.5	21.2	13.12	12.44	11.84	11.36
39.3	44.7	23.4	22.6	22.0	21.8	12.93	12.22	11.62	11.16
44.6	47.9	23.9	23.1	22.5	22.3	12.84	12.14	11.53	11.13
48.0	52.4	24.4	23.6	22.9	22.9	12.81	12.10	11.50	11.06
52.3	58.6	25.0	24.1	23.4		12.78	12.08	11.47	

Tabela IV.4: Distribuição de Luminosidade Integrada em NGC 5757.

definição na equação II.4. Também estão listados os semi- eixos maiores, a , das elipses ajustadas às isofotas, e as magnitudes superficiais ao longo das isofotas.

As magnitudes integradas totais em B e V foram calculadas ajustando as curvas de crescimento padrão para o tipo $T = 3$, aos dados de (magnitude integradal) vs. (raio equivalente) da Tabela IV.4. Os resultados são mostrados nas Figuras IV.7, onde foram ajustadas as curvas padrão tendo $B_T = 12.73 \pm 0.10$, $r_e = 16.5 \pm 0.51$; e $V_T = 12.00 \pm 0.08$, $r_e = 19.5 \pm 0.51$. A cor resultante é $(B-V) = 0.73$. Os erros compreendem a dispersão interna no ajuste e a dispersão entre os diferentes ajustes, somadas quadraticamente.

A magnitude $B_T = 12.73$ está em boa concordância com as magnitudes dadas no RC2 ($m_H = 12.6$) e no SPC ($B_T = 12.77$). A cor $(B-R) = 1.31$ determinada para a isofota de $\mu_B = 25$ é similar à cor $(B - R)_T$ no SPC, dentro do erro da determinação .

A magnitude total corrigida por extinção galáctica e efeitos de inclinação é $B_T^0 = 12.307$, e a cor total corrigida é $(B - V)_o^T = 0.66$. A Tabela IV.6 lista os valores usados para fazer as correções .

	A_B	E(B-V)	E(V-R)	E(V-I)	E(R-I)
Absorção galáctica	0.37	0.09	0.07	0.13	0.07
Absorção interna	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01
Absorção total	0.42	0.10	0.08	0.16	0.08

Tabela IV.5: Correções da magnitude e cores de NGC 5757, calculadas como na seção II.8.

Os índices de concentração, definidos por $C_{21} = \frac{r_e}{r_1}$ e $C_{32} = \frac{r_3}{r_e}$ (de Vaucouleurs e Aguero 1973), foram determinados em B e em V, tendo sido encontrados os valores $C_{21}(B) = 1.98$, $C_{32}(B) = 1.75$, $C_{21}(V) = 2.24$ e $C_{32}(V) = 1.61$. Os valores para B estão plotados na Figura IV.8, juntamente com a linha esperada para uma transição de um sistema puramente esferoidal para um sistema puramente discoidal (tirado de de Vaucouleurs e Aguero 1973). Pela figura vê-se que eles correspondem a uma distribuição intermediária entre um esferóide puro, para o qual $C_{21} = 2.74$ e $C_{32} = 2.35$, e uma exponencial pura, que tem $C_{21} = 1.75$ e $C_{32} = 1.61$, sendo bem compatíveis com uma Sb.

A Tabela IV.6 lista os principais parâmetros integrados da galáxia.

IV.7 Perfis de Luminosidade

Os perfis de luminosidade ao longo dos eixos maior e menor da barra são mostrados nas Figuras IV.9. Ao longo do eixo maior, a distribuição cai muito rapidamente no centro, na região do núcleo, até $r = 4''$, onde ela forma um patamar em leve declive, que termina em duas pequenas saliências simétricas localizadas em $r = 15''$ N e $15''$ S. A partir desses pontos, o perfil fica diferente para os dois lados, sendo que no lado norte ele assume uma forma bem mais alisada do que no lado sul, onde aparecem dois picos arredondados intensos, um localizado em $r = 22.5''$ S e outro em $r = 38''$ S; no lado norte, uma sucessão de picos suaves, em $r = 19''$, $r = 25''$ e $r = 38''$, formam apenas pequenos desvios de um declínio quase exponencial.

Interpretamos o perfil da seguinte forma: o patamar entre $4''$ e $15''$ corresponde à barra; os picos simétricos em $15''$ correspondem ao anel interno medido por de Vaucouleurs e Buta

Distância (Mpc)	35.45
Magnitude aparente total B_T	12.73
Magnitude aparente total corrigida B_T^0	12.31
Magnitude total absoluta corrigida M_B^0	-20.41
Cor total observada (B-V)	0.73
Cor total corrigida $(B - V)_T^0$	0.66
Raio efetivo equivalente	
$r_e^*(B)$	16.5
$r_e^*(V)$	19.5
Brilho superficial médio efetivo ^a	
$\mu_{B,e}$	20.80
$\mu_{V,e}$	20.44
Índices de concentração	
$C_{21}(B)$	1.98
$C_{32}(B)$	1.75
$C_{21}(V)$	2.24
$C_{32}(V)$	1.61
Luminosidade total corrigida $L_T(L_\odot)^b$	2.2×10^{10}

Tabela IV.6: Parâmetros globais de NGC 5757. ^a é o brilho superficial médio dentro da isofota que contém metade da luminosidade total, de acordo com a definição de de Vaucouleurs (1962); não confundir com o brilho superficial ao longo da isofota. ^b usando $M_\odot(B) = 5.43$.

(1980); o pico intenso em $22.5''$ S e o pico mais suave em $19''$ N correspondem às regiões brilhantes visíveis nos mapas de isofota e na fotografia, marcando a origem dos braços espirais. As saliências em $r = 38''$ dos dois lados correspondem a um anel externo, também reportado por Buta e de Vaucouleurs (1980), e que parece ser mais definido no lado sul do que no lado norte.

Comparando o perfil da região externa à barra com o perfil na região da barra, vemos que no lado norte não há uma variação muito perceptível na inclinação da distribuição de brilho quando termina a barra; no lado sul as saliências muito acentuadas dão ao perfil uma forma totalmente não exponencial, mas se supormos uma exponencial subjacente, então sua inclinação é maior do que a da barra. No total, a barra em NGC 5757, está no limite entre as barras “achatadas” e as barras “exponenciais” a que se referem Elmegreen e Elmegreen (1985).

Ao longo do eixo menor também o perfil assume formas diferentes para os dois lados. O perfil no lado leste apresenta um pequeno pico em $r = 15''$ provavelmente devido ao anel interno, que sendo redondo (de acordo com Kormendy 1979) deve aparecer em todas as direções radiais. Mas esse pico não tem simétrico no lado oeste. A partir de $r = 20''$ L o perfil forma um patamar que termina na suave saliência arredondada em $r = 38''$, que deve corresponder ao anel externo. No lado oeste o perfil cai de forma muito suave, não apresentando peculiaridades, a não ser a saliência correspondente ao anel externo.

IV.8 Perfis de Luminosidade Médios

Nas quatro cores foram traçados 36 perfis radiais, espaçados entre si de 10° . Os 36 perfis radiais foram promediados elipticamente, seguindo o método de Boroson (seção II.10.2).

Como salientou Boroson em seu artigo, o método de promediar elipticamente torna os pontos mais brilhantes na região do bojo. O erro introduzido por este efeito nos perfis médios de NGC 5757 é no máximo 0.2 magnitudes e não altera de forma significativa o perfil nessa região.

Os perfis de luminosidade médios são mostrados nas Figuras IV.10. Aspectos mais

proeminentes como a barra e as zonas de formação estelar ficam bastante dispersados e, com exceção do perfil B, que permanece mais sinuoso, todos os demais apresentam uma distribuição praticamente exponencial entre $12''$ e $38''$, após o que os perfis sofrem uma ligeira elevação, provavelmente devida ao anel externo, e depois aumentam bruscamente de inclinação. Essa queda brusca no perfil na parte externa, dá a eles uma forma que lembra os perfis de algumas galáxias compactas estudadas por Kormendy (1977), ou dos discos estudados por van der Kruit e Searle (1981a,b). Não temos precisão suficiente na nossa fotometria em $\mu_B > 23m/''^2$ para afirmar que a variação na inclinação não seja devida a um excesso de subtração do céu, mas é possível que a queda seja real e indique um disco não exponencial; é possível também que estejamos vendo apenas a parte mais interna de um perfil tipo II. De qualquer forma, o perfil apresenta um gradiente aproximadamente exponencial em grande parte do intervalo dominado pela luz do disco, e pode ser comparado com o de galáxias “normais”.

Esses perfis foram corrigidos pelo “seeing”, usando o método de deconvolução descrito na seção II.11. A deconvolução foi feita de duas formas: primeiro, usando como PSF uma gaussiana de largura igual ao “seeing” da noite, e segundo, usando como PSF o perfil médio de estrelas do frame. Os perfis resultantes são mostrados nas Figuras IV.11 e IV.12.

O efeito principal observado após a deconvolução, seja usando uma PSF ou outra, é o estreitamento do perfil nuclear e a consequente elevação de seu pico. Um efeito secundário é o acentuamento da leve depressão existente em $r = 12''$, que fica bastante profunda nos perfis V, R e I após a deconvolução usando o perfil estelar. No perfil deconvolvido aparecem mais distintas as regiões de predominância da luz do núcleo, da barra e da região de formação estelar. As partes externas do perfil não são afetadas pela deconvolução.

IV.9 Decomposição dos Perfis

Os perfis promediados elipticamente foram decompostos usando o método iterativo de Kormendy, descrito na seção II.12. Na parte do perfil dominada pela luz do bojo, tipicamente para $2'' < r < 5''$, ajustamos uma lei de *de Vaucouleurs*, e na parte do perfil

Filtro	Bojo - Lei de <i>de Vaucouleurs</i>			Disco - Lei Exponencial			$\frac{L_B}{L_D}$
	Região (")	$I_e(m/''^2)$	$r_e(, \text{kpc})$	Região (")	$I_0(m/''^2)$	$r_0(, \text{kpc})$	
		σ	$\sigma(, \text{")}$		σ	$\sigma(, \text{")}$	
B	2.5 - 4.5	17.6	1.2, 0.2	11 - 50	20.92	18.4, 3.2	0.34
		0.6	0.3		0.03	0.3	
V	2.2 - 5.0	18.0	1.9, 0.3	12 - 56	20.24	19.2, 3.3	0.28
		0.5	0.4		0.04	0.4	
R	2.2 - 5.0	18.1	2.5, 0.4	12 - 56	19.67	19.4, 3.3	0.24
		0.5	0.5		0.04	0.4	
I	2.2 - 5.0	18.4	4.0, 0.7	12 - 56	19.19	17.4, 3.0	0.38
		0.4	0.9		0.06	0.5	

Tabela IV.7: Ajuste do perfil original.

dominada pelo disco, tipicamente para $12'' < r < 50''$, ajustamos uma lei exponencial. Os parâmetros do ajuste são listados nas Tabelas IV.7, IV.8 e IV.9, para os ajustes do perfil sem deconvolução, deconvoluido com gaussiana e deconvoluido com estrela, respectivamente. Os ajustes são mostrados nas Figuras IV.10 (sem deconvolução), IV.11 (deconvolução com gaussiana) e IV.12 (deconvolução com estrela). Os parâmetros I_0 e I_e são dados em $m/''^2$, e os parâmetros r_0 e r_e são dados em segarc e em kpc. Os parâmetros nas Tabelas IV.7, IV.8 e IV.9 não estão corrigidos por nenhum efeito de inclinação ou avermelhamento.

As luminosidades totais do bojo e do disco foram calculadas pelas fórmulas:

$$L_B = 7.215\pi I_e r_e^2 \quad (\text{deVaucouleurs 1962})$$

$$L_D = 2\pi I_0 r_0^2 \quad (\text{Freeman 1970a.})$$

A razão entre as luminosidades das duas componentes, $\frac{L_B}{L_D}$, também estão listadas nas Tabelas IV.7, IV.8 e IV.9.

Comparando os parâmetros do bojo e do disco obtidos ao ajustar o perfil original e o perfil deconvoluido das duas maneiras diferentes, vemos que os parâmetros do disco têm variações devido à correção pelo seeing desprezíveis: 0.9% em r_0 comparado com um erro

Filtro	Bojo - Lei de de <i>Vaucouleurs</i>			Disco - Lei Exponencial			$\frac{L_B}{L_D}$
	Região (")	$I_e(m/''^2)$	$r_e(, \text{kpc})$	Região (")	$I_0(m/''^2)$	$r_0(, \text{kpc})$	
		σ	$\sigma(, '')$		σ	$\sigma(, '')$	
B	1.5 - 5.0	18.3	1.3, 0.3	11 - 50	20.89	18.1, 3.1	0.28
		0.8	0.5		0.03	0.3	
V	1.7 - 5.0	16.6	0.9, 0.2	12 - 56	20.15	18.6, 3.2	0.20
		0.9	0.3		0.04	0.4	
R	1.7 - 5.0	17.7	1.7, 0.3	12 - 56	18.59	18.9, 3.2	0.17
		0.9	0.7		0.04	0.4	
I	1.7 - 5.0	18.4	3.5, 0.6	12 - 56	19.01	16.4, 2.8	0.28
		0.7	1.2		0.06	0.4	

Tabela IV.8: Ajuste do perfil deconvoluido com gaussiana.

Filtro	Bojo - Lei de de <i>Vaucouleurs</i>			Disco - Lei Exponencial			$\frac{L_B}{L_D}$
	Região (")	$I_e(m/''^2)$	$r_e(, \text{kpc})$	Região (")	$I_0(m/''^2)$	$r_0(, \text{kpc})$	
		σ	$\sigma(, '')$		σ	$\sigma(, '')$	
B	1.5 - 6.5	18.6	1.7, 0.3	27 - 50	21.18	20.5, 3.5	0.27
		0.5	0.4		0.08	0.8	
V	1.7 - 5.0	16.8	0.9, 0.2	12 - 56	20.29	19.7, 3.4	0.21
		0.8	0.3		0.04	0.5	
R	1.7 - 5.0	17.2	1.4, 0.2	12 - 56	19.77	20.3, 3.5	0.19
		1.0	0.6		0.05	0.6	
I	1.7 - 5.0	17.8	2.4, 0.4	12 - 56	19.03	17.0, 2.9	0.24
		0.8	0.9		0.06	0.4	

Tabela IV.9: Ajuste do perfil deconvoluido com estrela.

no ajuste de 2.3%, e 0.6% em I_0 comparado com um erro no ajuste de 0.3%. A variação dos parâmetros do bojo é maior: 50% em r_e comparado com um erro no ajuste de 30%, e 4% em I_e comparado com um erro de 3%. Isso é consequência do efeito direto que tem a deconvolução de expandir a região na qual é possível ajustar a lei de De Vaucouleurs a raios mais internos. As variações decorrentes de usar diferentes PSF's também são maiores na determinação do raio efetivo do bojo.

O ajuste do bojo, embora varie conforme a deconvolução feita, sempre mantém os parâmetros característicos de um bojo brilhante e compacto (I_e e r_e pequenos). Kent (1985), em uma extensa e detalhada fotometria na banda r (sistema uvgr de Thuan e Gunn 1976) de 105 galáxias de todos os tipos morfológicos, encontrou que os valores médios dos parâmetros dos bojos ajustados à lei de *de Vaucouleurs*, para 14 Sb's, são $\mu_e = 21.44 \pm 1.97$ m/"² e $r_e = 1.6 \pm 1.0$ kpc (para $H = 100$ Km/s/Mpc), que são os maiores do que os valores medidos por nós para NGC 5757; mas Kent teve dificuldade na decomposição de barradas (das 24 barradas de sua amostra, 8 ele não conseguiu decompor), e para duas SBb que ele decompôs encontrou brilhos superficiais bem abaixo da sua média (16.25 e 17.16 m/"²) e raios efetivos de 0.0 Kpc. Outro trabalho muito completo foi realizado por Simien e de Vaucouleurs (1986), em luz azul. Eles encontraram que os parâmetros do bojo para as Sb's são $19 < \mu_e < 24$ m/"² e $0.6 < r_e < 3.2$ Kpc, que é praticamente o mesmo intervalo de valores encontrado por Kent. Mas Simien e de Vaucouleurs também encontram uma "sugestão de que para um determinado estágio de Hubble as espirais barradas têm bojos menores e mais brilhantes do que as espirais ordinárias".

Quanto aos parâmetros do ajuste da exponencial, a magnitude central em B (~ 21.0 na média dos três ajustes) não difere muito do valor médio de 21.65 de Freeman. O brilho superficial e escala de distância determinados por Kent (1985) para as Sb's são $\mu_0 = 20.91 \pm 1.00$ m/"² (em r), e $r_0 = 4.2 \pm 2.4$ Kpc, o que indica que os dois parâmetros que medimos para o disco da galáxia são compatíveis com seu tipo morfológico. Comparando com a Figura 4b em Kent (1985), vemos que o valor de r_0 esperado para um disco de magnitude central $\mu_0 (R) = 19.7$ está entre 1.8 e 3.2 kpc (para $H = 100$ Km/s/Mpc).

Transformando nossas medidas para essa escala, o valor médio da escala de distância do disco fica ~ 2.5 Kpc, que está no meio do intervalo de valores de escalas de distância obtidos por Kent.

É interessante comparar os parâmetros do disco com os medidos por Grosbøl (1985). Grosbøl ajustou uma lei exponencial num intervalo do perfil entre $8''$ e $52''$, que é quase o mesmo intervalo usado por nós, e encontrou um brilho superficial central de $18.9 \text{ m}''^2$, em R, e uma escala de distância de $14.9''$. A diferença em relação à escala de distância $r_0 = 19.6''$, que nós medimos, é de 25%, o que vai de encontro ao problema já enfatizado por Knapen e van der Kruit (1991), da dificuldade de determinar valores confiáveis para a escala de distância. Mas a variação nos dois parâmetros se dá no sentido de manter a luminosidade do disco, isto é, diminui r_0 , mas I_0 também diminui.

A razão entre as luminosidades do bojo e do disco tem uma grande variação entre as Sb's medidas por Kent: $L_B/L_D = 0.5 \pm 0.5$, intervalo esse que contém o valor de ~ 0.2 que encontramos.

IV.10 Perfis de Cor

Os perfis de cor de NGC 5757 ao longo dos eixos maior e menor da barra são apresentados na Figura IV.13. Os perfis B-I, B-R e B-V foram traçados a partir dos frames do CTIO, de curta exposição, e por isso são mais ruidosos. Os perfis V-I e V-R foram obtidos a partir dos frames do LNA.

A maneira mais correta de obter os perfis de cor é traçando-os diretamente sobre a imagem em cor. No entanto, como na época em que reduzimos os frames de NGC 5757 ainda não tínhamos uma maneira confiável de fazer uma imagem em cor, fizemos os perfis de cor subtraindo os perfis em cada banda uns dos outros, após ter assegurado uma acurada superposição dos frames. Posteriormente, quando tivemos oportunidade de obter boas imagens em cor, pudemos comparar os perfis de cor obtidos diretamente da imagem em cor com os obtidos da subtração dos perfis e comprovar que os dois procedimentos neste caso foram equivalentes.

Ao longo do eixo maior, os perfis apresentam na região do núcleo uma depressão bastante profunda, de 0.5 magnitudes. Em quase todas as cores aparece no centro da depressão uma pequena saliência, dando um caráter bipartido ao perfil do núcleo, o que sugere a existência de um anel nuclear com diâmetro de $5''$ e $(B-V) = 0.5$, sendo provavelmente um anel de formação estelar. A Figura IV.14 mostra uma imagem (V-I) da região central da galáxia, onde se pode ver o anel nuclear azul. Nas laterais da depressão central os perfis têm cores $B-V = 0.8$, $B-R = 1.5$, $B-I = 2.2$, $V-R = 0.7$ e $V-I = 1.4$, decrescendo suavemente em direção às regiões externas. O anel interno não aparece de forma nítida nos perfis de cor, embora ele possa estar causando a pequena depressão em $r = 13''$ nos perfis do lado norte. As depressões mais acentuadas ocorrem em $r = 25''$ S, e indicam que a grande região brilhante ao sul do núcleo provavelmente é uma zona de formação estelar. No lado norte também existe uma depressão nessa posição, mas fica meio indefinida em relação ao ruído.

Ao longo do eixo menor, apesar do ruído muito intensificado nas cores B-I, B-R e B-V, pode-se perceber que os perfis de cor apresentam o mesmo comportamento geral dos perfis do eixo maior, mostrando a depressão azul, bipartida, no núcleo, e um gradiente muito suave, a não ser em V-I, da barra para fora.

Com a finalidade de estudar possíveis eventos de formação estelar no núcleo de NGC 5757, calculamos suas cores integradas em um diafragma de $5.5''$ de diâmetro ($\sim 1kpc$) para comparar com as cores sintéticas do modelo de Bica, Alloin e Schmidt (1990). As cores determinadas, corrigidas por extinção galáctica e interna como na Tabela IV.6, são: $(B - V)^{\circ} = 0.46 \pm 0.07$, $(V - R)^{\circ} = 0.34 \pm 0.10$, e $(V - I)^{\circ} = 0.83 \pm 0.09$. A posição do núcleo de NGC 5757 nos gráficos cor-cor pode ser vista na Figura IV.15, juntamente com os modelos de Bica, Alloin e Schmidt (1990).

Com base nessa figura, tentamos reproduzir as cores nucleares da galáxia superpondo as populações de uma região HII (idade $\sim 4 \times 10^6$ anos, $M/L_V = 0.03$), de um aglomerado Y4 (idade $\sim 4.5 \times 10^8$ anos, $M/L_V = 0.31$), e de um núcleo de galáxia de população velha E3 (idade $> 10^{10}$ anos, $M/L_V = 8.6$), supondo diferentes contribuições em massa e em fluxo de cada componente. Procedemos de duas maneiras diferentes:

1.º) fizemos a síntese com o programa de tratamento espectral SPEED, escrito por Alex Schmidt, no Instituto de Física - UFRGS, usando um espectro da região nuclear de NGC 5757 obtidos no telescópio de 1 m do CTIO, por Miriani Pastoriza e Thaísa Bergmann (Instituto de Física - UFRGS), e os espectros de aglomerados de Bica (1988 e referências lá citadas). Procuramos reproduzir sinteticamente o contínuo da galáxia somando os espectros de uma região Y4 e de uma região HII, mais o espectro de uma “template” de aglomerados que reproduzem a população de uma galáxia elíptica tipo E3, variando as contribuições em fluxo de cada componente espectral até encontrar a combinação que mais se aproximasse do espectro da galáxia. Então calculamos as cores do espectro resultante;

2.º) calculamos os fluxos contribuídos por cada componente, correspondentes a diferentes contribuições em massa, a partir da razão massa/luminosidade característica de cada região, e então determinamos a cor resultante da combinação .

Os dois procedimentos levaram ao mesmo resultado, de que a combinação que melhor reproduz as cores nucleares de NGC 5757 tem uma contribuição em fluxo de $\sim 40\%$ de uma galáxia E3, $\sim 30\%$ de uma região HII e $\sim 30\%$ de uma região Y4. As contribuições em massa equivalentes são $\sim 97.1\%$ da galáxia E3, $\sim 0.3\%$ da região HII e $\sim 2.6\%$ da região Y4. As cores sintetizadas com essa combinação são: $(B-V) = 0.47$, $(V-R) = 0.43$, e $(V-I) = 0.85$.

Como uma maneira de verificar essa interpretação das cores nucleares de NGC 5757, utilizamos as cores nucleares UBV para comparar com os modelos de Larson e Tinsley (1978). As cores UBV utilizadas foram as obtidas por fotometria fotoelétrica com diafragma de 9" (1.5 kpc) de diâmetro, que são: $B-V = 0.58$, $(U-B) = -0.35$. De acordo com Larson e Tinsley, essas cores ficam fora da região ocupada pelas cores das galáxias normais no diagrama UBV, pois U-B é muito azul, e se ajustam ao modelo de uma galáxia vermelha ($(B-V) = 0.95$) que sofre um “burst” de formação estelar com duração de $\sim 2 \times 10^7$ anos, ocorrido há $\sim 2 \times 10^7$ anos, com contribuição de $\sim 0.4\%$ em massa.

Portanto, tanto os modelos de Bica, Alloin e Schmidt (1990) para as cores BVRI, quanto os modelos de Larson e Tinsley para as cores UBV, dão praticamente o mesmo resultado.

IV.11 Perfis Azimutais

Os perfis azimutais nas bandas B e I, traçados na região da barra de NGC 5757, são mostrados nas Figuras IV.16. Os valores ao longo de cada perfil são intensidades médias relativas $[(I - I_{ceu})/I_{ceu}]$, calculadas em setores de anéis elípticos de elipticidade constante, com a mesma forma e orientação das isofotas externas. O ângulo azimutal é contado desde o eixo maior, no sentido anti-horário. Os diferentes perfis se referem a diferentes anéis, com diferentes distâncias médias desde o centro da galáxia. Os dois picos separados de 180° permanecem no mesmo ângulo entre 7 e $16''$, a partir do que passam a sofrer um pequeno desvio angular, indicando uma torção das bordas da barra na região onde têm origem os braços espirais. Usando como critério para determinar o tamanho da barra a região onde picos ocorrem nos mesmos ângulos, então a barra tem um extensão (diâmetro) de $32''$, ou 5.5 kpc. Procurando no gráfico do ângulo de posição vs. raio (Figura IV.6(b)), vemos que o ângulo de posição das isofotas com semi-eixo maior de $16''$ é -12° , e portanto a orientação da barra em relação ao eixo maior da galáxia é 43° .

Os picos de intensidade são bem mais pronunciados em B, o que pode ser devido à presença de formação estelar ao longo da barra. O pico mais intenso que aparece no ângulo de 30° em B e em 210° em I, no anel de raio médio $\sim 24''$, corresponde à região brilhante na extremidade prolongada ao sul da barra.

A técnica de decomposição bidimensional de Fourier foi usada para obter mais informações sobre a distribuição de luminosidade na galáxia, quantificando a amplitude de componentes não axialmente simétricas. A análise foi feita promediando a distribuição de luz dentro dos anéis elípticos descritos acima, modelando-a pela relação

$$I(r, \theta) = I_0 + I_{mc} \cos m\theta + I_{ms} \sin m\theta$$

onde $I(r, \theta)$ representa a intensidade da imagem no raio r e ângulo de posição θ . Os termos de Fourier foram computados usando as seguintes relações :

$$I_0(r) = \langle I(r, \theta) \rangle,$$

$$I_{mc}(r) = 2 \langle I(r, \theta) \cos m\theta \rangle,$$

$$I_{ms}(r) = 2 \langle I(r, \theta) \sen m\theta \rangle,$$

onde θ é o ângulo (no plano equatorial da galáxia) com respeito à linha de nodos, e m é um inteiro. A série de Fourier foi usualmente computada até $m = 6$. As amplitudes de Fourier foram então computadas usando a seguinte expressão:

$$I_m(r) = (I_{mc}^2 + I_{ms}^2)^{1/2}$$

Neste método, a presença de uma barra deve ser detectada como uma componente 2θ muito forte (Ohta, Hamabe e Wakamatsu 1990; Odewahn 1991).

As amplitudes médias de Fourier na região da barra são listadas nas Tabelas IV.11 e IV.11, e mostradas na Figura IV.17 para as bandas B e I. Nas duas bandas a componente 2θ é totalmente predominante no intervalo radial entre $6''$ e $32''$, bem além da extremidade da barra. Justamente em $r = 16''$, onde assumimos que termina a barra, a curva $\frac{I_2}{I_0}$ muda de inclinação. Isso parece indicar que nesse ponto começa a dominância de outra componente, também bipolar, que se estende até $r = 32''$, coincidindo em dimensão com as da zona retangular.

$\langle R \rangle$	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	theta
4.74	6.128	0.1500	0.0427	0.0075	0.0622	0.0178	0.0082	9.02
7.65	2.784	0.0542	0.2165	0.0207	0.0693	0.0092	0.0176	1.34
10.61	1.996	0.0661	0.4201	0.0278	0.1901	0.0173	0.0694	0.74
13.58	1.561	0.0706	0.4736	0.0102	0.2423	0.0163	0.1236	4.78
16.57	1.413	0.1360	0.4794	0.0307	0.1736	0.0340	0.1236	5.34
19.56	1.225	0.0492	0.5517	0.1016	0.1787	0.0789	0.1306	4.68
22.55	1.054	0.2997	0.6484	0.2172	0.2345	0.2038	0.1832	5.69
25.54	0.906	0.3167	0.6709	0.1837	0.2728	0.1806	0.1973	11.47
28.54	0.685	0.1934	0.5306	0.0619	0.1176	0.0451	0.1377	14.03
31.54	0.550	0.1100	0.3057	0.0795	0.0995	0.0515	0.0709	15.87

Tabela IV.10: Termos de Fourier para NGC 5757 B.

$\langle R \rangle$	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	theta
4.74	1.347	0.0083	0.0156	0.0087	0.0474	0.0040	0.0108	24.27
7.65	0.674	0.0063	0.2767	0.0155	0.0699	0.0043	0.0283	2.86
10.61	0.446	0.0086	0.4901	0.0372	0.1856	0.0287	0.0709	0.35
13.58	0.339	0.0347	0.5636	0.0263	0.2722	0.0278	0.1332	2.95
16.57	0.302	0.0950	0.5854	0.0488	0.2544	0.0192	0.1503	5.38
19.56	0.245	0.0779	0.6148	0.0578	0.2216	0.0302	0.1395	5.53
22.55	0.191	0.1735	0.6463	0.1534	0.2080	0.1221	0.1385	5.67
25.54	0.157	0.2517	0.6140	0.1983	0.1870	0.1302	0.1343	9.33
28.54	0.123	0.1783	0.4654	0.0993	0.0631	0.0441	0.0824	11.72
31.54	0.099	0.1639	0.3027	0.0725	0.1017	0.0619	0.0339	13.45

Tabela IV.11: Termos de Fourier para NGC 5757 I.

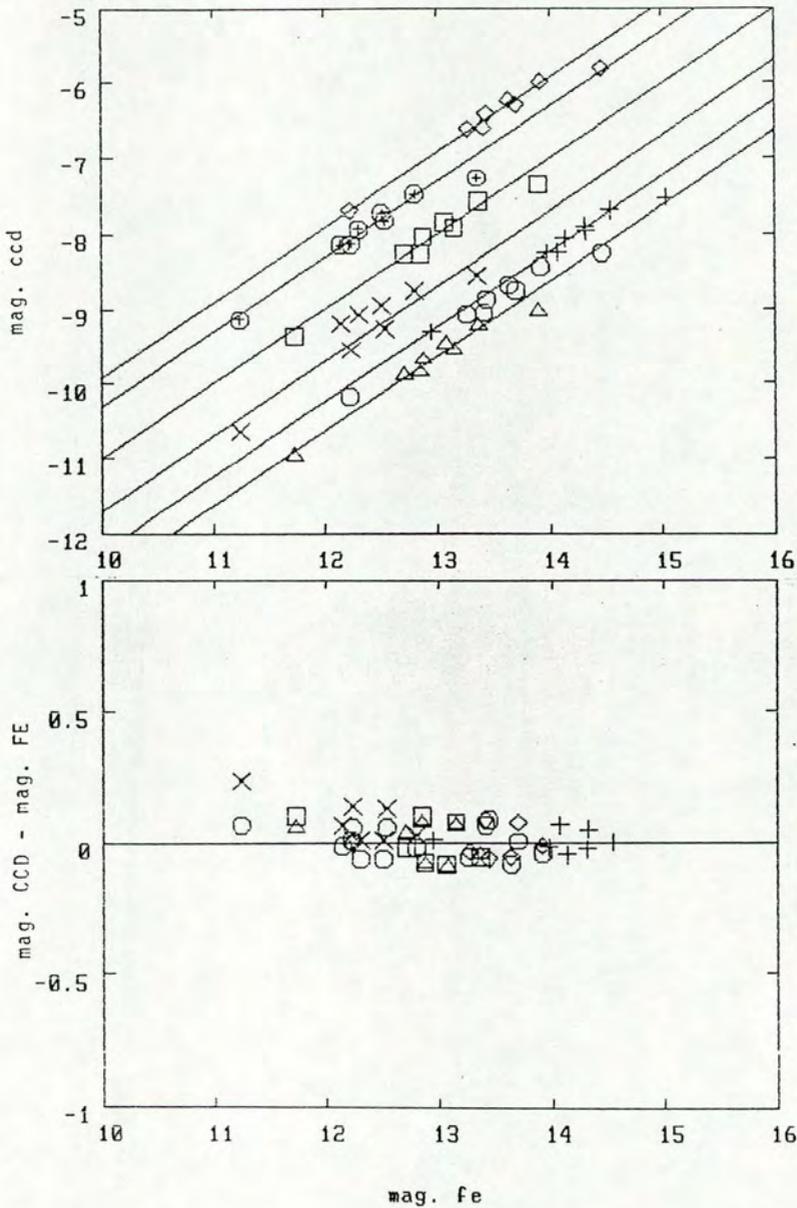


Figura IV.1: Calibração do ponto zero. a) Magnitudes CCD instrumentais plotadas em função das magnitudes fotoelétricas; b) Diferenças entre as magnitudes CCD calibradas e as magnitudes fotoelétricas plotadas em função das magnitudes fotoelétricas. Os símbolos são: cruces retas: frame B do CTIO; círculos: frame V do CTIO; triângulos: frame R do CTIO; cruces inclinadas: frame I do CTIO; losangos: frame V do LNA; quadrados: frame R do LNA; círculos com cruzinhas: frame I do LNA.

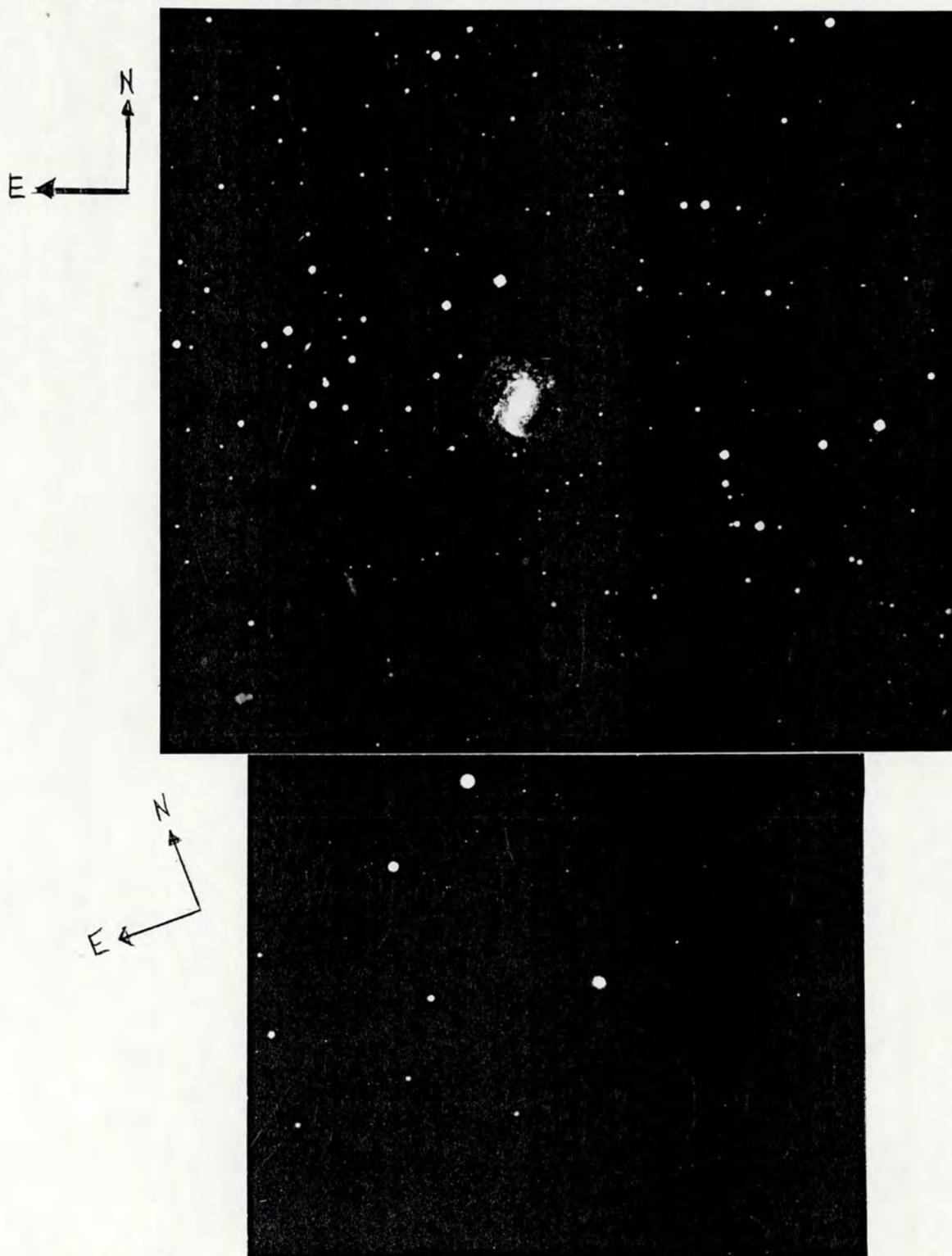


Figura IV.2: Fotografias de NGC 5757. (a) Placa R do ESO. A orientação é norte para cima e leste para a esquerda. A escala é $5.3''/\text{mm}$. (b) Placa Ila-D (visual) obtida com a câmara Cassegrain acoplada ao telescópio de 1.60 m do LNA. O tempo de exposição foi 30 min. A orientação é a mesma da foto superior. A escala é $2.76''/\text{mm}$.

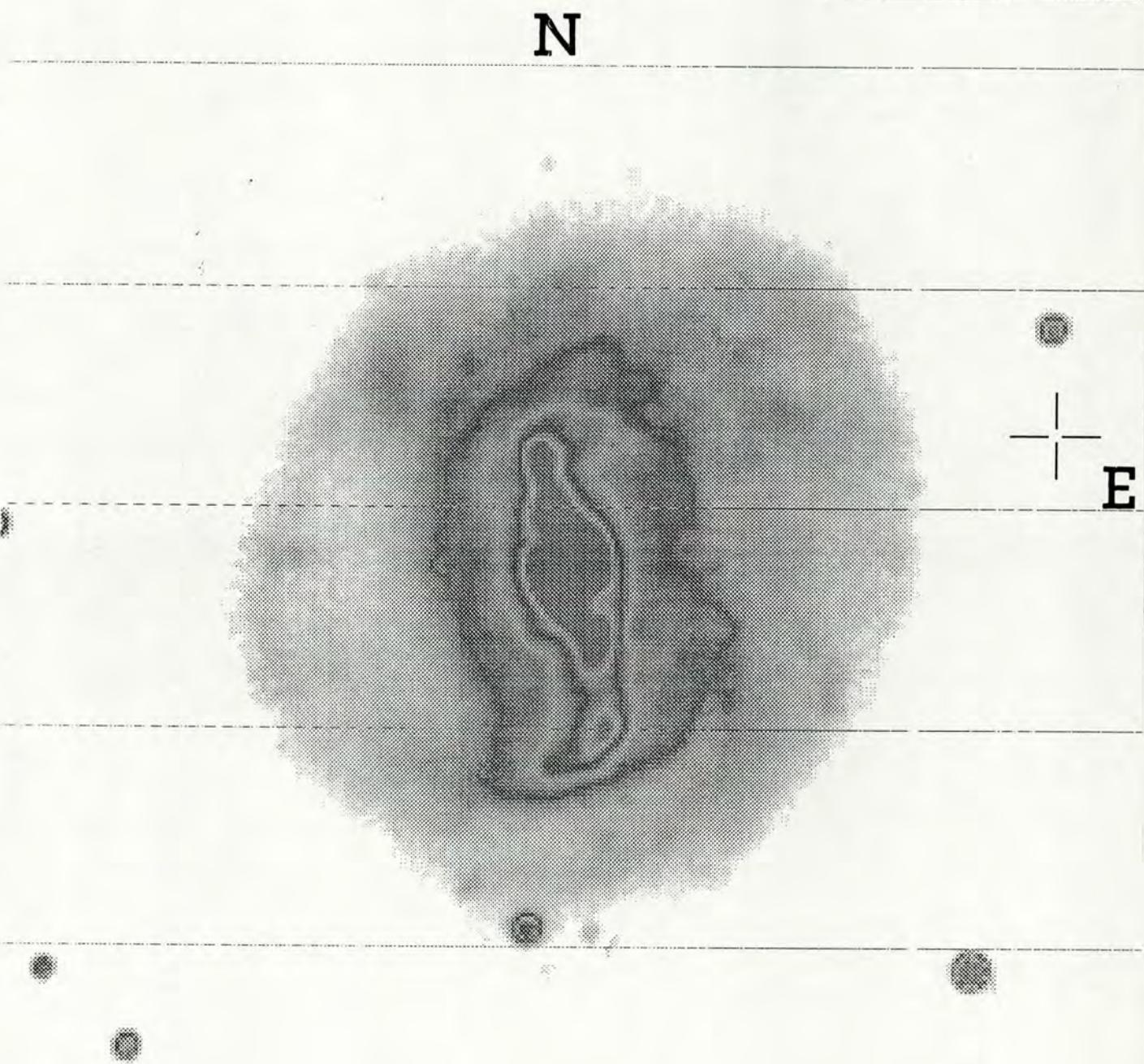


Figura IV.3: Imagem CCD de NGC 5757 com filtro V. A escala é $1 \text{ mm} = 0.67''$. A orientação é norte para cima, leste para a direita.

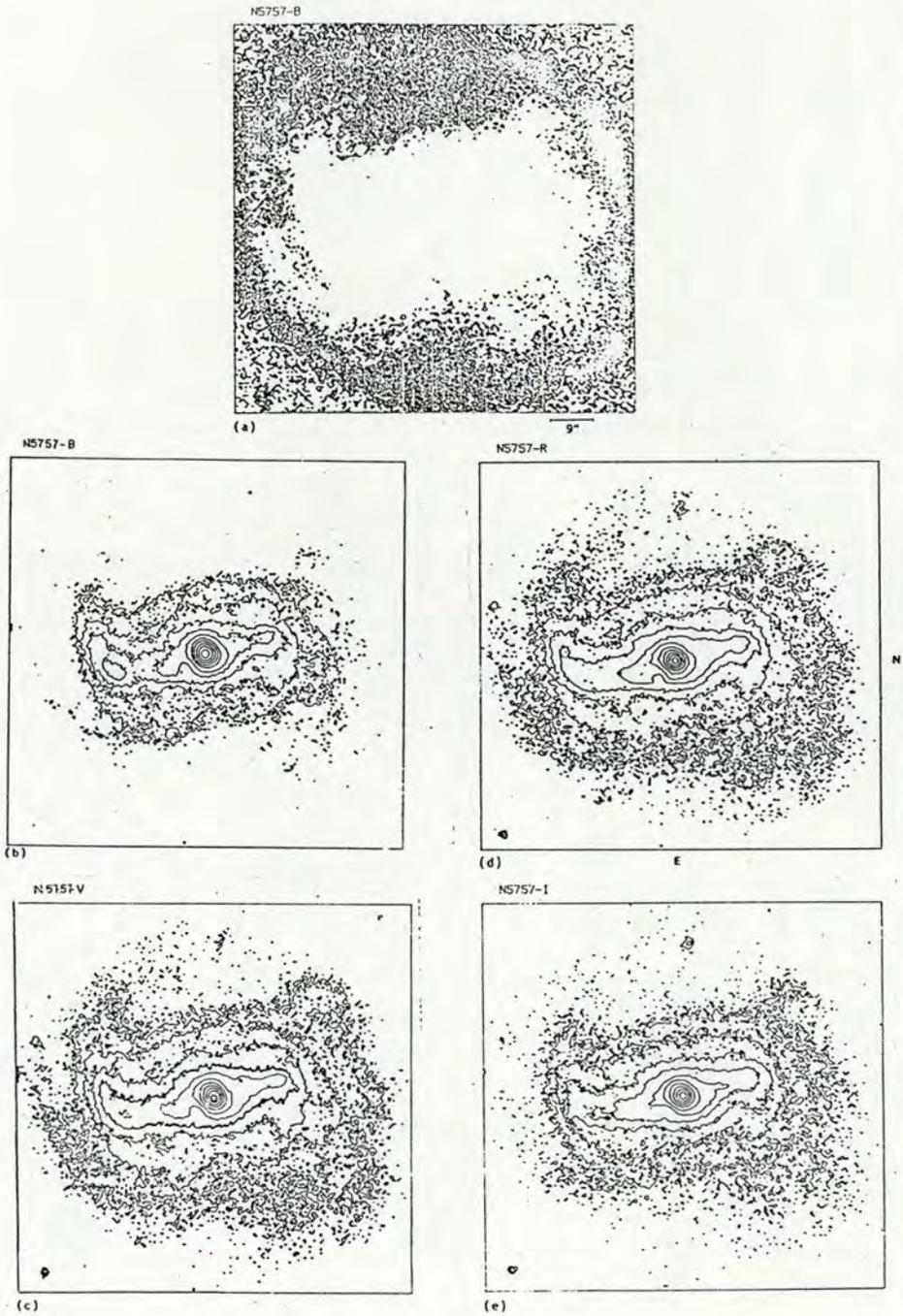


Figura IV.4: Mapas de isofotas de NGC 5757 em B, V, R e I. Os níveis isofotais mostrados são: a) μ_B de 23.5 a 25.0; b) μ_B de 18.0 a 22.5; c) μ_V de 17.3 a 22.3; d) μ_R de 16.6 a 21.6; e) μ_I de 15.6 a 20.6. O intervalo entre os níveis é 0.5 em todos os mapas. A escala dos mapas é 1.6"/mm.

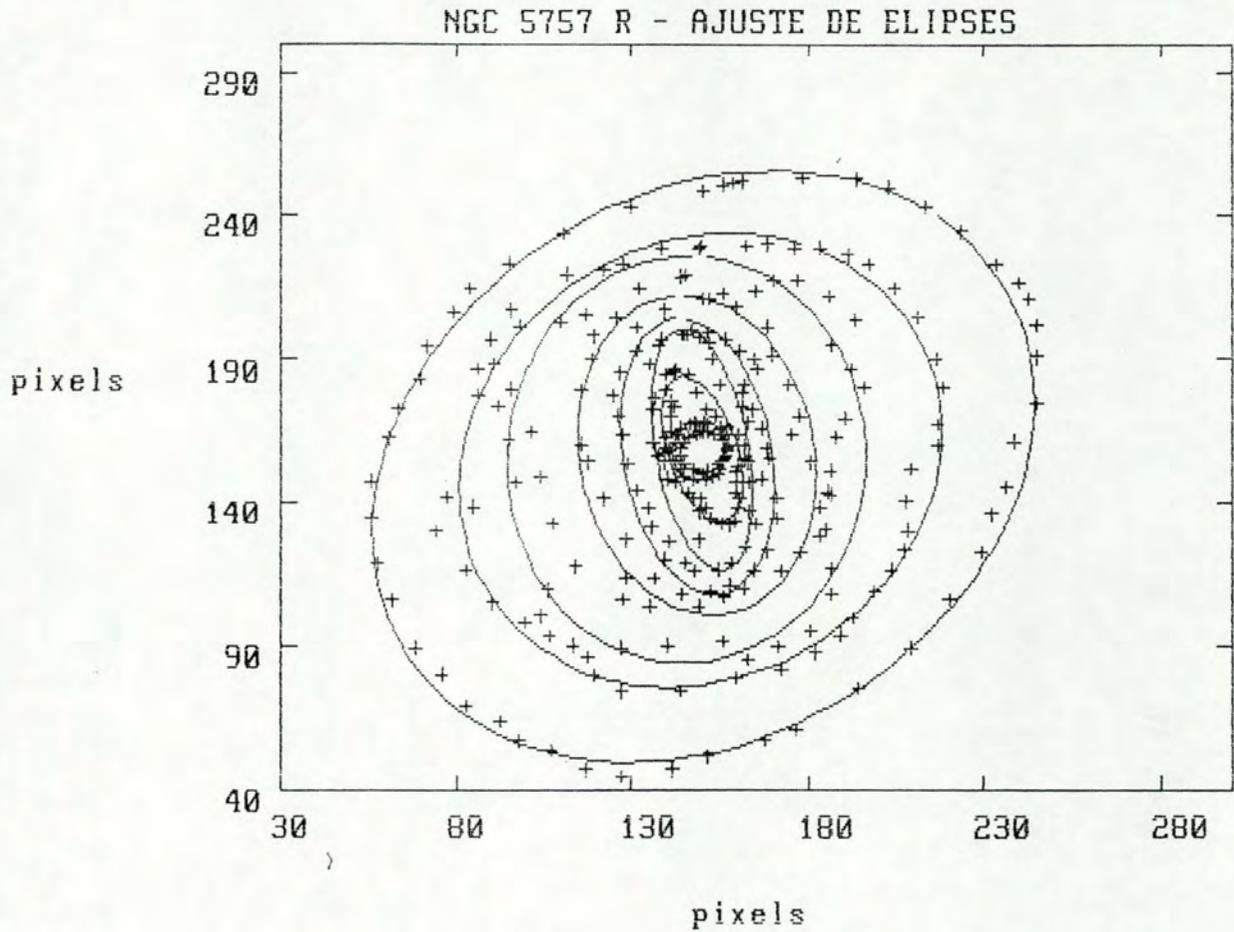


Figura IV.5: Ajuste de elipses aos contornos R. De fora para dentro, os níveis de fora para dentro variam de 23.6 a 18.6 mag, com espaçamento de 0.5 mag. A orientação é norte para cima, leste para direita.

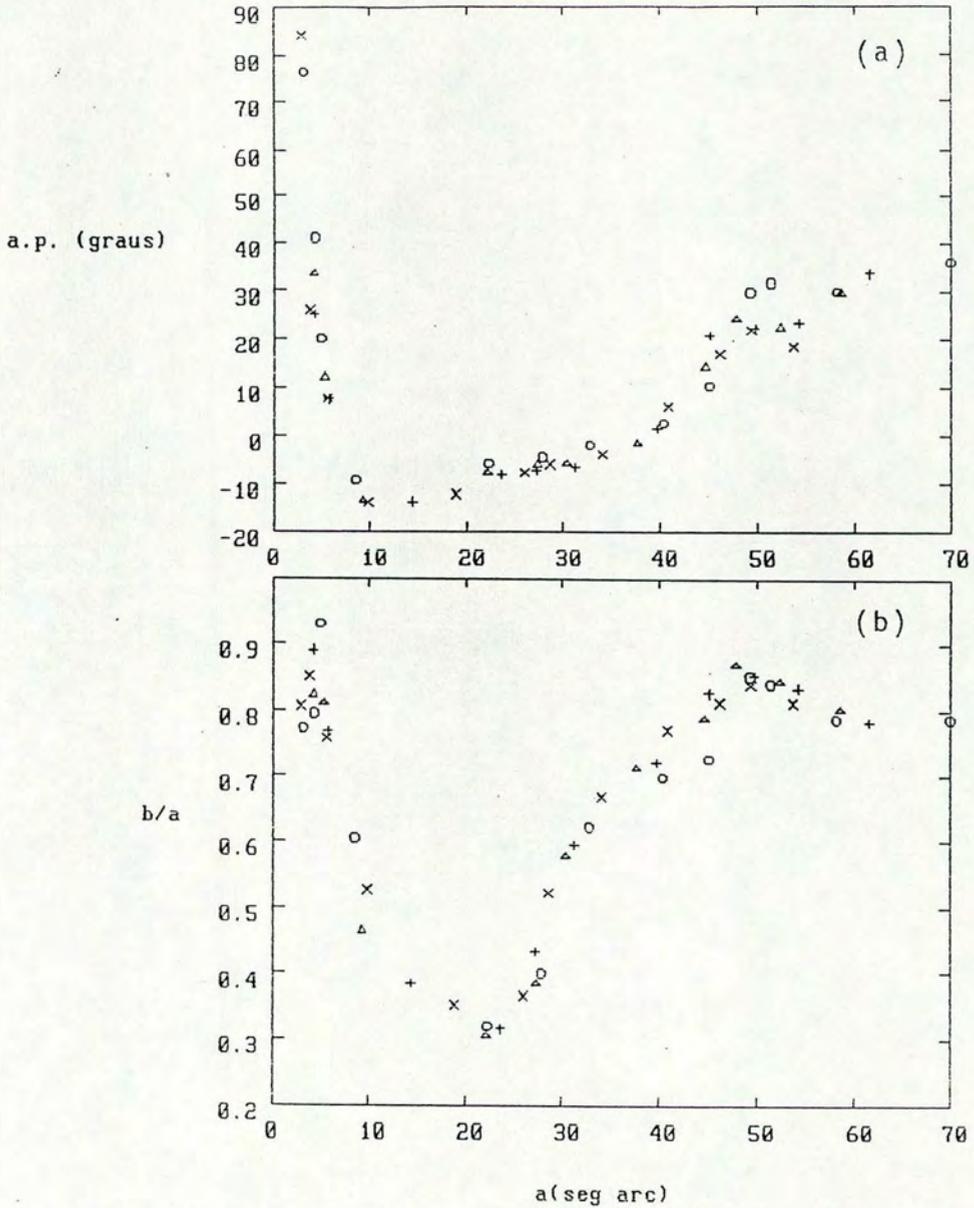


Figura IV.6: (a) Ângulos de posição, em graus, das isofotas B (cruzes retas), V (círculos), R (triângulos) e I (cruzes inclinadas) baseadas no ajuste de elipses. O parâmetro a é o semi-eixo maior da elipse, e b é o semi-eixo menor. (b) Razões axiais $\frac{b}{a}$ das mesmas isofotas.

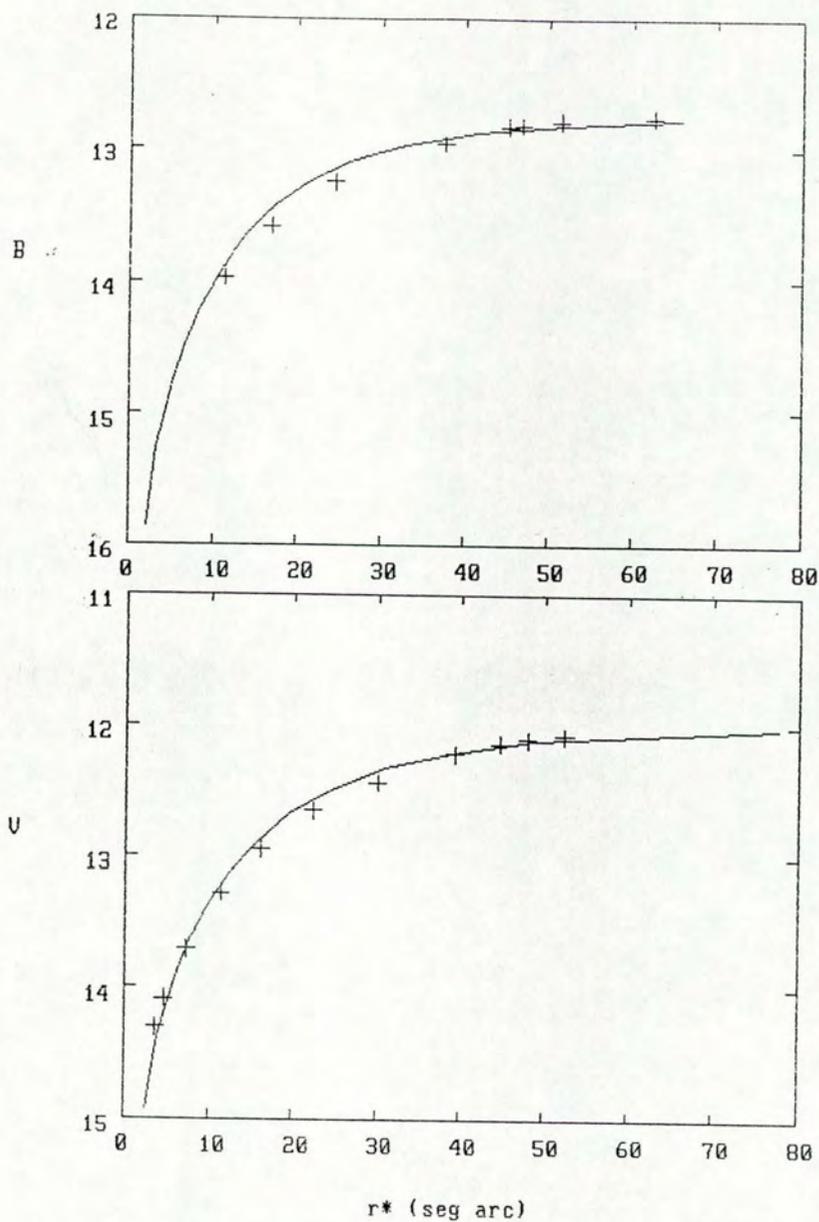


Figura IV.7: Curvas de crescimento padrão B e V ajustadas à fotometria integrada em isofotas. r^* é o raio equivalente da isofota.

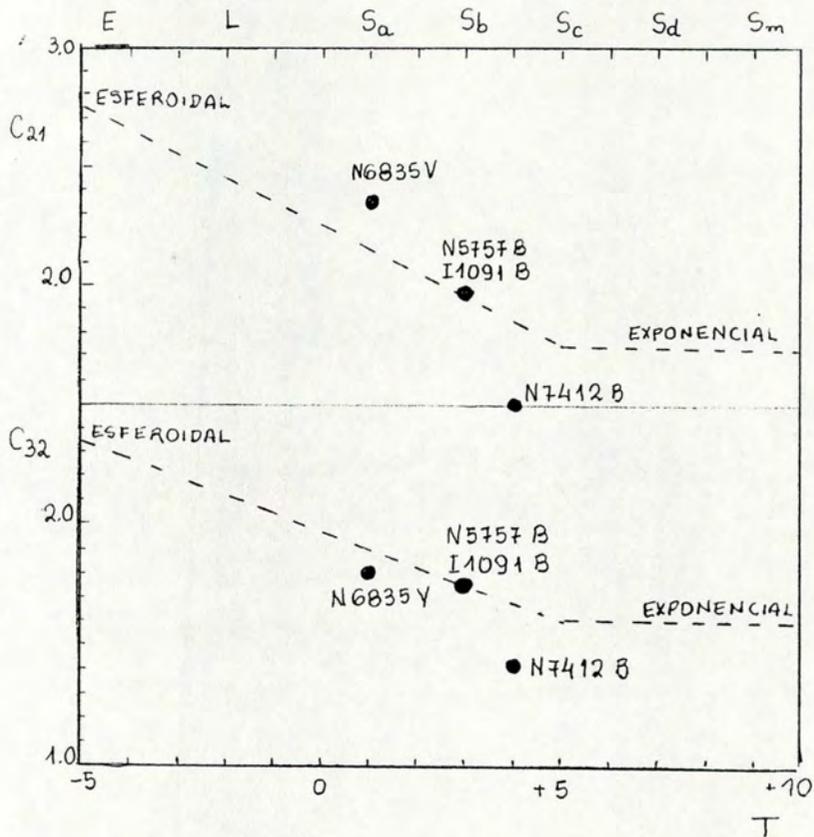


Figura IV.8: Índices de concentração (ver definição no texto), de NGC 6835, NGC 5757, IC 1091, NGC 7412. A linha tracejada representa a transição de um sistema puramente esferoidal para um sistema puramente discoidal.

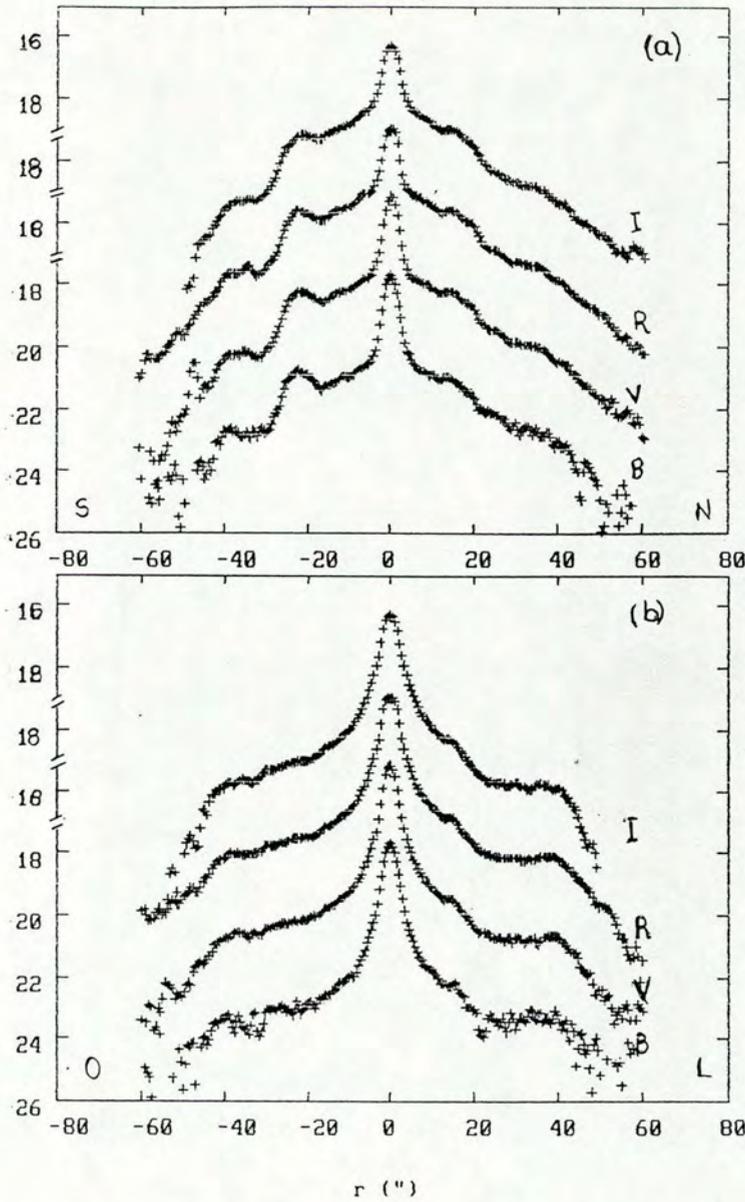


Figura IV.9: Perfis de luminosidade B, V, R e I ao longo do eixo maior (a), e menor (b) da barra. A escala vertical é $m/2$, e está completa para B; para V, R e I são indicadas as magnitudes nas proximidades do pico central. Os erros nos perfis são dominados pela incerteza na constante de calibração, na parte central, e pela incerteza no céu nas partes externas, e valem tipicamente 0.06 mag no centro, e 0.5 mag nos níveis $\mu_B = 24$, $\mu_V = 23.5$, $\mu_R = 23.5$ e $\mu_I = 22$.

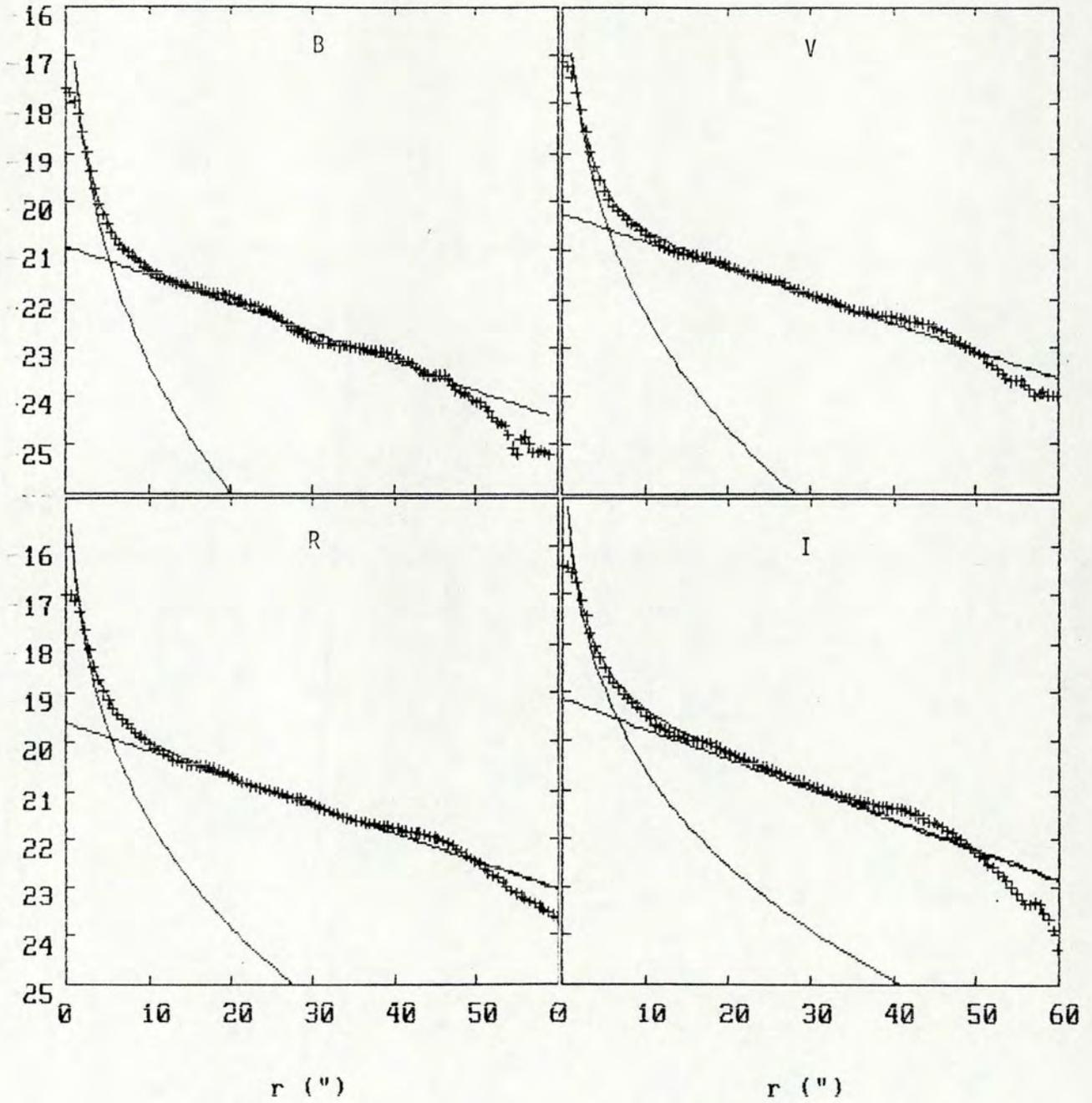


Figura IV.10: Perfis promediados elipticamente, decompostos com uma lei de de Vaucouleurs, ajustada na região interna, e com uma lei exponencial na região aproximadamente entre 11" e 50". As funções ajustadas, assim como a soma delas, estão representadas pelas linhas contínuas. Os parâmetros do ajuste são mostrados na Tabela IV.7.

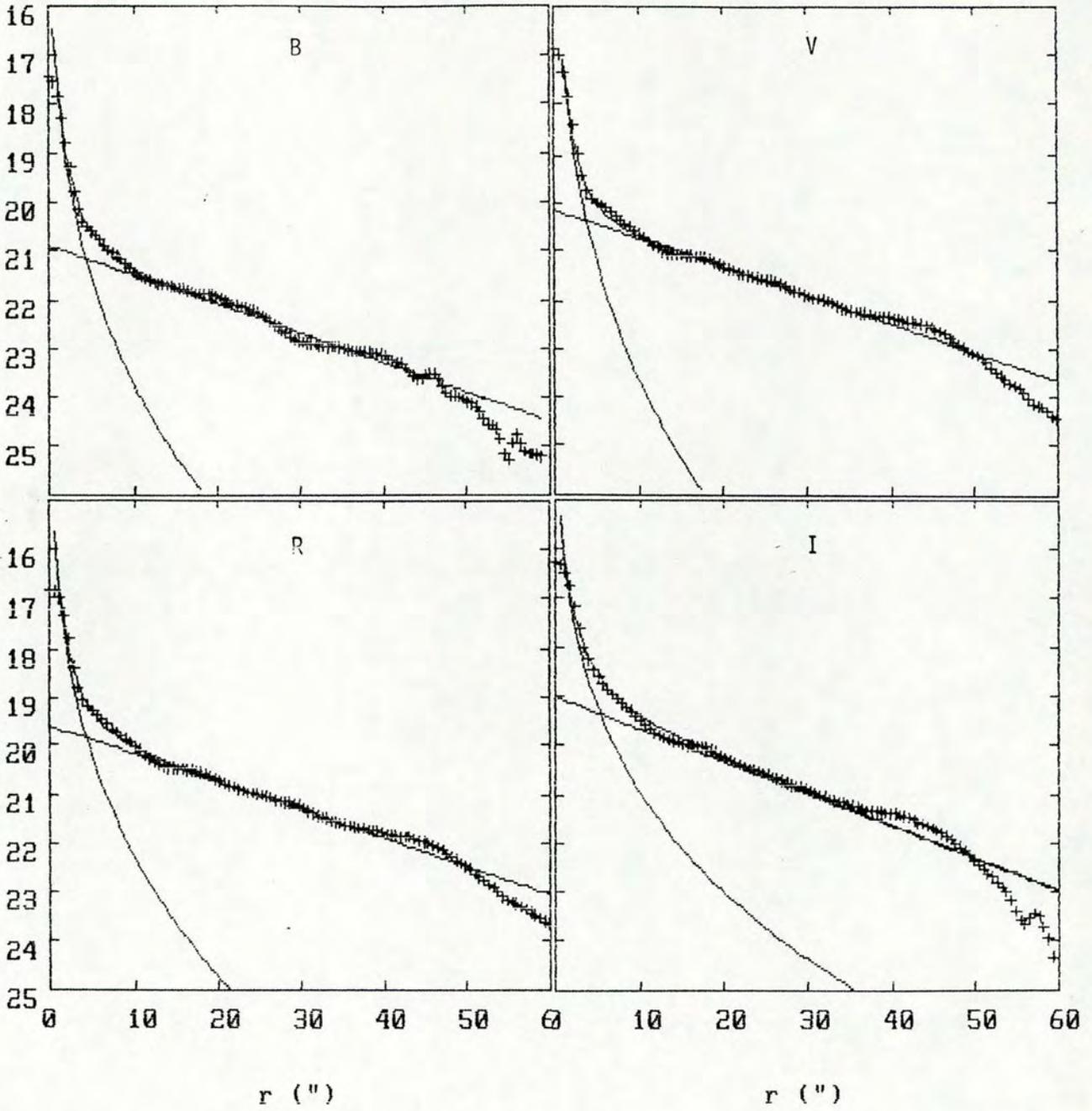


Figura IV.11: Perfis promediados elipticamente e deconvoluídos com gaussiana tendo $\sigma(B)=1.8''$, $\sigma(V)=1.1''$, $\sigma(R)=0.9''$ e $\sigma(I)=0.8$. Os perfis foram decompostos com uma lei de de Vaucouleurs e com uma lei exponencial. Os parâmetros do ajuste são mostrados na Tabela IV.8.

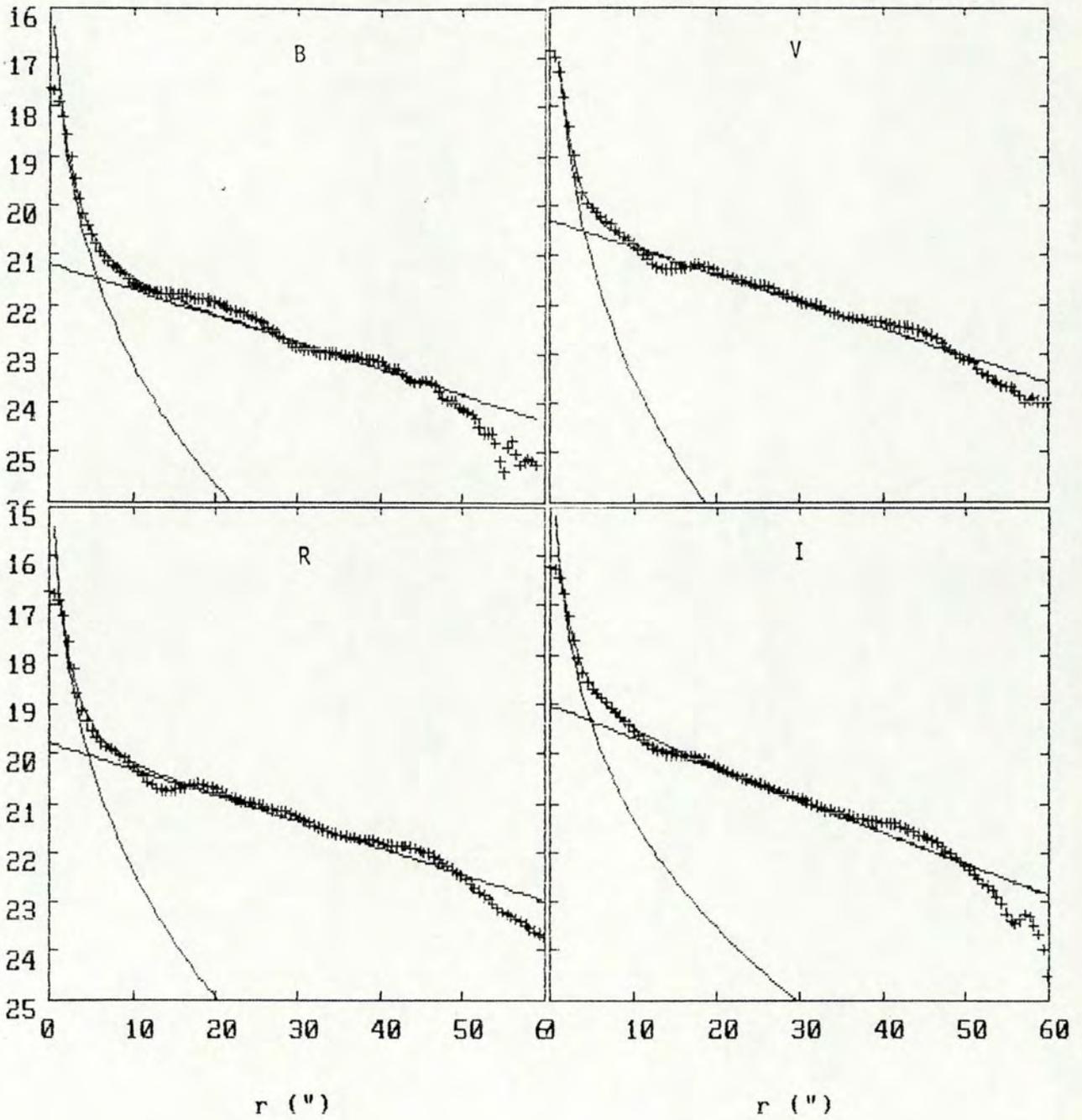


Figura IV.12: Perfis promediados elipticamente e deconvoluídos com uma estrela cujo perfil é média de estrelas do frame. A decomposição foi feita com uma lei de de Vaucouleurs e com uma lei exponencial. Os parâmetros do ajuste são mostrados na Tabela IV.9.

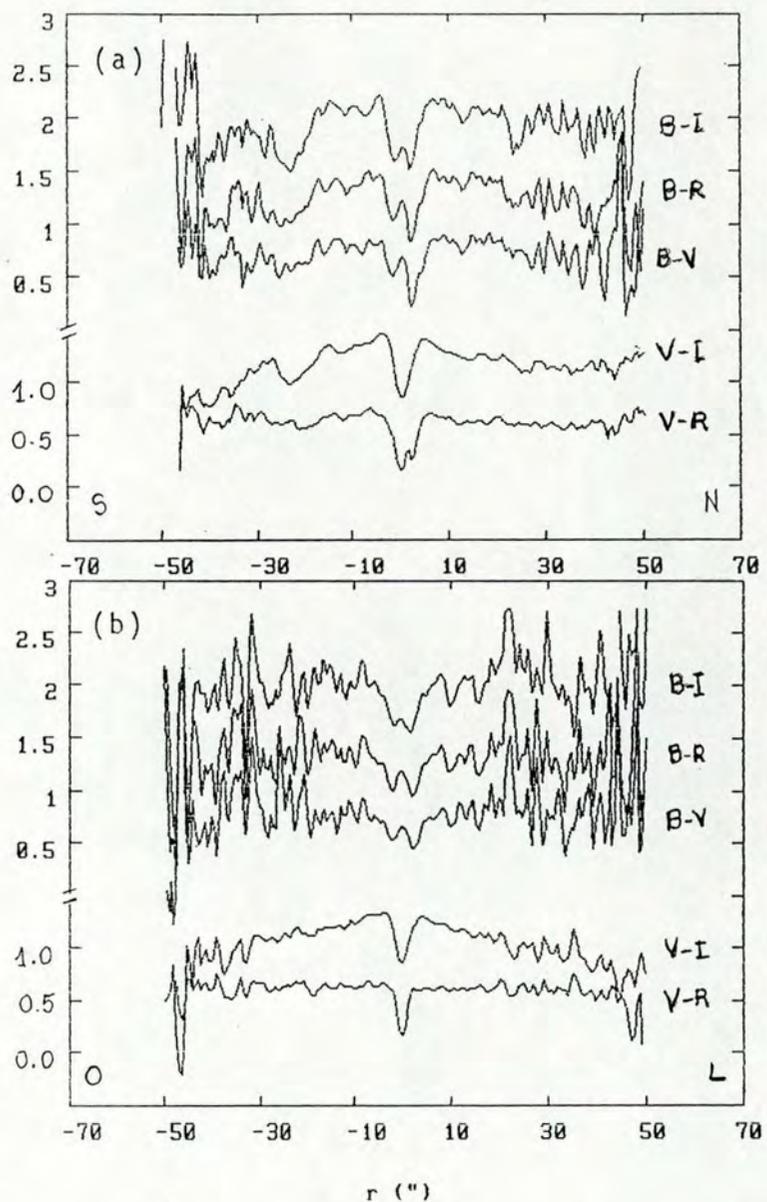


Figura IV.13: Perfis de cor ao longo do eixo maior da barra (a) e ao longo do eixo menor da barra (b). Os três perfis superiores (B-I, B-R e B- V) foram obtidos usando os frames de curta exposição . Os perfis inferiores foram obtidos a partir dos frames de longa exposição .

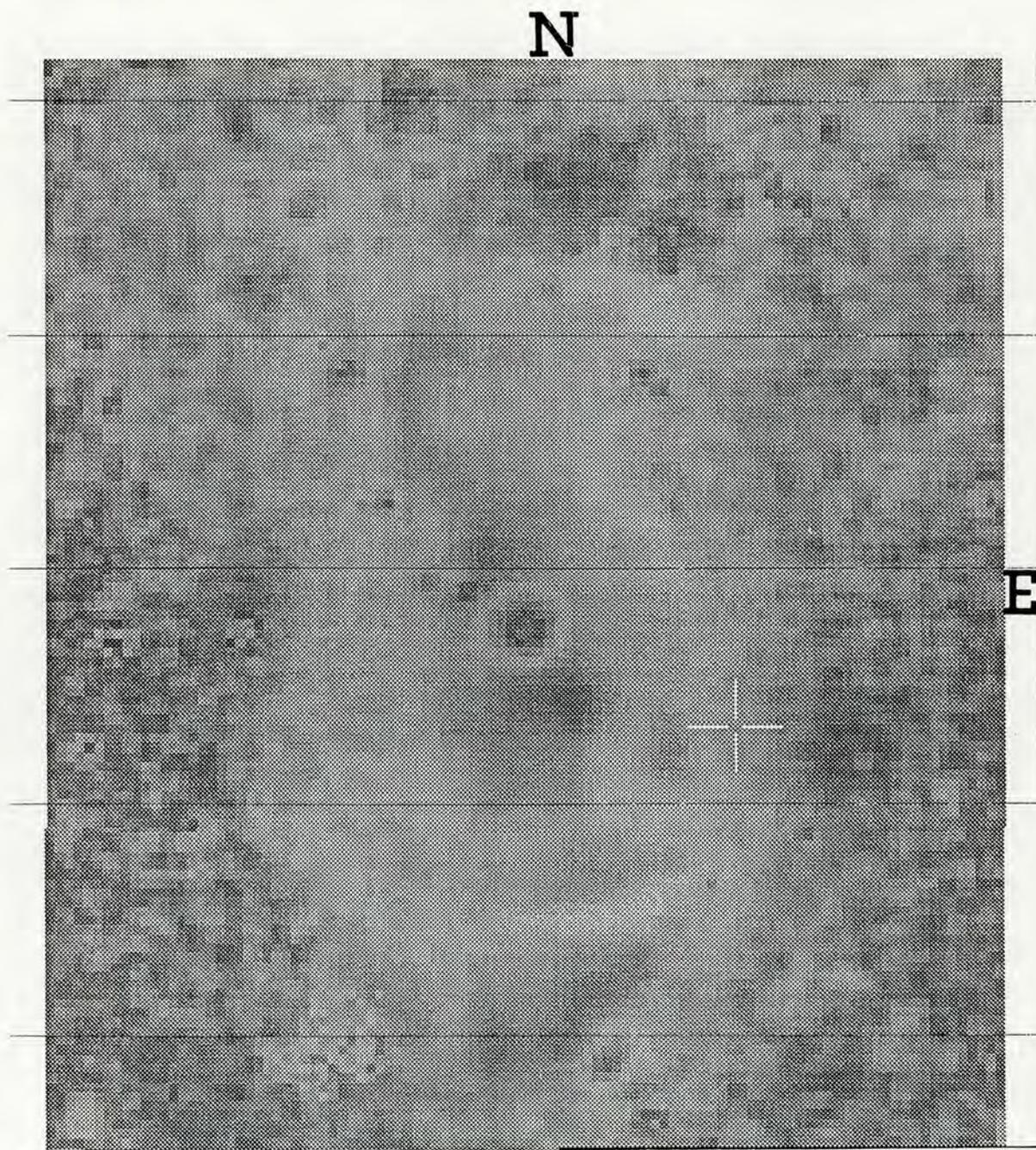


Figura IV.14: Imagem em cor V-I da região central de NGC 5757 (56"x67"). Cores mais escuras indicam regiões mais vermelhas, e cores mais claras regiões mais azuis. A escala é 0.38 "/mm. A orientação é norte para cima, leste para a direita

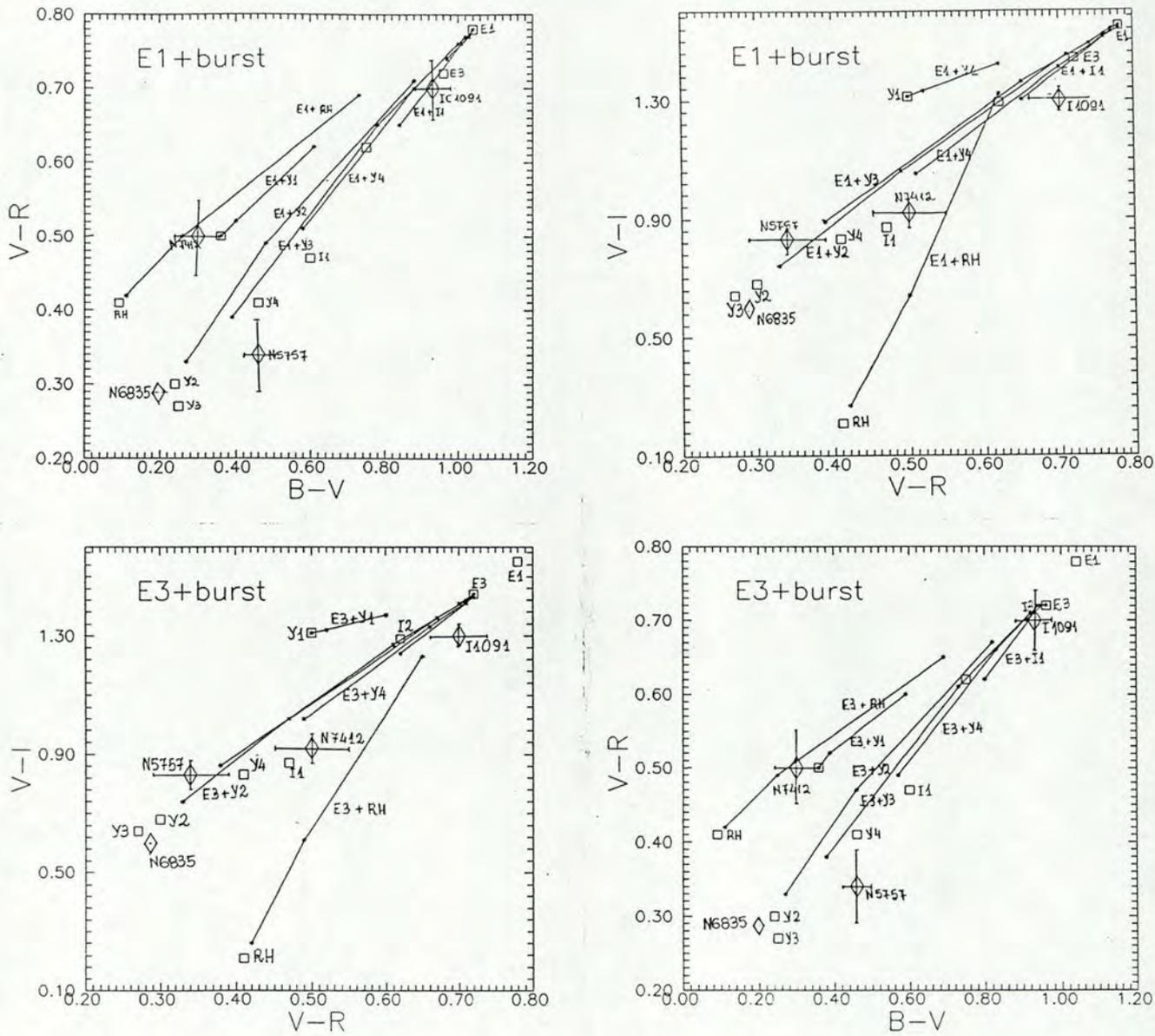


Figura IV.15: Modelos de surtos de formação estelar com diferentes idades superpostos a um substrato de população velha. Cada linha contínua representa a evolução das cores para a superposição de um aglomerado de idade específica sobre a população velha à medida que aumenta a contribuição de massa do aglomerado. Em cada linha, o asterisco superior representa uma contribuição de 0.1% em massa, o asterisco do meio representa uma contribuição de 1% em massa e o asterisco inferior representa uma contribuição de 10% em massa. As cores dos aglomerados puros são representadas pelos quadrados. As cores dos núcleos são representadas pelos losangos. As idades das populações são: RH: 0 a 7×10^6 anos; Y1: 7×10^6 a 2×10^7 anos; Y2: 2×10^7 a 7×10^7 anos; Y3: 7×10^7 a 2×10^8 anos; Y4: 2×10^8 a 7×10^8 anos; I1: 7×10^8 a 2×10^9 anos; I2: 2×10^9 a 7×10^9 anos; E1 e E3: $> 10^{10}$ anos.

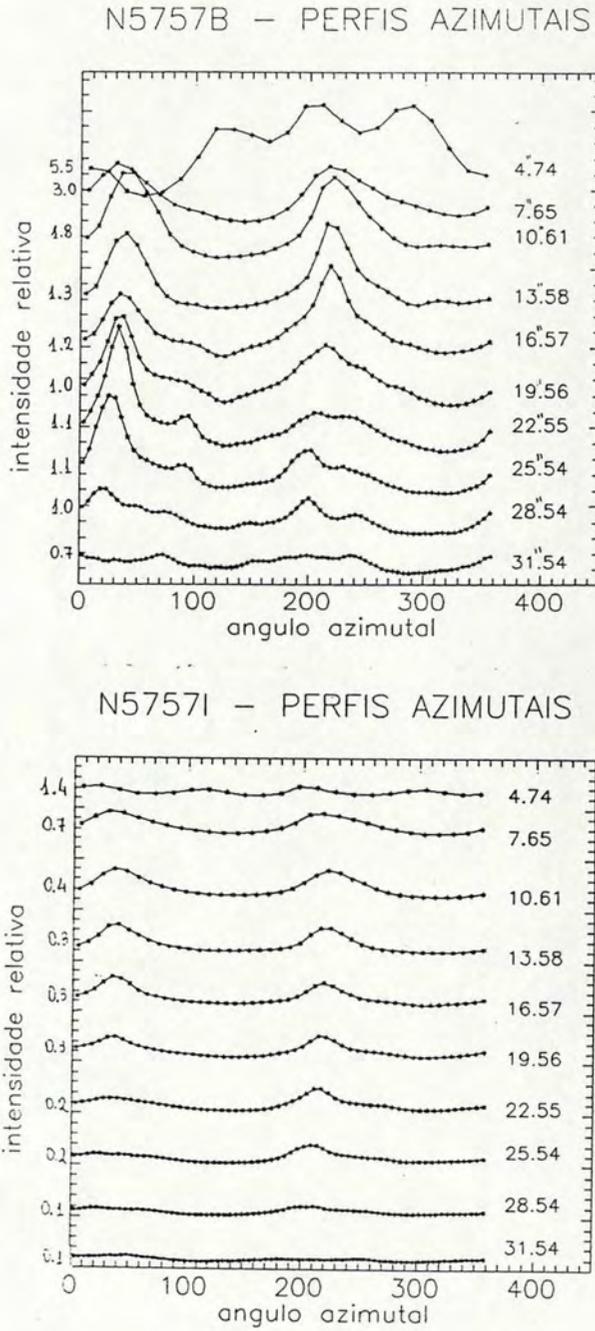


Figura IV.16: Perfis azimutais B e I na região da barra. As intensidades relativas são $\frac{I-I_{ceu}}{I_{ceu}}$. Nas ordenadas, os números indicam os valores de intensidade relativa para ângulo azimutal \sim zero. Os intervalos entre os traçinhos correspondem a 0.4 nos perfis B e a 0.2 nos perfis I.

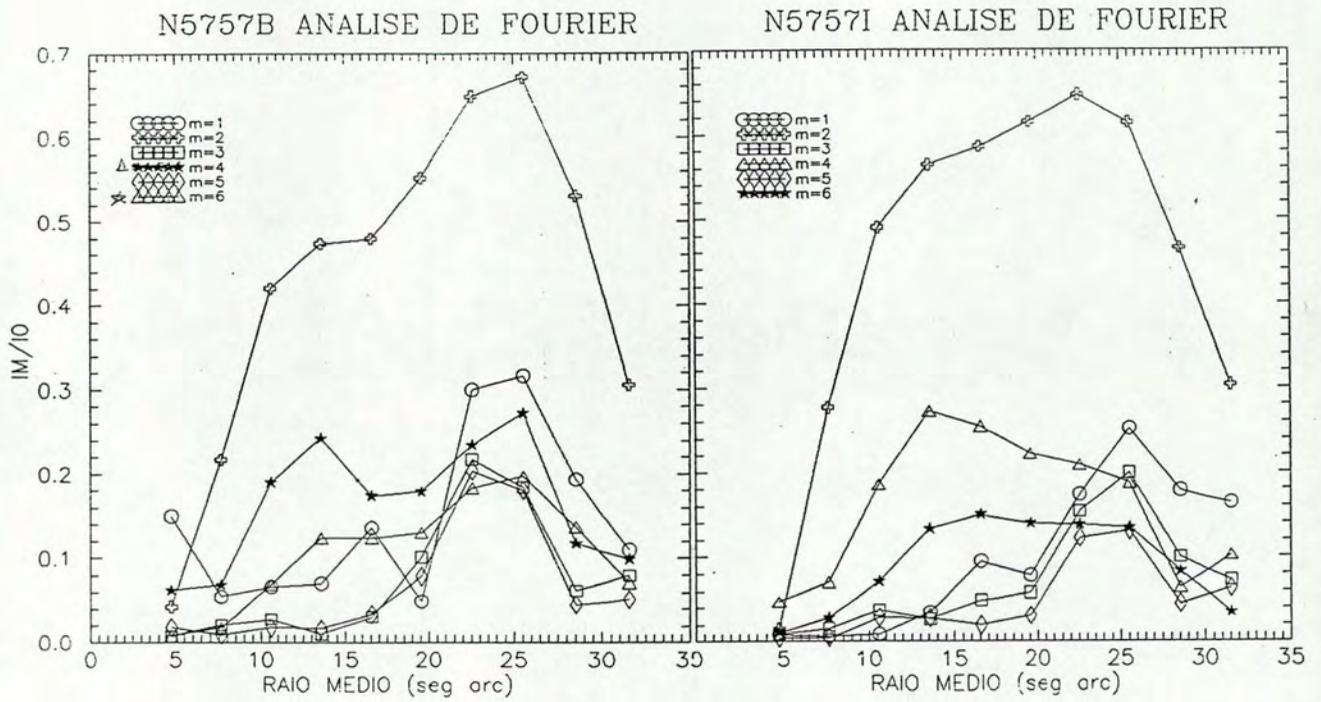


Figura IV.17: Amplitudes relativas das componentes de Fourier (I_m/I_0 ; $m = 1, \dots, 6$), em função do raio médio do anel dentro do qual a análise foi feita.

Capítulo V

FOTOMETRIA SUPERFICIAL DE IC 1091

V.1 Introdução

IC 1091 é uma galáxia classificada no RC2 como barrada, de tipo morfológico b ($T=3$) na sequência de Hubble. Sua orientação no céu tem uma pequena inclinação em relação à linha de visada, e é uma galáxia aparentemente pequena, de morfologia simples e muito regular. Devido à sua fraca magnitude, não tem muitos parâmetros catalogados; alguns deles, tirados do RC2, são listados na Tabela V.1.

Esta galáxia não tem velocidade radial publicada, mas usando o valor de $V = 4978$ km/s obtido por Márcio Maia (Observatório Nacional, RJ; comunicação privada), e adotando $H = 75$ Km s⁻¹ Mpc⁻¹, sua distância é $d = 66.37$ Mpc, resultando portanto em uma escala de imagem de $1'' = 321.8$ pc.

V.2 Observações

O material observacional para a análise fotométrica de IC1091 consiste de frames CCD obtidos no telescópio de 91 cm do CTIO e no telescópio de 160 cm do LNA, usando filtros B, V, R e I. Os chips usados foram os TI 800x800 no CTIO e GEC 580x382 no LNA, e os detalhes das observações são dados na Tabela V.2.

Ascensão Reta (1950)	15h 5.52min
Declinação (1950)	-10°57.1'
ℓ, b	348.44, 39.35
Tipo morfológico de Hubble no RC2	SB(s)b?
Diâmetro isofotal D_{25} no RC2	81"
Razão axial R_{25}^{-1} no RC2	1.44
Extinção Galática A_B no RC2	0.37

Tabela V.1: *Parâmetros catalogados de IC 1091.*

Filtro	Tempo de exposição	Telescópio
B	300	91 cm - CTIO
V	200	91 cm - CTIO
R	100	91 cm - CTIO
I	100	91 cm - CTIO
V	3600	160 cm - LNA
R	900	160 cm - LNA
I	900	160 cm - LNA

Tabela V.2: *Observações CCD para IC 1091.*

A (")	V	B-V	V-R	R-I
9	15.53	1.07	0.63	0.75
11.6	15.32	1.04	0.62	0.66
15.5	14.89	0.96	0.62	0.67
19.3	14.61	0.94	0.60	0.57
24.5	14.44	0.90	0.64	0.66
77.3	13.6	0.90	0.51	0.72

Tabela V.3: Fotometria fotoelétrica de I1091, obtida por Schröder e Kepler (1991). A é o diâmetro da abertura.

Dos frames B, V, R e I de curta exposição, foram obtidos os perfis de cor B-V, B-R e B-I da região central.

V.3 Calibração Fotométrica

A calibração fotométrica de IC 1091 foi feita de maneira similar à usada para NGC 5757, usando estrelas padrões e fotometria fotoelétrica em múltiplos diafragmas para calibrar os frames do CTIO, e usando somente a fotometria para calibrar os frames do LNA. A fotometria fotoelétrica está listada na Tabela V.3. O valor do céu em cada frame foi determinado previamente, também de maneira similar à usada para NGC 5757, medindo o valor médio do número de contagens por pixel obtido em regiões da imagem não contaminadas por estrelas e galáxia. Os números de contagens do céu por pixel, obtidos em cada filtro, para os frames do CTIO, foram: $N_c(B) = 230 \pm 13$, $N_c(V) = 256 \pm 15$, $N_c(R) = 221 \pm 14$ e $N_c(I) = 221 \pm 14$; e para os frames do LNA foram: $N_c(V) = 796 \pm 14$, $N_c(R) = 575 \pm 14$ e $N_c(I) = 1140 \pm 26$.

As equações de transformação finais usadas foram:

Para os frames do CTIO:

$$B = b + 22.26 \pm 0.05$$

$$V = v + 22.39 \pm 0.08$$

$$R = r + 22.62 \pm 0.04$$

$$I = i + 21.73 \pm 0.05$$

Para os frames do LNA:

$$V = v + 20.63 \pm 0.05$$

$$R = r + 21.21 \pm 0.06$$

$$I = i + 20.38 \pm 0.06$$

onde b , v , r e i são as magnitudes instrumentais, e os erros representam a dispersão na média devido às diferentes medidas fotoelétricas. Os valores calibrados do brilho do céu correspondentes a cada filtro ficaram: $B = 21.02 \pm 0.06$, $V = 20.56 \pm 0.06$, $R = 20.23 \pm 0.06$ e $I = 19.34 \pm 0.06$ para o céu do CTIO, e $V = 21.00 \pm 0.02$, $R = 20.43 \pm 0.02$ e $I = 18.86 \pm 0.02$ para os frames do LNA.

O resultado da calibração está ilustrado na Figura V.1, que mostra as magnitudes ccd instrumentais (Figura 1-a) e as diferenças entre as magnitudes fotoelétricas e as magnitudes ccd calibradas (Figura 1-b), plotadas contra as magnitudes fotoelétricas.

V.4 Morfologia

A estrutura da galáxia é ilustrada na imagem CCD da Figura V.2 e nos mapas de isofotas da Figura V.3. O núcleo se encontra submerso numa estrutura alongada e levemente pontuda, que se destaca bastante em relação às demais componentes da galáxia, e que parece ser uma barra ou uma lente. Próximo às extremidades dessa estrutura, originam-se dois braços pequenos, estreitos e pouco brilhantes. Uma observação cuidadosa das imagens CCD mostra que os braços demarcam a região de dominância de todo um sistema espiral mais diluído, formando um patamar de luminosidade entre a parte interna, mais brilhante, e a parte externa, de brilho superficial muito baixo, e que constitui o disco da galáxia. As isofotas no disco são bem regulares e têm orientação diferente em relação às partes mais internas.

V.5 Parâmetros Geométricos

O ângulo de posição e a inclinação da galáxia foram determinados ajustando-se elipses aos contornos isofotais B, V, R e I. A Figura V.4 mostra as curvas de razão axial e ângulo de posição, contado de norte para leste, em função do semi-eixo maior, baseadas no ajuste de elipses. A razão axial é aproximadamente 0.9 para as isofotas mais centrais, diminuindo até um valor mínimo em torno de 0.52, que ocorre para as isofotas com $a = 15''$, e torna a aumentar até um valor de 0.77 para as isofotas mais externas. O ângulo de posição tem um valor em torno de -50° para as isofotas internas, varia até um valor de -18° para as isofotas com $a = 12''$ e depois varia novamente no sentido de reassumir o valor inicial, se estabilizando com $a.p. = -54^\circ$ para as isofotas com $a > 28''$. O diâmetro da galáxia, medido nas isofotas com semi-eixo maior $a = 30''$, é 19.3 kpc.

Assumindo que as isofotas mais achatadas correspondem à extremidade da barra, então o semi-diâmetro da barra tem $15'' = 3.2$ kpc, mas isso é apenas um limite superior para o tamanho da barra no caso desta galáxia, pois os braços espirais pequenos e meio abertos na extremidade da barra fazem com que as elipses ajustadas nessa região fiquem mais alongadas, mas a barra realmente termina um pouco antes.

A inclinação da galáxia foi determinada a partir da razão axial $q(= b/a) = 0.77$, medida nas isofotas mais externas. Assumindo uma razão axial intrínseca $q_0 = 0.185$, adequada ao tipo morfológico $T = 3$ (Botinelli *et al.* 1983), obtém-se uma inclinação $i = 41^\circ$.

V.6 Parâmetros Fotométricos Integrados

As magnitudes B, V, R e I, integradas em diferentes níveis isofotais, estão listadas na Tabela V.4. Os níveis isofotais estão identificados por seus raios equivalentes, e pela magnitude superficial ao longo da isofota.

A magnitudes integradas totais em B e V foram calculadas ajustando as curvas de crescimento padrão para o estágio $T = 3$, dadas no RC3, à fotometria CCD integrada dentro das próprias isofotas. Foi seguido o mesmo procedimento usado para as galáxias

r^*	μ_B	μ_V	μ_R	μ_I	B	V	R	I
3.3	21.2	20.4	19.6	18.9	16.88	15.87	15.23	14.51
5.0	21.6	20.6	20.2	19.5	16.39	15.40	14.81	14.06
6.4	21.9	20.9	20.5	19.8	16.10	15.13	14.50	13.81
7.4	22.0	21.2	20.6	15.9	19.97	19.97	14.36	13.67
9.6	22.3	21.4	20.9	20.3	15.38	14.65	14.05	13.39
11.7	22.4	21.6	21.1	20.6	15.27	14.40	13.84	13.20
14.6	22.7	21.9	21.4	21.0	15.05	14.16	13.61	12.98
16.8	22.9	22.2	21.6	21.2	14.89	14.06	13.48	12.92
48.9	23.2	22.4	21.9	21.5	14.75	13.96	13.37	12.82
20.6	23.4	22.6	22.2	21.7	14.64	13.81	13.31	12.75
23.7	24.0	23.2	22.8	22.7	14.54	13.78	13.19	12.67
26.1	-	23.6	23.8	24.0	-	13.67	13.11	12.59
27.8	-	24.2	23.9	-	-	13.66	13.10	-
29.6	-	24.6	24.5	-	-	13.64	13.09	-

Tabela V.4: Distribuição de Luminosidade Integrada em IC 1091.

	A_B	E(B-V)	E(V-R)	E(V-I)	E(R-I)
Absorção galáctica	0.37	0.09	0.07	0.14	0.07
Absorção interna	0.09	0.02	0.02	0.03	0.01
Absorção total	0.46	0.11	0.09	0.17	0.08

Tabela V.5: Correções da magnitude e cores de IC 1091, calculados como na seção II.8.

anteriores. As curvas de crescimento são mostradas na Figura V.5. As curvas fitadas têm $B_T = 13.92 \pm 0.07$, $r_{eff}(B) = 21.5 \pm 0.7$, e $V_T = 13.19 \pm 0.08$, $r_{eff}(V) = 20.5 \pm 0.7$. A cor resultante é $(B - V)_T = 0.72 \pm 0.1$.

Os índices de concentração $C_{21}(B) = 1.99$, $C_{32}(B) = 1.76$, $C_{21}(V) = 2.25$ e $C_{32}(V) = 1.58$, correspondem a uma distribuição intermediária entre um esferóide puro, para o qual $C_{21} = 2.74$ e $C_{32} = 2.55$ (de Vaucouleurs e Aguero 1973), e uma exponencial pura, que tem $C_{21} = 1.75$ e $C_{32} = 1.61$, sendo bem compatíveis com uma Sb.

As correções por extinção galáctica e efeitos de inclinação estão listadas na Tabela V.5. A magnitude total corrigida da galáxia é $B_T^0 = 13.46$, e a cor total corrigida é $(B - V)_o^T = 0.61$, bem compatível com o tipo morfológico Sb, de acordo com as cores para a sequência galáctica em *de Vaucouleurs (1977)*.

A Tabela V.6 lista os principais parâmetros integrados da galáxia.

V.7 Perfis de Luminosidade

Os perfis ao longo do eixo maior e menor da barra, nas quatro cores, são apresentados na Figura V.6. Os erros nos perfis são dominados pelo erro na constante de calibração, na parte interna, e pelo ruído do céu, na parte externa. Os erros, considerando esses dois efeitos em cada perfil, variam de 0.05 mag em $\mu_B = 19.5$ até 0.38 mag em $\mu_B = 23$; de 0.05 mag em $\mu_V = 18.5$ até 0.28 mag em $\mu_V = 24$; de 0.06 mag em $\mu_R = 18$ até 0.5 mag em $\mu_R = 24$; e de 0.06 mag em $\mu_I = 17$ até 0.9 em $\mu_I = 23$.

Os picos centrais dos perfis são moderados, com brilho superficial máximo em B de 19.7 mag. O brilho superficial, ao longo do eixo maior da barra, decresce quase exponencialmente

Distância (Mpc)	66.37
Magnitude aparente total B_T	13.92
Magnitude aparente total corrigida B_T°	13.46
Magnitude total absoluta corrigida $M_T^\circ(B)$	-20.64
Cor total observada (B-V)	0.72
Cor total corrigida $(B - V)^\circ$	0.61
Raio efetivo equivalente $r_e^*(B)$	21.5
Raio efetivo equivalente $r_e^*(V)$	20.5
Brilho superficial médio efetivo $\mu_e(B)$	22.6
Brilho superficial médio efetivo $\mu_e(V)$	21.7
Índices de concentração	
$C_{21}(B)$	1.99
$C_{32}(B)$	1.76
$C_{21}(V)$	2.25
$C_{32}(V)$	1.58
Luminosidade total $L_T(L_\odot)$	2.6×10^{10}

Tabela V.6: Parâmetros globais de IC 1091.

até $10''$, aumentando de inclinação de B para I. Usando a classificação de Elmegreen e Elmegreen (1985), a barra parece se ajustar ao tipo “exponencial”, embora sua declividade seja menor do que nas partes externas do perfil de brilho. Em $r = 10''$, o perfil forma um pequeno patamar, antecedendo as saliências localizadas em $r = \pm 13.5''$, nas posições em que o perfil corta os braços espirais. A saliência é mais acentuada no lado SE porque nesse lado o braço é cortado numa parte mais brilhante.

Ao longo do eixo menor da barra, o perfil não é muito diferente do perfil ao longo do eixo maior, embora caia mais rapidamente na parte central. Na região entre $5''$ e $10''$, o perfil assume uma forma meio arredondada no lado NE e mais exponencial no lado SW, correspondendo à região da galáxia onde está presente a estrutura espiral (corresponde à região entre $10''$ e $15''$ no eixo maior). A próxima componente do perfil é um patamar que se estende entre $10''$ e $20''$, com margens bem definidas, o que sugere a presença de uma lente. As lentes são definidas por Kormendy (1979) como estruturas elípticas que ocorrem entre o esferóide e o disco, e que, como as barras, têm um gradiente de brilho suave até uma borda externa bem definida, a partir da qual o brilho cai rapidamente. Normalmente as lentes contém uma barra que as preenche totalmente, mas isso não é bem claro no caso desta galáxia.

As partes mais externas do perfil, tanto no eixo maior quanto no eixo menor, não têm forma bem exponencial, e se apresentam levemente curvadas para baixo. Se ajustarmos de uma forma qualitativa uma exponencial a essas regiões, a exponencial fica mais brilhante do que o perfil observado na parte interna. O encurvamento para baixo nos perfis poderia ser causado por um erro na subtração do céu, mas o fato de ele estar presente nas quatro cores indica que provavelmente é real. Parece que o disco da galáxia tem um corte brusco como os discos de algumas galáxias compactas estudadas por Kormendy (1977a,b,c).

V.8 Perfis de Luminosidade Médios - Decomposição

Os perfis de luminosidade médios foram obtidos de maneira similar à empregada para NGC 5757, e deconvoluídos usando como psf o perfil médio de duas estrelas do frame.

Para fazer a decomposição, ajustamos o bojo até $5''$, evitando a região entre $5''$ e $10''$, que corresponde à barra. Embora o perfil do disco não seja exponencial em toda sua extensão, parece se-lo na região entre $10''$ e $20''$, de forma que ajustamos uma exponencial nessa região como forma de descontar a luz do disco e melhor avaliar os parâmetros do bojo. Os perfis e a decomposição aplicada são mostrados na Figura V.7. Os parâmetros dos ajustes feitos são mostrados na Tabela V.7.

Os perfis V, R e I são bem ajustados pela soma de uma lei $r^{\frac{1}{4}}$ com uma exponencial até $r = 20''$, quando passam a declinar muito rapidamente. A saliência centrada em $r = 24''$, que aparece muito fortemente em I, se deve a uma estrela do campo localizada em $r = 20.8''$ a leste do núcleo, e que foi deslocada de posição no processo de alongamento dos perfis. Os pontos dos perfis contaminados pela luz da estrela não foram considerados no processo de ajuste.

O perfil B, embora possa ser ajustado por uma lei $r^{1/4}$, não fica bem ajustado pela soma das leis $r^{1/4}$ e exponencial que resultam após a decomposição iterativa, pois na região da barra o perfil observado fica abaixo da soma das duas funções. A distribuição observada parece ser melhor descrita pela soma de duas exponenciais, com parâmetros $I_0(\text{bojo}) = 19.05 \pm 0.12 \text{ m}''^2$, $r_0(\text{bojo}) = 1.12'' \pm 0.03 \text{ m}''^2$, $I_0(\text{disco}) = 21.50 \pm 0.05 \text{ m}''^2$, $r_0(\text{disco}) = 15.05'' \pm 0.58 \text{ m}''^2$ (ver Figura V.7 (e)). Isso provavelmente se deve a um efeito da assimetria das isofotas centrais do frame B, claramente perceptível no perfil B ao longo do eixo maior da barra (ver Figura V.6 (a)).

O valor da intensidade central do disco não altera muito com os dois ajustes diferentes do bojo, permanendo próximo ao valor de 21.65 típico de discos; mas a extensão do disco fica muito maior se o bojo cai exponencialmente.

No ajuste do perfil com as leis $r^{\frac{1}{4}} + \text{exponencial}$, o valor da intensidade efetiva do bojo, em B, fica bem dentro do intervalo de valores comumente encontrados em Sb's, de acordo com Simien e de Vaucoleurs (1986), mas ao comparar o valor desse parâmetro em R com os valores medidos por Kent (1985), ele fica marginalmente pequeno. Já os valores do raio efetivo do bojo, ficam no limite inferior dos intervalos encontrados tanto por Kent quanto

Filtro	Bojo - Lei de <i>de Vaucouleurs</i>			Disco - Lei exponencial			$\frac{L_B}{L_D}$
	Região (")	$I_e(m/''^2)$	$r_e(, kpc)$	Região(,)	$I_0(m/''^2)$	$r_0(, kpc)$	
		σ	$\sigma (,)$		σ	$\sigma (,)$	
B	2.5 - 5.0	21.3	2.3, 0.7	10.5 - 21.3	21.63	16.2, 5.2	0.10
		0.5	0.5		0.05	0.7	
V	1.7 - 5.0	20.1	1.9, 0.6	10.5 - 21.3	20.72	14.4, 4.6	0.11
		0.2	0.2		0.05	0.5	
R	1.7 - 5.0	18.8	1.4, 0.4	13.0 - 21.3	20.13	13.7, 4.4	0.12
		0.5	0.3		0.07	0.7	
I	1.7 - 5.0	18.8	2.1, 0.7	13.0 - 21.3	19.5	13.4, 4.3	0.17
		0.2	0.2		0.08	0.7	

Tabela V.7: Parâmetros do Ajuste.

por Simien e de Vaucouleurs. Os parâmetros do disco, comparados com os de Kent, são perfeitamente normais, embora, como podemos observar na Figura V.7, o disco real da galáxia não tenha toda essa extensão, sofrendo um corte brusco em $r \sim 22'' = 7 \text{ kpc}$, que é aproximadamente $1.5 r_0$. Esse corte, no caso dos perfis B, poderia ser causado pela baixa exposição, mas ele aparece também nos perfis V, R e I, cujas imagens estão bem expostas.

V.9 Distribuição de Cor

A Figura V.8 mostra uma imagem em cor, onde se pode ver que a galáxia não tem nenhum gradiente de cor apreciável até uma distância galactocêntrica de $\simeq 25''$ ao longo do eixo maior. Os perfis de cor ao longo dos eixos maior e menor da barra são mostrados na Figura V.9. Os perfis B-V, B-R e B-I, obtidos das imagens de curta exposição, são muito ruidosos, de maneira a camuflar aspectos que de outra forma poderiam ser perceptíveis. A depressão em $r = 3''$ NW, que é maior do que o ruído geral do perfil, se deve à forma levemente arredondada do perfil B nessa posição (ver Figura V.6 (a)). Nos perfis V-I, V-R e R-I, que foram obtidos dos frames de longa exposição, podemos ver que o gradiente

de cor em geral é muito achatado. O gradiente maior acontece em R-I, e atinge 0.3 mag desde o centro até $r = 20''$. Para distâncias radiais maiores, o ruído devido ao céu domina o perfil.

É interessante notar que o núcleo aparece como uma saliência nos perfis V-I e R-I, indicando que o núcleo é vermelho, mas como uma depressão no perfil V-R, sendo mais fraco em R do que em V. Esse efeito não é observado quando se faz o perfil (V-R) usando os frames de curta exposição.

As cores integradas do núcleo dentro de um diafragma de ~ 1 kpc de diâmetro ($3.1''$), corrigidas por absorção galáctica e extinção interna, são: $(B - V)^o = 0.96$, $(V - R)^o = 0.71$, e $(V - I)^o = 1.35$. Comparando com os modelos de Bica, Alloin e Schmidt (1990), essas cores correspondem a uma população velha pura, sem eventos de formação estelar mais recentes do que 10^9 anos.

V.10 Perfis Azimutais

Os perfis azimutais foram traçados nos frames B e I, dentro de uma região abrangendo um raio de $16''$. Os perfis são mostrados na Figura V.10. O ângulo azimutal é contado desde o eixo maior da galáxia (não da barra), no sentido anti-horário. Os perfis apresentam dois picos bem acentuados a partir de uma distância radial de $3''$, os quais permanecem até o último anel traçado, embora a partir de $11''$ os picos comecem a apresentar desvios angulares, correspondendo à região onde os braços espirais distorcem as isofotas. Usando o critério de que na barra os picos acontecem em ângulos azimutais constantes, a extensão da barra é $11''$ (em semi-diâmetro).

A análise de Fourier, ilustrada na Figura V.11, mostra que a componente $m = 2$ é fortemente dominante sobre as outras, e tem razão de intensidade I_2/I_0 com um máximo no raio entre $10''$ e $14''$, indicando que nessa região tem uma componente bipolar muito intensa. Pela inspeção das imagens da galáxia e também dos mapas de isofotas parece que a barra não é forte; então o que parece é que o conjunto da barra, a lente e a estrutura espiral nessa região estão intensificando a componente bipolar.

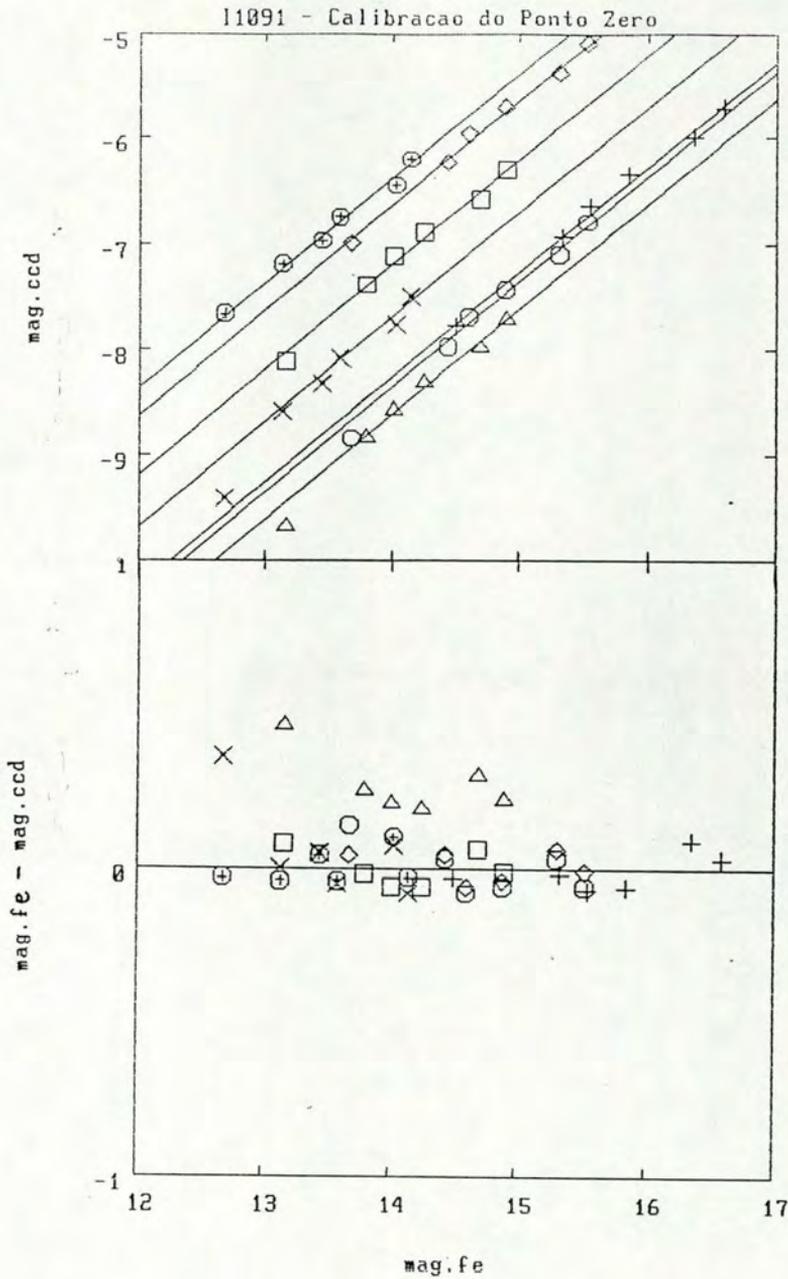


Figura V.1: Calibração do ponto zero. a) Magnitudes ccd instrumentais plotadas em função das magnitudes fotoelétricas; b) Diferenças entre as magnitudes fotoelétricas e as magnitudes ccd calibradas plotadas em função das magnitudes fotoelétricas. Os símbolos são: cruces retas: frame B do CTIO; círculos: frame V do CTIO; triângulos: frame R do CTIO; cruces inclinadas: frame I do CTIO; losangos: frame V do LNA; quadrados: frame R do LNA; círculos com cruzinhas: frame I do LNA.

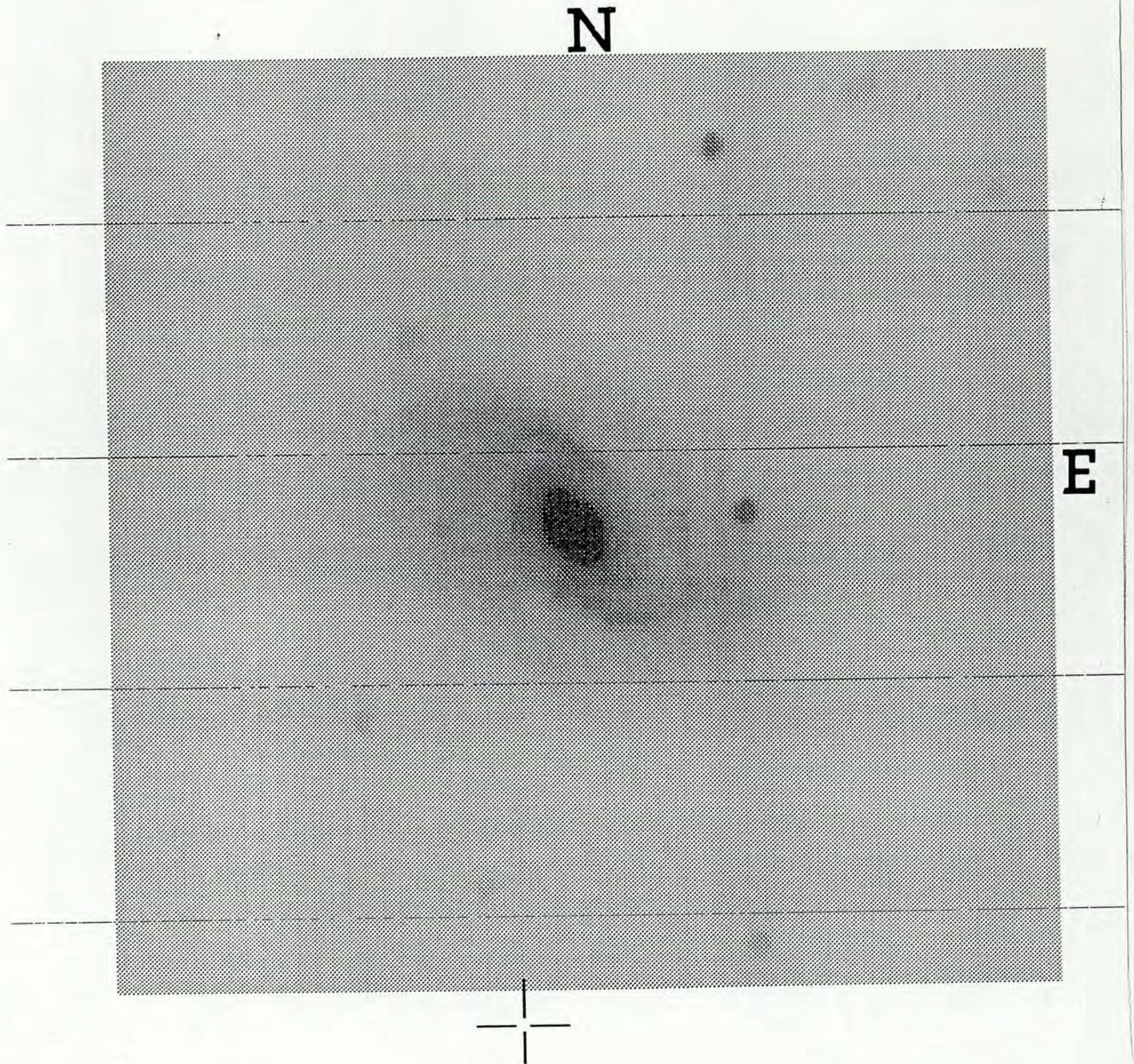


Figura V.2: Imagem CCD com filtro V. A escala é $1\text{mm} = 0.75''$. A orientação é norte para cima, leste para a direita.

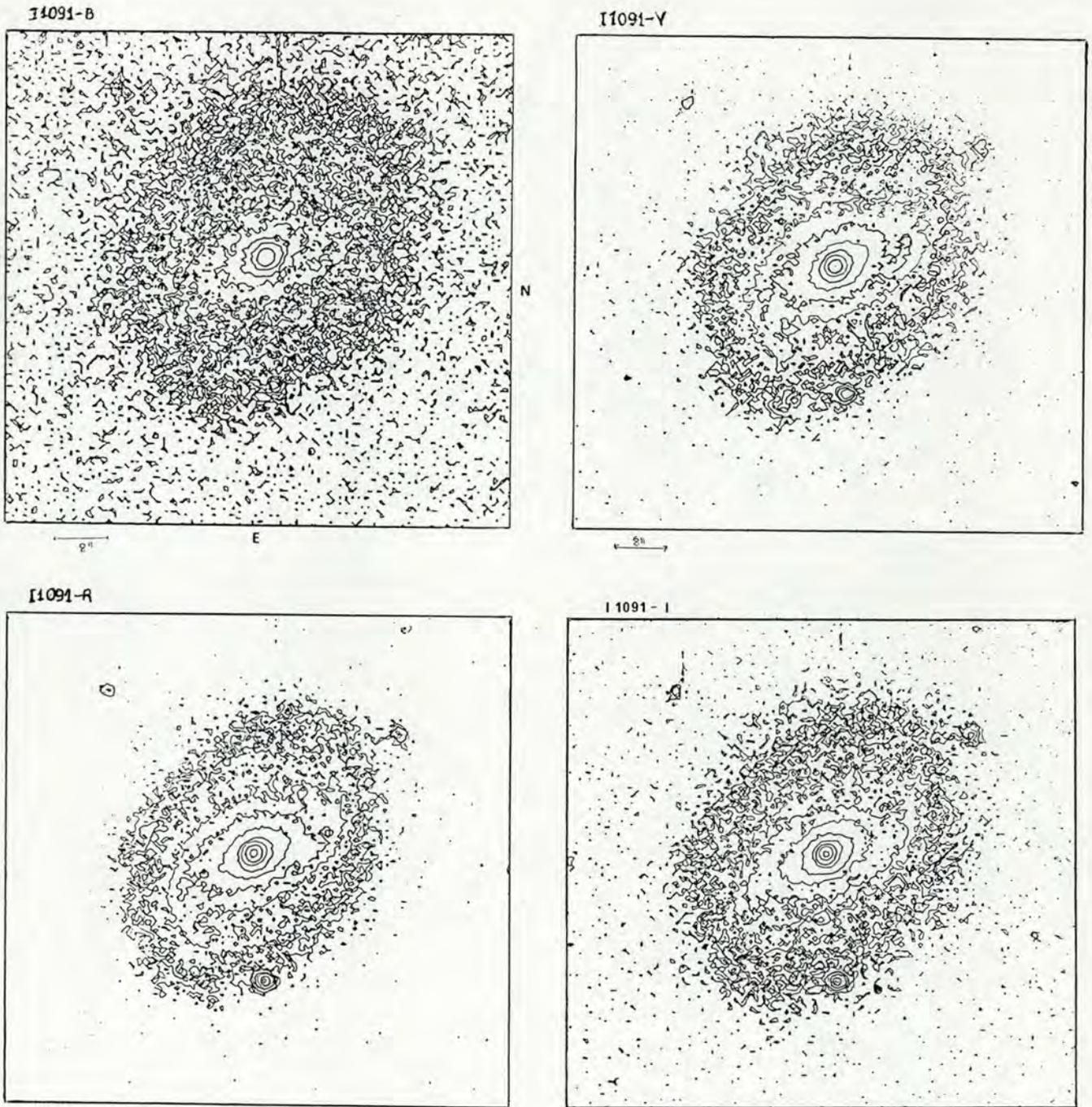


Figura V.3: Mapas de isofotas de IC 1091 em B (quadro superior esquerdo), V (quadro superior direito), R (quadro inferior esquerdo) e I (quadro inferior direito). Os níveis isofotais mostrados são: μ_B de 20.4 a 24.9; μ_V de 19.6 a 22.6; μ_R de 18.1 a 22.1; e μ_I de 17.2 a 21.7. O intervalo entre os níveis é 0.5 em todos os mapas. A orientação está indicada no primeiro mapa. A escala é $1 \text{ mm} = 1''$.

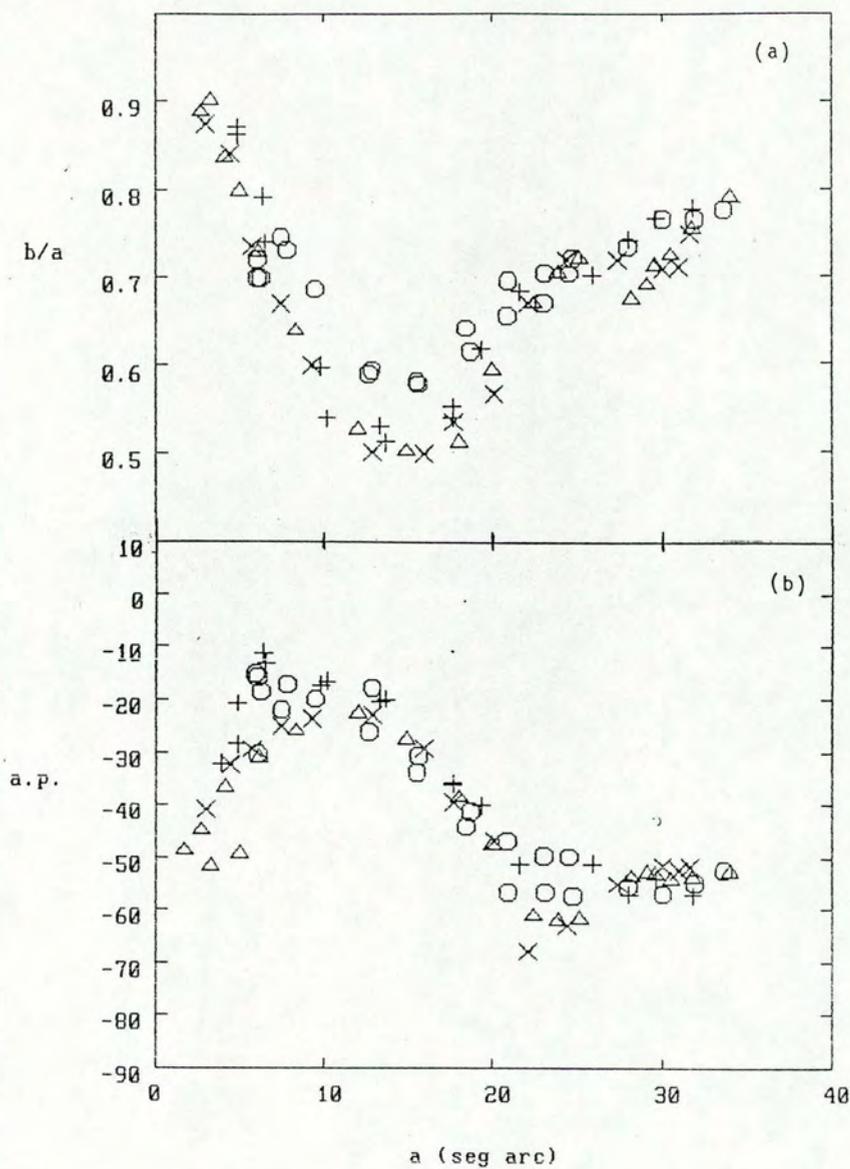


Figura V.4: (a) Razões axiais $\frac{b}{a}$ das isofotas B (cruzes retas), V (círculos), R (triângulos) e I (cruzes inclinadas) baseadas no ajuste de elipses. O parâmetro a é o semieixo maior da elipse, e b é o semi-eixo menor. (b) Ângulos de posição, em graus, das mesmas isofotas.

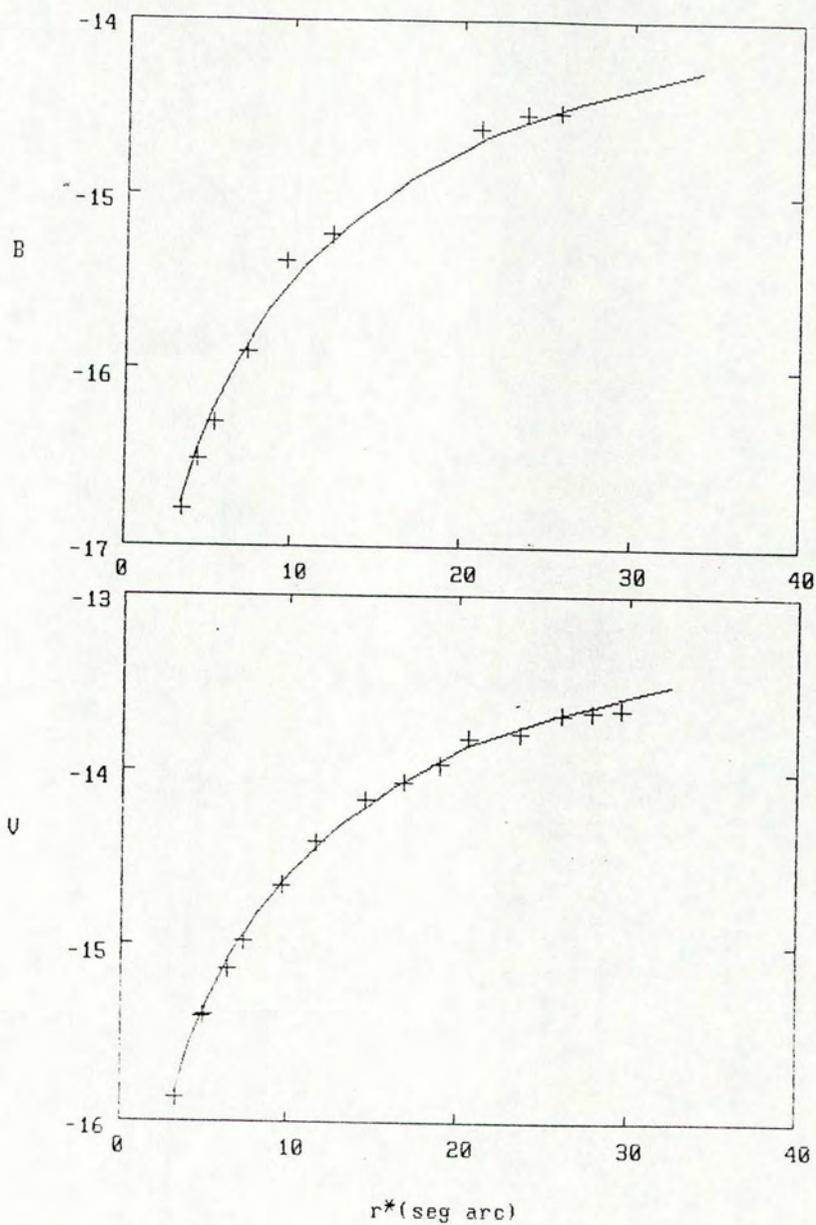


Figura V.5: Curvas padrões de crescimento ajustadas à fotometria integrada em isofotas. r^* é o raio equivalente da isofota.

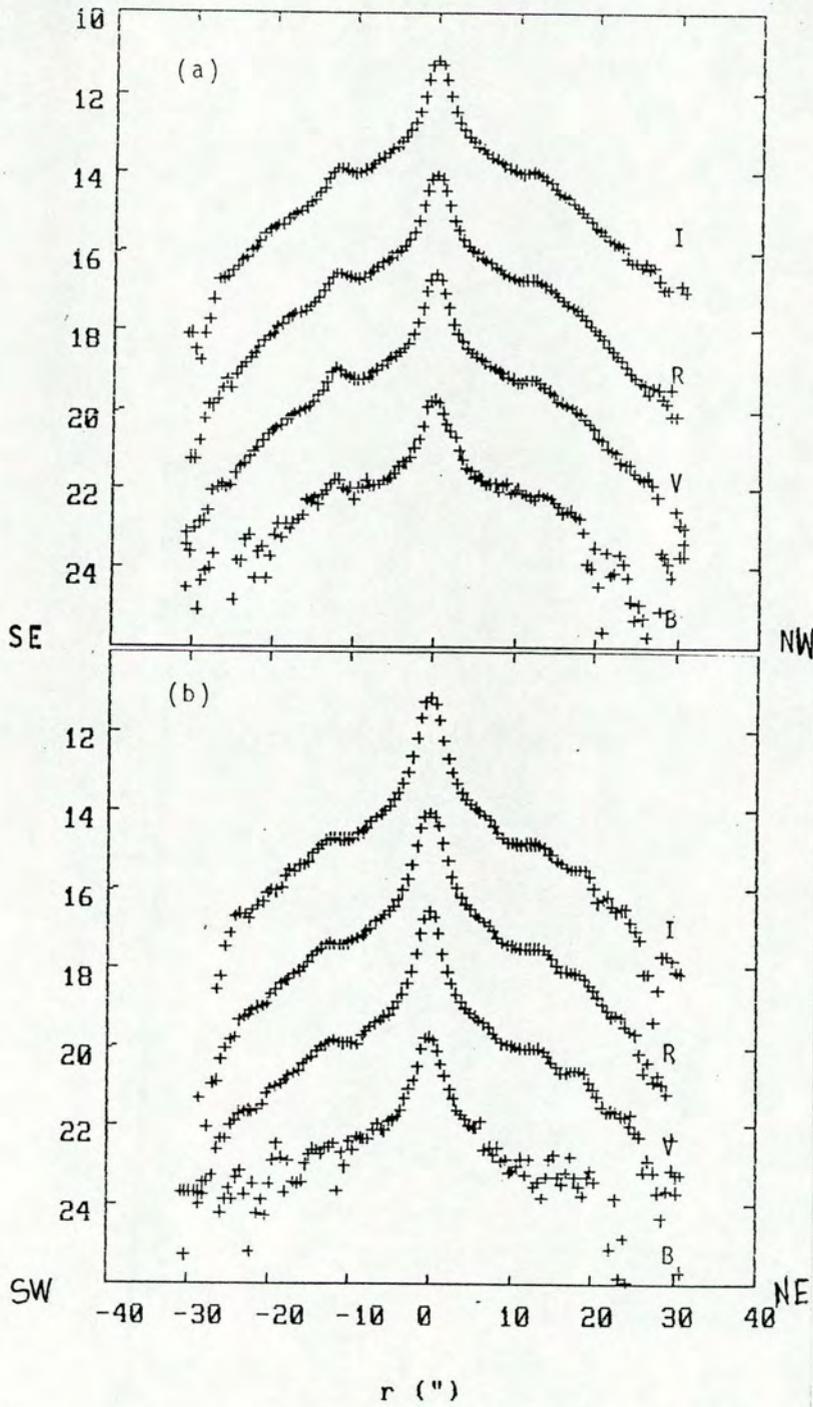


Figura V.6: Perfis de luminosidade ao longo dos eixos maior(a) e menor (b) da barra. A escala vertical é $m/''^2$, e está correta para B, estando deslocada de -2, -4 e -6 magnitudes para V, R e I respectivamente. Os erros nos perfis são tipicamente 0.05 mag no centro, e 0.5 mag nos níveis $\mu_B = 23$, $\mu_V = 24$, $\mu_R = 24$ e $\mu_I = 23$.

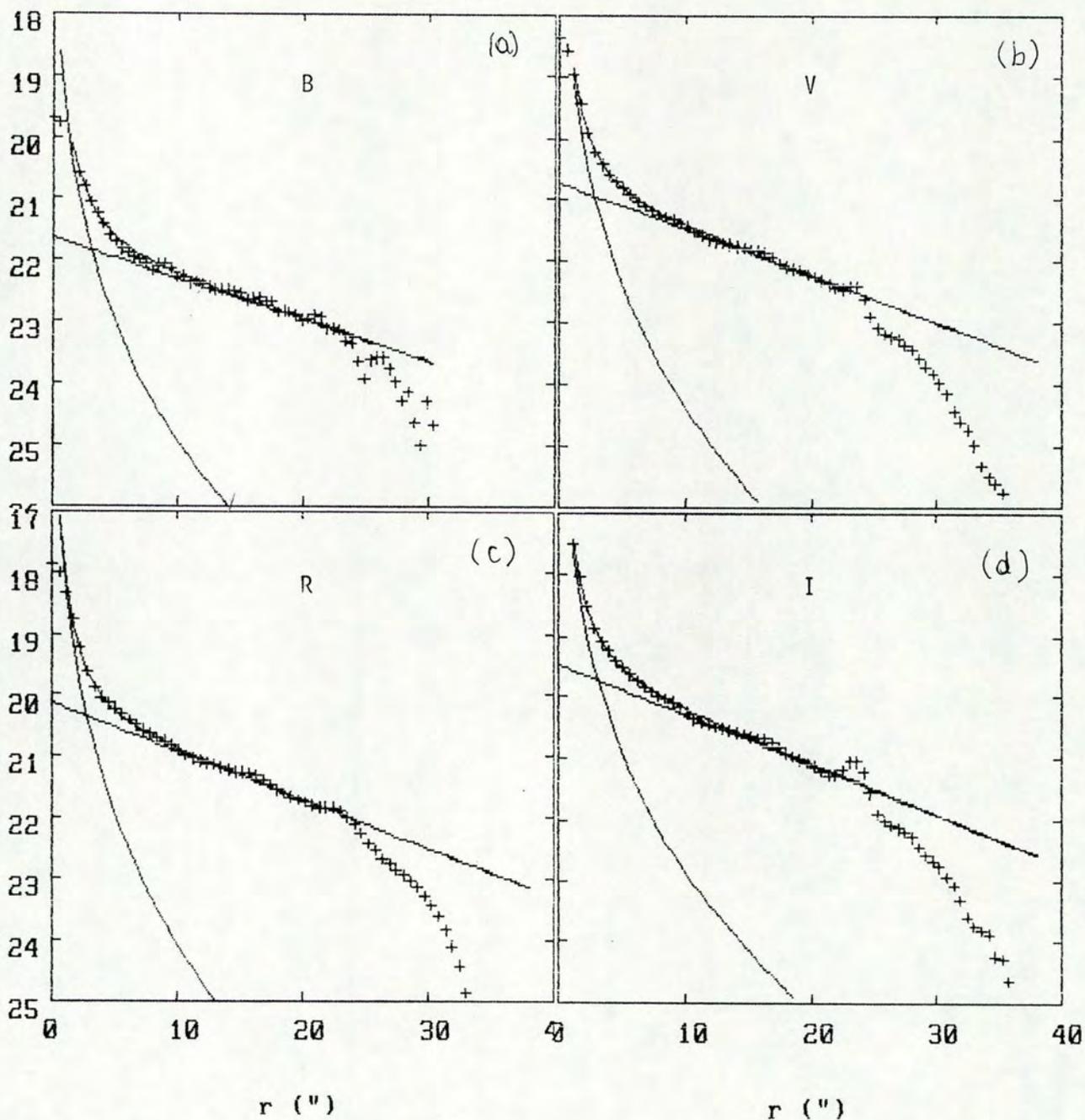
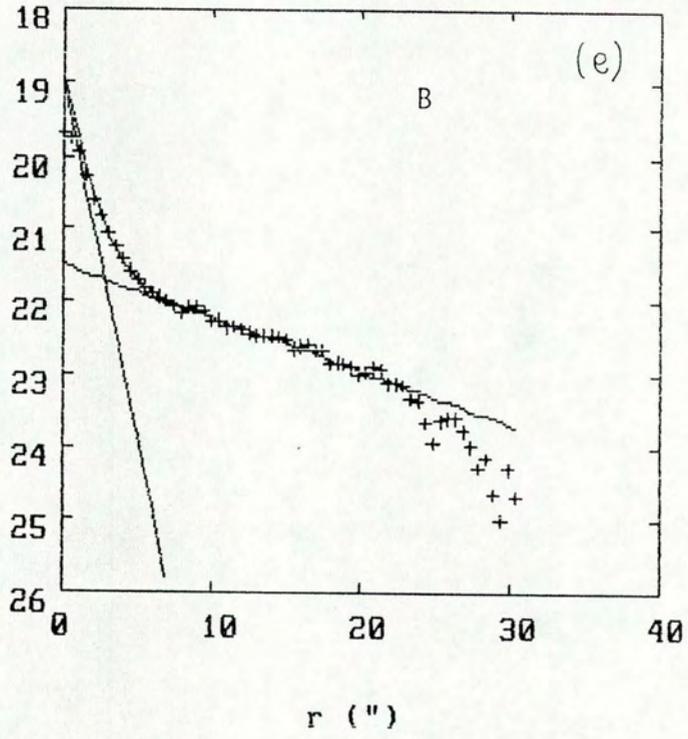


Figura V.7: Perfis promediados elípticamente decompostos com uma lei de de Vaucouleurs ajustada na região entre 1.5" e 5" e com uma lei exponencial na região entre 11" e 21". Os parâmetros do ajuste são mostrados na Tabela V.7. O perfil B parece se ajustar melhor com duas exponencias (na página seguinte).



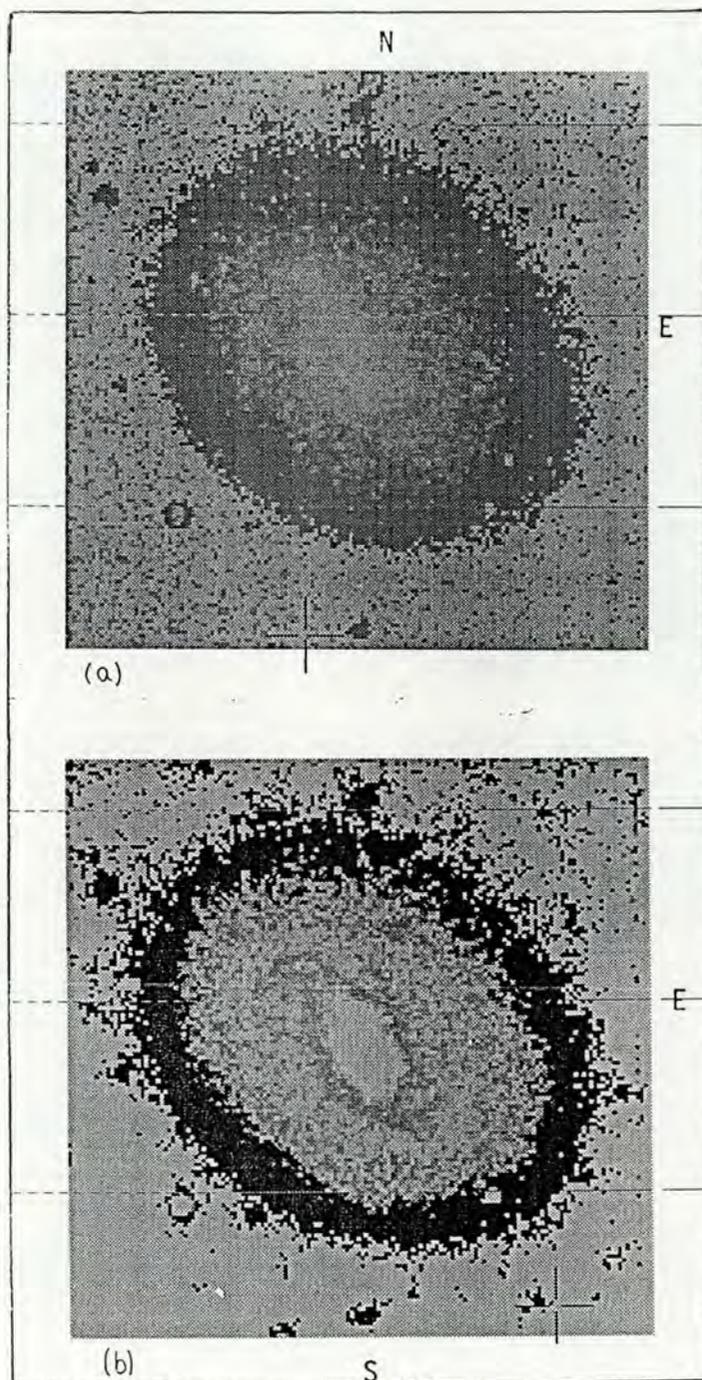


Figura V.8: *Imagens em cor R-I(a) e V-I (b) de IC 1091. A orientação é norte para cima, leste para a direita. Regiões mais claras são mais vermelhas, e mais escuras são mais azuis. A escala é $1\text{mm} = 0.96''$.*

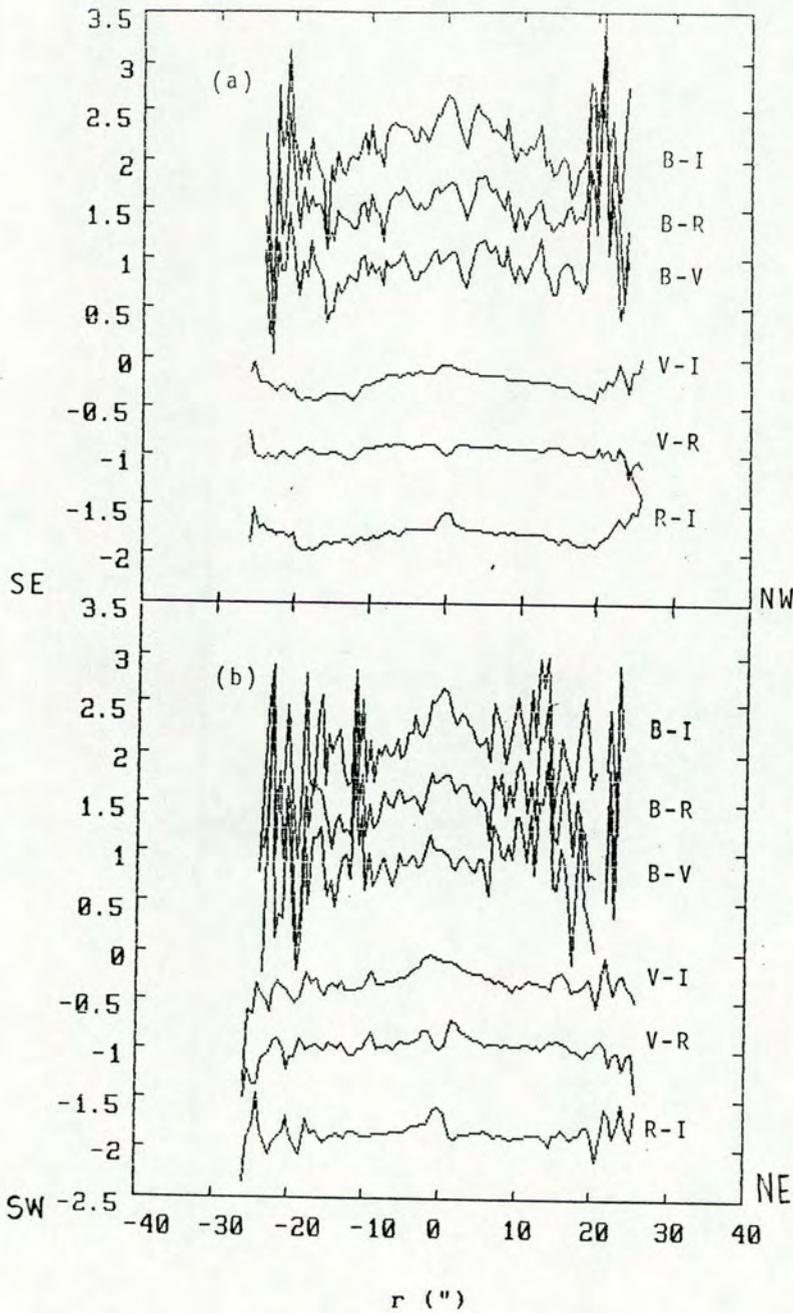


Figura V.9: Perfis de cor ao longo do eixo maior da barra (a) e ao longo do eixo menor da barra (b). Os três perfis superiores (B-I, B-R e B-V) foram obtidos usando os frames de curta exposição. Os perfis inferiores foram obtidos a partir dos frames de longa exposição. V-I e V-R estão com a escala vertical deslocada de -1.5 mag, e R-I está com a escala deslocada de -2.5 mag.

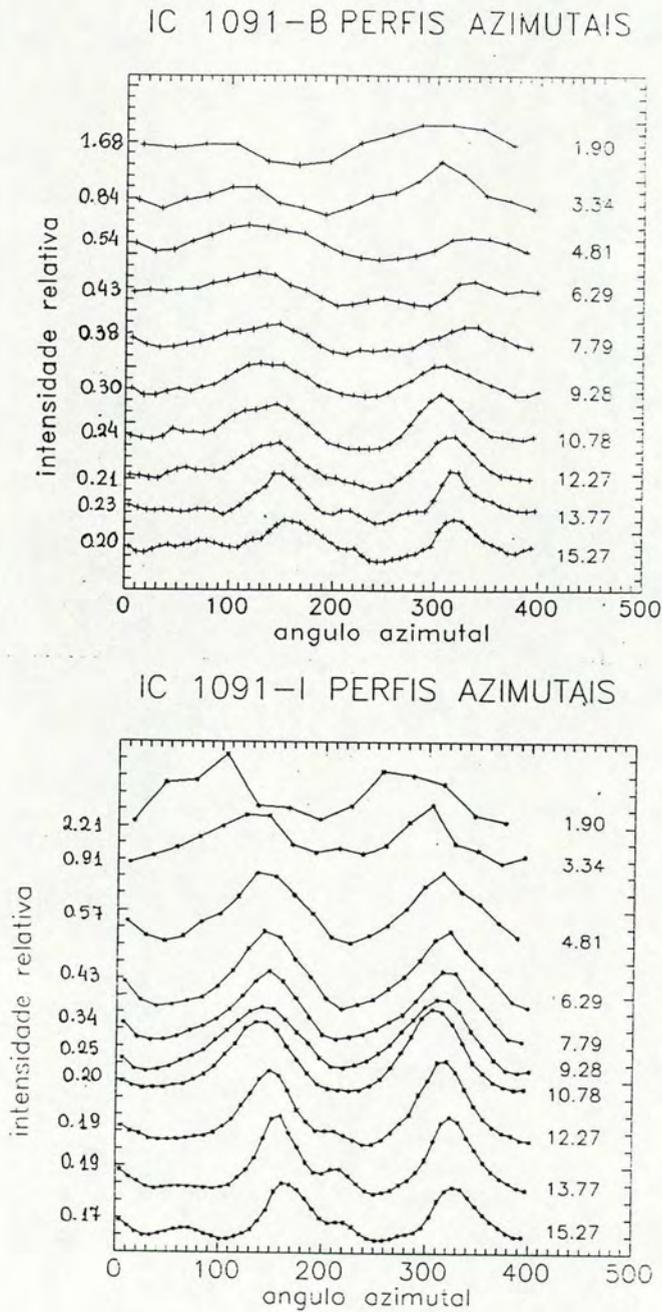


Figura V.10: Perfis azimutais B e I na região da barra. As intensidades relativas são $\frac{I-I_{ccu}}{I_{ccu}}$. Nas ordenadas, os números indicam a intensidade de cada perfil para o valor de angulo azimutal mais próximo de zero. Os intervalos entre os tracinhos correspondem a 0.06 nos perfis B e 0.04 nos perfis I.

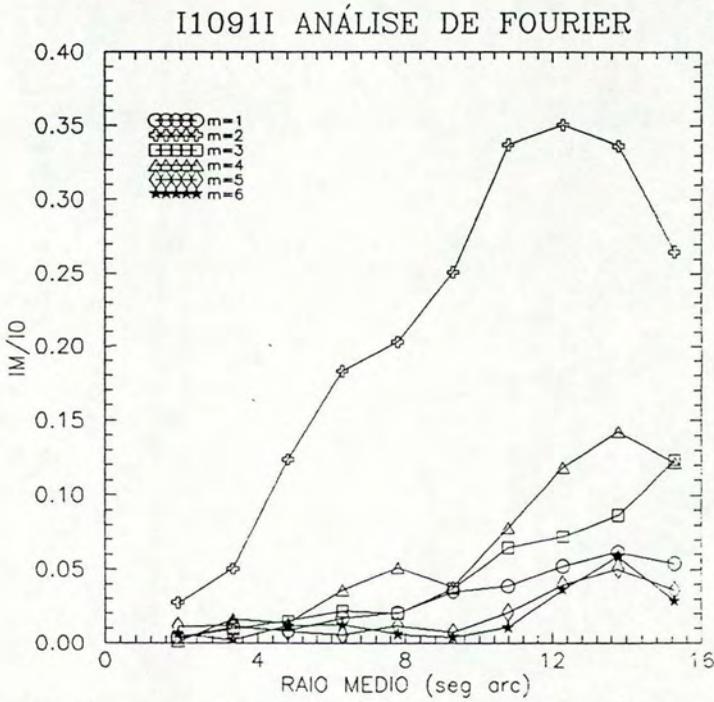
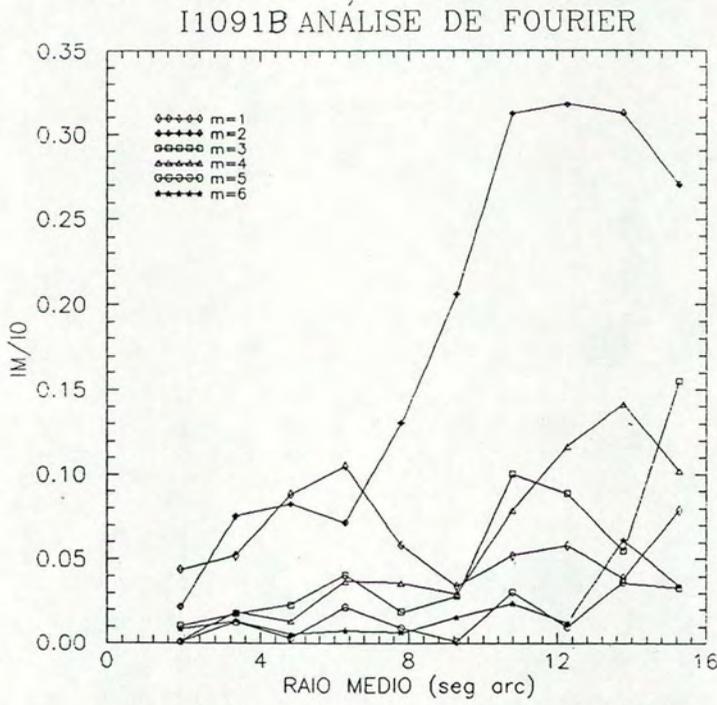


Figura V.11: Amplitudes relativas das componentes de Fourier (I_m/I_0 ; $m = 1, \dots, 6$), em função do raio médio do anel dentro do qual a análise foi feita.

Capítulo VI

FOTOMETRIA SUPERFICIAL DE NGC 7412

VI.1 Introdução

NGC 7412 é uma galáxia espiral brilhante de tipo morfológico entre Sb e Sc. Apesar de estar classificada como barrada no RC2 e no Southern Galaxy Catalogue (SGC - Corwin, de Vaucouleurs e de Vaucouleurs 1985), a barra não aparece de forma nítida nas fotografias. A galáxia tem dois braços espirais internos bem desenvolvidos, sobre os quais aparecem vários pontos brilhantes que parecem ser regiões HII. Elmegreen e Elmegreen (1983) identificaram duas cadeias de regiões HII nesses braços, cada um contendo quatro regiões, mas a posição determinada por eles para as regiões não coincide com as posições que nós determinamos para os pontos brilhantes. A galáxia não tem fotometria superficial detalhada publicada; sua fotometria fotoelétrica está reunida quase completamente nos catálogos de Longo e de Vaucouleurs (1983; LdV), e de Vaucouleurs e Longo (1988; dVL). Na Tabela VI.1 estão listados alguns parâmetros da galáxia, tirados do RC2, do RSA, do SGC e do SPC (The Surface Photometry Catalogue of the ESO- Uppsala Galaxies, Lauberts e Valentijn 1989).

Segundo Fricke e Kolatschny (1981), NGC 7412 é o membro principal de um grupo de quatro galáxias, com velocidade radial média de 1750 Km/s ao qual pertencem também IC 5267, IC 5267A e IC 5267B. A componente mais próxima, IC 5267A, está a 300 Kpc de distância. Maia, da Costa e Lathan (1989) mediram, para o grupo, a velocidade radial de

Ascensão Reta (1950)	22h 52.92min
Declinação (1950)	-42°54.6'
ℓ, b	351.93, -61.88
Tipo morfológico no RC2	SB(s)b
Tipo morfológico e classe de luminosidade no RSA	Sc(rs)I-II
Tipo morfológico no SGC	SB(s)c?
Diâmetro isofotal D_{25} no RC2	238"
Diâmetro isofotal D_{25}^B no SPC	226"
Razão axial R_{25}^{-1} no RC2	1.28
Razão axial $\left(\frac{a}{b}\right)^\circ$ no SPC	1.38
Velocidade radial heliocêntrica no RC2 (Km/s)	1705
Velocidade radial heliocêntrica no SPC (Km/s)	1714
Magnitude total B_T^a	
no RC2	11.9
no SPC	11.82
Cor integrada $(B - V)_T^a$ no RC2	0.52
Extinção Galática A_B	
no RC2	0.27
no SPC	-0.08

Tabela VI.1: Parâmetros catalogados de NGC 7412. ^a Ver Tabela VI.6 para valores obtidos da presente fotometria superficial.

Filtro	Tempo de Exposição (seg)	Telescópio (seg)	Seeing (")
B	600+600	91 cm - CTIO	1.9
V	400+400	91 cm - CTIO	1.9
R	200+200	91 cm - CTIO	1.9
I	400	91 cm - CTIO	1.9

Tabela VI.2: Observações CCD para NGC 7412

1424 Km/s e uma massa dinâmica de $2,56 \times 10^{12} M_{\odot}$.

A partir da velocidade radial de 1714 ± 12 Km/s dada no SPC, e usando $H = 75$ Km/s/Mpc, determinamos o módulo de distância $m - M = 31.79$. O módulo de distância derivado por Bottinelli *et al.* (1986) a partir de suas medidas da linha do HI, aplicadas à relação de Tully-Fisher, é 30.22, o que implica numa distância muito menor. Por outro lado, de Vaucouleurs e Peters (1984), baseando-se no índice de luminosidade, determinaram um módulo de distância de 31.96. Adotando a distância derivada da velocidade radial, $d = 22.85$ Mpc, o fator de escala correspondente é $1'' = 110.8$ pc.

VI.2 Observações

Obtivemos frames B, V, R e I utilizando o detector CCD TI n.º 1 acoplado ao telescópio de 91 cm do CTIO, em duas noites diferentes, durante um turno de observação em junho/87. Os tempos de exposição totais após a soma dos frames foram 1200, 800, 400 e 400 s para B, V, R e I respectivamente. Os detalhes das observações são dados na Tabela VI.2.

VI.3 Calibração Fotométrica

Várias calibrações foram feitas para NGC 7412 até decidirmos qual seria a mais adequada. Todas elas, porém, têm em comum o fato de serem feitas com a fotometria fotoelétrica em vez de com estrelas padrões, uma vez que o número de medidas fotoelétricas

disponíveis na literatura para essa galáxia é muito maior do que o número de estrelas padrões que medimos na noite, e foram obtidas por autores diferentes, o que diminui a possibilidade da existência de erros sistemáticos. A fotometria fotoelétrica utilizada é a compilada no catálogo de LdV, para B e V, e no catálogo de dVL, para R e I, e está listada na Tabela VI.3.

As diferentes calibrações feitas foram as seguintes:

1.º) Fazendo a determinação do céu no próprio frame:

Determinamos a intensidade do céu medindo o número de contagens por pixel em anéis concêntricos centrados no núcleo da galáxia e de raios crescentes, até obter um valor estável. Eventuais estrelas presentes nas regiões dos frames englobadas pelos anéis foram excluídas durante o processo. Os valores integrados obtidos para o número de contagens do céu foram: $N_c(B) = 5272 \pm 90$, $N_c(V) = 4282 \pm 40$, $N_c(R) = 2756 \pm 32$ e $N_c(I) = 1756 \pm 26$.

Uma vez determinado o céu desta forma, fizemos inicialmente uma calibração determinando termos de cor, mas a abandonamos por não podermos aplicá-las na calibração do céu, devido a este ter cores instrumentais muito diferentes das cores instrumentais obtidas nos diferentes diafragmas centrados na galáxia. Isso nos levou a tentar uma calibração mais simples, usando apenas uma constante.

A constante foi obtida como a média das diferenças entre as magnitudes instrumentais e fotoelétricas. As equações obtidas foram:

$$B = b + (21.80 \pm 0.11)$$

$$V = v + (22.40 \pm 0.06)$$

$$R = r + (22.57 \pm 0.04)$$

$$I = i + (21.71 \pm 0.10)$$

O erro na constante é da ordem de 0.1 mag, o que, acrescido à incerteza na determinação do céu devido à possibilidade de toda a imagem estar contaminada pela galáxia, levou-nos

a experimentar nova calibração, obtendo o céu de uma maneira diferente, que não fosse afetado pelo tamanho da imagem.

2.º) Fazendo uma determinação indireta do céu:

Determinamos o céu da mesma forma como foi feito para a galáxia NGC 6835, isto é, ajustando por mínimos quadrados a fotometria CCD à fotometria fotoelétrica, deixando como parâmetros livres a constante de calibração e o número de contagens do céu, de forma a obter simultaneamente os dois parâmetros. As equações obtidas foram:

$$B = b + (21.84 \pm 0.09)$$

$$V = v + (22.27 \pm 0.09)$$

$$R = r + (22.52 \pm 0.03)$$

$$I = i + (21.48 \pm 0.02)$$

Os valores obtidos para o número de contagens por pixel do céu, em cada filtro, obtidos com esta calibração, foram: $N_c(B) = 5256 \pm 16$, $N_c(V) = 4355 \pm 22$, $N_c(R) = 2774 \pm 18$ e $N_c(I) = 1854 \pm 6$.

Existe uma diferença muito significativa desta calibração em relação à anterior, principalmente no que se refere aos frames V e I, devido a que os valores da intensidade do céu determinado pelos dois métodos diferentes variaram muito nesses dois frames. Mas a variação ocorreu no sentido contrário ao que esperávamos, isto é, se tínhamos que o céu determinado diretamente no frame estivesse superestimado, determinando-o por este método o valor obtido se manteve praticamente o mesmo em B e R e ficou bem mais alto em V e I. Isso nos leva a acreditar que a fotometria fotoelétrica não abrange aberturas grandes o suficiente para possibilitar uma determinação adequada do céu, e que o método anterior ainda é mais confiável neste caso.

Como um teste final para decidir que valor do céu adotar, traçamos os perfis de brilho da galáxia obtidos quando descontamos um valor do céu ou outro. Constatamos que tanto em V quanto em I os perfis caem muito bruscamente na parte externa se usarmos os valores mais altos para o número de contagens do céu, o que não parece ser real. Portanto decidimos

manter os valores do céu determinados nos diafragmas ao redor da galáxia e as equações de calibração obtidas no item 1.

Os valores calibrados do brilho do céu ficaram: $B = 18.67 \pm 0.02$, $V = 19.06 \pm 0.02$, $R = 18.95 \pm 0.01$ e $I = 18.58 \pm 0.05$. Esses valores são tipicamente uma magnitude mais brilhantes do que os valores médios do céu de Tololo na lua cheia, medidos a 90° da lua (Walker 1987), o que pode ser explicado pela proximidade da lua ($\sim 45^\circ$) durante a observação .

A Figura VI.1 mostra as magnitudes CCD obtidas da síntese de aberturas antes da calibração plotadas contra as magnitudes fotoelétricas, e as as diferenças entre as magnitudes ccd calibradas e as magnitudes fotoelétricas, plotadas contra as magnitudes fotoelétricas.

Uma comparação das cores CCD resultantes com as cores fotoelétricas leva às diferenças médias

$$\begin{aligned} \overline{V_{CCD} - V_{FF}} &= -0.01 \pm 0.09 \quad (N = 17), \\ \overline{(B - V)_{CCD} - (B - V)_{FF}} &= 0.03 \pm 0.06 \quad (N = 17), \\ \overline{(V - R)_{CCD} - (V - R)_{FF}} &= 0.01 \pm 0.02 \quad (N = 4), \\ \overline{(V - I)_{CCD} - (V - I)_{FF}} &= -0.01 \pm 0.09 \quad (N = 4). \end{aligned}$$

VI.4 Morfologia

NGC 7412 tem uma classificação morfológica controvertida: está classificada como SB(s)b no RC2, como Sc(rs) no RSA, e como SB(s)bc no SGC. As fotografias da galáxia, mostradas na Figura VI.2, e as imagens CCD, mostradas nas Figuras VI.3 e VI.4, mostram dois braços espirais bem desenvolvidos, embora assimétricos, o que não concorda com a classificação no estágio Sb da sequência de Hubble, parecendo ser mais adequada a colocação no estágio Sbc ou Sc. Neste trabalho, usaremos o estágio intermediário T=4 (Sbc) sempre que for necessário adotar algum tipo morfológico para a derivação de algum parâmetro.

O núcleo da galáxia é melhor distinguível na fotografia de curta exposição, que mostra também a tênue estrutura alongada na qual ele se encontra imerso, e que pode ser uma

A(")	B	V	R' ^a	I' ^a
16.52	15.19	14.44	13.54	12.94
19.41	14.87	14.09	-	-
28.06	14.31	13.55	13.02	12.44
30.07	14.21	13.46	-	-
35.33	14.12	13.38	-	-
39.64	13.82	13.10	12.59	12.06
40.56	13.83	13.13	-	-
42.47	13.72	13.01	-	-
54.72	13.43	12.74	-	-
55.99	13.28	12.61	12.11	11.69
67.32	13.20	12.54	-	-
77.29	12.86	12.21	-	-
79.09	12.68	12.07	11.66	11.26
90.81	12.77	12.13	-	-
101.89	12.42	11.81	-	-
104.26	12.35	11.81	-	-
125.35	12.35	11.79	-	-

Tabela VI.3: Fotometria fotoelétrica de NGC 7412, tirada dos catálogos de LdV (B, V) e dVL (R', I'). ^a R' e I' são magnitudes do sistema Kron and Cousins. As transformações para o sistema Johnson são: $(V - R) = 1.40(V - R') + 0.028$, e $(V - I) = 1.30(V - I') - 0.013$.

barra de pequenas dimensões. Essa estrutura também é visível na imagem CCD em B. A fotografia de maior exposição mostra de maneira nítida a estrutura espiral, constituída principalmente por dois grandes braços, um mais aberto, nascendo ao sul, e o outro mais fechado, que nasce ao norte. Sobre os braços se superpõem várias regiões HII, sendo algumas verdadeiramente notáveis. O braço norte bifurca-se duas vezes, a primeira bem próximo à origem, originando um braço interno ao principal que envolve um quadrante da galáxia. A segunda bifurcação origina um braço externo ao principal, menos definido mas muito largo e extenso. O braço sul, que é o mais robusto, embora não sofra uma bifurcação propriamente dita, em sua extremidade dá origem a vários filamentos, que constituem uma extensa estrutura em forma de pena. É interessante notar que, embora a uma primeira vista a galáxia pareça estar de frente, ao observar as partes mais fracas da galáxia vemos que ela tem uma inclinação relativamente grande.

VI.5 Mapas de Isofotas e Parâmetros Geométricos

Os mapas de isofotas B, V, R e I de NGC 7412 são mostrados nas Figuras VI.5.

O ângulo de posição e a elipticidade das isofotas foram determinados ajustando elipses aos contornos B, V, R e I. Na região de dominância da estrutura espiral, que contém um grande número de fortes regiões HII, cada nível isofotal se encontra dividido em várias partes, não permitindo nenhum tipo de ajuste ao nível. Por isso, as curvas de razão axial e ângulo de posição das isofotas em função do semi-eixo maior da elipse ajustada, mostradas nas Figuras VI.6, têm um vazio para a região com a entre $10''$ e $40''$. O limite interno dessa lacuna (em $a = 10''$) se refere à região onde se encontram as isofotas mais alongadas que circundam o núcleo, tendo $b/a = 0.76$ e $a.p. = 39^\circ$. Na região mais interna, as isofotas mudam bruscamente de orientação em $a \sim 4''$, o que parece indicar a existência de poeira no centro da galáxia. As isofotas externas à estrutura espiral principal aumentam progressivamente de elipticidade, variando de $b/a \sim 1$, em $a \sim 40''$, até $b/a = 0.70$, para as isofotas mais externas. Nessa região o ângulo de posição também varia levemente.

O semi-diâmetro da galáxia, determinado a partir das isofotas com semi-eixo maior

$a = 100''$ ($\mu_R = 23.5$), é de 11 Kpc. Assumindo que a estrutura alongada com semi-eixo maior de $10''$ é uma barra, seu diâmetro é 2.2 pc. Usando a mesma escala para calibrar as dimensões da galáxia no SPC, que lhe atribui um diâmetro de $339''$ na isofota $\mu_B = 27$, isso corresponde a um diâmetro de 37.17 Kpc.

A inclinação da galáxia foi determinada pela razão axial média observada $q = 0.70 \pm 0.033$, derivada a partir das isofotas com $a > 80''$. Assumindo que o tipo morfológico da galáxia é T = 4, sua razão axial intrínseca é $q_0 = 0.166$, (Botinelle *et al.* 1983), o que resulta numa inclinação de 46.4° . O ângulo de posição do eixo maior da galáxia, derivado a partir das mesmas isofotas, é $76^\circ \pm 4^\circ$.

VI.6 Distribuição de Luminosidade Integrada e Parâmetros Fotométricos

As magnitudes integradas B, V, R e I foram calculadas em duas maneiras diferentes:

1º) Fazendo a integração dentro das próprias isofotas; 2º) Fazendo a integração dentro de elipses concêntricas, todas com ângulo de posição = 76° e razão axial = 0.7, que são os valores encontrados para as isofotas mais externas.

As Tabelas VI.4 e VI.5 mostram os valores de magnitudes integradas obtidos para diferentes raios equivalentes das isofotas e das elipses, respectivamente. Na Tabela VI.5, o semi-eixo maior da elipse (A) também é indicado. Nesta Tabela, o brilho superficial μ é o brilho superficial médio dentro de um anel de $2''$ de largura, cuja elipse externa tem o raio equivalente indicado.

As magnitudes integradas totais em B e V foram calculadas ajustando as curvas padrões de crescimento para o estágio T = 4, 1.º) à fotometria fotoelétrica em multidiafragmas; 2.º) à fotometria CCD integrada dentro das próprias isofotas; 3.º) à fotometria CCD integrada dentro de elipses concêntricas, centradas no núcleo da galáxia e com ângulo de posição e razão axial iguais aos da galáxia. Os resultados do primeiro tipo de ajuste foram: $B_T = 11.2 \pm 0.2$, $r_e = 95 \pm 21$ e $V_T = 10.5 \pm 0.2$, $r_e = 108 \pm 13$. Os resultados do segundo tipo de

r^*	μ_B	μ_V	μ_R	μ_I	B	V	R	I
2.0	19.6	19.5	18.9	18.4	16.80	16.45	15.99	15.40
2.9	19.8	19.8	19.1	18.6	16.08	15.76	15.25	14.70
3.9	20.4	20.0	19.4	18.8	15.75	15.35	14.78	14.23
4.9	20.6	20.3	19.6	19.0	15.50	15.05	14.46	13.93
6.5	20.9	20.5	19.9	19.3	15.10	14.67	14.07	13.56
9.5	21.3	20.8	20.2	19.6	14.55	14.16	13.58	13.05
13.9	21.6	21.0	20.5	19.9	14.10	13.62	13.09	12.58
21.0	21.8	21.2	20.7	20.2	13.68	13.07	12.53	11.98
30.9	22.2	21.5	21.1	20.5	13.10	12.42	11.97	11.44
44.2	22.8	22.0	21.8	21.1	12.58	11.94	11.53	10.99
51.4	23.1	22.5	22.1	21.3	12.42	11.79	11.35	10.83
60.3	23.5	23.0	22.6	22.2	12.26	11.66	11.19	10.69
66.9	-	23.5	23.1	22.7	-	11.61	11.15	10.65
73.1	-	24.0	23.7	23.3	-	11.57	11.09	10.61

Tabela VI.4: Distribuição de Luminosidade Integrada em Isofotas para NGC 7412.

r^*	μ_B	μ_V	μ_R	μ_I	B	V	R	I	A
1.67	19.4	19.1	18.4	17.9	17.0	16.7	16.1	15.5	2.0
3.35	19.9	19.5	18.9	18.4	15.9	15.5	14.9	14.4	4.0
5.02	20.6	20.1	19.4	18.9	15.4	15.0	14.3	13.8	6.0
6.69	21.0	20.4	19.8	19.2	15.1	14.6	14.0	13.4	8.0
8.37	21.3	20.6	20.0	19.4	14.8	14.3	13.7	13.1	10.0
10.04	21.5	20.8	20.1	19.6	14.6	14.1	13.4	12.9	12.0
11.71	21.6	20.9	20.3	19.7	14.4	13.8	13.2	12.7	14.0
13.39	21.7	21.0	20.4	19.9	14.3	13.7	13.0	12.5	16.0
15.06	21.8	21.1	20.5	20.0	14.1	13.5	12.9	12.4	18.0
16.73	21.9	21.2	20.6	20.1	14.0	13.4	12.7	12.2	20.0
18.41	22.0	21.2	20.7	20.2	13.9	13.2	12.6	12.1	22.0
20.08	22.1	21.3	20.8	20.3	13.7	13.1	12.5	12.0	24.0
21.75	22.2	21.4	20.8	20.4	13.7	13.0	12.4	11.9	26.0
23.43	22.2	21.4	20.9	20.4	13.6	12.9	12.3	11.8	28.0
25.10	22.3	21.5	21.0	20.5	13.5	12.8	12.2	11.7	30.0
26.77	22.4	21.5	21.0	20.5	13.4	12.7	12.1	11.6	32.0
28.45	22.5	21.6	21.1	20.6	13.3	12.6	12.0	11.5	34.0
30.12	22.5	21.6	21.1	20.6	13.3	12.5	12.0	11.5	36.0
31.79	22.4	21.6	21.1	20.6	13.2	12.5	11.9	11.4	38.0
33.47	22.3	21.6	21.0	20.6	13.1	12.4	11.8	11.3	40.0
35.14	22.2	21.5	21.0	20.6	13.0	12.3	11.7	11.2	42.0
36.81	22.1	21.5	21.0	20.6	12.9	12.2	11.7	11.2	44.0
38.49	22.1	21.6	21.1	20.6	12.8	12.1	11.6	11.1	46.0
40.16	22.1	21.6	21.1	20.7	12.7	12.1	11.5	11.0	48.0
41.83	22.1	21.7	21.2	20.8	12.7	12.0	11.5	11.0	50.0
43.51	22.3	21.8	21.3	20.9	12.6	11.9	11.4	10.9	52.0
45.18	22.4	21.9	21.5	21.0	12.5	11.9	11.4	10.9	54.0
46.85	22.5	22.1	21.6	21.2	12.5	11.9	11.3	10.8	56.0
48.53	22.7	22.2	21.7	21.3	12.4	11.8	11.3	10.8	58.0
50.20	22.9	22.3	21.9	21.4	12.4	11.8	11.2	10.8	60.0
51.87	23.0	22.5	22.0	21.6	12.4	11.7	11.2	10.7	62.0
53.55	23.0	22.5	22.1	21.7	12.3	11.7	11.2	10.7	64.0
55.22	23.1	22.6	22.2	21.8	12.3	11.7	11.2	10.7	66.0
56.89	23.2	22.7	22.3	21.9	12.3	11.7	11.1	10.7	68.0
58.57	23.2	22.8	22.4	21.9	12.3	11.6	11.1	10.7	70.0
60.24	23.2	22.9	22.5	22.1	12.2	11.6	11.1	10.6	72.0
61.91	23.0	22.9	22.5	22.1	12.2	11.6	11.1	10.6	74.0
63.59	23.1	23.0	22.6	22.2	12.2	11.6	11.1	10.6	76.0
65.26	23.2	23.1	22.7	22.3	12.1	11.6	11.1	10.6	78.0
66.93	23.2	23.2	22.9	22.4	12.1	11.5	11.0	10.6	80.0
68.61	23.3	23.3	22.9	22.5	12.1	11.5	11.0	10.6	82.0
70.28	23.3	23.4	23.0	22.6	12.1	11.5	11.0	10.6	84.0
71.95	23.3	23.4	23.0	22.6	12.0	11.5	11.0	10.5	86.0
73.63	23.2	23.5	23.1	22.5	12.0	11.5	11.0	10.5	88.0
75.30	23.3	23.6	23.2	22.7	12.0	11.5	11.0	10.5	90.0
76.97	23.4	23.7	23.3	22.8	11.9	11.5	11.0	10.5	92.0
78.65	23.5	23.8	23.4	22.9	11.9	11.5	11.0	10.5	94.0
80.32	23.5	23.9	23.5	23.0	11.9	11.5	11.0	10.5	96.0
81.99	23.5	23.9	23.5	23.1	11.9	11.4	10.9	10.5	98.0
83.67	23.4	23.9	23.5	23.1	11.9	11.4	10.9	10.5	100.0

Tabela VI.5: Distribuição de Luminosidade Integrada em Elipses para NGC 7412.

	A_B	E(B-V)	E(V-R)	E(V-I)	E(R-I)
Absorção galáctica	0.27	0.07	0.05	0.1	0.08
Absorção interna	0.21	0.05	0.04	0.08	0.04
Absorção total	0.48	0.12	0.09	0.18	0.12

Tabela VI.6: Correções da magnitude e cores de NGC 7412.

ajuste foram $B_T = 11.2 \pm 0.1$, $r_e = 83 \pm 3$ e $V_T = 10.7 \pm 0.3$, $r_e = 95 \pm 5$. Os resultados do terceiro tipo de ajuste foram $B_T = 11.2 \pm 0.3$, $r_e = 92 \pm 8$ e $V_T = 10.4 \pm 0.14$, $r_e = 111 \pm 11$. A cor $(B - V)_T$ média considerando os três ajustes é, portanto, 0.67.

A Figura VI.7 mostra os dados da fotometria fotoelétrica, fotometria ccd integrada em isofotas e fotometria ccd integrada em elipses, juntamente com a curva de crescimento adotada, que tem $B_T = 11.2$, $r_e = 90''$, e $V_T = 10.53$, $r_e = 105''$. Na Figura VI.8 são mostradas as curvas de crescimento considerando somente a fotometria fotoelétrica.

A magnitude $B_T = 11.2$ é aproximadamente 0.7 magnitudes mais brilhante do que as magnitudes integradas dadas no RC2 (11.9) e no SPC (11.82). Convém ressaltar, no entanto, que é a magnitude encontrada supondo que a fotometria fotoelétrica esteja correta, e que o ajuste das curvas de crescimento seja um método adequado para a determinação das magnitudes totais.

Os índices de concentração $C_{21}(B) = 1.48$, e $C_{32}(B) = 1.42$, correspondem a uma distribuição menos concentrada do que uma exponencial pura ($C_{21} = 1.75$, $C_{32} = 1.61$; de Vaucouleurs e Aguero 1973) tanto na região interna quanto na região externa.

As correções por extinção galáctica e efeitos de inclinação foram determinadas conforme está explicado na seção II.8, e estão listadas na Tabela VI.6.

Os principais parâmetros derivados para galáxia são listados na Tabela VI.7.

VI.7 Perfis de Luminosidade ao longo dos Eixos Maior e Menor

Os perfis de brilho e de cor ao longo dos eixos maior e menor são mostrados nas Figuras VI.9. A orientação em que foram traçados está indicada no mapa de isofotas V (figura

Razão axial do disco	0.7
Inclinação	46.4
Ângulo de posição do disco	76
Módulo de distância	31.17
Distância (Mpc)	22.85
Magnitude aparente total B_T	11.2
Magnitude aparente total corrigida B_T^o	10.7
Magnitude total absoluta corrigida M_B^o	-21.09
Cor total observada (B-V)	0.67
Cor total corrigida $(B - V)^o$	0.55
Raio efetivo equivalente	
$r_e^*(B)$	90"
$r_e^*(V)$	105"
Brilho superficial médio efetivo	
$\mu_e(B)$	22.9
$\mu_e(V)$	22.6
Índices de concentração	
$C_{21}(B) = r_e/r_1(B)$	1.48
$C_{21}(V) = r_e/r_1(V)$	1.42
$C_{32}(B) = r_3/r_e(B)$	1.60
$C_{32}(V) = r_3/r_e(V)$	1.31
Luminosidade total $L_T(L_\odot)^a$	4.0×10^{10}

Tabela VI.7: Parâmetros globais de NGC 7412. ^a usando $M_\odot(B) = 5.43$.

VI.5) Os erros em diversos níveis de brilho superficial, devido às incertezas no céu e na constante de calibração, variam, em média, de 0.08 mag nas partes centrais a 0.5 mag em $\mu = 23$. Nas partes mais internas domina o erro devido à constante de calibração, nas partes mais externas domina o erro devido à incerteza no céu.

Os perfis têm uma forma bastante complicada devido a estrutura complexa da galáxia. Não existe uma diferença básica entre os perfis do eixo maior e do eixo menor visto que o corpo principal da galáxia aparentemente está de frente, e as estruturas mais fracas, que evidenciam a inclinação do disco, não aparecem nos perfis, uma vez que têm ruído muito elevado. O braço espiral a leste do núcleo é mais bem definido, e aparece como um pico mais estreito e elevado em $r = 32''$ no lado SE do eixo menor e em $r = -55''$ no lado NE do eixo maior. O braço a oeste do núcleo é mais largo e não aparece bem definido na direção em que é cortado pelo eixo menor, no lado NW, aparecendo como um patamar que se estende de $r = -30''$ até $r = -45''$. Os perfis mostram de maneira clara a absorção ao sul do núcleo, em $r = 10''$ SW e SE respectivamente, e um filamento brilhante em $r = -10''$, no lado NE do eixo maior e NW do eixo menor. A absorção e o filamento, juntos, dão uma aparência bastante assimétrica à parte central dos perfis.

Nas Figuras VI.10 mostramos os perfis traçados na direção da barra e perpendicular a ela. Apesar de não serem muito diferentes dos perfis ao longo dos eixos principais da galáxia, nota-se que na direção do eixo maior da barra a saliência no perfil em $10''$ aparece dos dois lados do centro, formando dois "ombros", um de cada lado, e que são mais evidentes no perfil B. Mas a assimetria nos perfis permanece, ficando difícil classificar a barra como "achatada" ou "exponencial". Os braços espirais são cortados na direção do eixo menor da barra, em $r = 40''$ SE e $r = 35''$ NW. Na direção do eixo maior, uma das manchas brilhantes é cortada em $r = 20''$ NE.

VI.8 Perfis de Luminosidade Médios - Decomposição

Os perfis de luminosidade médios foram extraídos ao longo de anéis elípticos concêntricos, de raios crescentes, centrados no núcleo da galáxia. Os pontos mais internos (0 a $10''$) foram

obtidos usando anéis circulares, uma vez que a parte central da galáxia não é achatada como a parte externa. Para os pontos externos a $10''$, foram traçados anéis com razão axial e ângulo de posição iguais aos das isofotas mais externas ($a.p. = 76^\circ$, $b/a = 0.7$). A largura e o espaçamento dos anéis foi de $1''$ na parte central e $2''$ na parte externa, sendo que posteriormente foi feita uma interpolação linear para colocar todos os pontos do perfil igualmente espaçados de $0.5''$.

Nas Figuras VI.11 e VI.12 são mostrados os perfis médios em função do raio equivalente assim como a decomposição aplicada a eles. Para NGC 7412 não foi possível usar uma decomposição iterativa porque o perfil médio tem uma depressão entre $10''$ e $30''$, de forma que uma exponencial ajustada à parte externa do perfil fica mais brilhante do que o perfil observacional na região entre o bojo e o disco, (é um perfil tipo II), e portanto não é possível subtraí-la para prosseguir na decomposição. Essa depressão é mais acentuada em B, podendo estar sendo causada, em parte, por poeira; como ela persiste em I julgamos que esta não seja a única causa.

Resolvemos então ajustar a região interna, que corresponde à zona de predominância do bojo, e a região mais externa, que deve corresponder ao início da zona de predominância do disco, diretamente no perfil original. Na região mais interna, uma lei $r^{1/4}$ ajusta razoavelmente o perfil para os pontos entre $2.5''$ e $6''$, mas o ajuste fica melhor usando uma exponencial, que nesse caso pode ser feito usando os pontos de $1.5''$ a $6''$. Na região mais externa, no frame B, o perfil é claramente não exponencial, devido às elevações causadas pelos braços espirais, mas nos demais frames uma exponencial ajusta bem os pontos entre $50''$ e $80''$. Como o ajuste foi feito em função do raio equivalente, transformamos as escalas de distância encontradas para representarem distâncias radiais ao longo do eixo maior através da relação dada em Odewhan (1990)

$$r^* = r \cdot [\cos i]^{1/2}$$

onde i é a inclinação da galáxia.

Os parâmetros do ajuste são mostrados nas Tabelas VI.8 e VI.9. No ajuste do bojo com a lei $r^{1/4}$, o valor de $r_e = 3.0$ kpc, encontrado para a banda B, é muito menor do que

o valor médio de 7.6 kpc encontrado em V, R e I. O brilho superficial efetivo também é um pouco mais brilhante em B do que nos outros filtros. A média dos parâmetros do bojo de 11 Sbc-Sc estudadas por Kent (1985), no filtro r, é $\mu_e = 21.93 \pm 2.05$, $r_e = 1.29 \pm 0.89$. Os valores médios dos parâmetros encontrados por Simien e de Vaucouleurs (1986) para 15 galáxias Sbc-Sc, com filtro B, são: $\mu_e = 21.59 \pm 2.39$, $r_e = 0.94 \pm 2.03$. Comparando esse valores com os parâmetros que encontramos para NGC 7412 vemos que, com exceção do perfil B, os parâmetros não são compatíveis com os de outras galáxias de mesmo tipo morfológico. Isso parece confirmar que a distribuição de luz do bojo desta galáxia não é bem descrito pela lei padrão $r^{1/4}$.

O fato do raio efetivo em B ser significativamente menor do que nos outros filtros, provavelmente é uma consequência de que a depressão no perfil médio em B é bem mais acentuada do que em V, R e I, fazendo com que o bojo pareça ter uma distribuição de luz mais concentrada quando observado na banda B.

Para garantir que a forma do perfil na região interna não está sendo alterada no processo de promediamento, repetimos o ajuste usando apenas o perfil ao longo do semi-eixo maior médio da galáxia (isto é, os dois semi-eixos superpostos). Embora os parâmetros obtidos variem levemente, o resultado não muda no sentido de que o ajuste com a exponencial continua sendo melhor do que com a lei $r^{1/4}$, e o raio efetivo em B continua sendo muito menor do que em V, R e I.

Alguns casos encontrados na literatura em que o bojo é descrito por uma lei exponencial são NGC 4474 (Burstein 1979), NGC 4565 (Jensen 1982), e NGC 4371 (Wosniak e Pierce 1991). Pence tenta explicar a distribuição de luz do bojo de NGC 4565 sugerindo que ele, na verdade, é uma barra vista pela extremidade; Wosniak e Pierce sugerem que a distribuição de NGC 4371 seja consequência da triaxialidade do bojo; Burstein não apresenta nenhuma explicação para NGC 4474. Também a galáxia NGC 6771, estudada anteriormente por nós (Schröder 1984) apresenta o mesmo comportamento. Uma característica comum entre NGC 4474, NGC 4565, NGC 4371 e NGC 6771 é que todas elas têm alta inclinação, o que não é compartilhado por NGC 7412.

Banda	Região (")	Lei $r^{1/4}$			Lei exponencial			
		I_e ($m/''^2$)	r_e^* (", kpc)	r_e (", kpc)	Região (")	I_0 ($m/''^2$)	r_0^* (", kpc)	r_0 (", kpc)
		σ	σ (")			σ	σ (")	
B	2.5 - 6	23.3	23, 2.5	27, 3.0	1.5 - 6	18.87	2.9, 0.3	3.5, 0.4
		0.2	3			0.02	0.05	
V	2.5 - 6	23.9	53, 5.8	63, 7.0	1.5 - 6	18.66	3.5, 0.4	4.2, 0.5
		0.1	5			0.01	0.04	
R	2.5 - 6	23.4	60, 6.5	72, 7.8	1.5 - 6	18.03	3.5, 0.4	4.2, 0.5
		0.1	5			0.01	0.04	
I	2.5 - 6	22.85	60, 6.7	72, 8.0	1.5 - 6	17.46	3.43, 0.4	4.1, 0.5
		0.06	3			0.02	0.07	

Tabela VI.8: Ajuste do Bojo de NGC 7412.

Com os parâmetros da exponencial ajustada à região externa acontece o oposto do que ocorre na região interna: o brilho superficial central $\mu_0(B) (< 20)$, é muito elevado comparado com valores típicos de discos, ao passo que a escala de distância r_0 , (~ 2 kpc), é marginalmente pequena: Boroson (1981) encontra para 7 galáxias de tipo morfológico Sbc-Sc, os valores médios (em B) de $\mu_0 = 21.40 \pm 0.86$, $r_0 = 5.64 \pm 3.88$; Kent (1985), encontra $\mu_0 = 20.19 \pm 0.56$, $r_0 = 2.6 \pm 1.0$. (em r). Os parâmetros que encontramos indicam um disco que parece oco no centro, e íngreme na parte externa. Mas isso não é uma conclusão, pois como a galáxia não coube totalmente dentro do CCD, e portanto não observamos o seu disco completo, não sabemos como ele realmente se comporta. De qualquer forma a nossa decomposição confirma que o brilho superficial central e a escala de distância são dois parâmetros muito acoplados, de maneira que se μ_0 é grande, r_0 é grande, e se μ_0 é pequeno, r_0 também é.

Banda	Região (")	I_0 (m/'' ²)	r_0^* (", kpc)	r_0 (", kpc)
		σ	σ (")	
V	50 - 60	19.81	21, 2.3	25, 2.8
		0.04	0.3	
R	50 - 60	19.39	21, 2.3	25, 2.8
		0.03	0.2	7
I	50 - 60	19.12	22, 2.5	27, 2.9
		0.05	0.4	

Tabela VI.9: Ajuste da Região Externa de NGC 7412.

VI.9 Distribuição de Cor

O aspecto mais marcante nos perfis de cor mostrados nas Figuras VI.9 e VI.10 é a cor azul do núcleo em B-V. Isso provavelmente decorre de algum tipo de atividade em andamento no núcleo da galáxia, já detectada em estudos espectroscópicos realizados por Veron-Cetty e Veron (1986), e por Kollatschny e Fricke (1989), que mostraram que a galáxia tem espectro nuclear tipo região III.

A não ser pelo núcleo, o aspecto médio de todos os perfis mostra uma tendência de eles se tornarem levemente mais azuis para fora, o que deve estar relacionado à estrutura espiral externa da galáxia, conforme comentamos na seção VI.4.

No quadrante SE da galáxia, existe uma região em $r \sim 25''$, antecedendo o braço espiral mais desenvolvido, que aparece muito absorvida em B (ver perfis B-V ao longo dos eixos menores da galáxia e da barra).

As Figuras VI.13 e VI.14 mostram os mapas de cor B-V e V-I para a galáxia. O contraste melhor é obtido no mapa V-I, onde aparece de forma mais nítida a diferença de cor entre a parte interna da galáxia, mais vermelhá, e a parte externa, mais azul. É evidente a presença de poeira na parte interna dos braços espirais, concentrada principalmente nas proximidades de sua conexão com o bojo, formando estreitos braços espirais vermelhos. Nesse mapa, o núcleo não aparece com forma regular, parecendo estar constituído de um

conjunto de manchas mais azuis do que o bojo em geral.

As cores do núcleo, integradas dentro de um diafragma de 6" de diâmetro (665 pc) são: $(B - V)^{\circ} = 0.3 \pm 0.1$, $(V - R)^{\circ} = 0.5 \pm 0.1$, e $(V - I)^{\circ} = 0.9 \pm 0.1$. Ao serem comparadas com as cores sintéticas de Bica, Alloin e Schmidt (1990), mostram-se compatíveis com uma combinação de dois eventos de formação estelar, um ocorrido há $\sim 4 \times 10^6$ anos e que contribui com 5% de massa e 18% em fluxo, e outro ocorrido há $\sim 10^7$ anos, contribuindo com 5% em massa e 80% em fluxo, superpostos à população mais antiga da galáxia. A combinação resultante desses três tipos de população tem cores $(B-V) = 0.31$, $(V-R) = 0.48$ e $(R-I) = 1.0$, que são idênticas às cores da galáxia dentro da precisão encontrada. Comparando as cores fotoelétricas UBV com o modelo de Larson e Tinsley (1977), vemos que as cores UBV no menor diafragma disponível, com abertura de $16'' = 1.8$ kpc, valem $B-V = 0.75$, $U-B = 0.25$, sendo compatíveis com eventos de formação estelar não mais recentes do que 10^8 anos, com contribuição em massa de 5%. Mas se considerarmos as cores num diafragma grande, de $262''$, então a galáxia fica mais azul do que em geral são as galáxias do Atlas de Hubble, se ajustando ao modelo de um sistema que tenha experimentado explosões de formação estelar com idade de $\sim 2 \times 10^7$ anos.

A imagem de NGC 7412 mostra um grande número de condensações brilhantes ao longo dos braços espirais. Para estudar a natureza dessas condensações, medimos suas cores integradas em diafragmas de 5" de diâmetro. Na Figura VI.15, mostramos as cores B-V dessas regiões plotadas em função de sua distância ao centro, onde aparece uma tendência geral de que as condensações mais distantes sejam mais azuis. Essa tendência pode ser interpretada como um gradiente de metalicidade ou efeito de evolução dos aglomerados. A Figura VI.16 mostra os diagramas V-R vs. B-V e V-I vs. V-R para essas regiões, juntamente com a localização de aglomerados estelares de diferentes idades, de acordo com a notação de Bica, Alloin e Schmidt (1990). A posição das regiões na figura sugere que sejam aglomerados com idades entre $\sim 3 \times 10^6$ (RHII) e $\sim 7 \times 10^8$ anos (I1).

VI.10 Perfis Azimutais

Os perfis azimutais em função do ângulo azimutal θ com respeito ao eixo maior da galáxia são mostrados nas Figuras VI.17 para as bandas B, V, R e I. O ângulo azimutal tem origem no semi-eixo maior NE e é contado do leste para o norte. Os valores ao longo de cada perfil são intensidades médias relativas $\frac{(I-I_{ceu})}{I_{ceu}}$, calculadas em setores de anéis elípticos de elipticidade constante, com a mesma forma e orientação das isofotas externas. Os primeiros 5 anéis têm largura de 5", e os 5 últimos têm largura de 10". Os diferentes perfis se referem a diferentes anéis, com diferentes distâncias médias desde o centro da galáxia.

Nos perfis com r entre 5.15" e 14.7" aparecem dois picos, um em $\theta = 60$ e outro em $\theta = 280$, que se mantém nesses mesmos ângulos à medida que aumenta a distância radial. Considerando, como fizemos para NGC 5757 e IC 1091, que os picos em posições angulares constantes podem ser causados por uma barra, então a galáxia pode ter uma barra de 30" de diâmetro.

Para r maior do que 15", os picos da distribuição já aparecem deslocados em ângulo, indicando a presença de braços espirais. O pico mais à direita é mais intenso e mais definido, correspondendo ao braço principal da galáxia.

VI.11 Decomposição de Fourier

Para NGC 7412 fizemos dois tipos de decomposição, a primeira usando uma base de senos e cossenos, mais adequada para analisar estruturas do tipo barra (Elmegreen e Elmegreen 1985; Ohta, Hamabe e Wakamatsu 1990; Odewhan 1991), e a segunda usando uma base de espirais logarítmicas, adequada para analisar a estrutura espiral (Considère e Athanassoula 1982, 1988). No primeiro método, a presença de uma barra deve ser detectada como uma componente 2θ muito forte (Ohta, Hamabe e Wakamatsu 1990; Odewahn 1991). No segundo método, o número da componente dominante representa a multiplicidade dos braços.

VI.11.1 Análise de Fourier com Base de Senos e Cossenos

A análise foi feita promediando a distribuição de luz dentro dos anéis elípticos, da maneira descrita na seção VI.8.

As Tabelas VI.10 e VI.11 mostram as componentes de $m = 0$ a $m = 6$ dentro de cada anel, e a Figura VI.18 mostra as amplitudes relativas (I_m/I_0) como função do raio representativo de cada anel.

A amplitude média de Fourier para a banda I mostra uma componente I_2 (correspondente a $m = 2$) levemente predominante em todo o intervalo entre $4''$ e $70''$. Já na banda B essa componente é predominante somente para raios bem centrais ($< 10''$) ou para raios entre $40''$ e $65''$, sendo que para outros raios a componente $m = 1$ é levemente mais forte. A forma da distribuição I_2/I_0 parece indicar três componentes bipolares diferentes: a primeira é muito pequena, se estendendo somente até $15''$, que interpretamos como sendo a barra; a segunda domina na banda I entre $20''$ e $40''$, e pode ser devida aos dois braços espirais principais; em B a distribuição fica dominada pela componente assimétrica devida às regiões HII sobre os braços; a terceira componente parece ser devida ao sistema espiral mais externo. As amplitudes relativamente grandes das componentes ímpares indicam uma assimetria na distribuição de brilho da galáxia, que pode estar sendo causada pela distribuição irregular das regiões HII ao longo dos braços espirais, ou mesmo por uma subdivisão assimétrica dos braços.

VI.11.2 Análise de Fourier Usando a Base de Espirais Logarítmicas

O programa utilizado nesta decomposição foi desenvolvido por Ivânio Puerari (Instituto de Física, UFRGS), e os principais resultados do método utilizado estão publicados em Puerari e Dottori (1992). Nesse tipo de análise, a amplitude de uma componente está definida por

$$A(m, p) = \frac{\int I(r, \theta) \exp(i(m\theta + p \ln r)) dr d\theta}{\int I(r, \theta) dr d\theta}$$

onde r e θ são coordenadas polares, $I(r, \theta)$ é a intensidade na posição (r, θ) , m representa o número de braços e p é a variável associada ao “pitch angle” i_p , que representa o grau de enrolamento dos braços, definido por $\tan i_p = -m/p$. Neste método, uma barra aparece como uma componente $m = 2$ centrada em $p = 0$, o que corresponde a $i_p = 90$. Uma componente $m = 2$ descentrada representa dois braços, com grau de enrolamento definido pela equação acima.

Com o objetivo de melhor localizar a região de dominância de cada componente, aplicamos a análise a três regiões diferentes da galáxia, a primeira (R1) abrangendo um raio entre 2.5” e 25” em torno do centro, a segunda (R2) abrangendo um anel entre 25” e 50”, e a terceira (R3) abrangendo um anel entre 50” e 70”. As Figuras VI.19 e VI.20 mostram os resultados, para as bandas B e I. Os valores são listados nas Tabelas VI.12 e VI.13.

A componente $m = 2$ é dominante na região interna, com um “pitch angle” muito aberto (em torno de 80°) o que pode representar uma barra. Na região intermediária ficam importantes as componentes $m = 2$ e $m = 4$, que podem representar uma espiral de dois braços, sendo a componente 4 provavelmente um harmônico da 2, uma vez que os “pitch angles” são praticamente iguais. Na região mais externa as amplitudes das diferentes componentes ficam mais , parecidas, passando a aparecer também a contribuição das componentes ímpares, principalmente $m = 3$. Note-se, no entanto, que a componente $m = 1$, que predomina nesta região em B, e que é importante tanto em B quanto em I na região interna, não é devida à estrutura espiral, mas sim à assimetria na distribuição de brilho da galáxia (Considère e Athanassoula 1982, 1988).

A Figura VI.21 mostra as componentes $m = 2$ para diferentes regiões. As regiões 1, 2 e 3 têm o domínio descrito anteriormente. A região 4 corresponde à soma das regiões 1 e 2 e a região 5 é a soma das regiões 1, 2 e 3. Fica bem claro que o pico de $m = 2$ centrado em $p = 0$, que representa uma estrutura alongada tipo barra, é dominante sobre os picos descentrados em p , que representam braços espirais com periodicidade 2. Isso é apenas um efeito de que a intensidade dos pontos na região central, onde a estrutura espiral não é bem definida, é maior do que nas regiões onde dominam os braços.

$\langle R \rangle$	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	θ
5.15	0.210	0.0941	0.1401	0.0229	0.0594	0.0190	0.0055	43.28
9.82	0.088	0.1097	0.2289	0.0381	0.0179	0.0245	0.0095	-19.17
14.71	0.065	0.2820	0.1294	0.0648	0.1498	0.0116	0.0149	-25.57
19.66	0.051	0.2346	0.1138	0.1125	0.0460	0.0942	0.0632	2.07
24.63	0.041	0.3440	0.3172	0.1753	0.2015	0.1796	0.1759	1.40
32.39	0.034	0.4166	0.3468	0.1541	0.1565	0.1094	0.0672	-17.27
42.30	0.042	0.1985	0.4620	0.0744	0.4847	0.1792	0.2002	41.42
52.24	0.032	0.3138	0.7692	0.2986	0.3171	0.1679	0.0235	28.57
62.20	0.016	0.7352	0.8776	0.4498	0.3292	0.1798	0.0980	23.95
72.17	0.010	1.0830	0.7316	1.0017	0.5308	0.2319	0.1725	11.70

Tabela VI.10: Componentes de Fourier com base de senos e cossenos para NGC 7412 - B.

$\langle R \rangle$	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	θ
5.15	0.813	0.1078	0.1049	0.0271	0.0434	0.0200	0.0028	43.05
9.82	0.413	0.0452	0.1316	0.0402	0.0262	0.0125	0.0086	24.14
14.71	0.293	0.0915	0.1268	0.0301	0.0718	0.0183	0.0151	23.28
19.66	0.226	0.0901	0.1559	0.0397	0.0290	0.0210	0.0195	18.74
24.63	0.187	0.1479	0.2482	0.0881	0.0732	0.0428	0.0415	16.79
32.39	0.159	0.1580	0.3117	0.0614	0.0665	0.0499	0.0409	26.58
42.30	0.151	0.0428	0.3548	0.0221	0.2128	0.1003	0.0592	42.31
52.24	0.110	0.1541	0.4997	0.2270	0.1573	0.0853	0.0132	32.27
62.20	0.060	0.0963	0.5684	0.3360	0.1863	0.1007	0.0673	29.55
72.17	0.036	0.0551	0.5893	0.4629	0.2778	0.0344	0.0458	17.24

Tabela VI.11: Componentes de Fourier com base de senos e cossenos para NGC 7412 - I.

	R1			R2			R3		
	p_{max}	$A(p_{max})$ ($\times 10^{-3}$)	i_p	p_{max}	$A(p_{max})$ ($\times 10^{-3}$)	i_p	p_{max}	$A(p_{max})$ ($\times 10^{-3}$)	i_p
m = 1	-0.25	6.76	75°	-1.00	2.22	45°	2.75	6.85	19°
m = 2	-0.50	14.5	75°	3.00	3.12	-33°	2.00	4.49	-45°
m = 3	-5.50	1.14	28°	1.75	1.14	-59°	6.25	4.25	-25°
m = 4	-0.25	2.38	86°	5.25	3.06	-37°	2.50	4.87	-57°
m = 5	3.50	0.92	-55°	2.75	1.28	-61°	6.00	2.80	-39°
m = 6	4.50	0.82	-53°	5.75	1.37	-46°	-1.50	2.29	75°

Tabela VI.12: Componentes de Fourier com base de espirais logarítmicas para NGC 7412-B. p_{max} é o valor de p para o qual $A(m, p)$ é máximo.

	R1			R2			R3		
	p_{max}	$A(p_{max})$ ($\times 10^{-3}$)	i_p	p_{max}	$A(p_{max})$ ($\times 10^{-3}$)	i_p	p_{max}	$A(p_{max})$ ($\times 10^{-3}$)	i_p
m = 1	-0.50	17.3	-63°	7.50	7.29	-7°	0.50	5.71	-63°
m = 2	-0.25	34.40	82°	2.00	20.31	-45°	0.75	1.18	-69°
m = 3	0.00	4.06	90°	3.00	5.33	-45°	4.50	9.41	-33°
m = 4	0.00	5.03	90°	4.25	10.62	-43°	3.50	7.37	-48°
m = 5	-0.75	1.77	81°	2.00	4.24	-68°	4.50	5.79	-48°
m = 6	0.50	2.03	-85°	5.25	3.75	-48°	-0.50	3.66	85°

Tabela VI.13: Componentes de Fourier com base de espirais logarítmicas para NGC 7412-I.

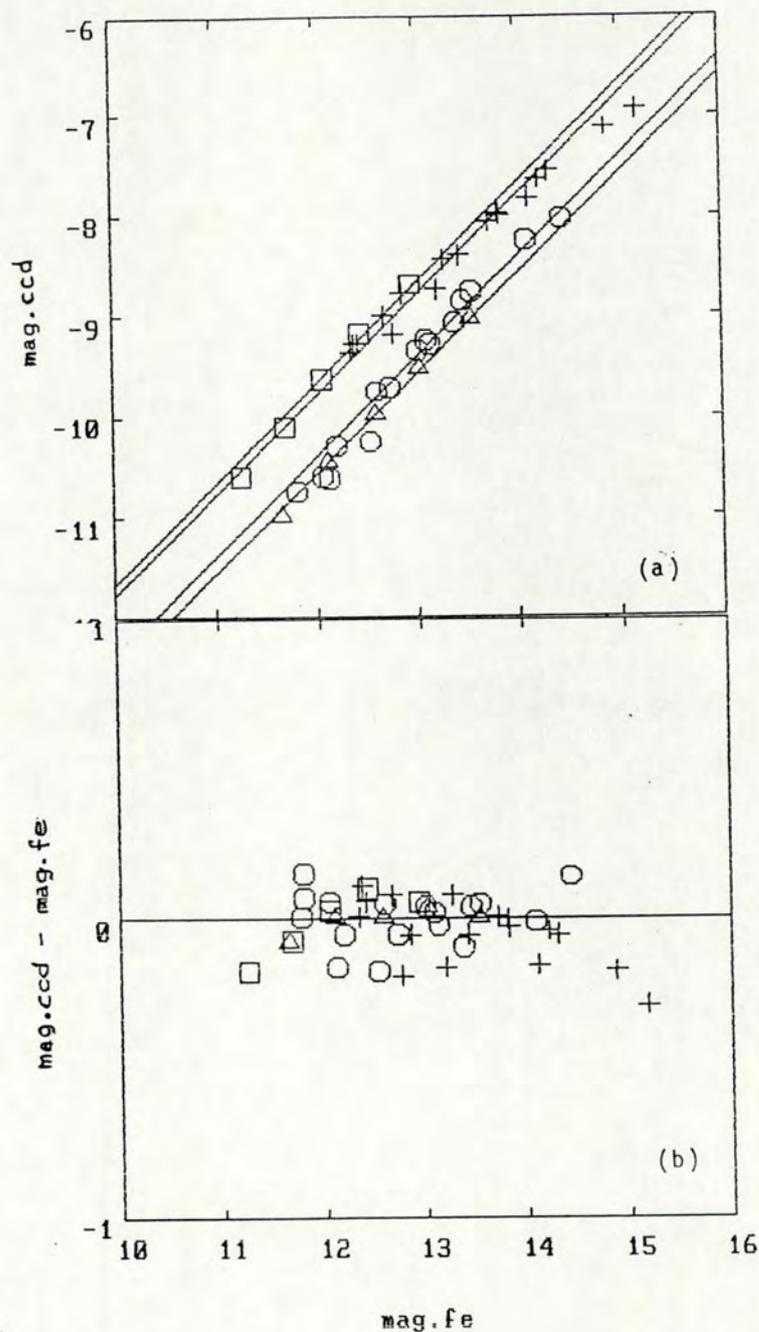


Figura VI.1: a) Magnitudes ccd instrumentais plotadas em função das magnitudes fotoelétricas; b) Diferenças entre as magnitudes ccd calibradas e as magnitudes fotoelétricas plotadas em função das magnitudes fotoelétricas. Os símbolos são: cruces: frame B; círculos: frame V; triângulos: frame R; quadrados: frame I.

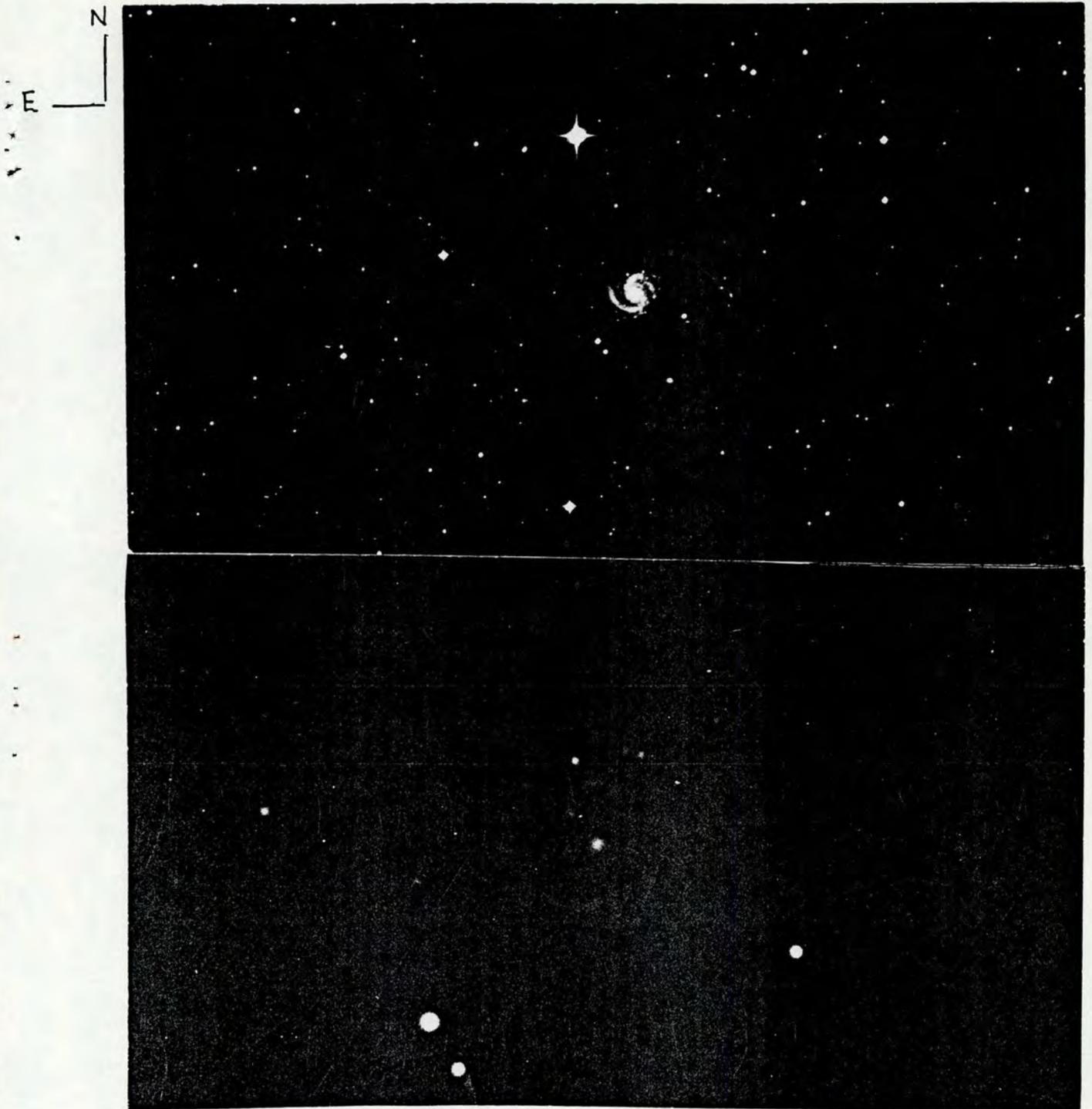


Figura VI.2: Fotografias de NGC 7412. Foto superior: Placa R do ESO. A orientação é norte para cima, leste para a esquerda. A escala é $11.5''/\text{mm}$. Foto inferior: Placa IIa-D (V) tomada com a câmara Cassegrain acoplada ao telescópio de 160 cm do LNA. O tempo de exposição foi 120 min. A escala é $2.75''/\text{mm}$. A orientação é a mesma da placa superior.

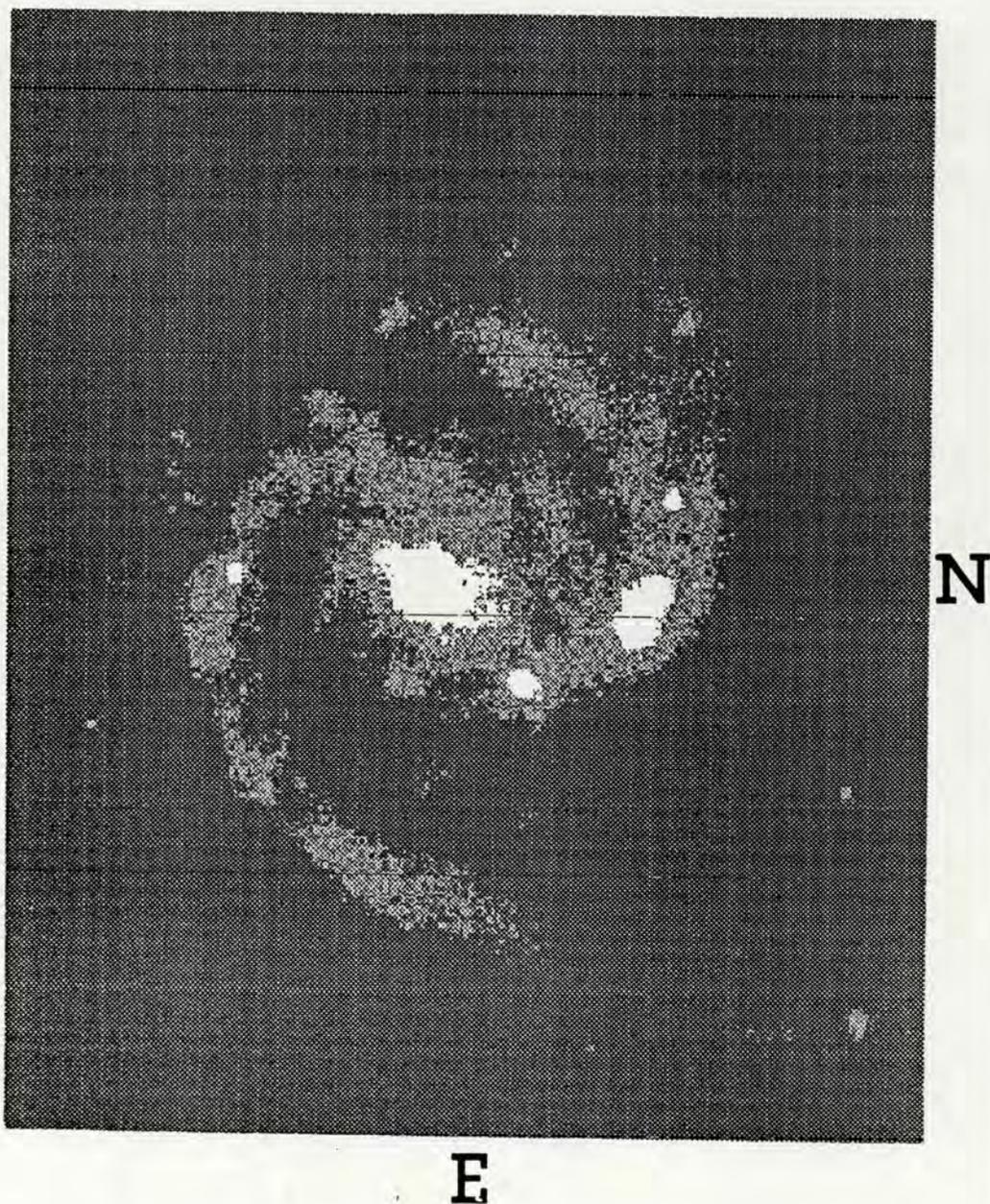


Figura VI.3: Imagem CCD de NGC 7412 com filtro B. A orientação é indicada. A escala é $1\text{mm} = 1.05''$.

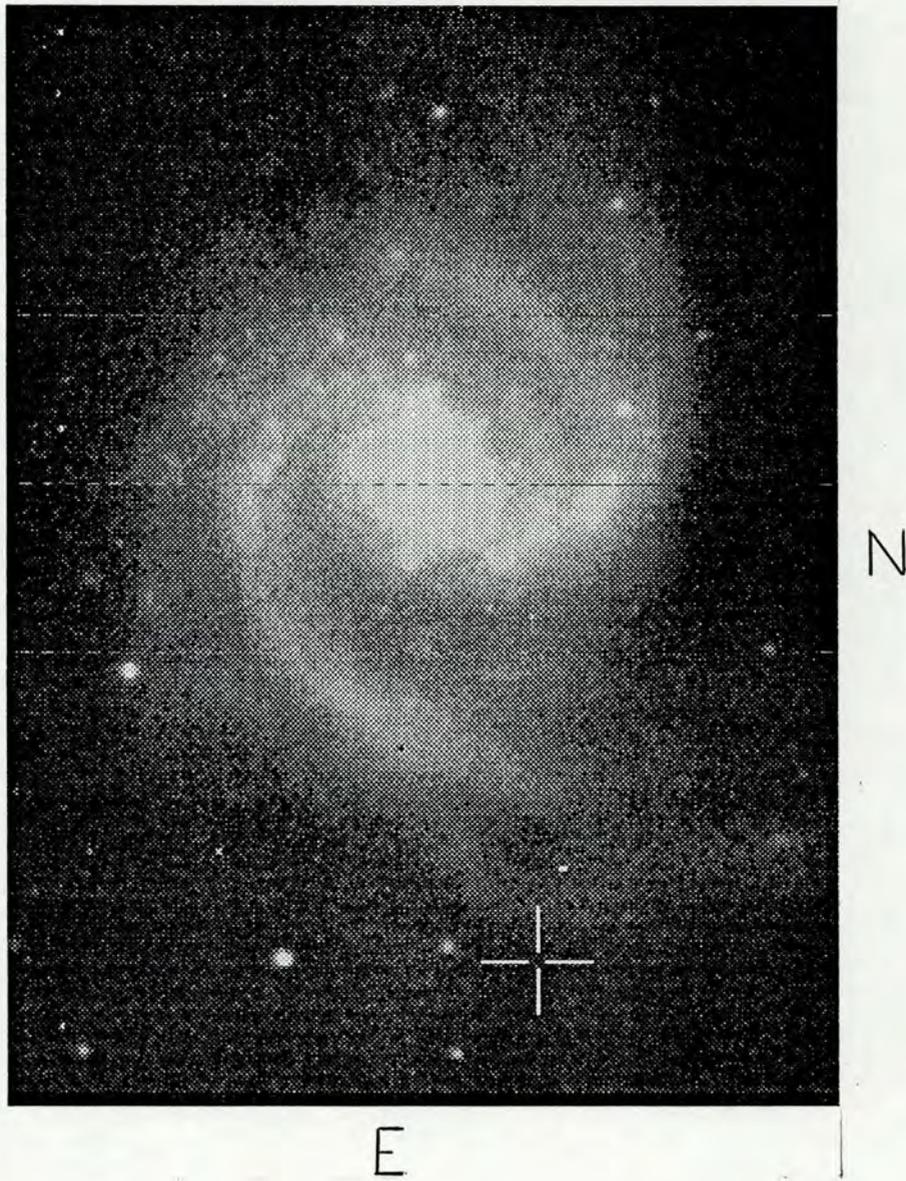


Figura VI.4: Imagem CCD de NGC 7412 com filtro I. A orientação é indicada. A escala é $1\text{mm} = 1.33''$

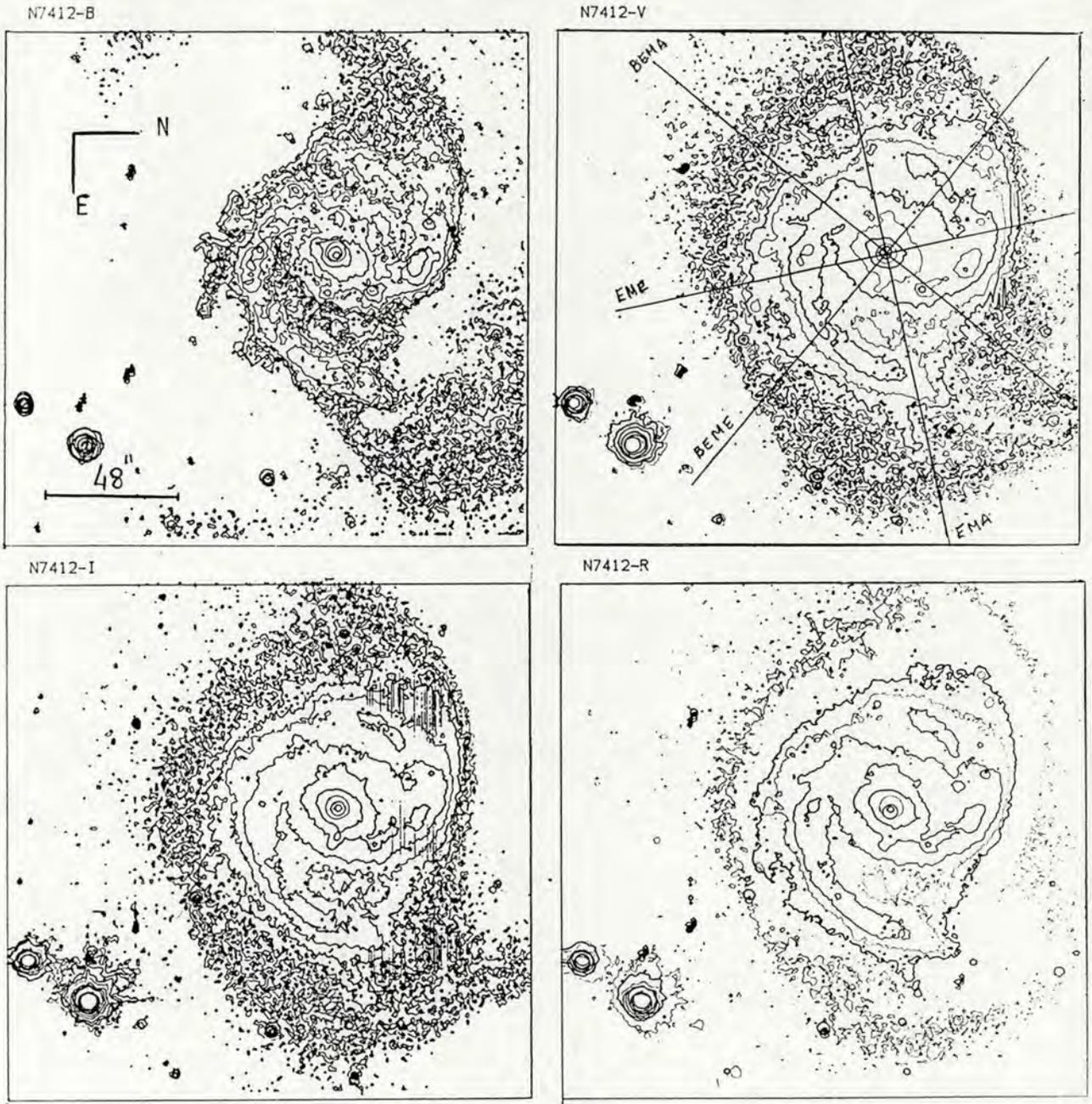


Figura VI.5: Mapas de isofotas de NGC 7412 em B, V, R e I. A orientação é indicada no mapa B. Os níveis isofotais mostrados são: μ_B de 19.5 a 23.5, μ_V de 19.0 a 24.0, μ_R de 18.5 a 23.5, e μ_I de 18.0 a 23.0. O intervalo entre os níveis é 0.5 mag em todos os mapas.

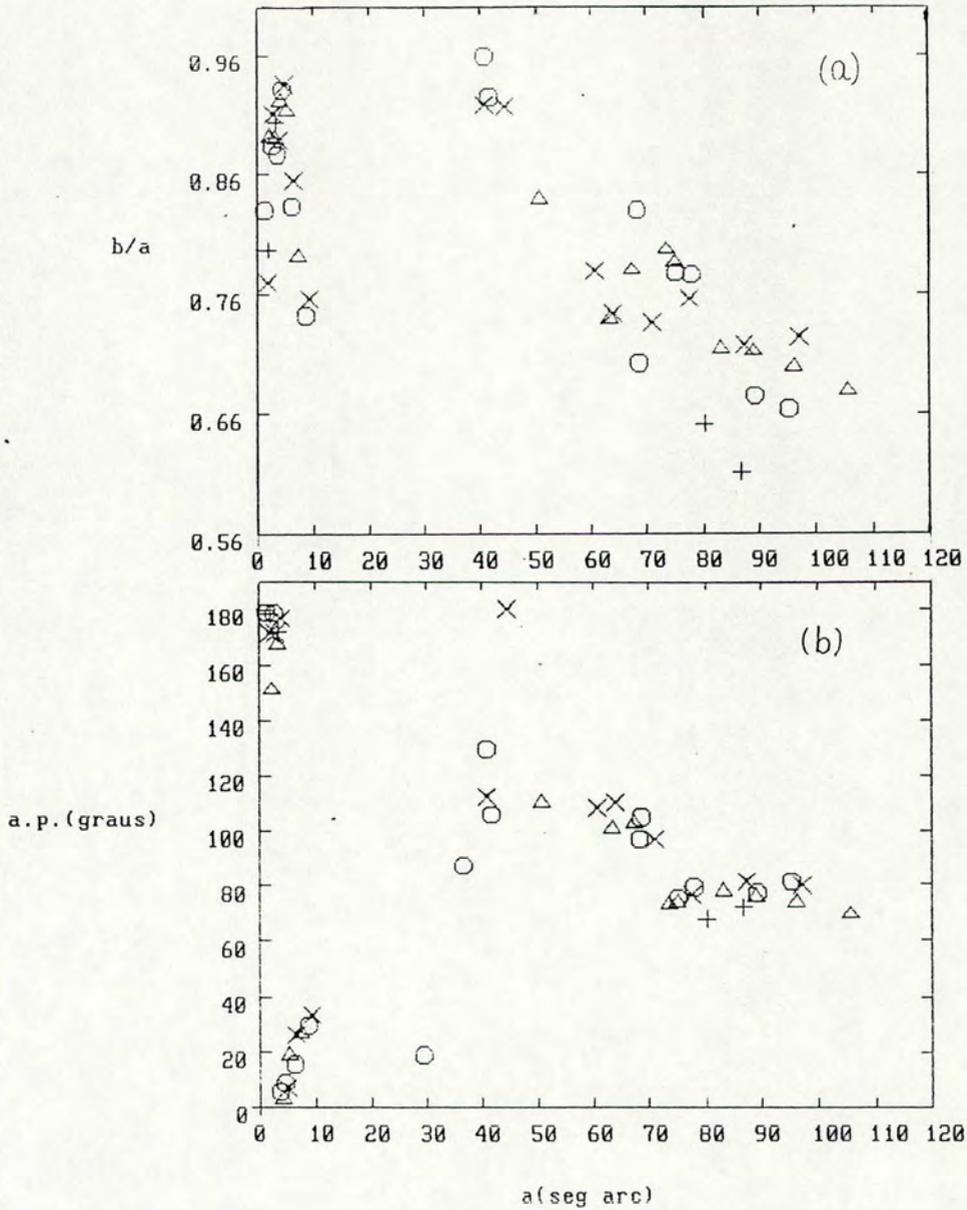


Figura VI.6: (a) Razões axiais $\frac{b}{a}$ das isofotas B (cruzes retas), V (triângulos), R (círculos) e I (cruzes inclinadas) baseadas no ajuste de elipses. O parâmetro a é o semieixo maior da elipse, e b é o semi-eixo menor. (b) Ângulos de posição, em graus, das mesmas isofotas.

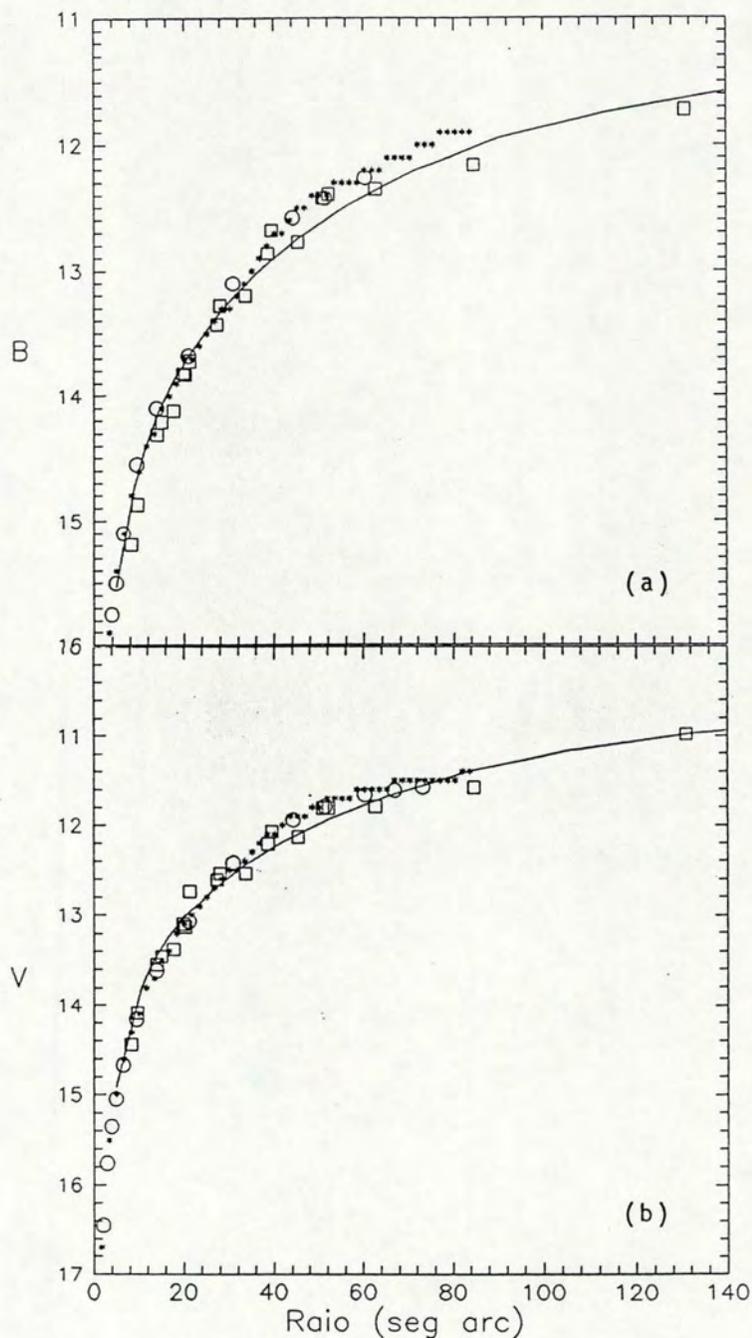


Figura VI.7: (a) Curva de crescimento padrão B adotada (linha contínua), e os dados de fotometria fotoelétrica em multiaberturas (quadrados), fotometria ccd integrada em isofotas (círculos), e fotometria ccd integrada em elipses (asteriscos). (b) O mesmo para a banda V.

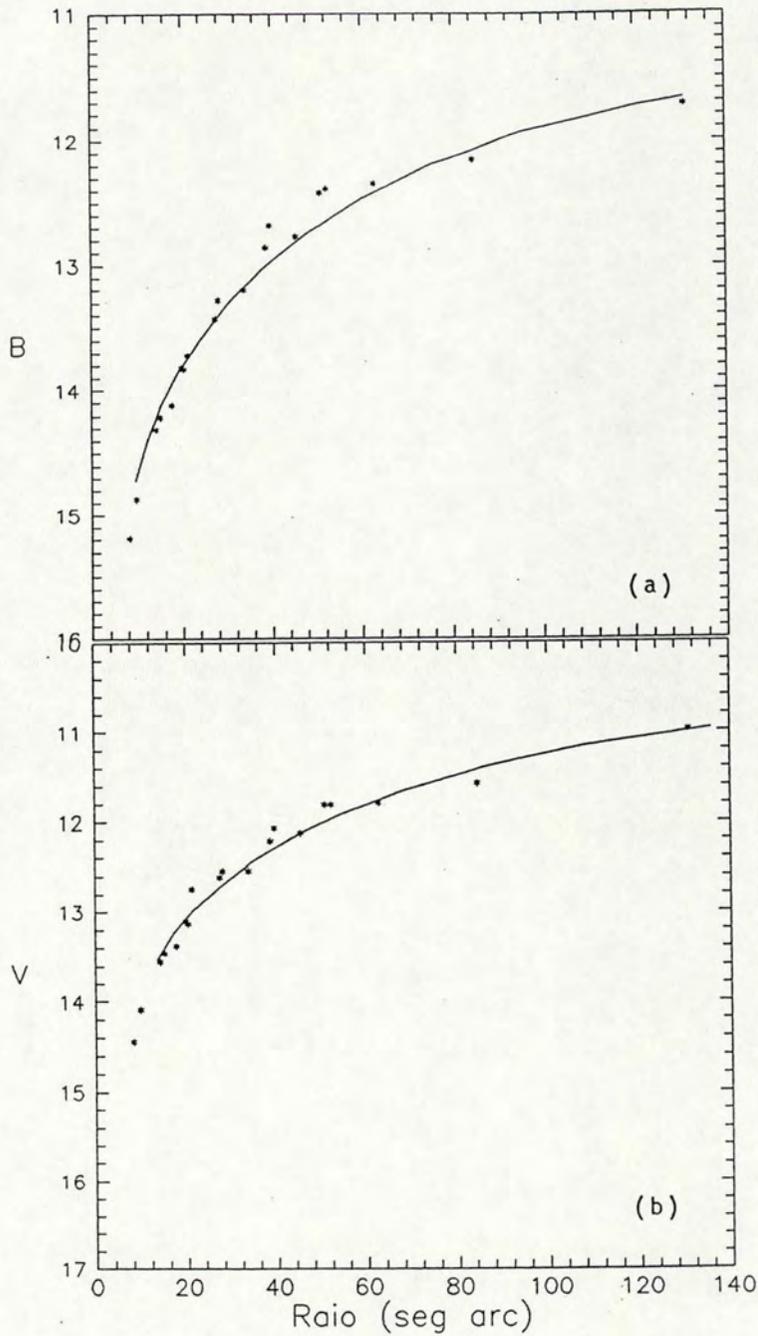


Figura VI.8: (a) Curva de crescimento padrão em B ajustada à fotometria fotoelétrica em multiaberturas. (b) O mesmo para a banda V.

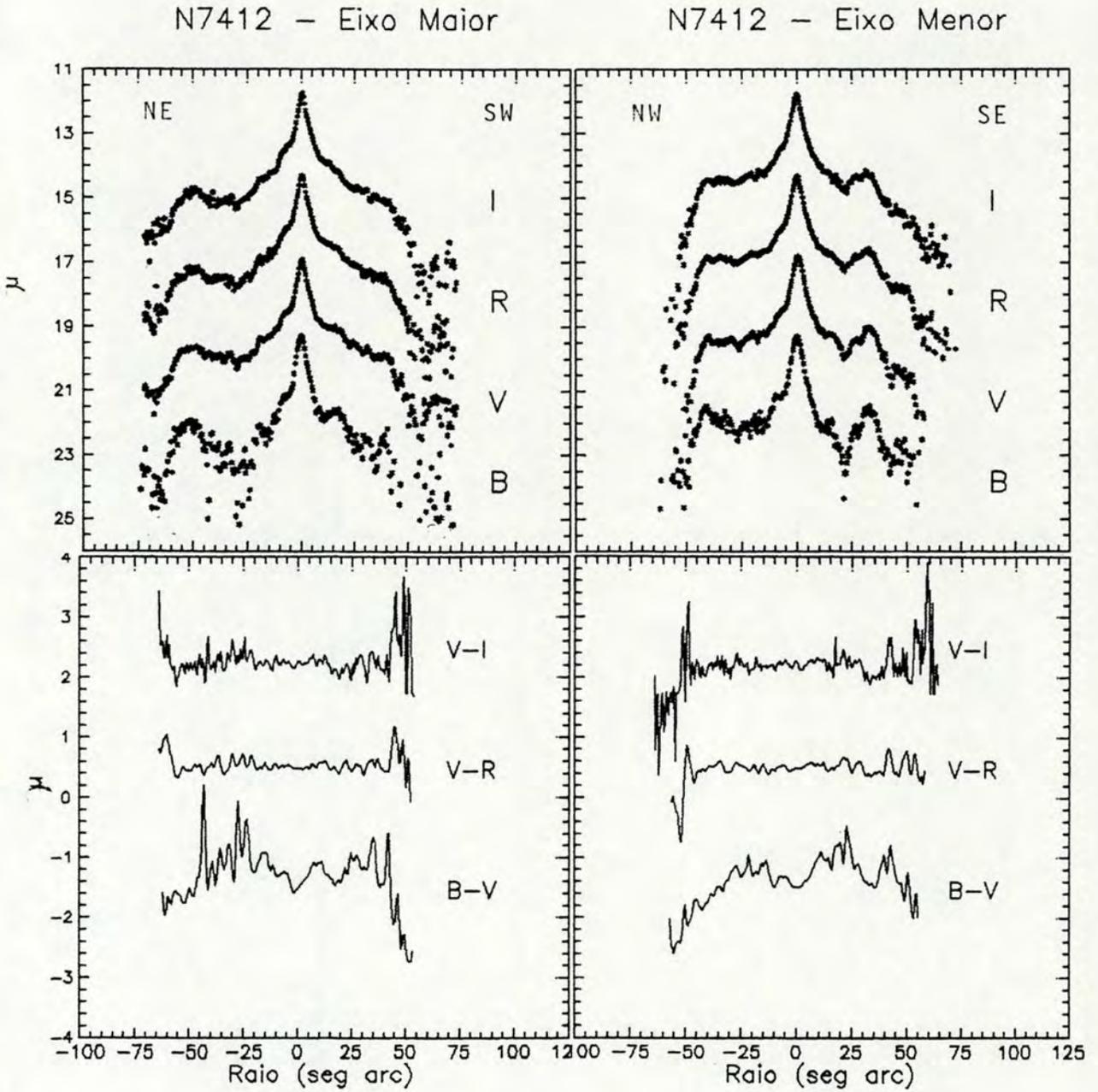


Figura VI.9: Perfis de luminosidade (quadros superiores), e de cor (quadros inferiores), ao longo dos eixos maior e menor da galáxia. Os perfis V, R, I, B-V e V-I, estão deslocados de -2, -4, -6, -2.0 e +1.2 magnitudes, respectivamente.

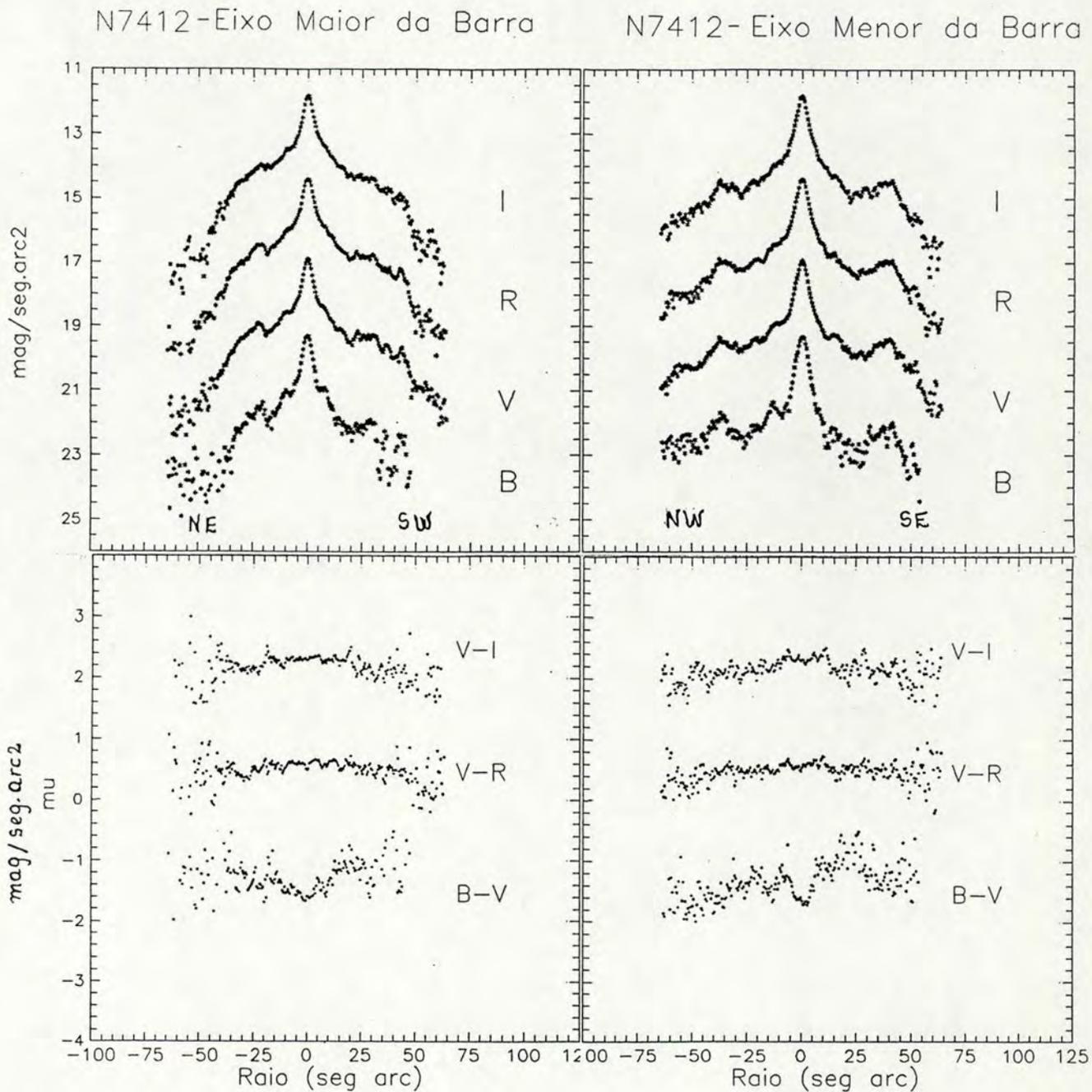


Figura VI.10: Perfis de luminosidade (quadros superiores), e de cor(quadros inferiores), ao longo dos eixos maior e menor da barra.Os perfis V, R, I, B-V e V-I, estão deslocados de -2, -4, -6, -2.0 e +1.2 magnitudes, respectivamente.

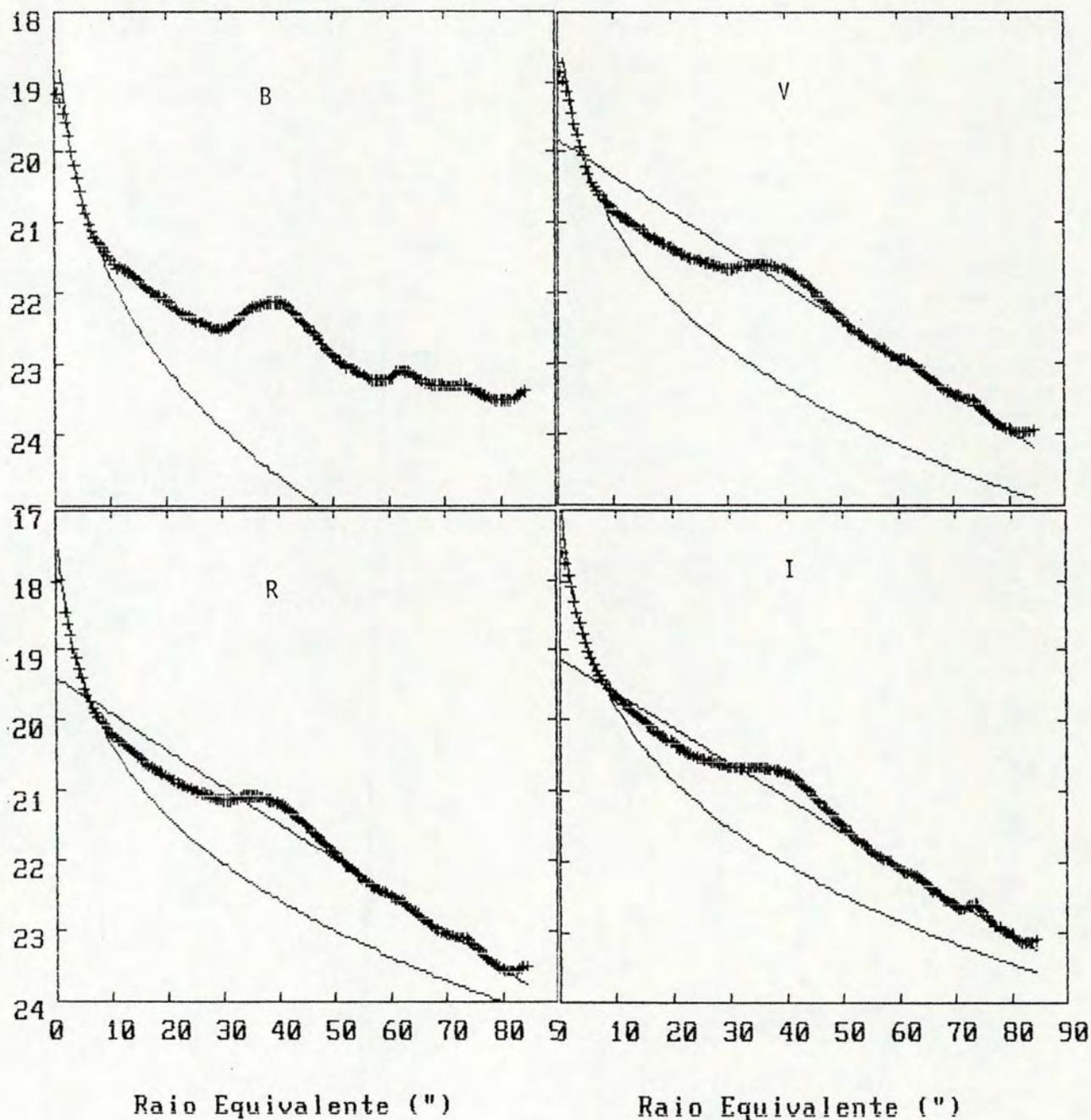


Figura VI.11: Perfis promediados elipticamente, ajustados com uma lei de de Vaucouleurs na região entre 2.5" e 6" e com uma lei exponencial na região entre 50" e 80". Os parâmetros do ajuste são mostrados nas Tabelas VI.8. Para o perfil B não foi feito o ajuste da exponencial.

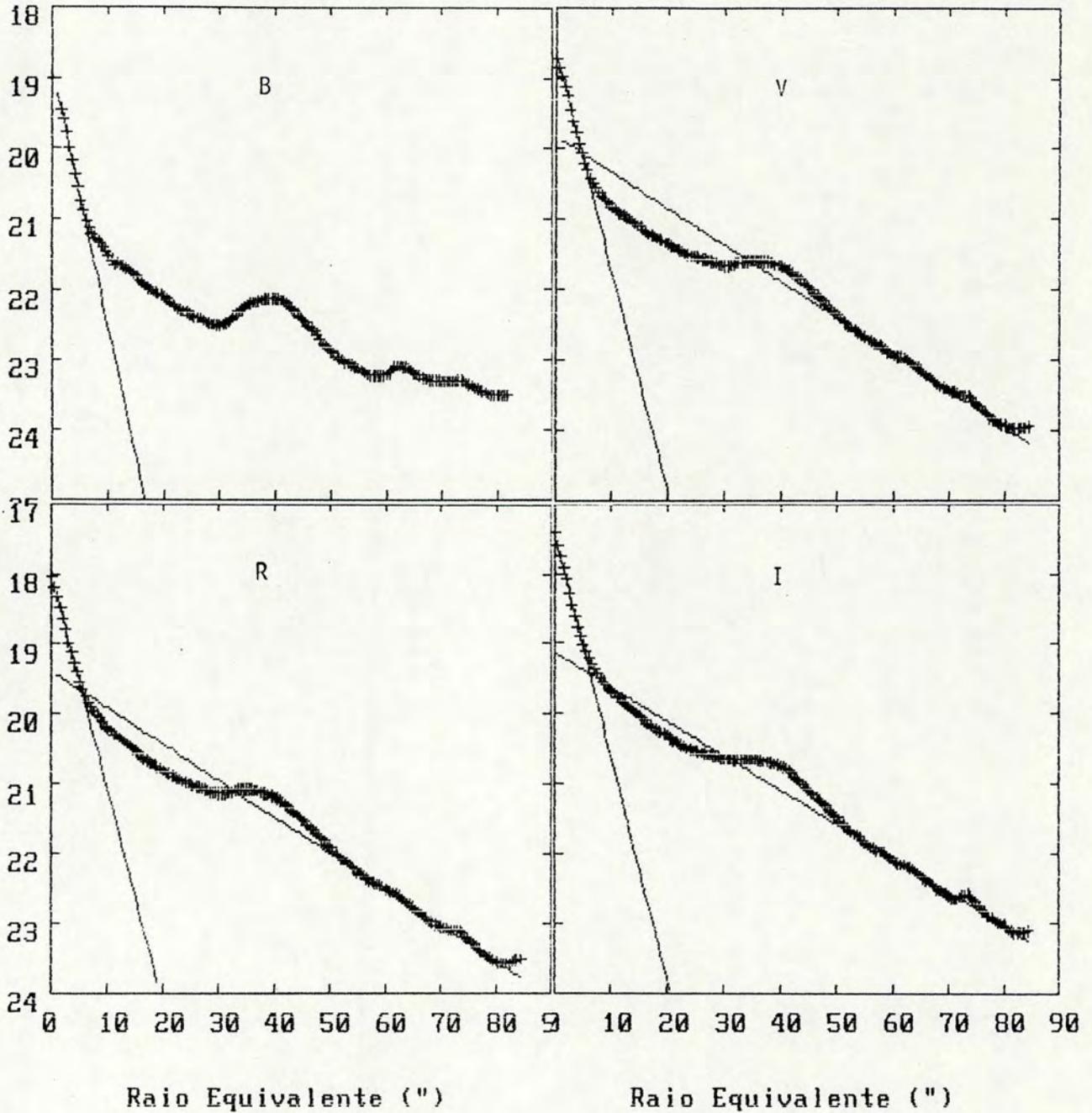


Figura VI.12: Perfis promediados elipticamente, ajustados com duas exponenciais: a primeira na região entre 1.5" e 6", e a segunda na região entre 50" e 80". Os parâmetros do ajuste da exponencial interna são mostrados na Tabela VI.8 . Para o perfil B não foi feito o ajuste da exponencial na parte externa.

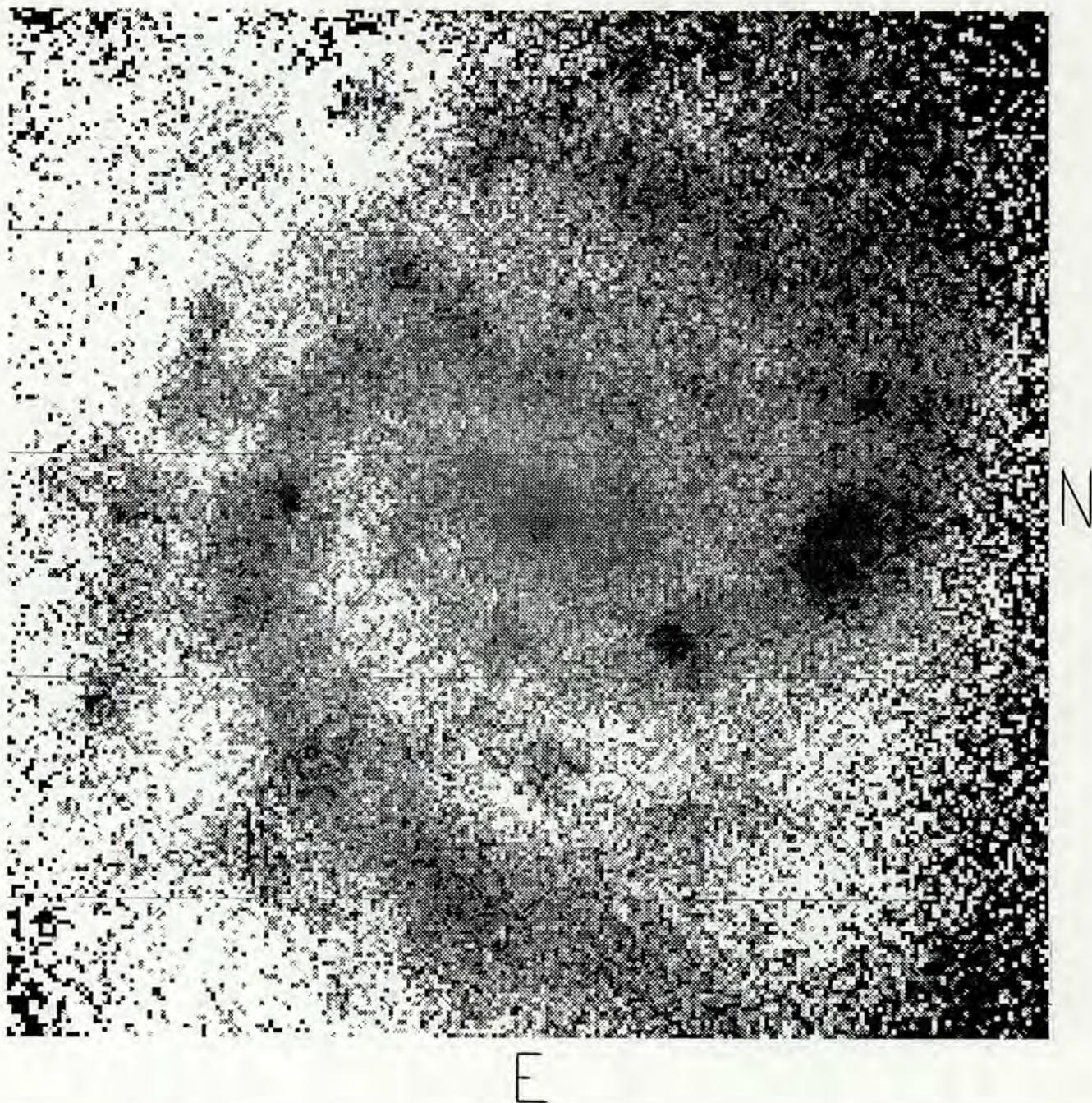


Figura VI.13: Imagem em cor B-V de NGC 7412. Cores mais escuras indicam regiões mais azuis, e cores mais claras regiões mais vermelhas. A escala é $0.68''/\text{mm}$.

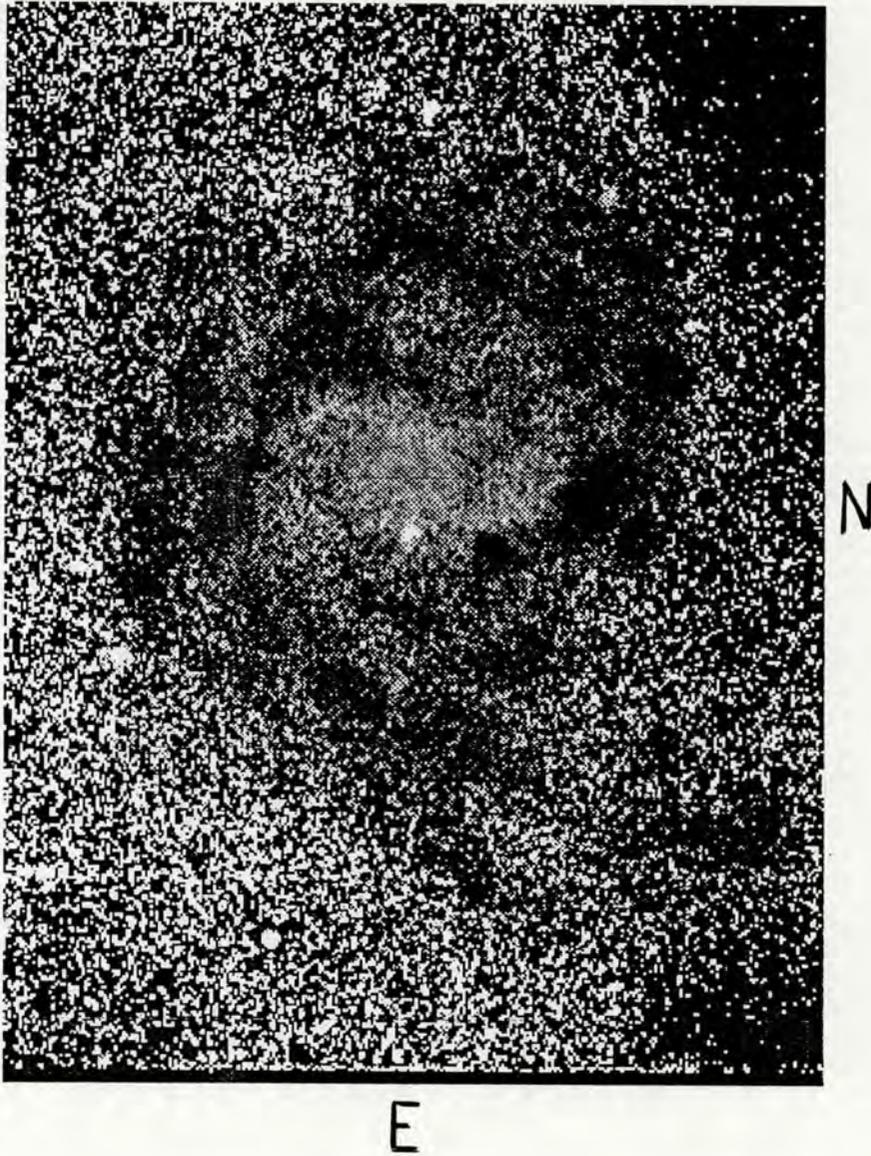


Figura VI.14: Imagem em cor V-I de NGC 7412. Cores mais escuras indicam regiões mais azuis, e cores mais claras regiões mais vermelhas. A escala é $1.36''/\text{mm}$.

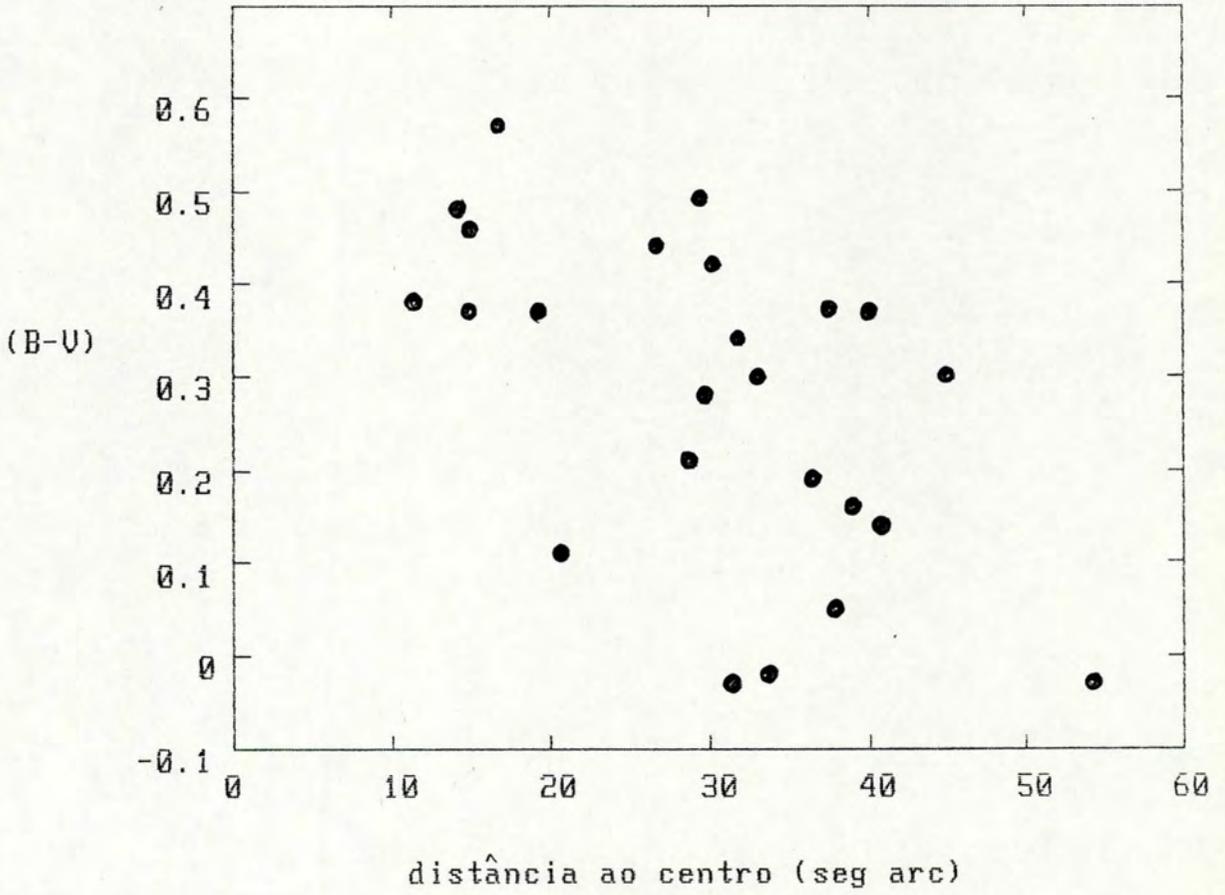


Figura VI.15: Cores $(B-V)$ de diversas condensações brilhantes de NGC 7412, integradas em diafragmas de $5''$ de diâmetro, plotadas em função da distância ao centro da galáxia.

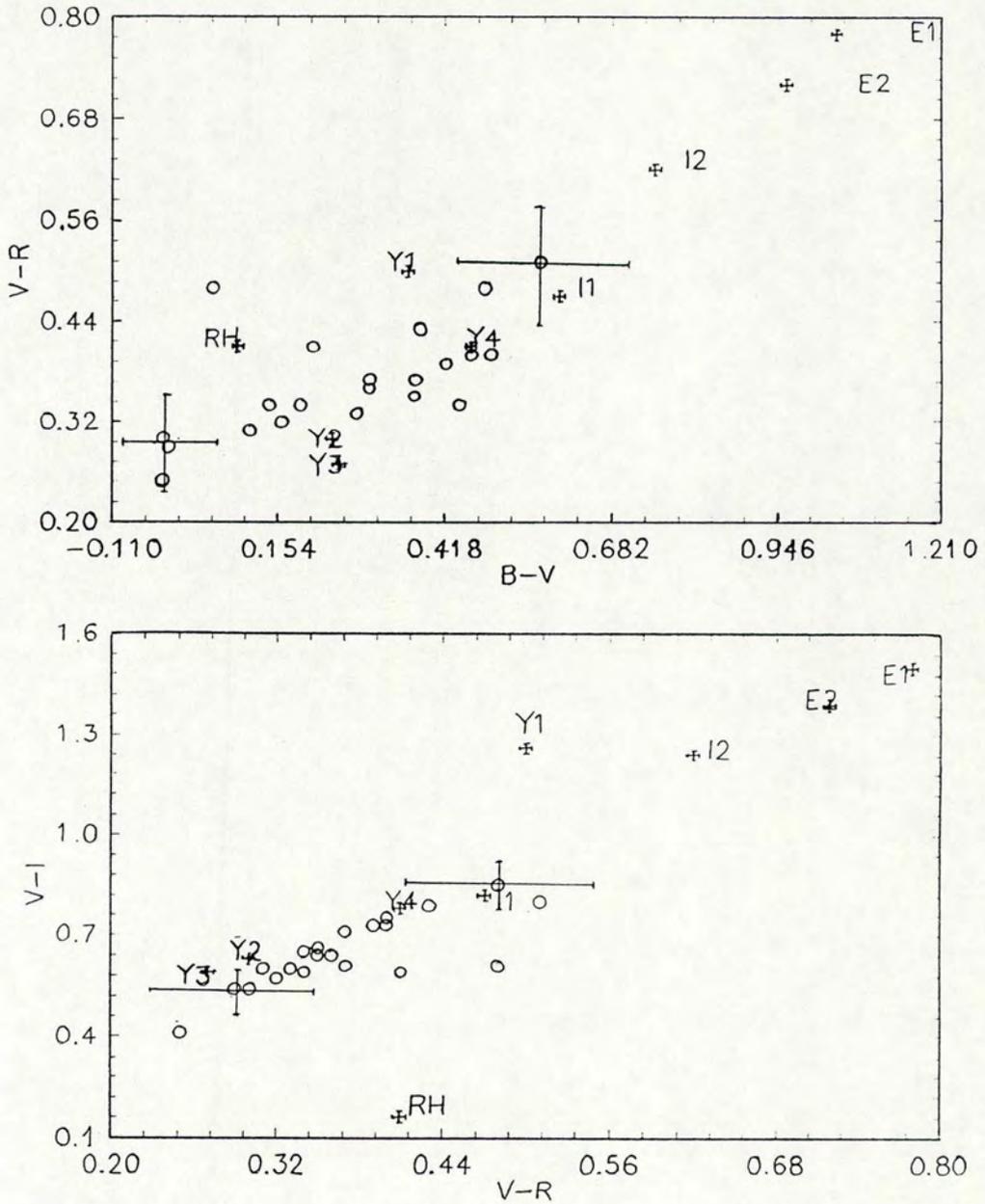


Figura VI.16: Diagramas $(V-R)$ vs. $(B-V)$ e $(V-I)$ vs. $(V-R)$ para as condensações brilhantes em NGC 7412. São mostradas também as posições ocupadas por aglomerados estelares de diferentes idades.

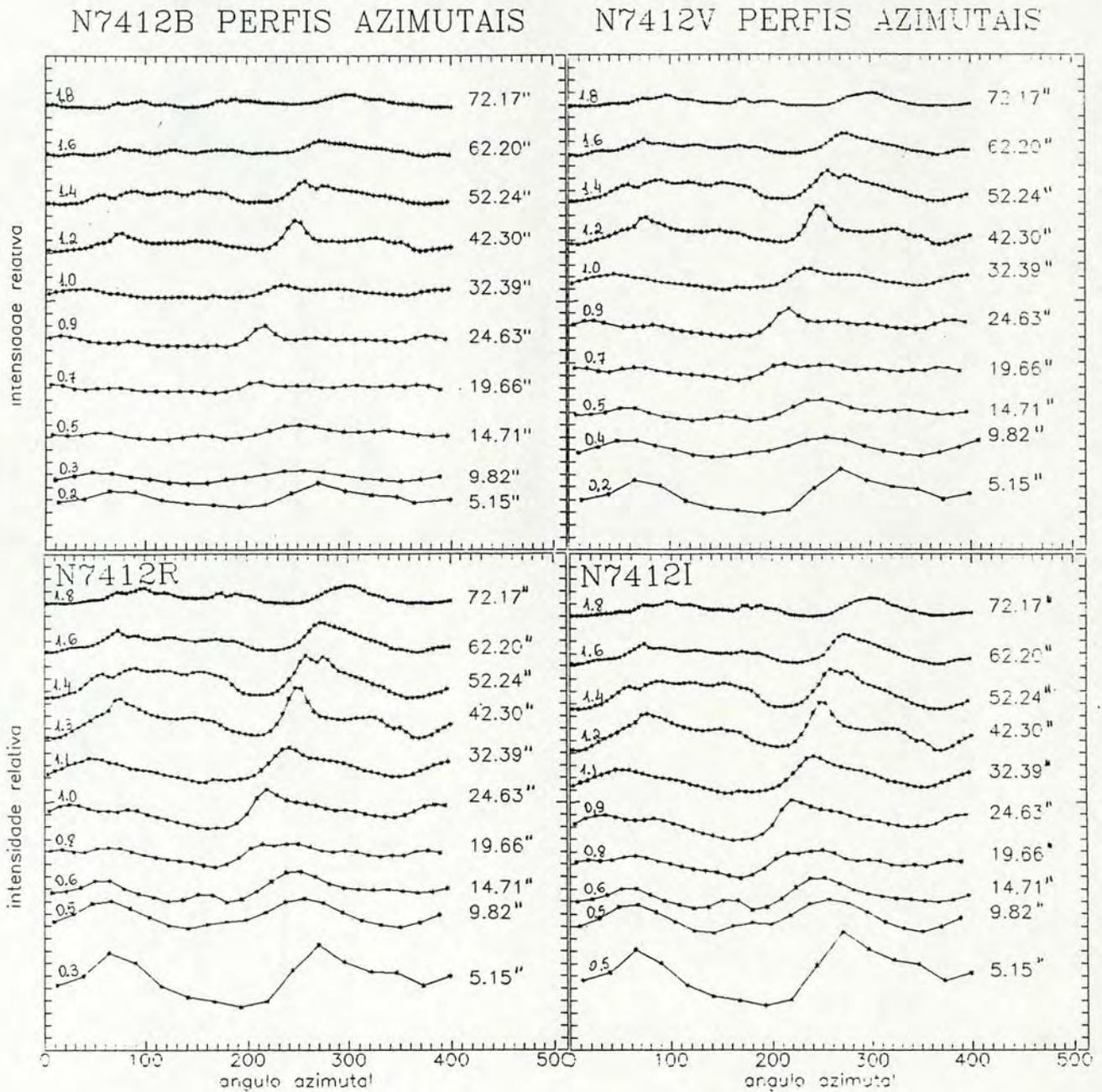


Figura VI.17: Perfis azimutais B, V, R e I na região entre 5" e 72" de raio. As intensidades relativas são $\frac{I-I_{ceu}}{I_{ceu}}$. Nas ordenadas, os intervalos entre os traços correspondem a 0.05. São indicados os valores de intensidades no ângulo azimuta! mais próximo de zero.

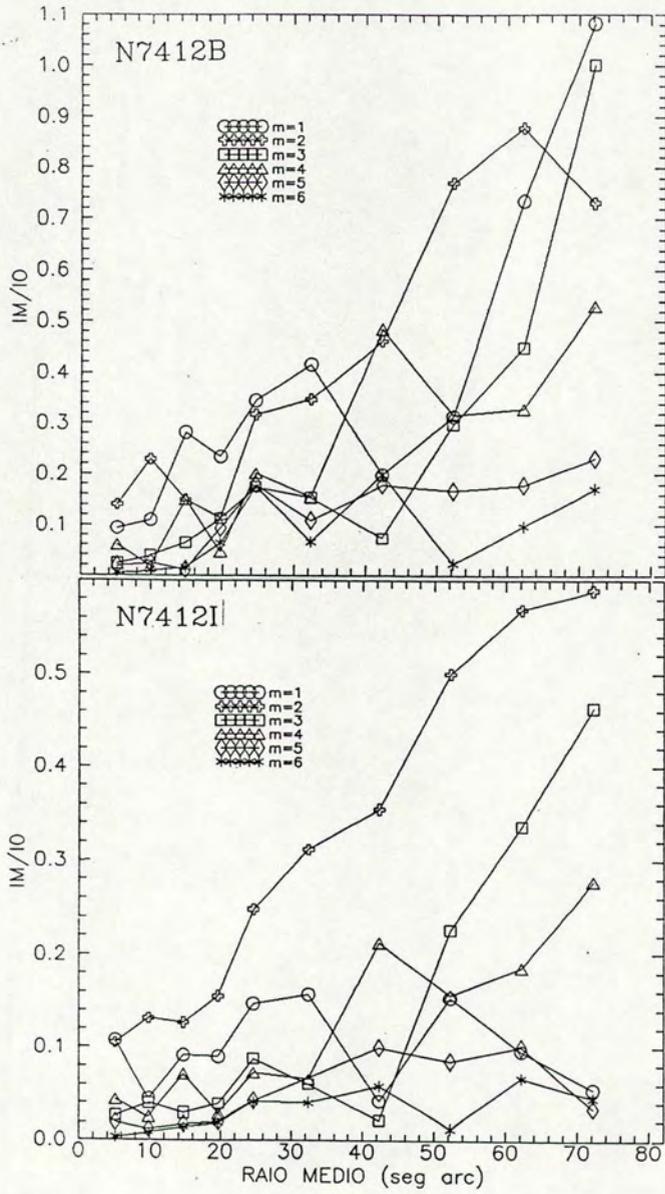


Figura VI.18: Amplitudes relativas das componentes de Fourier com base de senos e cosenos (I_m/I_0 ; $m = 1, \dots, 6$), em função do raio médio do anel dentro do qual a análise foi feita.

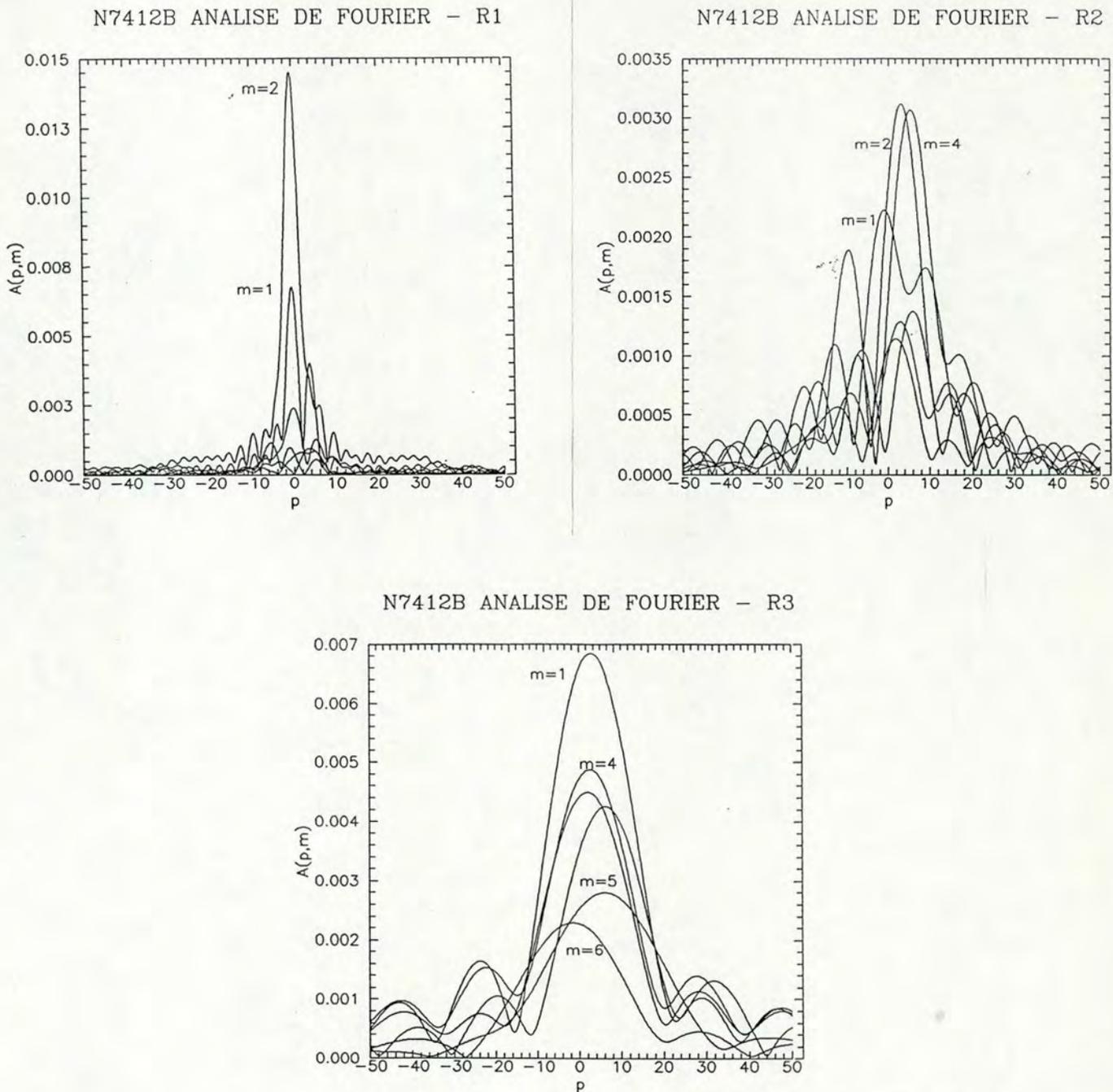
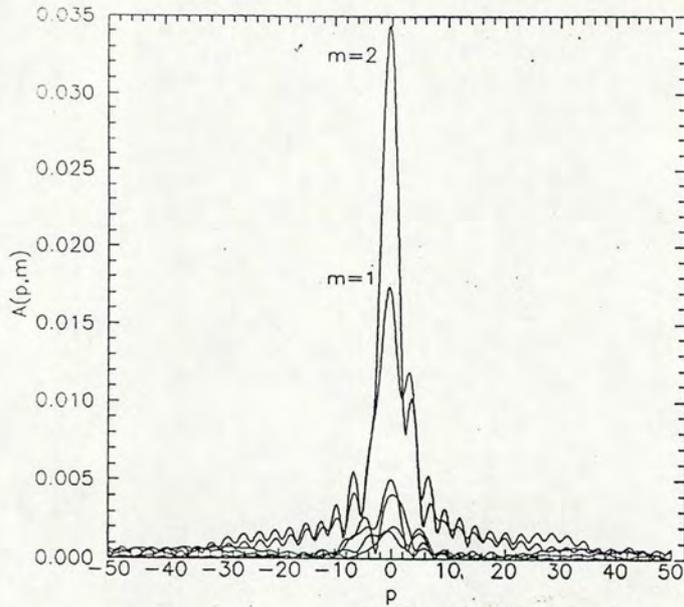
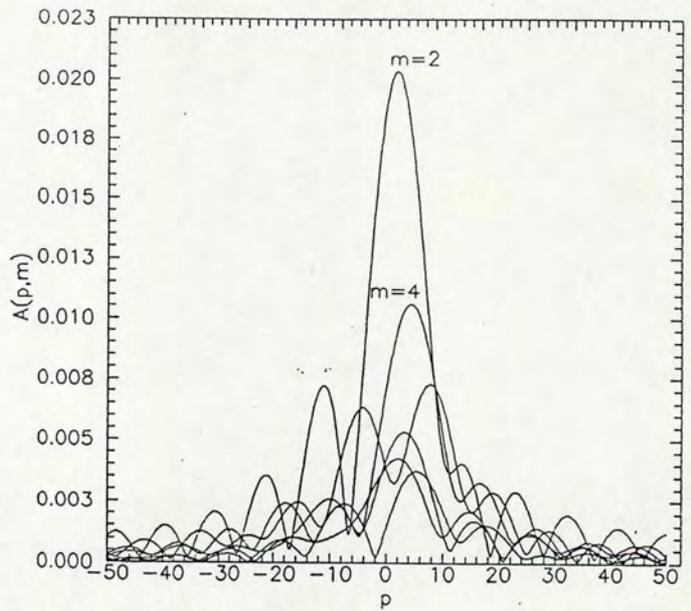


Figura VI.19: Amplitudes de Fourier com base de espirais logarítmicas, aplicada à imagem B, nas regiões (R1) entre 2.5" e 25" de raio; (R2) entre 25" e 50" de raio e (R3) entre 50" e 70" de raio. p é uma variável associada ao grau de enrolamento dos braços, e m é o número de braços.

N7412I ANALISE DE FOURIER - R1



N7412I ANALISE DE FOURIER - R2



N7412I ANALISE DE FOURIER - R3

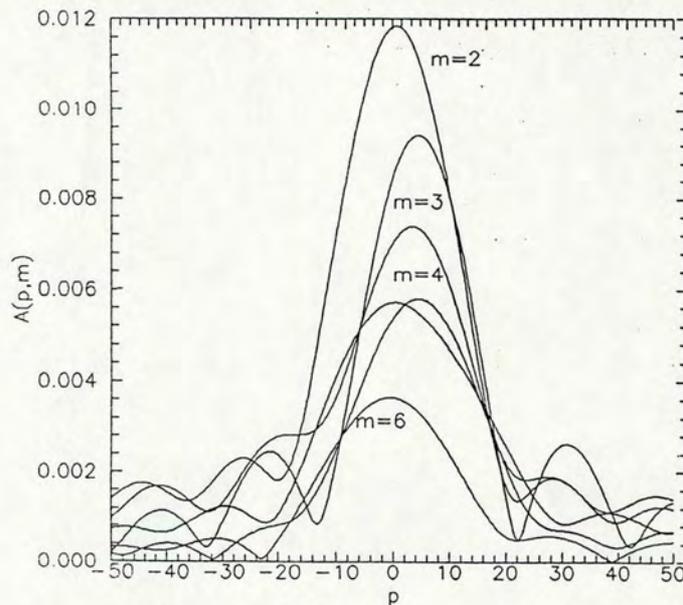


Figura VI.20: O mesmo que na Figura anterior, porém aplicado à imagem I.

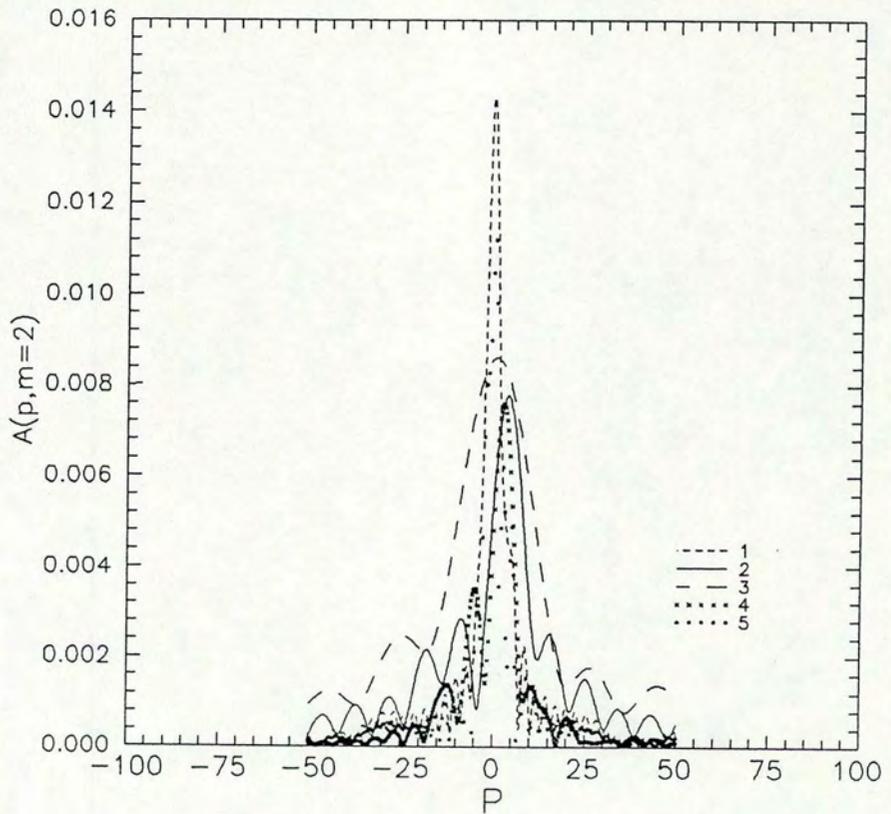


Figura VI.21: Amplitudes da componente $m = 2$ em diferentes regiões da imagem : região 1: entre $2.5''$ e $25''$; região 2: entre $25''$ e $50''$; região 3: entre $50''$ e $70''$; região 4: entre $2.5''$ e $50''$; região 5: entre $2.5''$ e $72''$.

Capítulo VII

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O trabalho desta tese consistiu no desenvolvimento e implementação das técnicas de análise de fotometria superficial CCD de galáxias no Instituto de Física da UFRGS, e no estudo detalhado, através dessas técnicas, de quatro galáxias espirais com barras bem definidas ou sugeridas: NGC 6835, NGC 5757, IC 1091 e NGC 7412. A seguir resumimos os resultados individuais obtidos para cada galáxia, fazemos uma discussão comparativa entre elas e concluimos com os principais resultados globais obtidos.

VII.1 NGC 6835

NGC 6835 é uma galáxia espiral orientada quase de perfil, para a qual encontramos a magnitude absoluta $M_T(B) = -19.63$, (assumindo $H = 75 \text{ km/s/Mpc}$), e um diâmetro maior, medido na isofota $\mu_B = 25''$, de 16.8 kpc. A inclinação, que derivamos da razão axial média das isofotas externas, é $83^\circ \pm 2^\circ$, o que concorda com a determinação de Bottinelli *et al.* 1983.

Nossa fotometria CCD confirma a cor integrada corrigida de $(B - V)^\circ = 0.59$ dada no RC2, que é muito azul para uma Sa. Outros parâmetros derivados usando medidas de hidrogênio neutro também sugerem um tipo morfológico mais tardio do que Sa, embora se deva ter em conta que as incertezas na correção pela inclinação comprometem muito as conclusões sobre o tipo morfológico.

O perfil ao longo do eixo maior tem a forma de um perfil tipo II, segundo a classificação de Freeman (1970a). A análise da distribuição de luminosidade nas quatro bandas mostrou que o bojo da galáxia não pode ser ajustado nem por uma lei de *de Vaucouleurs*, nem por uma lei exponencial, e pode ser triaxial. A distribuição de luminosidade do disco foi comparada com a distribuição esperada para um disco exponencial visto de perfil, e ela é bem ajustada por um disco com parâmetros “face-on” $\mu_0 = 23.4 \text{ m}''^2$ e $r_0 = 13.5''$, em B. Superpostas a essa distribuição encontram-se franjas de poeira e condensações brilhantes, que juntas são responsáveis pela aparência irregular da galáxia. Apesar de não termos detectado de forma clara nenhum aspecto que possa confirmar com certeza que a galáxia seja barrada, detectamos a existência de uma estrutura com diâmetro maior de $27''$ (3.0 kpc) e razão axial que vale $z/a = 0.22$, e que pode ser uma barra.

O aspecto mais significativo dos perfis de cor é o núcleo azul. Uma comparação com cores sintéticas usando os modelos de Bica, Alloin e Schmidt (1990 - BAS), mostra que ele é compatível com eventos de formação estelar ocorridos nos últimos 5×10^7 anos, superpostos a um substrato de população velha. O registro da observação de linhas de emissão no espectro nuclear da galáxia também dá suporte à interpretação do núcleo azul como um sítio de formação estelar.

VII.2 NGC 5757

NGC 5757 é uma galáxia espiral barrada com magnitude absoluta $M_T(B) = -20.41$ (para uma distância de 35 Mpc, $H = 75 \text{ km/s/Mpc}$) e um diâmetro de 20.6 Kpc medido na isofota com $\mu_B = 25 \text{ m}''^2$. A inclinação que derivamos a partir da razão axial média das isofotas externas é $38^\circ \pm 2^\circ$, um pouco maior do que a medida por Grosbøl (1985), de 31° . A barra da galáxia está orientada formando um ângulo de 43° com o eixo maior, e tem uma extensão de 5.5 kpc. Nossa fotometria confirma a existência dos anéis interno e externo da galáxia, reportados por Buta e de Vaucouleurs (1980), localizados a $15''$ e $38''$ do centro, respectivamente, o que equivale a diâmetros de 5.2 kpc e 13.1 kpc, respectivamente. Considerando uma precisão de 1 kpc, a barra e o anel interno têm tamanhos similares, como

é característico dessas componentes (Kormendy 1979). Também encontramos indicação da existência de um anel nuclear, de 0.8 kpc de diâmetro, e cuja cor sugere que seja um anel de formação estelar.

A magnitude total $B_T = 12.73$ concorda com valores dados nos catálogos RC2 e SPC. A cor corrigida $(B - V)_T^0 = 0.66$ é igual à cor média de 0.657 característica das Sb's (de Vaucouleurs 1977). Os índices de concentração da galáxia também são perfeitamente típicos de seu tipo morfológico.

A análise da distribuição de luminosidade nas quatro bandas mostrou que o perfil radial médio da galáxia tem a forma de um perfil tipo I (Freeman 1970a), com disco exponencial, considerando a distribuição até um raio de $\sim 50''$. O bojo da galáxia segue uma lei de *de Vaucouleurs*, com parâmetros compatíveis com um bojo menor e mais brilhante do que os normalmente encontrados em Sb's. O disco tem parâmetros característicos de espirais Sb, tanto barradas quanto ordinárias. Ao longo do eixo maior da barra, o perfil tem forma entre achatada e exponencial, segundo a classificação de Elmegreen e Elmegreen (1985).

Nos perfis de cor, os únicos aspectos marcantes são os "azulamentos" ocorrendo no núcleo e nas regiões que correspondem às manchas brilhantes nas extremidades da barra. Fora isso, nenhum gradiente maior do que 0.3 mag é detectado.

A análise das cores do núcleo em comparação com os modelos de BAS indica a presença de dois eventos de formação estelar superpostos à população mais antiga da galáxia: um recente ocorrido há $\sim 5 \times 10^6$ anos, e outro mais antigo ocorrido há $\sim 5 \times 10^8$ anos. As três populações diferentes têm contribuições em fluxo similares, mas em massa a população mais velha é largamente dominante. A comparação das cores fotoelétricas UBV do núcleo com os modelos de Larson e Tinsley (1978) é compatível com essa interpretação.

A análise de Fourier dos perfis azimutais com base senoidal mostra que a componente $m = 2$ é dominante sobre um intervalo radial que abrange uma extensão de duas vezes o tamanho da barra, indicando que a região que tem uma aparência retangular na Figura IV.2(a) é realmente uma componente bipolar envolvendo a barra.

VII.3 IC 1091

IC 1091 é uma galáxia espiral com magnitude integrada $B^T = 13.92$ e diâmetro maior de $60''$. A velocidade radial indica que a galáxia está a uma distância de 66.37 Mpc ($H = 75$ km/s/Mpc), e portanto sua magnitude absoluta em B é $M_T(B) = -20.64$ e seu diâmetro 19.3 Kpc. A inclinação e a orientação da galáxia no céu, derivadas do ajuste de elipses às isofotas externas, são de 41° e -54° respectivamente. A cor $(B - V)_T^0 = 0.61$ é compatível com estágio Sb, dentro do erro da nossa determinação ; os índices de concentração são perfeitamente típicos desse tipo morfológico.

A análise da distribuição de brilho indica que a galáxia é composta de quatro subsistemas: o bojo nuclear, uma barra, uma lente e um disco. A estrutura espiral não é muito desenvolvida e parece ficar restrita à região da lente. A barra e a lente não se distinguem bem uma da outra na imagem da galáxia, mas pelo estudo dos perfis radiais e azimutais parece que a barra termina em $r = 10'' = 3.2$ kpc, tendo um diâmetro da ordem de 30% do diâmetro da galáxia, e a lente se estende até $14'' = 4.5$ kpc, que é a metade do tamanho da galáxia. Usando a terminologia de Elmegreen e Elmegreen (1985), a barra parece se ajustar melhor ao tipo exponencial.

Os perfis radiais médios têm a aparência de um perfil tipo I até $20''$, mas a partir desse ponto a distribuição passa a declinar bruscamente. Na região até $20''$ eles foram decompostos em um bojo com distribuição $r^{1/4}$ e um disco exponencial. Os parâmetros encontrados para o disco são característicos de espirais Sb's, embora se tenha que ter em conta que a escala de distância encontrada para o disco exponencial não vale para o disco inteiro, pois a partir de $r = 20''$ o perfil aumenta de inclinação, passando a ter uma escala de distância menor. Quanto aos parâmetros do bojo, os valores de r_e e μ_e indicam um bojo um pouco menor do que o usual em Sb's, com brilho ordinário em B e levemente mais brilhante que outras Sb's em R.

Os perfis de cor mostram um gradiente azul de no máximo 0.3 mag desde o centro até o raio de $20''$. As cores integradas do núcleo indicam uma população muito velha, sem eventos de formação estelar mais recentes do que 10^9 anos .

VII.4 NGC 7412

NGC 7412 não tem um tipo morfológico bem característico, e é uma galáxia peculiar em certos aspectos. A existência de barra não é evidente, e os braços espirais principais são assimétricos, um mais aberto e outro mais fechado. Sua inclinação, derivada a partir das isofotas mais externas, é 46° , embora nas regiões mais internas a galáxia tenha a aparência de um objeto de frente. O diâmetro total que medimos é 18.4 Kpc ($H = 75$ km/s/Mpc).

A magnitude total que determinamos a partir do ajuste das curvas padrões de crescimento às magnitudes integradas é $B^T = 11.2$, que é bem mais brilhante que as magnitudes listadas nos catálogos. A magnitude absoluta, para uma distância de 22.85 Mpc, é $M_B^T = -21.09$. Sua cor corrigida é $(B - V)_T^c = 0.55$, bem característica do tipo morfológico Sbc, de acordo com *de Vaucouleurs* (1977); seus índices de concentração, no entanto, são mais compatíveis com tipos morfológicos bem mais tardios.

O perfil de luminosidade médio da galáxia é do tipo II, não permitindo uma decomposição padrão. O ajuste separado do bojo e do disco indica que a distribuição do bojo é melhor representada por uma lei exponencial do que por uma lei $r^{1/4}$; os parâmetros do disco indicam uma exponencial com brilho superficial central mais brilhante, e escala de distância menor, do que normalmente é encontrado em espirais Sbc e Sc, embora essa análise não seja conclusiva uma vez que o disco não foi observado em toda sua extensão.

A distribuição de cor evidencia a presença de poeira no disco, concentrada no quadrante SE da galáxia, entre a parte interna da galáxia e o braço espiral principal. Essa poeira deve ser em parte responsável pela depressão existente nos perfis de brilho médios. A distribuição de cor também ressalta o núcleo azul, cujas cores BVRI integradas, comparadas com os modelos de BAS, mostram-se compatíveis com eventos de formação estelar ocorridos entre $\sim 4 \times 10^6$ e 10^7 anos, que contribuem com $\sim 10\%$ em massa e $\sim 98\%$ em fluxo. As cores UBV fotoelétricas integradas em diafragmas de $262''$ (29 kpc) ao serem comparadas com o modelo de Larson e Tinsley (1977), se ajustam a um sistema que tenha experimentado formação estelar nos últimos 2×10^7 anos, com contribuição de $\sim 5\%$ em massa. A formação estelar nessa galáxia parece estar mais concentrada no núcleo e nas diversas condensações

brilhantes que se distribuem nos braços espirais, e cujas cores sugerem serem aglomerados de diferentes idades. A distribuição das cores B-V dessas condensações em função da distância ao centro, mostra que a galáxia possui um gradiente azul em (B-V) de ~ 0.6 mag desde as partes mais centrais às mais externas, que pode ser interpretado como um gradiente de metalicidade ou efeito de evolução dos aglomerados. Para analisar essa hipótese, será necessário realizar um estudo espectroscópico dessas regiões.

Nos perfis azimutais, os picos da distribuição acontecem em posições angulares constantes somente nos perfis mais centrais; na maior parte se apresentam deslocados em ângulo, e assimétricos, indicando uma estrutura espiral irregular.

A análise de Fourier foi feita usando dois métodos diferentes, um com base de senos e cossenos e outro com base de espirais logarítmicas. Em ambos os métodos, a componente $m = 2$, que indica um barra ou uma espiral com dois braços, é a componente mais presente e dominante. Os dois métodos concordam na possibilidade de uma barra central. A análise com espirais logarítmicas é compatível com a existência de uma estrutura espiral com dois braços principais, sendo um dominante sobre o outro, e tendo também contribuição de componentes assimétricas, provavelmente causadas pela distribuição irregular de regiões HII sobre os braços.

A inspeção visual das imagens da galáxia, o estudo dos perfis de brilho, e as análises de Fourier feitas, levam a concluir que a galáxia tem uma barra pequena, com extensão de $20''$ a $30''$ (~ 2.8 kpc), e orientada de 39° em relação ao seu eixo maior. Sugerimos para a galáxia a classificação SABbc.

VII.5 DISCUSSÃO COMPARATIVA

Os parâmetros derivados da fotometria superficial de NGC 6835, NGC 5757, IC 1091 e NGC 7412, listados na Tabela VII.1, permitiram fazer uma análise comparativa das propriedades fotométricas, características específicas do bojo, barra e disco, assim como estimar a população estelar da região central.

	NGC 6835	NGC 5757	IC 1091	NGC 7412
Distância (Mpc, $H = 75 \text{ Km/s/Mpc}$)	22.84	35.45	66.37	22.85
Escala (pc/segarc)	110.7	171.8	321.8	110.8
Inclinação	83°	38°	41°	46°
Ângulo de posição do eixo maior	72°	31°	126°	76°
Ângulo de posição da barra	-	171°	155°	39°
Diâmetro do eixo maior em $\mu_B = 25 \text{ m}''^2$	16.8 kpc	20.6 kpc	19.3 kpc	-
Diâmetro da barra (kpc)	3.8	5.5	6.4	3.3
Magnitude total aparente B_T	13.31	12.73	13.92	11.2
Magnitude total aparente corrigida B_T°	12.16	12.31	13.46	10.7
Magnitude total absoluta corrigida $M_T^\circ(B)$	-19.63	-20.41	-20.64	-21.09
Cor total aparente $(B - V)_T$	0.88	0.73	0.72	0.67
Cor total aparente corrigida $(B - V)_T^\circ$	0.59	0.66	0.61	0.55
Luminosidade total (L_\odot)	1.04×10^{10}	2.2×10^{10}	2.6×10^{10}	4×10^{10}
Raios equivalentes efetivos (segarc):				
$r_e^*(B)$	-	16.5	21.5	90
$r_e^*(V)$	12.5	19.5	20.5	105
Índices de concentração :				
$C_{21}(B)$	-	1.98	1.99	1.48
$C_{21}(V)$	2.34	2.24	2.25	1.42
$C_{32}(B)$	-	1.75	1.76	1.60
$C_{32}(V)$	1.80	1.61	1.58	1.31
Parâmetros do bojo $r^{1/4}$:				
μ_e (m''^2), r_e (kpc) (B)		17.6, 0.2	21.3, 0.7	22.3, 3.0
μ_e (m''^2), r_e (kpc) (V)		18.0, 0.3	20.1, 0.6	23.9, 7.0
μ_e (m''^2), r_e (kpc) (R)		18.1, 0.4	18.8, 0.4	23.4, 7.8
μ_e (m''^2), r_e (kpc) (I)		18.4, 0.7	18.8, 0.7	22.8, 8.0
Parâmetros do disco exponencial:				
μ_0 (m''^2), r_0 (kpc) (B)	23.4, 1.5	20.9, 3.2	21.6, 5.2	
μ_0 (m''^2), r_0 (kpc) (V)		20.2, 3.3	20.1, 4.6	19.8, 2.8
μ_0 (m''^2), r_0 (kpc) (R)		19.7, 3.3	20.1, 4.4	19.4, 2.8
μ_0 (m''^2), r_0 (kpc) (I)		19.1, 3.0	19.5, 4.2	19.1, 2.9
Cores nucleares				
$(B - V)^\circ$	0.2	0.46	0.96	0.30
$(V - R)^\circ$	0.29	0.34	0.68	0.46
$(V - I)^\circ$	0.60	0.83	1.32	0.90

Tabela VII.1: Principais Parâmetros das Galáxias Estudadas.

VII.5.1 Propriedades Globais das Galáxias

Para as quatro galáxias, as magnitudes absolutas variam entre -19.6 e -21.1 ($H = 75$ Km/s/Mpc), e os diâmetros entre 16.8 e 20 Kpc. De acordo com Holmberg (1975) a magnitude absoluta média de sistemas Sa e Sb é -20, e de sistemas Sc é -19.2, para $H = 80$ Km/s/Mpc. Os diâmetros correspondentes a essas magnitudes são 30 kpc e 20 kpc. Kormendy (1979) encontra que o valor médio das magnitudes absolutas de sistemas Sa, Sb e Sc é -21.0, para $H = 50$ Km/s/Mpc, o que equivale à magnitude de -20.1 se $H = 75$ Km/s/Mpc. Pela comparação, as galáxias que estudamos são moderadamente luminosas, com exceção de NGC 7412, que parece ser mais brilhante do que as outras. Os diâmetros das galáxias ficam todos abaixo da média dada por Holmberg para o tipo morfológico de cada uma, o que pode indicar que as quatro galáxias sejam pequenas, mas isso pode também ser um efeito devido a não termos atingido níveis superficiais suficientemente baixos, os quais contribuem pouco à luminosidade total, mas contam para o diâmetro. Por outro lado, os diâmetros que medimos são grandes comparados com os de 12 galáxias espirais brilhantes listadas por Allen (1973), para as quais ele encontra o diâmetro médio de 13 kpc.

As cores totais $(B - V)_T^0$ de NGC 5757, IC 1091 e NGC 7412 são bem compatíveis com seus tipos morfológicos (Sb, Sb e Sc, respectivamente), de acordo com de Vaucouleurs (1977); NGC 6835 (Sa), embora não seja tão azul quanto NGC 7412, é mais azul do que em geral são as Sa's.

Os índices de concentração medidos para as galáxias indicam que NGC 6835 é mais concentrada na região interna do que o esperado para uma Sa, e menos concentrada do que o esperado na região externa, embora o afastamento dos índices medidos até a linha média de índices típicos de cada tipo morfológico esteja dentro do espalhamento da relação; NGC 5757 e IC 1091 têm os índices de concentração perfeitamente esperados para Sb's, ao passo que NGC 7412, tanto na região interna quanto na região externa, é menos concentrada do que um disco puro.

VII.5.2 Propriedades das Barras

Os perfis de brilho superficial traçados na direção da barra mostram que o brilho superficial decresce de forma suave e quase exponencial ao longo dessa estrutura, formando "ombros" em suas extremidades. Esses "ombros" são mais salientes em NGC 5757, onde das extremidades da barra se originam os braços espirais, tendo regiões brilhantes no seu início; os "ombros" são pouco salientes em NGC 7412, onde os braços espirais não nascem nas extremidades da barra. Em NGC 5757 e IC 1091, as barras parecem se ajustar mais ao tipo "exponencial" do que ao tipo "achatado" (usando a classificação de Elmegreen e Elmegreen 1985), embora a declividade da exponencial na região da barra seja menor do que nas regiões externas do perfil. Em todas elas, também, as barras se tornam mais "achatadas" à medida que os filtros variam de I para B, o que sugere a existência de um gradiente de população ao longo da barra. Esse gradiente possivelmente é causado pela interação com a componente esferoidal, que é dominante nos comprimentos de onda maiores.

Nos perfis promediados elipticamente, a barra se mistura ao disco sem descontinuidades, de forma que o perfil não se diferencia basicamente das galáxias não barradas. Estruturas como braços muito desenvolvidos e anéis externos afetam muito mais o perfil promediado elipticamente do que as barras.

Nos perfis azimutais a barra aparece como picos separados de 180° graus e localizados nas mesmas posições angulares em diferentes distâncias galactocêntricas. A análise de Fourier com base em senos e cossenos mostra que, a componente $m = 2$ é fortemente dominante na região da barra, mas sua máxima amplitude acontece externamente à barra.

Os tamanhos lineares das barras variam entre 3.3 e 6.4 kpc ($H = 75 \text{ Km/s/Mpc}$), o que está no meio do intervalo de 1.3 a 10 kpc que se obtém a partir dos trabalhos de Ohta *et al.* (1990, 6 galáxias), Baugart e Peterson (1986, 11 galáxias) e Wosniak e Pierce (1991, 10 galáxias).

VII.5.3 Propriedades dos Bojos

Uma galáxia da amostra (NGC 6835) tem um bojo que não segue uma lei de *de Vaucouleurs*. Outra galáxia (NGC 7412) embora possa ser ajustada por uma lei de *de Vaucouleurs*, o ajuste fica melhor com uma exponencial. As duas galáxias para as quais foi possível fazer um ajuste adequado da lei de *de Vaucouleurs* (NGC 5757 e IC 1091) apresentam raios efetivos dos bojos ~ 0.5 kpc, valor esse que é marginalmente menor do que é usualmente encontrado em galáxias de mesmo tipo morfológico, segundo os trabalhos de Kent (1985), e Simien e de Vaucouleurs (1986). Isso, pelo menos em parte, suporta a sugestão de Simien e de Vaucouleurs, de que, para um mesmo tipo morfológico, as barradas têm bojos menores e mais brilhantes do que as não barradas.

Em NGC 5757 e NGC 7412, o brilho superficial efetivo do bojo é mais brilhante em B do que nos outros filtros, o que parece estar associado à formação estelar no núcleo dessas galáxias.

VII.5.4 Propriedades dos Discos

Os valores do brilho superficial central do disco exponencial nas quatro galáxias variam de $19.8 \mu_V$ em NGC 7412 a $23.4 \mu_B$ para NGC 6835. Os valores ficam mais brilhantes e intensos conforme os filtros variam de B para I. As duas galáxias com barras mais intensas são as que têm valores mais próximos do valor padrão de $21.65 \pm 0.3 \mu(B)$ (Freeman 1975), o que mostra que a presença da barra não afeta esse parâmetro.

A escala de distância do disco, para uma mesma galáxia, se mantém a mesma em todos os filtros. Considerando as quatro galáxias, o valor médio é 3.0 ± 1.2 Kpc, maior do que o valor médio de 2.1 ± 1.3 kpc encontrado por Freeman para todos os tipos morfológicos, mas menor do que o valor de $3.4 \pm kpc$ encontrado por Kent para as Sb's.

VII.5.5 Índices de Cor e População Estelar

Três das quatro galáxias que medimos têm núcleo azul, o que sugere que esse fenômeno seja bastante comum em galáxias barradas. Em NGC 5757 detectamos a existência de um

anel nuclear, possivelmente de formação estelar.

Os gradientes globais de cor em geral não ultrapassam 0.3 mag dentro dos intervalos de raios galactocêntricos que pudemos medir com precisão significativa. A exceção é NGC 7412, onde um gradiente de 0.6 mag em B-V foi detectado através da medida das cores integradas das condensações brilhantes distribuídas ao longo dos braços espirais. As cores BVRI dessas condensações sugerem que elas sejam aglomerados estelares com idades variando entre 3×10^6 anos e 7×10^8 anos.

As cores nucleares, integradas em diafragmas de $\sim 1kpc$ de diâmetro, foram interpretadas com base em modelos de eventos de formação estelar com idades entre 10^6 e 7×10^9 anos, superpostas a um substrato de população velha, com idade maior do que 10^{10} anos (BAS). Os modelos e as cores do núcleos galáticos estão ilustrados nos diagramas (V-R) X (B-V) e (V-I) X (V-R) apresentados na Figura IV.15. Comparando as quatro figuras, vemos que não existe diferença significativa nas cores se o substrato é uma galáxia E1 (núcleos de galáxias elípticas e S0's com linhas intensas), e E3 (núcleos vermelhos com aspectos metálicos mais fracos). Para as três galáxias com núcleo azul, NGC 6835, NGC 5757 e NGC 7412, as cores indicam que pelo menos 10% da massa é composta por populações mais jovens, com idades entre 10^6 e 10^8 anos. Para IC 1091, as cores indicam que todo o núcleo é constituído de população velha. Para NGC 5757, a comparação das cores fotoelétricas UBV do núcleo com os modelos de Larson e Tinsley (1978) leva à mesma interpretação que a obtida a partir dos modelos de BAS.

VII.6 CONCLUSÕES

Os principais resultados globais deste estudo foram:

1.º) Quanto à distribuição de brilho das barras:

O brilho superficial ao longo das barras nas galáxias estudadas decresce de maneira uniforme, com um gradiente quase exponencial. A declividade da exponencial é menor ou igual à do disco, e maior em I do que em B, sugerindo uma interação da barra com o bojo. Nos perfis radiais médios as barras não aparecem de forma evidente, e nos perfis

azimutais elas aparecem como picos separados de 180° e localizados em posições angulares quase constantes. A análise de Fourier desses perfis mostra que a componente $m = 2$ é totalmente dominante na região da barra, mas mais dominante ainda em outras regiões da galáxia e portanto não pode, sozinha, definir a extensão da barra.

2.º) Quanto às distribuições de brilho dos bojos e dos discos:

Nas galáxias cujos bojos seguem a lei de *de Vaucouleurs*, se confirma a tendência de que os bojos em barradas sejam menores e mais brilhantes do que em não barradas. Por outro lado, o fato de que as duas galáxias com barras mais intensas tenham bojos que seguem a distribuição $r^{1/4}$, mostra que bojos com distribuições diferentes dessa lei não estão associados univocamente à presença de barras.

Em nenhuma das galáxias os discos são exponenciais em toda sua extensão, mas em todas elas os discos têm uma distribuição exponencial em um intervalo radial significativo, e com parâmetros indistinguíveis dos de espirais ordinárias de mesmo tipo morfológico. As regiões não exponenciais dos discos não parecem estar associados diretamente às barras.

3.º) Quanto aos índices de cor:

As cores locais dos discos nas três galáxias são similares à de aglomerados com baixa metalicidade e idades entre 5×10^8 e 5×10^9 anos, e indicam não existirem diferenças significativas entre as populações dos discos nas distintas galáxias.

As cores locais das barras são marginalmente mais vermelhas do que as dos discos, o que pode ser devido a diferenças de metalicidade ou de idade entre as duas estruturas.

Três das quatro galáxias que medimos têm núcleo azul, sugerindo ser esse um fenômeno comum em galáxias barradas. As cores dos núcleos nessas galáxias mostram-se compatíveis com a interpretação de que neles tenham ocorrido surtos de formação estelar com idades entre 5×10^6 e 5×10^8 anos, o que vai de encontro à relação encontrada por Sérsic e Pastoriza (1965, 1967) e por Arsenault (1989) entre formação estelar e barras.

Nosso trabalho demonstrou que a fotometria superficial é uma técnica poderosa no sentido de fornecer muitos parâmetros simultaneamente, importantes na identificação e quantização dos subsistemas que constituem as galáxias. Combinados com dados cinemáticos,

esses parâmetros são fundamentais para testar modelos de formação de galáxias, assim como compreender a natureza de estruturas tais como barras e anéis.

Como continuação natural do projeto, além de ampliar o número de galáxias espirais barradas estudadas para ter uma amostra estatisticamente significativa, será necessário fazer alguns melhoramentos, como ampliar a técnica de decomposição de perfis para permitir testar outros tipos de distribuições além da lei exponencial e $r^{\frac{1}{4}}$, e incorporar programas que permitam fazer a decomposição das distribuições de brilho na própria imagem, de maneira a isolar bidimensionalmente a componente que se deseja estudar. Também será importante fazer a comparação das cores integradas com modelos de evolução química e fotométrica de galáxias, para inferir parâmetros como idade, metalicidade, taxa de formação estelar e função inicial de massa.

REFERÊNCIAS

- Allen, C.W., 1973, *Astrophysical Quantities*, London: Athlone Press .
- Arimoto, N., e Yoshii, Y. 1986, *A&A*, **164**, 260 .
- Arsenault, R. 1989, *A&A*, **217**, 66 .
- Athanassoula 1990, *MNRAS*, **245**, 130 .
- Baungart, C., e Peterson, C. 1986, *PASP*, **98**, 56 .
- Bica, E., e Alloin, D. 1986, *A&A*, **162**, 21 .
- Bica, E., e Alloin, D. 1987a, *A&A*, **186**, 49 .
- Bica, E., Alloin, D., e Schmidt, A. 1990, *MNRAS*, **242**, 241 .
- Bica, E., Arimoto, N., and Alloin, D. 1988, *A&A*, **202**, 8 .
- Binney, J. e Tremaine, S., 1987, *Galactic Dynamics*, Princeton, New Jersey .
- Blackman 1983, *MNRAS*, **202**, 379 .
- Boroson, T. 1981, *ApJSS*, **46**, 177 .
- Boroson, T. A., Thompson, I. B., e Shectman, S. A. 1983, *AJ*, **88**, 1707 .
- Bottinelli, L., Gouguenheim, L., e Paturel, G. 1982, *A&ASS*, **47**, 171 .
- Bottinelli, L., Gouguenheim, L., Paturel, G., e de Vaucouleurs, G. 1983, *A&A*, **418**, 4 .

- Bottinelli, L., Gouguenheim, L., and Paturel, G. 1984, *A&ASS*, **56**, 381 .
- Bottinelli, L., Gouguenheim, L., Paturel, G., e Terikorpi, P. 1986, *A&A*, **156**, 157 .
- Bracewell, R. N. 1955, *Australian J. Phys. Ap. Supp.*, **8**, 54 .
- Burstein, D. 1979b, *ApJ*, **234**, 435 .
- Burstein, D. 1979c, *ApJ*, **234**, 829 .
- Burstein, D. and Heiles, C. 1978, *ApJ*, **225**, 40 .
- Burstein, D. and Heiles, C. 1982, *AJ*, **87**, 1165 .
- Buta, R., e de Vaucouleurs, G. 1983, *ApJ*, **51**, 149 .
- Buta, R., 1984, *The Structure and Dynamics of Ringed Galaxies*, The University of Texas Publications in Astronomy 3, Austin, Texas .
- Buta, R. 1986, *ApJ*, **61**, 631 .
- Caldwell 1983, *ApJ*, **268**, 90 .
- Cappacioli, M., 1988, in ., eds. Segunda Reuniao Regional sobre Astronomia Extragalatica, J. L. Sersic, p. Cordoba, Argentina: Academia Nacional de Ciencias 317.
- Carignan, C. 1985, *ApJSS*, **58**, 107 .
- Corwin, H. G. Jr., de Vaucouleurs, A., e de Vaucouleurs, G., 1985, *Southern Galaxy Catalogue*, The University of Texas Monographs on Astronomy 4, Austin, Texas (SGC).
- da Costa, L. N., Pellegrini, P. S., Nunes, M. A., and Willmer, C. 1984, *AJ*, **89**, 1310 .
- de Carvalho, R. R., e da Costa, L. N. 1987, *A&A*, **171**, 66 .
- de Souza, R.E., e dos Anjos, S. 1987, *A&ASS*, **70**, 465 .

- Dettmar, R.-J., 1991, in *ESO/CTIO Workshop on Bulges of Galaxies*, eds. B.J. Jarvis e D. Terndrup, ESO, p. 259 .
- de Vaucouleurs, G. 1948, *Ann. d'Ap*, **11**, 247 .
- de Vaucouleurs, G. 1958, *ApJ*, **128**, 465 .
- de Vaucouleurs, G., 1959, *Handbuch der Physik vol. 53*, Springer- Verlag, Berlin, Gottingen 275, 311.
- de Vaucouleurs, G., 1962, in *IAU Symposium 15, Problems of Extragalactic Research*, eds. ed. G. C. McVittic , (New York: Macmillan), p. .
- de Vaucouleurs, G., 1974, in *IAU Symposium 58, The Formation and dynamics of Galaxies*, eds. ed. J.R. Shakeshaft, (Dordrecht, Reidel), p. 1 .
- de Vaucouleurs, G., 1977, in *The Evolution of Galaxies and Stellar Populations*, eds. ed. B. Tinsley and R. Larson, (New Haven: Yale University Observatory), p. 43 .
- de Vaucouleurs, G., e Malik, G.M. 1969, *MNRAS*, **387**, 408 .
- de Vaucouleurs, G., e Aguero, E. 1973, *PASP*, **85**, 150 .
- de Vaucouleurs, G., de Vaucouleurs, A., and Corwin, H.J., Jr., 1976, *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies*, (Austin: University of Texas Press (RC2)).
- de Vaucouleurs, G., e Buta, R. 1980, *AJ*, **85**, 637 .
- de Vaucouleurs, G., e Buta, R. 1983, *AJ*, **88**, 939 .
- de Vaucouleurs, G. e Davoust, E. 1980, *ApJ*, **239**, 802 .
- de Vaucouleurs, G., e Peters, W. L. 1984, *AJ*, **287**, 1 .
- de Vaucouleurs, A. e Longo, G., 1988, *Catalogue of Visual and Infrared Photometry of Galaxies from 0.5 m to 10 m (1961 - 1985)*, The University of Texas Monographs in Astronomy N.o 5 .

- Duval, M. F., e Athanassoula, E. 1983, *A&A*, **121**, 297 .
- Elmegreen, B. C., e Elmegreen D. M. 1985, *ApJ*, **288**, 438 .
- Elmegreen, B. C., and Elmegreen, D. M. 1987, *ApJ*, **314**, 3 .
- Forte, J. C., Vega, E. I., Calderón, J. H., e Feinsten, C. 1987, *AJ*, **92**, 301 .
- Freeman, K. C. 1970a, *ApJ*, **160**, 811 .
- Freeman, K. C., 1970b, in *IAU Symposium n.o 38, "The Spiral Structure of our Galaxy"*, eds. ed. W. Becker e G. Contopoulos, Dordrecht - Holland, p. 351 .
- Fricke, K. J., e Kollatschny, W. 1989, *A&ASS*, **77**, 75 .
- Fujimoto, M. 1968, *ApJ*, **152**, 523 .
- Graham, J. A. 1982, *PASP*, **94**, 244 .
- Grosbøl, P. G. 1985, *A&ASS*, **60**, 261 .
- Heiles, C. 1976, *ApJ*, **234**, 379 .
- Hamabe, M. 1982, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **34**, 423 .
- Hamuy, M., e Masa, J. 1985, *A&ASS*, **68**, 383 .
- Hertz, P., e Cobb, M. L., 1991, in *The First Year of the HST Observations*, eds. ed A. L. Kinney e J. C. Blades, Baltimore: S.T.S.I.), p. 264 .
- Hohl, F. 1971, *ApJ*, **168**, 343 .
- Holmberg, E., 1975, in *Star and Stellar Systems, vol. 9: Galaxies and the Universe*, eds. A. Sandage, M. Sandage, and J. Kristian, (Chicago: Univ. Chicago Press), p. 123, 131 .
- Hubble, E. 1926, *ApJ*, **64**, 321 .

- Hubble, E. 1930, *ApJ*, **71**, 231 .
- Hubble, E. 1934, *ApJ*, **79**, 8 .
- Jensen, E. B., e Thuan, T. X. 1982, *ApJ*, **50**, 421 .
- Kent, S. 1985, *ApJSS*, **59**, 115 .
- Kent, S. e Glauddell, G. 1989, *AJ*, **98**, 1588 .
- Kollatschny, W., and Fricke, K. J. 1989, *A&A*, **219**, 34 .
- Knapen, J., e van der Kruit, P. C. 1991, *A&A*, **248**, 57 .
- Kormendy, J. 1977b, *ApJ*, **217**, 406 .
- Kormendy, J. 1977a, *ApJ*, **214**, 359 .
- Kormendy, J. 1977c, *ApJ*, **218**, 333 .
- Kormendy, J. 1979, *ApJ*, **227**, 714 .
- Kormendy, J., 1982, in *Morphology and Dynamics of Galaxies, 10th Advanced Course Swiss Society of Astronomy and Astrophysics*, eds. L. Martinet, M. Mayor, 113, p. .
- Larson, R., and Tinsley, B. 1974, *ApJ*, **192**, 293 .
- Larson, R., and Tinsley, B. 1977, *ApJ*, **219**, 46 .
- Lauberts, A., e Valentijn, E. A., 1989, *The Surface Photometry Catalogue of the ESO - Uppsala Galaxies*, European Southern Observatory (SPC) .
- Lauer, T. R. 1985, *ApJSS*, **57**, 473 .
- Lahulla, J. F. 1987, *AJ*, **94**, 1062 .

- Longo, G., e de Vaucouleurs, A., 1983, *A General Catalogue of Photoelectric Magnitudes and Colours in the U,B,V System of 3,578 Galaxies Brighter than the 16-th V-magnitude (1936-1982)*, (The University of Texas Monographs in Astronomy No. 3), Austin, Texas .
- Lucy, L. B. 1974, *AJ*, **79**, 745 .
- Lynden-Bell, P. 1964, *ApJ*, **139**, 1195 .
- Lynden-Bell, P. 1965, *ApJ*, **142**, 1648 .
- Maia, M.A.G., da Costa, L.N., e Lathan, D. 1989, *ApJSS*, **69**, 809 .
- Mihalas, D. e Binney, J., 1981, *Galactic Astronomy - Structure and Kinematics*, (San Francisco: W. H. Freeman and Company 332.
- Miller, R. H., e Smith, B. F. 1979, *ApJ*, **227**, 407 .
- Ohta, K., Hamabe, M., e Wakamatsu, K.-I. 1990, *ApJ*, **357**, 71 .
- Odewahn, S. C. 1991, *AJ*, **101**, 829 .
- Osterbrock, D., 1989, *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei*, Universed Science Books 346.
- Ostriker, J.P., e Peebles, P.J.E. 1973, *ApJ*, **186**, 462 .
- Pagel, B.E.J., e Edmunds, M.G. 1981, *Ann. Rev. Astron. Astrophys*, **19**, 17 .
- Pastoriza, M. G., Dottori, H. , Terlevich, E. e Terlevich, R., 1992, in preparation. .
- Pence, W. 1976, *ApJ*, **203**, 39 .
- Pence, W. D., e de Vaucouleurs, G. 1985, *ApJ*, **298**, 560 .
- Pickles, A.J. 1985, *ApJ*, **296**, 340 .

- Puerari, I., e Dottori, H. A. 1991, *A&ASS*, **93**, 469 .
- Reynolds, J. H. 1913, *MNRAS*, **74**, 132 .
- Roberts, M. S., 1975, in *Star and Stellar Systems, vol. 9: Galaxies and the Universe*, eds. A. Sandage, M. Sandage, e J. Kristian, (Chicago: Univ. Chicago Press), p. 309 .
- Rowan-Robinson, M., Phillips, T. G., e White, G. 1980, *A&A*, **82**, 381 .
- Sandage, A., e Tammann, G. A., 1981, *A Revised Shapley-Ames Catalog of Bright Galaxies*, Washington, DC: Carnegie Intitution of Washington (RSA).
- Sazov, A. V. 1985, *Sov. Astron. Lett.*, **11**, 277 .
- Sellwood, T. A., e Carlberg, R.G. 1984, *ApJ*, **282**, 61 .
- Schild, R.S. 1977, *AJ*, **82**, 337 .
- Schröder, M. F. S., 1984, *Tese de Mestrado - Instituto de Física - UFRGS*, .
- Schröder, M. F. S., e Kepler, S. O. 1991, *PASP*, **103**, 383 .
- Scharz, M.P. 1981, *ApJ*, **247**, 77 .
- Schweizer, F. 1976, *ApJSS*, **31**, 313 .
- Sersic, J. R., e Pastoriza, M. 1965, *PASP*, **77**, 287 .
- Sersic, J. R., e Pastoriza, M. 1967, *PASP*, **79**, 152 .
- Shane, C. D., e Wirtanen, C.A. 1967, *Publ. Lick Obs.*, **22**, 1 .
- Shaw, M. 1987, *MNRAS*, **229**, 691 .
- Shaw, M., e Gilmore, G. 1989, *MNRAS*, **237**, 903 .
- Simien, F., e de Vaucouleurs, G. 1986, *ApJ*, **302**, 564 .

- Thuan, T.X., e Gunn, J.E. 1976, *PASP*, **88**, 543 .
- Tsikoudi, V. 1979, *ApJ*, **234**, 842 .
- Tsikoudi, V. 1980, *ApJSS*, **43**, 365 .
- Vader, J. P., Vigroux, L. Lachi èze-Rey, M., e Souviron 1988, *A&A*, **203**, 217 .
- van der Kruit, P. C., e Searle, L. 1981a, *A&A*, **95**, 105 .
- van der Kruit, P. C., e Searle, L. 1981b, *A&A*, **95**, 116 .
- van der Kruit, P. C. 1987, *A&A*, **173**, 59 .
- Véron Cetty, M. -P., e Veron, P. 1986, *A&ASS*, **66**, 335 .
- Verter, F. 1985, *ApJSS*, **57**, 261 .
- Yoshii, Y., e Sommer-Larsen, J. 1989, *MNRAS*, **236**, 779 .
- Wakamatsu, K.-I., e Hamabe, M. 1984, *ApJSS*, **56**, 283 .
- Walker, A. 1987, *NOAO Newsletter*, **10**, 16 .
- Walker, A., e Suntzeff, N. 1987, *NOAO Newsletter*, **10**, 18 .
- Whipple, F.L. 1935, 1935, *Harvard Obs. Circ. N.º 4*, 1 .
- Wirth, A. 1981, *AJ*, **86**, 981 .

Apêndice A

Artigos Publicados

A1: CCD SURFACE PHOTOMETRY OF THE EDGE-ON GALAXY NGC 6835

A2: *UBVRI* PHOTOELECTRIC PHOTOMETRY OF TEN SOUTHERN GALAXIES

UBVRI PHOTOELECTRIC PHOTOMETRY OF TEN SOUTHERN GALAXIES

M. F. S. SCHRODER AND S. O. KEPLER¹

Departamento de Astronomia, Instituto de Física
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 91500 Porto Alegre, RS, Brazil

Received 1990 October 29, revised 1991 January 14

ABSTRACT

We report *UBVRI* photoelectric photometry of ten southern spiral galaxies with diaphragms ranging from 7 to 77 arc seconds. We also report total *B* and *V* magnitudes calculated through standard aperture-magnitude curve fittings.

Key words: galaxies—aperture photometry

1. Introduction

A detailed inspection of the existing photoelectric photometry of southern galaxies shows that there are very few *UBVRI* measurements of even the bright ones. In this paper we present *UBVRI* photoelectric photometry of ten spiral galaxies observed with the 1.6-m telescope of the Laboratorio Nacional de Astrofísica (LNA), Brazil, in June 1989. The purpose is to provide photometric calibration to CCD frames and to obtain total magnitudes and colors of these galaxies.

2. Observations

The observations were made during new Moon using apertures ranging from 7.7 to 77.3 arc sec, on the Cassegrain focus of the 1.6-m telescope of the Laboratorio Nacional de Astrofísica. The ten spiral galaxies in our sample were selected from the *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies* (de Vaucouleurs, de Vaucouleurs & Corwin 1976, hereafter RC2), and are listed in Table 1.

The data were obtained with a photon-counting photometer and a filter wheel spinning at 1200 RPM which enable us to obtain simultaneous measurements in all filters. The instrument has been described by Barroso et al. 1986. The photomultiplier was an RCA C31034 thermoelectrically cooled, and the filters were those of the Johnson system. Standard stars of Graham 1982 were observed to calibrate the photometry to the Johnson-Cousins system. The standard stars were observed at different zenith distances to provide the extinction and transformation coefficients.

3. Data Reduction and Results

The calibration and first-order extinction coefficients were obtained simultaneously for each night, from the observations of a minimum of 17 standard stars each

night. Even though stars with different colors and similar air masses were observed on each night to derive the second-order extinction coefficients, we ended up using the more accurate mean second-order coefficients derived by Jablonski 1989, since they do not change appreciably from night to night. In our data, only $k''(B-V) = -0.034$ was different from zero. The mean error for the transformation to the standard system for a measurement on a single night was 0.03 in *V*, 0.03 in $(U-B)$, 0.01 in $(B-V)$, 0.01 in $(V-R)$, and 0.02 in $(R-I)$.

The results of our photometry are presented in Table 1. The columns in the table are as follows.

- Column (1): galaxy NGC (N) or IC (I) name.
- Column (2): revised morphological type, according to RC2.
- Column (3): galaxy diameter corrected for inclination, in arc secs, taken from RC2.
- Column (4): diameter *A*, in arc secs, of the circular aperture.
- Columns (5)–(9): measured magnitudes and colors.

The mean error in magnitude of a single observation is given in parentheses, in the second line, when there was more than one measurement with the same aperture.

4. Comparison with Published Measurements

Eight galaxies reported here (all except IC 1091 and NGC 7393) have some *UBV* photometry (Longo & de Vaucouleurs 1983, 1985; Hamuy & Maza 1987) published. We have compared our results with this published aperture photometry by interpolating our measurements to the given aperture size and calculating the difference between our values and the published ones. The interpolation for *B* and $(B-V)$ measurements were made using the standard aperture-magnitude curves in the *Third Reference Catalogue of Bright Galaxies* (hereafter RC3, H. Corwin 1989, private communication). For $(U-B)$ we used linear interpolation. The mean differences are:

¹Also Departement de Physique, Université de Montréal, C.P. 6128, Succ. A., Montréal, PQ H3C 3J7, Canada

TABLE 1
UBVRI Photoelectric Photometry

(1) Galaxy	(2) Type	(3) D(")	(4) A(")	(5) (U-B)	(6) (B-V)	(7) V	(8) (V-R)	(9) (R-I)
N3783	SB(r)a	109	7.7	-0.79	0.42	13.39	0.59	0.34
			9.0	-0.83	0.41	13.28	0.60	0.36
			11.6	-0.75	0.44	13.16	0.63	0.37
			15.5	-0.72	0.51	12.97	0.61	0.43
			19.3	-0.64	0.55	12.83	0.62	0.47
			24.5	-0.62	0.59	12.73	0.60	0.49
			77.3	(0.03)	(0.02)	(0.004)	(0.002)	(0.04)
N4672	S(s)b:	104	9.0	0.28	0.97	15.60	0.74	0.79
				(0.005)	(0.02)	(0.10)	(0.001)	(0.05)
			11.6	0.30	0.99	15.30	0.73	0.82
				(0.002)	(0.01)	(0.005)	(0.02)	(0.02)
			15.5	0.16	0.96	14.83	0.71	0.81
				(0.08)	(0.02)	(0.01)	(0.03)	(0.03)
			19.3	0.21	0.91	14.51	0.69	0.76
	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.03)	(0.05)			
	24.5	0.21	0.90	14.31	0.70	0.74		
		(0.08)	(0.01)	(0.01)	(0.04)	(0.09)		
	77.3		0.81	14.70	0.50			
			(0.07)	(0.04)	(0.12)			
I1091	SB(s)b?	74	9.0		1.07	15.53	0.63	0.75
			11.6	0.46	1.04	15.32	0.62	0.66
			15.5	0.37	0.96	14.89	0.62	0.67
				(0.09)	(0.01)	(0.02)	(0.005)	(0.03)
			19.3	0.38	0.94	14.61	0.60	0.57
				(0.03)	(0.04)	(0.01)	(0.01)	(0.003)
			24.5	0.33	0.90	14.44	0.64	0.66
	(0.01)	(0.03)	(0.03)	(0.05)	(0.02)			
	77.3	-0.04	0.90	13.6 8	0.51	0.72		
N5757	RSB(r)b	122	9.0	-0.35	0.58	14.46	0.56	0.54
				(0.002)	(0.002)	(0.31)	(0.01)	(0.004)
			11.6	-0.30	0.62	13.92	0.55	0.56
			15.5	-0.20	0.68	13.64	0.57	0.57
				(0.03)	(0.004)	(0.01)	(0.01)	(0.004)
			19.3	-0.13	0.70	13.44	0.57	0.57
				(0.03)	(0.005)	(0.02)	(0.02)	(0.005)
	24.5	-0.16	0.71	13.27	0.56	0.56		
			(0.003)	(0.02)	(0.02)	(0.03)		
	77.3	0.12	0.72	12.23	0.50	0.49		
		(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.01)		

TABLE 1 (continued)

(1) Galaxy	(2) Type	(3) D(")	(4) A(")	(5) (U-B)	(6) (B-V)	(7) V	(8) (V-R)	(9) (R-I)
N6771	SB?(r)0+sp	112	11.6	0.67	1.13	13.82	0.68	0.70
				(0.01)	(0.01)	(0.001)	(0.004)	(0.01)
			15.5	0.72	1.10	13.53	0.67	0.69
				(0.01)	(0.002)	(0.003)	(0.01)	(0.01)
			19.3	0.68	1.09	13.34	0.66	0.68
	(0.01)	(0.001)	(0.01)	(0.01)	(0.002)			
			24.5	0.76	1.11	13.24	0.68	0.72
				(0.02)	(0.002)	(0.01)	(0.01)	(0.01)
			77.3	0.41	0.96	12.15	0.58	0.64
				(0.08)	(0.02)	(0.01)	(0.04)	(0.13)
N6814	SAB(rs)bc	190	9.0	0.29	1.10	14.25	0.72	0.74
			11.6	0.32	1.12	14.02	0.73	0.75
				(0.003)	(0.002)	(0.004)	(0.001)	(0.02)
			15.5	0.40	1.12	13.67	0.73	0.73
				(0.04)	(0.02)	(0.01)	(0.002)	(0.01)
			19.3	0.46	1.10	13.42	0.73	0.78
	(0.07)	(0.02)	(0.001)	(0.01)	(0.01)			
			24.5	0.42	1.11	13.26	0.70	0.76
				(0.03)	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.02)
			77.3	0.30	1.00	11.94	0.65	0.68
				(0.001)	(0.002)	(0.004)	(0.01)	(0.02)
N6835	SB(s)a?sp	120	9.0	-0.08	0.62	14.35	0.52	0.53
				(0.02)	(0.002)	(0.02)	(0.001)	(0.02)
			11.6	-0.04	0.65	14.14	0.54	0.54
				(0.01)	(0.01)	(0.03)	(0.002)	(0.01)
			15.5	0.05	0.69	13.75	0.58	0.57
				(0.04)	(0.001)	(0.004)	(0.02)	(0.01)
			19.3	0.05	0.71	13.52	0.60	0.59
				(0.001)	(0.02)	(0.02)	(0.01)	(0.004)
			24.5	0.09	0.74	13.40	0.60	0.57
				(0.05)	(0.02)	(0.03)	(0.01)	(0.01)
			77.3	0.24	0.92	12.65	0.58	0.62
					(0.05)	(0.07)	(0.04)	(0.06)
N6878	S(s)b	93	11.6	0.26	0.96	15.27	0.62	0.64
				(0.02)	(0.01)	(0.01)	(0.004)	(0.01)
			15.5	0.20	0.92	15.01	0.56	0.51
				(0.14)	(0.02)	(0.003)	(0.01)	(0.08)
			19.3	0.15	0.91	14.62	0.62	0.67
			24.5	0.16	0.86	14.38	0.58	0.55
				(0.02)	(0.03)	(0.01)	(0.02)	(0.02)
			77.3	0.22	0.80	12.87	0.44	0.42

TABLE 1 (continued)

(1) Galaxy	(2) Type	(3) D(")	(4) A(")	(5) (U-B)	(6) (B-V)	(7) V	(8) (V-R)	(9) (R-I)	
N7233	SAB(s)0	117	9.0	-0.37	0.49	14.41	0.54	0.34	
					(0.01)	(0.02)	(0.002)	(0.01)	(0.03)
			11.6	-0.31	0.51	14.19	0.52	0.42	
				(0.001)	(0.005)	(0.01)	(0.01)	(0.02)	
			15.5	-0.26	0.55	13.85	0.53	0.42	
				(0.04)	(0.01)	(0.004)	(0.03)	(0.02)	
N7233	SAB(s)0	117	19.3	-0.20	0.59	13.64	0.55	0.49	
				(0.002)	(0.01)	(0.01)	(0.01)		
			24.5	-0.20	0.59	13.51	0.53	0.46	
				(0.002)	(0.004)	(0.01)	(0.01)	(0.03)	
			77.3	0.01	0.69	12.62	0.43	0.54	
				(0.08)	(0.02)	(0.01)	(0.003)		
N7393	SB(rs)cP	104	15.5	0.29	0.91	14.43	0.59	0.60	
				(0.06)	(0.02)	(0.002)	(0.01)	(0.02)	
			19.3	0.27	0.83	14.07	0.63	0.61	
				(0.05)	(0.01)	(0.02)	(0.01)	(0.03)	
			24.5	0.13	0.79	13.80	0.57	0.59	
	(0.06)	(0.01)	(0.01)	(0.02)	(0.03)				
N7393	SB(rs)cP	104	77.3		0.77	12.82	0.46	0.71	
					(0.07)	(0.002)	(0.11)	(0.07)	

$\Delta(U-B) = 0.05 \pm 0.04$ ($N = 42$), $\Delta(B-V) = 0.02 \pm 0.07$ ($N = 64$), and $\Delta V = -0.04 \pm 0.09$ ($N = 67$), where the quoted errors are one standard deviation on the mean and N is the number of compared measurements. We have excluded from the comparison the measurements for NGC 3783 because this galaxy is a known variable (Veron-Cetty 1984). Since NGC 6814 is also a possible variable (Hamuy & Maza 1987), we recalculated the mean differences also excluding this galaxy and found the values $\Delta(U-B) = -0.06 \pm 0.04$ ($N = 25$), $\Delta(B-V) = 0.00 \pm 0.08$ ($N = 40$), and $\Delta V = -0.04 \pm 0.09$ ($N = 43$), with no significant difference. There were so few measurements in the R and I filters (de Vaucouleurs & Longo 1988) that no significant comparison could be made.

Figures 1 to 4 give the comparison between our photometry with that published by other authors. We conclude that there are no systematic differences between our measurements and the published ones, neither for magnitude nor for aperture size.

5. Total Magnitudes

We have obtained total B and V magnitudes by fitting the standard aperture-magnitude curves of the RC3 to the

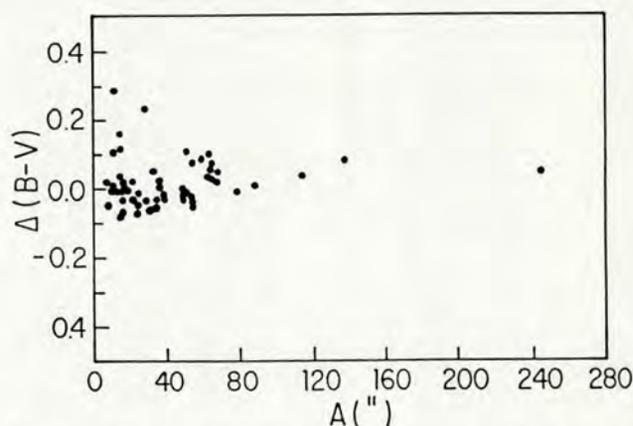


FIG. 1—Differences between our $(B-V)$ measurements and the measurements by other authors [$\Delta(B-V) = (B-V)_{\text{ours}} - (B-V)_{\text{others}}$] plotted against aperture size, in arc secs.

complete collection of data available for each galaxy. The results are given in Table 2. Figure 5 shows the standard curves fitted to the data for the galaxy NGC 7233, to illustrate the quality of the fitting. The B magnitude and $(B-V)$ color in Table 2 were corrected for galactic absorption, inclination, and redshift when the radial velocity was

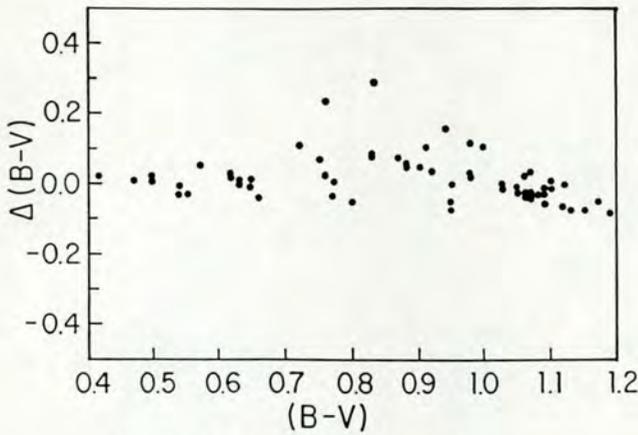


FIG. 2— $2-\Delta(B-V)$ plotted against $(B-V)_{\text{ours}}$.

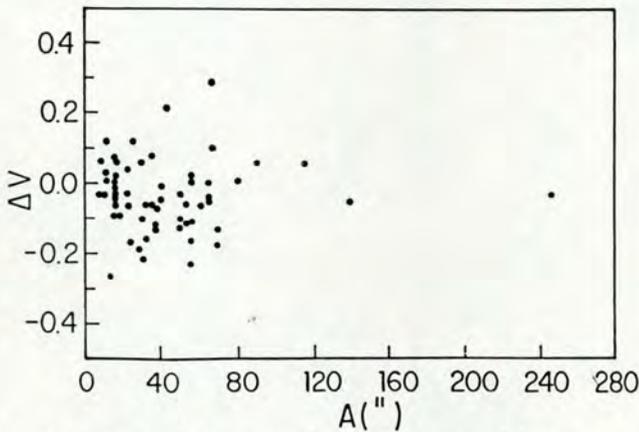


FIG. 3—Differences between our V measurements and the measurements by others ($\Delta V = V_{\text{ours}} - V_{\text{others}}$) plotted against aperture size, in arc secs.

available, according to the equations given in the RC2.

6. Color Diagrams

The color excesses for UBV photometry were calculated using the formulae and axial ratio given in the RC2. The $(V-R)$ and $(R-I)$ colors were corrected using $E(R-I)/E(V-R) = 0.96$ and $E(V-R)/E(B-V) = 0.79$ (Lahulla 1987). In Figures 6 and 7 we plot the two-color diagrams using apertures with diameter around $3 h^{-1}$ kpc ($H = 100 h \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$) for the galaxies with published radial velocity. For NGC 4672 and IC 1091, with no published radial velocity, we used the aperture for which $\log(A/D(O)) = -0.7$, since this is the mean value of $\log\{(A = 3 \text{ Kpc})/D(O)\}$ for the other galaxies. We also plotted the colors within the largest apertures, which should be more similar to the total color of the galaxies, even though

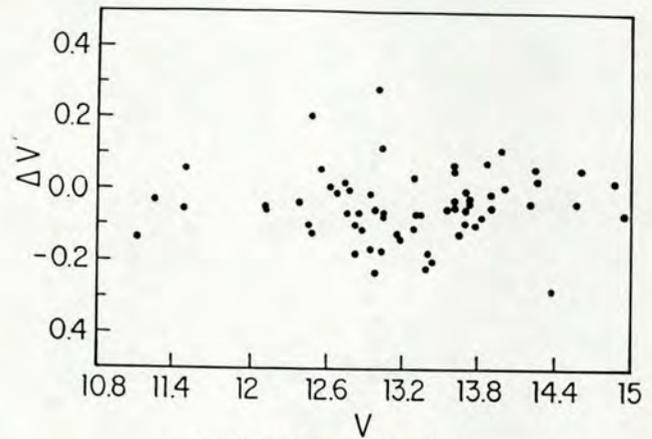


FIG. 4— ΔV plotted against V_{ours} .

TABLE 2

B and V total magnitudes

Galaxy	T	B_T	$A_{\text{eff}}(B)$	V_T	$A_{\text{eff}}(V)$	B_T^0	$(B-V)_T^0$
N3783	1	12.80 ±0.30	18" ±2"	12.00 ±0.22	23" ±2"	12.25	0.66
N4672 ^a	3	14.70 0.10	22 2	13.80 0.10	22 2	13.84	0.72
N5757	3	12.77 0.08	34 2	12.00 0.08	44 2	12.36	0.68
I1091 ^a	3	14.45 0.08	30 2	13.53 0.05	32 2	13.95	0.84
N6771	-1	13.62 0.06	23 1	12.58 0.05	22 1	12.64	0.79
N6814	4	12.00 0.16	87 1	11.20 0.10	84 1	11.10	0.59
N6835	1?	13.45 0.08	23 1	12.58 0.08	29 1	12.27	0.61
N6878	3	12.90 0.14	98 2	12.20 0.14	97 3	12.29	0.53
N7233	0	13.14 0.05	29 1	12.34 0.05	41 1	12.67	0.69
N7393	5	13.45 0.06	36 2	12.70 0.05	36 2	12.93	0.61

^aThese galaxies have not been corrected by redshift, since they do not have published radial velocities.

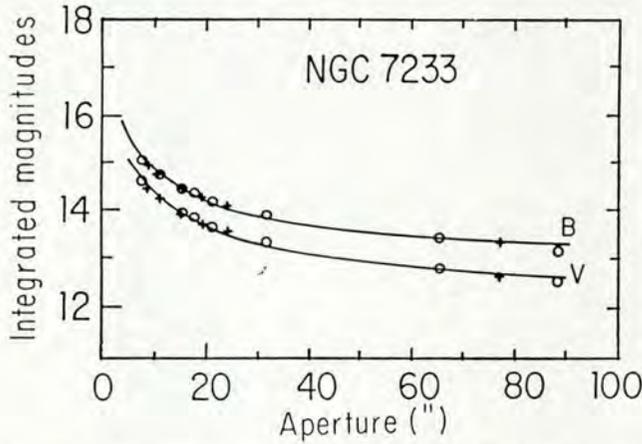


FIG. 5—Fit of aperture photometry of NGC 7233 to RC3 standard aperture-magnitude curves. Pluses are our own photometry, circles are others. The upper curve is *B*, and the lower one is *V*.

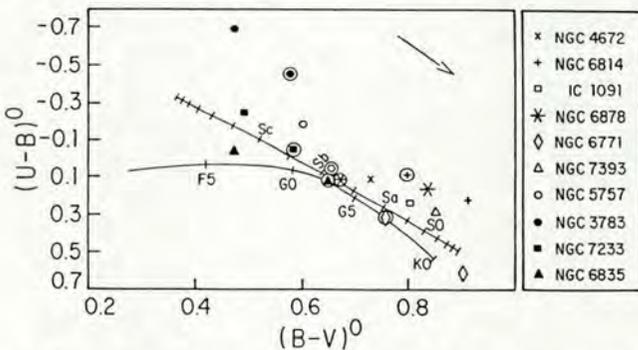


FIG. 6—*UBV* color-color diagram. The upper line is the galaxy sequence (de Vaucouleurs 1977); the lower one is the stellar main sequence (Allen 1976). Each galaxy is represented by a symbol according to the legend on the right side of the figure. The symbols without the outerlying circle refer to the magnitudes integrated within the small aperture (diameters around $3 h^{-1}$ kpc). The symbols within the outerlying circle refer to the magnitudes integrated within the largest aperture. The arrow indicates the direction of the reddening.

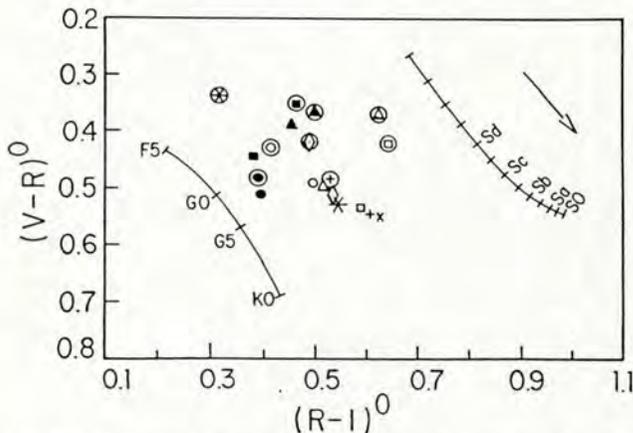


FIG. 7—*VRI* color-color diagram. The left line is the stellar main sequence; the right line is the galaxy sequence. The symbols are the same as in Figure 6. The arrow indicates the direction of the reddening.

these galaxies are larger than that aperture.

In the *UBV* color diagram, our integrated colors lie near the Hubble Sequence (de Vaucouleurs 1977), except for NGC 3783 and NGC 6814 which are known Seyferts (Véron-Cetty & Véron 1989, hereafter VCV). For comparison with the nuclear colors, a stellar sequence (Allen 1976) is also shown.

In the *VRI* color diagram, integrated colors lie between the galaxy sequence and the stellar sequence. The galaxy sequence displayed in the figure was calculated by Steve Odewahn from a sample of photoelectric photometry of galaxies observed by Harold Corwin, Jr. 1990 (private communication). This sequence has an error of 0.18 magnitude in $(R-I)$, so its position in the diagram is uncertain in the horizontal direction. The stellar sequence was calculated from the average of the main-sequence standard stars of each type listed in the *Astronomical Almanac* 1990. The fact that the colors of the galaxies from our 77" aperture (circled) do not obey the galactic sequence can be explained by two reasons: (1) As can be seen in Table 1, all the galaxies have diameters larger than the largest aperture used in this study, so the integrated colors cannot be compared directly to the total colors that are used in the galactic sequence, even though for the smaller galaxies the colors probably do not vary significantly for larger apertures. (2) A particular galaxy of given Hubble type has a wide range of possible colors which can be quite different from the mean color characteristic of its type, so we do not expect a correlation between individual colors and type.

7. Discussion

We now present a few comments on the results we obtained for each galaxy separately.

NGC 3783 (Sa)—There is a large dispersion in the published *B* and *V* measurements, compatible with the galaxy being a variable. Our data alone are consistent with smaller effective radius and lower magnitude. The galaxy has a very blue nucleus, dominated by nonthermal radiation (see Fig. 6), and is classified as a Seyfert 1 (VCV).

NGC 4672 (Sb)—Our *B* and $(B-V)$ measurements agree with the only two previous ones within 0.1 mag. The corrected $(B-V)_T^0 = 0.7$ is consistent with the morphological type of the galaxy, according to de Vaucouleurs 1977.

NGC 5757 (Sb)—This galaxy has very few measurements published. The blue nuclear color indicates the presence of a burst of stellar formation, compatible with the classification of the galaxy as an H II galaxy (VCV). The corrected total $(B-V)_T^0 = 0.68$ of the galaxy is consistent with its morphological type.

IC 1091 (Sb)—This galaxy has no published measurements. We found $B_T^0 = 13.95$ and $(B-V)_T^0 = 0.84$, which is much redder than the typical color of Sb galaxies.

NGC 6771 (S0)—Our B and V measurements complemented well the published ones, allowing a good fit of the standard curves. The obtained values of B_T^0 and $(B-V)_T^0$ agree well with those given in RC2. The nuclear UBV colors are the reddest we observed, indicating that the light is dominated by cool giant stars.

NGC 6814 (Sbc)—This galaxy has several UBV measurements. Our B and V measurements agree with them, and the B_T^0 and $(B-V)_T^0$ obtained agree with those given in RC2. This galaxy is also classified as a Seyfert I (VCV) but, contrary to NGC 3783, its nuclear colors are very red.

NGC 6835 (Sa)—Our B and V measurements complemented well the published ones. It is another galaxy with decreasing $(B-V)$ in the direction of the nucleus, indicating stellar formation in the nucleus. Its $(B-V)_T^0$ color is much bluer than typical Sa galaxies.

NGC 6878 (Sb)—This galaxy has very few measurements and the fit of the standard curves was not good. The $(B-V)$ found by us agrees with that in RC2, but our derived total $B = 12.9$ is 1.2 magnitudes brighter than that given in RC2. Nevertheless, it agrees with the Harvard magnitude given in the same catalog, $m_H = 13.1$.

NGC 7233 (S0)—This galaxy has several aperture photometric measurements, although no total magnitude and color were quoted in the RC2. The $(B-V)_T^0$ we found is bluer than typical S0/a galaxies. Its nuclear colors are also very blue.

NGC 7939 (Sc)—This galaxy has no published measurements. It is an amorphous galaxy classified as $T = 5$ in RC2. It has a red nucleus and the $(B-V)_T^0$ we found for it is compatible with this classification.

We deeply appreciate the help of Dr. Harold Corwin, Jr., and Dr. Steve Odewahn for providing us with standard luminosity profile tables from the *Third Reference Catalogue of Bright Galaxies*, and mean colors, prior to publication. We are also grateful to Dr. F. Jablonski for help in the reduction of data. This research was partially financed by grants from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico and Financiadora de Estudos e Projetos, Brazil.

REFERENCES

- Allen, C. W. 1976, *Astrophysical Quantities* (3rd ed., London, Athlone)
- Barroso, J., Jr., Nunes, M. A., Nascimento, D., Jr., & Silva, I. M. 1986, *Revista de Física Aplicada e Instrumentação*, 1, 207
- de Vaucouleurs, G. 1977, in *The Evolution of Galaxies and Stellar Population*, ed. B. Tinsley & R. Larson (New Haven, Yale University Observatory), p. 43
- de Vaucouleurs, A., & Longo, G. 1988, *Catalogue of Visual and Infrared Photometry of Galaxies from 0.5 m to 10 m (1961–1985)* (The University of Texas Monographs in Astronomy No. 5)
- de Vaucouleurs, G., de Vaucouleurs, A., & Corwin, H. G. 1976, *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies* (Austin, The University of Texas Press) (RC2)
- Graham, J. A. 1982, *PASP*, 94, 244
- Hamuy, M., & Maza, J. 1987, *A&AS*, 68, 383
- Jablonski, F. J. 1989, Ph.D. dissertation, Instituto Astronômico e Geofísico—Universidade de São Paulo, Brazil
- Lahulla, J. F. 1987, *AJ*, 94, 1062
- Longo, G., & de Vaucouleurs, A. 1983, *A General Catalogue of Photoelectric Magnitudes and Colors in the U, B, V System of 3,578 Galaxies Brighter than the 16-th V -Magnitude (1936–1982)* (The University of Texas Monographs in Astronomy No. 3)
- . 1985, *Supplement to the General Catalogue of Photoelectric Magnitudes and Colors of Galaxies in the UBV System* (The University of Texas Monographs in Astronomy No. 3A)
- Véron-Cetty, M. P. 1984, *A&AS*, 58, 665
- Véron-Cetty, M. P., & Véron, P. 1989, *A Catalogue of Quasars and Active Nuclei* (ESO Scientific Report No. 7) (VCV)

CCD SURFACE PHOTOMETRY OF THE EDGE-ON GALAXY NGC 6835

M. F. S. SCHRODER,* M. G. PASTORIZA,* AND S. O. KEPLER

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 91500 Porto Alegre, RS, Brazil

Received 1989 August 21, revised 1990 March 14

ABSTRACT

CCD frames in the *B*, *V*, *R*, and *I* passbands were obtained for the nearly edge-on spiral galaxy NGC 6835. The frames were analyzed to derive standard geometric and photometric parameters as well as luminosity and color distributions. The analysis of the luminosity profiles shows the existence of a flattened bulge and an exponential disk. The face-on parameters of the disk were obtained from a fit of an exponential disk seen edge-on to the observed data. The distribution of color indices along the major axis shows a pronounced blue gradient toward the nucleus, which we interpreted as a region of recent stellar formation.

Key words: galaxies: individual—galaxies: photometry—galaxies: structure

1. Introduction

The morphological classification of the edge-on galaxy NGC 6835 has been controversial: It is classified as an SB(s)a?/ in the *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies* (de Vaucouleurs, de Vaucouleurs, and Corwin 1976 = RC2) and as an amorphous type in the Revised Shapley-Ames Catalog (Sandage and Tammann 1981 = RSA). The RSA classification is probably due to the presence of knots and dust lanes irregularly distributed along the edge-on plane.

Adopting a value of $V_0 = 1713 \pm 2 \text{ km s}^{-1}$ (RC2; RSA; da Costa *et al.* 1984) for the recession velocity, and using $H = 100 h \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, we obtain a distance modulus of $31.16 - 5 \log h \text{ mag}$. The scale on the image is therefore $1'' = 83 h^{-1} \text{ pc}$.

In this paper we present original results of detailed surface photometry of NGC 6835, obtained from CCD images in the *B*, *V*, *R*, and *I* colors. Our aim is to identify the main components of the galaxy, to determine their photometric parameters, and, by means of their color indices, to obtain information on their dominant stellar populations.

2. Observations and Reductions

We obtained the CCD frames with the 91-cm telescope at the Cerro Tololo Inter-American Observatory during a run in June 1987. The detector we used was the 800×800 TI No. 1 chip automatically rebinned into 2×2 pixels, with a final scale of $0.496 \text{ arc sec pixel}^{-1}$. A log of the observations is given in Table 1, where *A* is the aperture

*Visiting Astronomer, Cerro Tololo Inter-American Observatory, National Optical Astronomy Observatories, operated by the Association of Universities for Research in Astronomy, Inc., under contract with the National Science Foundation.

TABLE 1

Log of Observations

Filter	Exposure (sec)	Seeing (arcsec)
B	900	3.6
V	600	3.2
R	200	3.0
I	300	2.9

diameter in arc seconds. We have corrected the frames for nonuniformity and defects of the CCD using the dome flat fields and the standard computer programs of CTIO.

Figure 1 shows a blue photographic plate of NGC 6835 obtained with the 1.6-m telescope of the Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA) in Brazil, where we indicate the area covered by the CCD frames.

Even though we observed seven standard stars of the E regions (Graham 1982) to provide photometric calibration, and the derived $(B - V)$ color term from these standards was identical to that of the CCD typical equations (Walker and Suntzeff 1987), a comparison of the obtained simulated multiaperture photometry with published and new multiaperture photoelectric photometry showed systematic deviations. We therefore assumed that the photoelectric photometry measurements are free of any systematic errors, since they were obtained by different astronomers independently, and calibrated the CCD photometry directly using the photoelectric photometry compiled in Table 2. The new multiaperture photoelectric photometry was obtained by us using the 1.6-m telescope at LNA, and the details of it will be published elsewhere (Schroder and Kepler 1990). The final transfor-



FIG. 1—IIa-O photograph of NGC 6835 obtained with the Cassegrain camera attached to the 1.6-m telescope of Laboratório Nacional de Astrofísica (Brazil). The exposure time was 60 min. The box shows the area covered by the CCD frames.

mations used are as follows:

$$\begin{aligned} B &= b + (22.16 \pm 0.05) , \\ V &= v + (22.34 \pm 0.06) , \\ R &= r + (22.50 \pm 0.03) , \\ I &= i + (21.64 \pm 0.04) , \end{aligned}$$

where b , v , r , and i are the instrumental magnitudes. The corresponding sky brightnesses were obtained directly by the least-squares fit to aperture photometry, to circumvent the possible contamination of the whole CCD by the galaxy, and have values $B = 19.74$, $V = 19.47$, $R = 19.38$, and $I = 18.97$ mag/arc sec². The resulting sky colors are

TABLE 2
Photoelectric Multiaperture Photometry

A	log(A/0.1')	U-B	B-V	V	V-R	R-I	Source
9.0"	0.18	-0.08	0.62	14.35	0.52	0.53	SK
11.6	0.29	-0.04	0.65	14.14	0.54	0.54	SK
15.5	0.41	0.05	0.69	13.75	0.58	0.57	SK
19.3	0.51	0.05	0.71	13.52	0.60	0.59	SK
24.5	0.61	0.09	0.74	13.40	0.60	0.57	SK
28.1	0.67	0.22	0.76	13.45	-	-	LdV
30.1	0.70	-	-	13.41	-	-	LdV
30.1	0.70	0.17	0.77	13.30	-	-	LdV
36.2	0.78	0.18	0.76	13.18	-	-	LdV
36.2	0.78	0.15	-	13.17	-	-	LdV
54.7	0.96	-	-	12.86	-	-	LdV
54.7	0.96	0.25	0.83	12.98	-	-	LdV
60.0	1.00	0.14	0.83	12.77	-	-	LdV
64.3	1.03	-	0.88	12.68	-	-	LdV
68.9	1.06	0.19	0.90	12.82	-	-	LdV
77.3	1.11	0.26	0.92	12.65	0.58	0.62	SK

Sources: SK = Schroder and Kepler (1990) ; LdV = Longo and de Vaucouleurs, 1983.

consistent with a quarter Moon and the high brightness with the proximity of the Moon. The quoted errors throughout this paper are one standard deviation, and in the transformation equations they represent the dispersion on the mean due to the different photoelectric measurements.

We compared the resulting CCD colors with the photoelectric ones and found the mean differences $\langle V_{\text{CCD}} - V_{\text{PP}} \rangle = 0.005 \pm 0.022$, $\langle (B-V)_{\text{CCD}} - (B-V)_{\text{PP}} \rangle = -0.003 \pm 0.002$, $\langle (V-R)_{\text{CCD}} - (V-R)_{\text{PP}} \rangle = 0.077 \pm 0.008$, and $\langle (R-I)_{\text{CCD}} - (R-I)_{\text{PP}} \rangle = 0.004 \pm 0.005$. There are no systematic differences in the resulting colors except in $(V-R)$. Note, however, that there is a large dispersion in the published V filter photometry, and for R and I there are only the few measurements by ourselves to calibrate the CCD frames, so the inclusion of an extra color term was not warranted.

Figures 2 and 3 show the differences between the calibrated CCD values obtained from circular aperture synthesis and the photoelectric photometry, plotted against aperture sizes and magnitudes.

The CCD data analysis was performed with the Image Reduction and Analysis Facilities (IRAF¹) on our MV8000 Eclipse computer, using mainly the APPHOT package and other FORTRAN programs.

3. Isophote Maps and Geometrical Parameters

Isophote maps are shown in Figure 4 for the B , V , R , and I magnitudes. The external isophotes are very regular, with nearly the same ellipticity and position angle. In the intermediate region they become distorted, presenting a concavity facing south. This concavity is more evident in the B contours and probably is caused by the thin dark lane parallel to the SW semimajor axis that appears in the blue-light photograph (Fig. 1). In the inner region

¹IRAF is distributed by National Optical Astronomy Observatories, which is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy, Inc., under contract to the National Science Foundation.

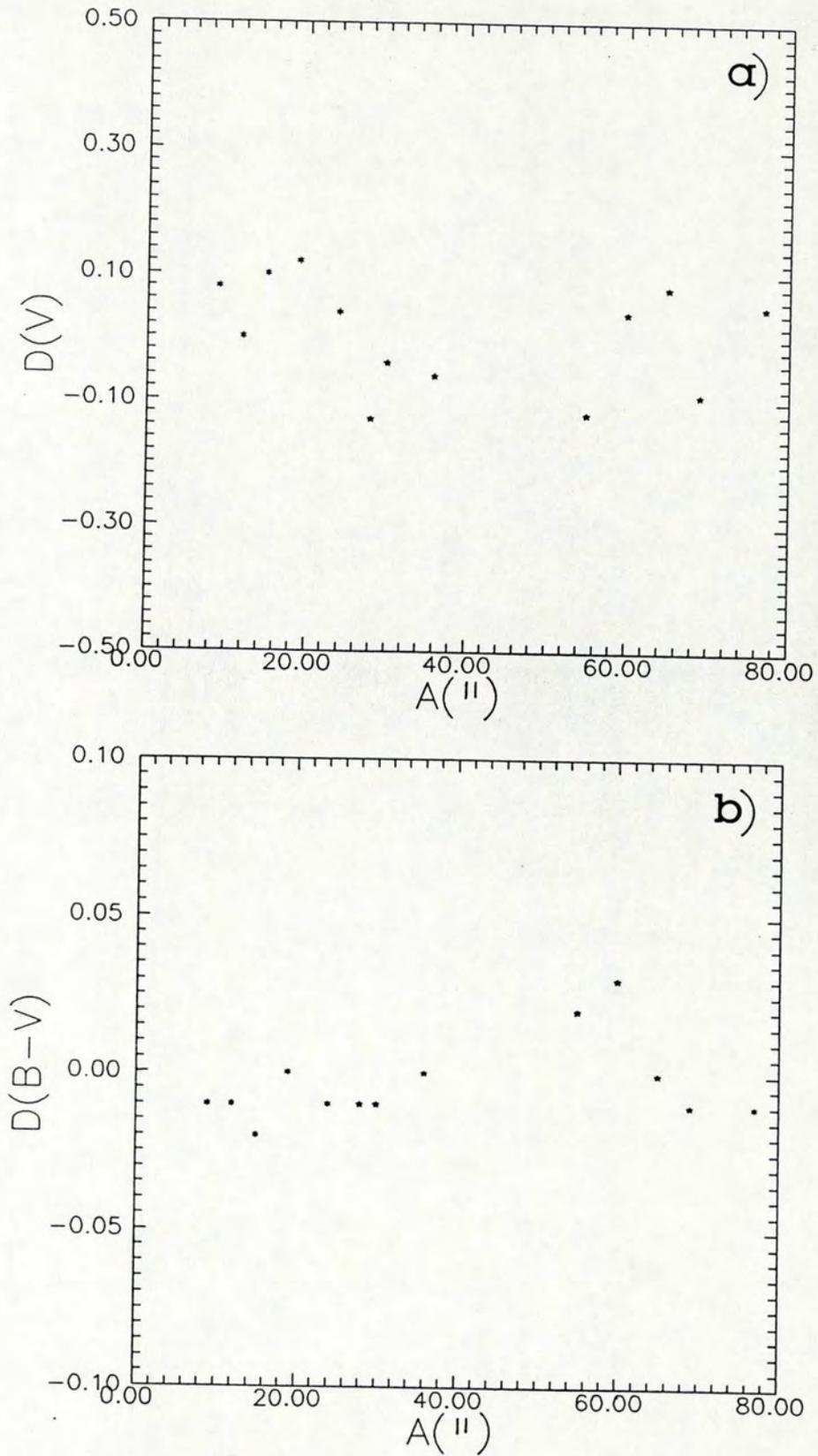


FIG. 2—Differences between the resulting CCD synthetic aperture photometry and the photoelectric photometry versus aperture size. Our measurements are represented by asterisks and the published ones by stars.

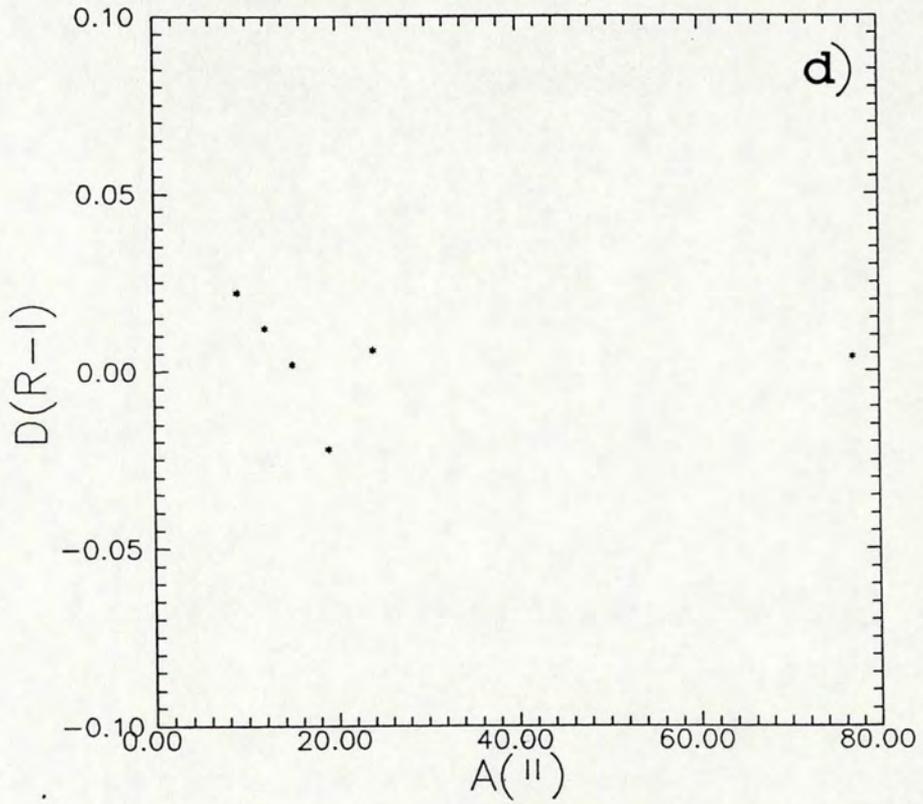
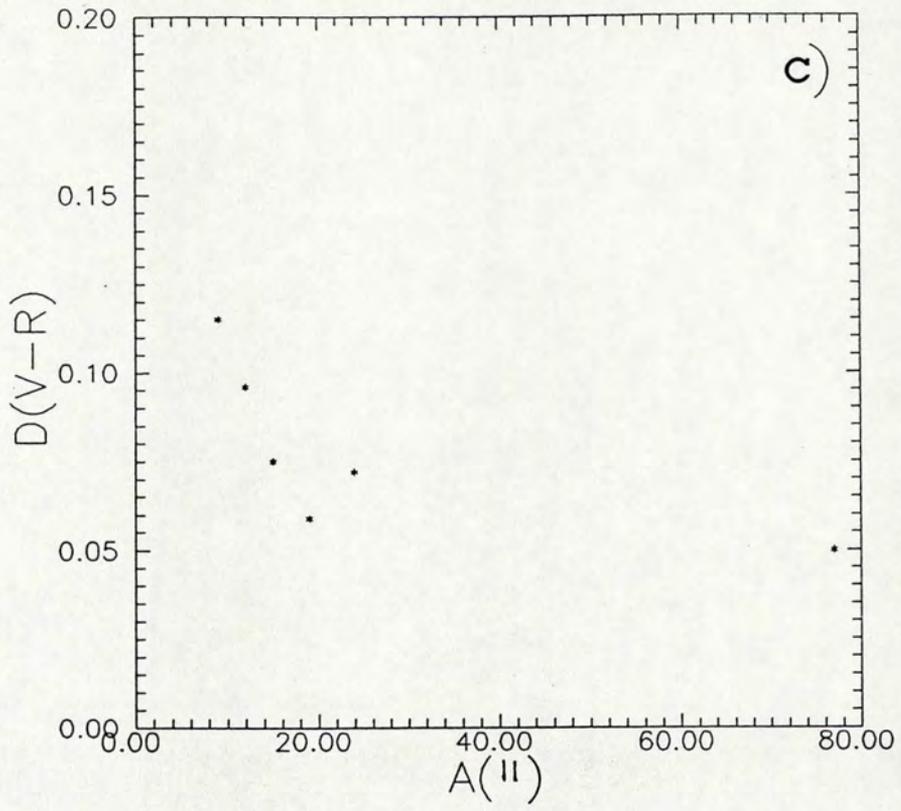


FIG. 2—Differences between the resulting CCD synthetic aperture photometry and the photoelectric photometry versus aperture size. \circ measurements are represented by asterisks and the published ones by stars.

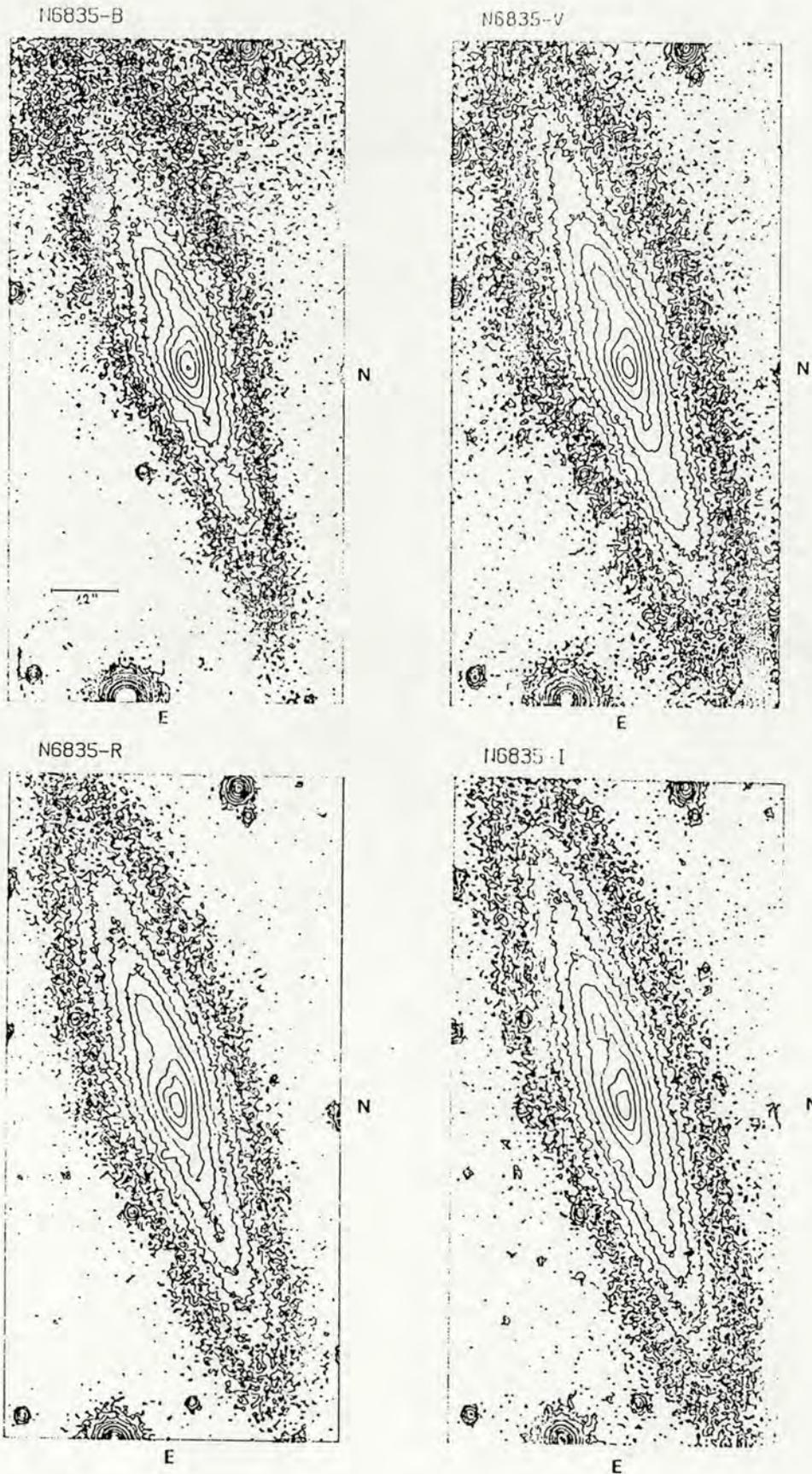


FIG. 4—Isophote maps of NGC 6835 in *B* (top left), *V* (top right), *R* (bottom left), and *I* (bottom right). The isophotal levels shown are: μB from 18.5 to 23.5; μV from 18.3 to 23.3; μR from 17.4 to 21.9; and μI from 17.5 to 22.0. The level interval is 0.5 in all the maps.

the isophotes become rounder, though retaining the elliptical shape.

In all the bands the inner isophotes change the direction of the position angle in relation to the external ones, which can be interpreted in two ways: (1) as an effect of dust in the disk, or (2) as an indication of the existence of a triaxial bulge (Mihalas and Binney 1981). The detection of this change also in the *I* frame lends support to the second alternative, since the *I* frame is the one least affected by dust.

To determine the position angle and the ellipticity of the isophotes, we have fitted ellipses by least squares to the *I* contour levels. Some ellipses fitted are shown in Figure 5. Again, the *I* passband was chosen because this is the band least affected by dust, which deforms the isophotes. Figure 6 shows the axial ratio and position angle curves based on the ellipse fits. The axial ratio of the isophotes decreases very rapidly from the center until a smooth minimum with $q = b/a = 0.19$ around the semimajor axis $a = 32.2$ arc sec. This corresponds nearly to the *I* isophote of $\mu I = 20.1$ mag arc sec⁻¹.

To determine the inclination of the galaxy, we have used the observed mean axial ratio $q = 0.253$ derived from the five outermost isophotes. We have assumed that the disk of the galaxy can be represented by an oblate spheroid of intrinsic axial ratio $q_0 = 0.2264$ as is normal for a $T = 1$ class (Bottinelli *et al.* 1983), which leads to an inclination of approximately $83^\circ \pm 2^\circ$. This value agrees with the inclination $i = 81^\circ$ given by Bottinelli *et al.* With the exception of the inner 12 arc sec, the position angle is nearly constant at 71.64 ± 0.47 . The half-diameter derived at the isophote $\mu I = 23.0$, which, assuming the $(B - I)$ color does not change outside level $\mu B = 24$, corresponds to $\mu B = 25.0$, is 76 arc sec or $6.01 h^{-1}$ Kpc.

4. Equivalent Luminosity Profiles and Integrated Parameters

The *B*, *V*, *R*, and *I* magnitudes were integrated within

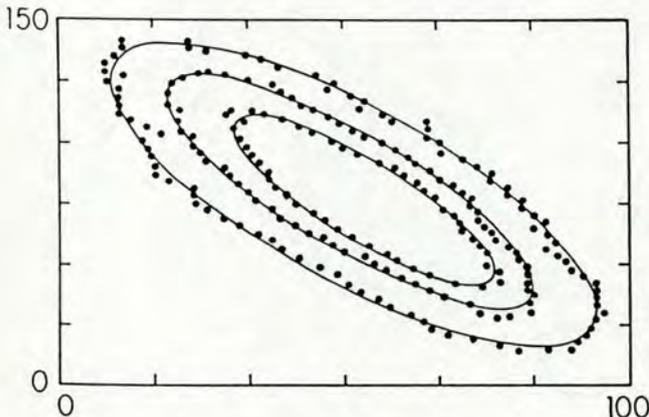


FIG. 5—Ellipsoidal fits to *I* contours with $\mu I = 21.9, 20.8,$ and 19.8 . The dimensions of the image are given in arc seconds.

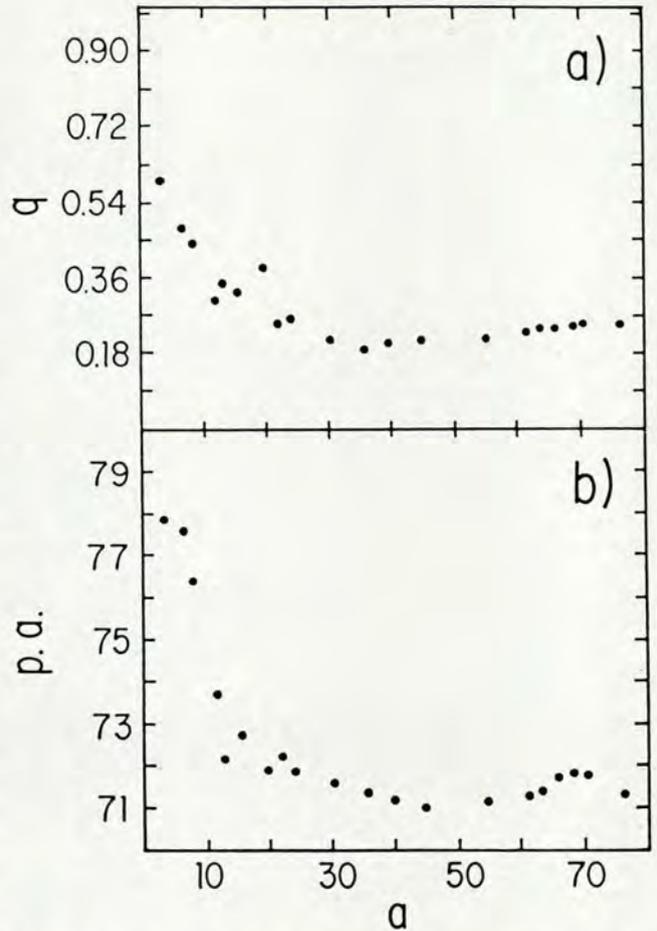


FIG. 6—(a) Axial ratios q of the *I* isophotes based on ellipsoidal fits. The parameter a is the semimajor axial ratio in arc seconds. (b) Position angle of the *I* isophotes in degrees.

TABLE 3
Integrated Luminosity Distribution in NGC 6835

r^* ^a	μB ^b	μI ^b	B^c	V^c	R^c	I^c
6	20.5	18.4	14.68	14.03	13.39	12.80
8	20.8	18.7	14.37	13.69	13.03	12.44
10	21.3	19.0	14.13	13.41	12.74	12.17
12	21.6	19.4	13.97	13.22	12.55	11.96
14	21.9	19.6	13.85	13.08	12.41	11.81
16	22.3	19.9	13.74	12.95	12.30	11.69
18	22.4	20.2	13.66	12.87	12.21	11.60
20	22.7	20.4	13.60	12.80	12.15	11.54
22	23.0	20.6	13.56	12.75	12.10	11.48
24	23.2	20.8	13.51	12.72	12.06	11.43
26	23.5	21.1	13.47	12.67	12.03	11.41
28	23.8	21.4	13.45	12.65	12.01	11.37
30	24.1	21.5	-	12.63	11.97	11.34
32	24.3	21.8	-	12.62	11.94	11.31
34	24.6	22.0	-	12.60	11.94	11.31
36	24.9	22.3	-	12.59	11.94	11.31
38	25.1	22.5	-	12.58	11.94	11.31

^a Equivalent radius in arcseconds
^b Corresponding *B* and *I* isophotal level
^c Integrated *B*, *V*, *R*, and *I* magnitude within the isophote.

different isophotal levels and are listed in Table 3. The isophotal levels are quoted by their equivalent radii defined by $r^* = [A/\pi]^{1/2}$, where A is the area inside the

isophote itself (de Vaucouleurs 1982).

The main integrated parameters are given in Table 4. We calculated the total magnitude in two ways:

(1) We fitted B and V growth curves to the photoelectric photometry within circular diaphragms, using the standard RC3 curves for stage $T = 1$ (Sa) (H. Corwin 1989, private communication). The result is $B_T = 13.44 \pm 0.10$ and $V_T = 12.56 \pm 0.09$, with corresponding $(B - V)_T = 0.88$. The error in $(B - V)$ is estimated from the results of the photoelectric photometry to be about 0.04 mag. The total B magnitude and $(B - V)$ color are in good agreement with the RC2 value of $B_T = 13.4 \pm 0.15$ and $(B - V)_T = 0.87 \pm 0.06$.

(2) We fitted a V standard growth curve to the CCD photometry integrated within the V isophotes them-

selves, represented by their equivalent radii, giving larger weight to the isophotes larger than $r^* = 10''$. This growth curve is presented in Figure 7. We did not fit the growth curve to the B isophotes because they do not go as deep as the V isophotes. The largest V isophote, with $r^* = 38''$, is circumscribed by a circular aperture of radius $45''$, therefore much larger than the largest aperture observed by photoelectric photometry. Note that, since we calibrated our CCD photometry with the photoelectric photometry, there is no systematic deviation between the CCD values and the photoelectric ones. This method, which follows the definition of growth curve (RC2), gives a total magnitude of $V_T = 12.43 \pm 0.07$. Using the $(B - V)$ obtained in the first method, we obtain $B_T = 13.31 \pm 0.08$. This value is in good agreement with the value 13.28 obtained by extrapolating the mean equivalent luminosity profile assuming an exponential decline past $r^* = 12''$ and adding the observed bulge contribution (0.13 mag).

Using the RC2 galactic absorption of $A_B = 0.73$ and an internal absorption of $A_B(i) = 0.70 \log a/b = 0.42$ where a/b is the axial ratio of the outermost I isophotes, and the B_T obtained with the second method, we get a total corrected magnitude $B_T^0 = 12.16 \pm 0.08$, which gives a total absolute magnitude in the B filter of $M_T^0(B) = -19.00 + 5 \log h \pm 0.08$.

Distance (Mpc)	17.12h ⁻¹
Total apparent magnitude V_T	12.43±0.08
Corrected total apparent magnitude V_T	11.57
Corrected absolute total magnitude M_V	-19.59 + 5log h
Total observed color $(B - V)$	0.88±0.04
Corrected total color $(B - V)_0$	0.59
Equivalent effective radius $r_{e^*}(V)$	12.5 arcsec
Effective average surface brightness $\mu_{V,0}$	19.9
Concentration indices (in V)	
$C_{21} = r_{e^*}/r_1^*$	2.34
$C_{32} = r_2^*/r_{e^*}$	1.80
Total luminosity $L_{V,T} (L_{\odot})$	5.85X10 ⁹ h ⁻²

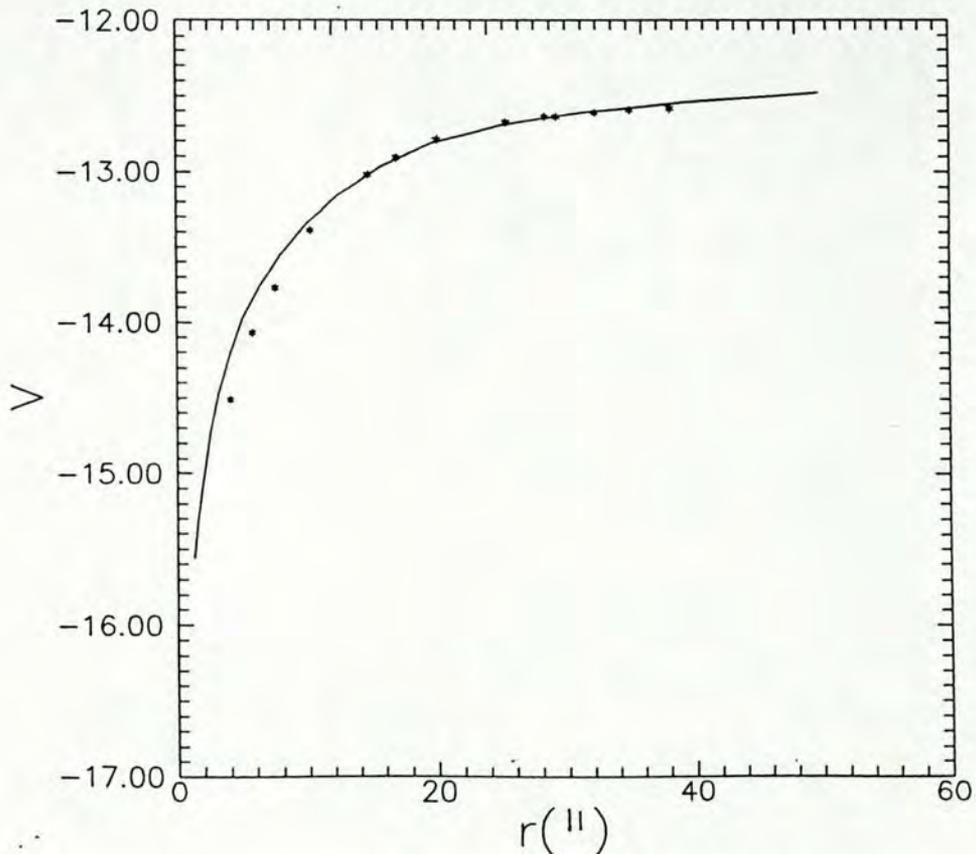


FIG. 7—Standard RC3 V growth curve fitted to integrated isophotal photometry.

The color excesses due to galactic absorption $E(B-V) = 0.18$ and internal absorption $E(B-V)(i) = 0.11$ were derived as in the RC2 using $R = 3.0$ (Allen 1973). The corrected color $(B-V)^0 = 0.59$ is very blue compared with the $(B-V)^0$ typical of a galaxy of Hubble stage Sa, being more consistent with an Sbc type (de Vaucouleurs 1977).

From the integrated flux density of the H I 21-cm line given in Bottinelli, Gouguenheim, and Paturel (1982), and using the relation between flux and H I mass given in RC2, we have calculated $\mathcal{M}_{\text{H I}} = 2.80 \times 10^9 \mathcal{M}_{\odot}$, which leads to a ratio $\mathcal{M}_{\text{H I}}/L_B = 0.45 \mathcal{M}_{\odot}/L_{B\odot}$. According to Roberts (1975) this value is typical of Sc galaxies. Another measure of the hydrogen mass to luminosity ratio is the hydrogen index $\text{H I} = B_{T^0} - m_{21^0}$, as defined in RC2. Bottinelli, Gouguenheim, and Paturel (1984) give the value $m_{21^0} = 10.84$ for NGC 6835, and therefore $\text{H I} = 1.32$. According to the relation between H I and T given by de Vaucouleurs and Buta (1983), this value is more typical of a late spiral, with $T = 8$. It is important to note, however, that there is a wide variation of the ratio of the H I flux to optical magnitude between spiral galaxies of the same Hubble type and that the uncertainties in the correction to the magnitude by the inclination might be large, making any indication of type uncertain.

5. Luminosity Profiles

The luminosity profiles were calculated by a two-dimensional interpolation of the luminosity distribution through the center of the galaxy, on a selected direction. The profiles were corrected from the effects of seeing by Lucy's deconvolution technique (Lucy 1974), with the seeing derived from the mean radial stellar profile on the same frame.

Figure 8 illustrates the single pixel major and minor axis surface-brightness and color-index profiles, on all passbands. The color profiles are shown for the inner region only, since their noise is large for $\mu_B > 23.2$.

Along the major axis the profile has a complex shape. On the inner part the profile does not fall as quickly as a spherical bulge and forms a small hump in the SW side, more prominent in the I passband, that may be indicating the existence of a nuclear bar. At the end of the bulge region ($r = 8''$) there are two plateaus symmetrically placed with respect to the nucleus, with luminosity distribution resembling a lens or a bar, but they might be simply an effect of the dust. The SW plateau ends in a conspicuous hump centered at $r = 17''$, corresponding to the bright knot seen in the photograph in the SW side of the galaxy. Another hump is found at the opposite side of

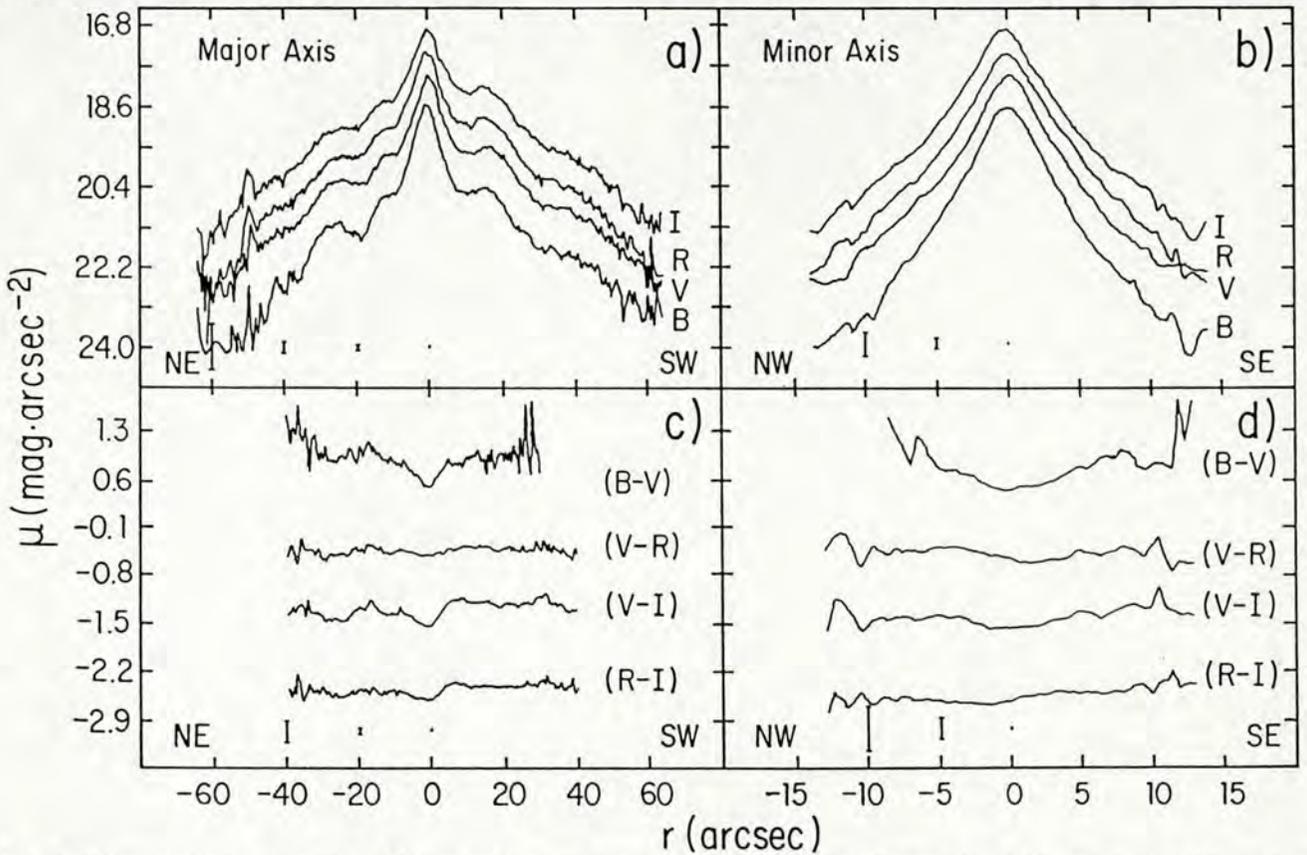


FIG. 8—(a) Major-axis luminosity profiles. (b) Minor-axis luminosity profiles. (c) Major-axis color-indices profiles. (d) Minor-axis color-indices profiles. The ordinates are mag arc sec^{-2} . The $(V-R)$, $(V-I)$, and $(R-I)$ profiles are offset by -1.0 , -2.5 , and $-3.0 \text{ mag arc sec}^{-2}$, respectively. The mean error bars (one standard deviation) are shown at the bottom of each curve. All profiles are single pixel.

the profile, at $r = 25''$ NE. The amplitude of the two humps does not change substantially in the different colors, but the NE one seems more conspicuous in the B profile due to the absorption that precedes it (dip at $r = 20''$ NE). This absorption corresponds to the dark lane perpendicular to the NE semimajor axis seen in the photograph (Fig. 1), and its colors indicate it is due to dust. The profiles show a luminosity gradient slightly steeper in the NE side than in the SW one.

Despite the complex shape of the major-axis profile of NGC 6835, after folding it around the nucleus, it has a typical shape of a Type II Freeman's profile (Freeman 1970), although Freeman used this designation for nearly face-on galaxies. A linear least-squares fit to the profiles shows that, as in Type II profiles, the disk-dominated region follows an exponential law, but the distribution is fainter than the exponential in the intermediate region between bulge and disk. An attempt to fit the bulge with a de Vaucouleurs' law (de Vaucouleurs 1962) confirmed that it does not obey this law. Figure 9 shows the fit along the folded major-axis profiles. The fit parameters of the disk are shown in Table 5. However, these parameters refer not to the intrinsic distribution of the disk but to the projected distribution of the disk, since it is inclined nearly 90° . The corresponding face-on parameters were obtained by integrating numerically an exponential disk along the direction of the plane. The integral which better fits the B profile has $I_0 = 23.42 \pm 0.07$ mag/arc sec² and $r_0 = 13''.5 \pm 0''.5$ ($1.12 \pm 0.04 h^{-1}$ Kpc). These parameters are compatible with a small and faint disk.

6. Color Profiles and Star Formation

The main aspect we can identify in the color profiles (Fig. 8) is the pronounced gradient from the nucleus, with local color indices $(B - V) = 0.48 \pm 0.03$, $(V - R) = 0.51$

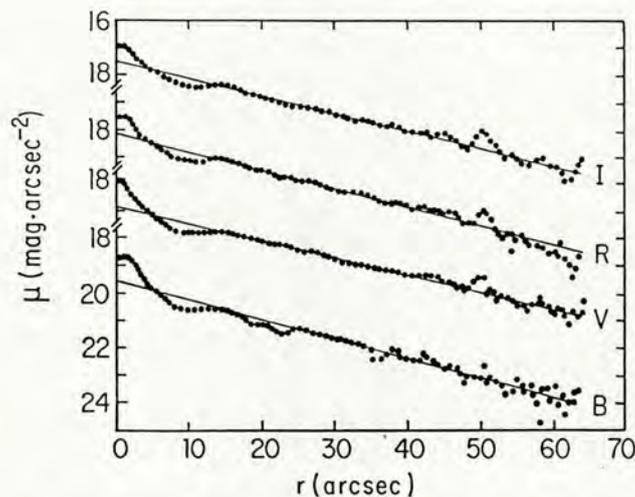


FIG. 9—Exponential fits to disk regions of folded major-axis luminosity profiles.

TABLE 5

Parameters of exponential fits to major axis profiles

Parameter	B	V	R	I
Fitting range (arcsec)	25 - 65	25 - 65	20 - 60	25 - 65
I_0 (mag arcsec ⁻²)	19.54	18.83	18.16	17.5
\pm	0.11	0.06	0.07	0.08
r_0 (arcsec)	15.37	17.43	16.21	17.50
\pm	0.51	0.40	0.42	0.48
r_0 (h^{-1} kpc)	1.27	1.45	1.34	1.42
\pm	0.04	0.03	0.03	0.04

± 0.02 , and $(V - I) = 1.04 \pm 0.03$, to the surrounding regions, with mean local color indices $(B - V) = 0.86 \pm 0.08$, $(V - R) = 0.58 \pm 0.06$, and $(V - I) = 1.21 \pm 0.07$. The SW side of the color profiles appears slightly redder and smoother than the NE one, which shows small variations in the region of the dust lane (redder) and in the region of the hump (bluer), but we cannot distinguish real color differences among these features within the attained precision.

Star-formation events that could be taking place in the galaxy, associated with the nucleus, can be investigated by the local color indices. The measured colors were corrected adopting $E(R - I)/E(V - R) = 0.96$ and $E(V - R)/E(B - V) = 0.79$ (Lahulla 1987), and the $E(B - V)$ referred to in Section 4, and were compared with synthetic $(B - V)$, $(V - R)$, and $(V - I)$ colors calculated by Bica, Alloin, and Schmidt (1990) from models of simulated bursts of star formation superimposed on an old population of at least 3×10^9 years. The corrected colors of the nucleus, $(B - V)^0 = 0.20 \pm 0.03$, $(V - R)^0 = 0.29 \pm 0.02$, and $(V - I)^0 = 0.60 \pm 0.02$ are compatible with star-formation events in the last 5×10^7 years up to the present time superimposed on an old population substrate, where the burst contributes at least 10% in mass and is by far dominant in flux. We have also compared the nuclear colors of NGC 6835 with those observed in the starburst nucleus of NGC 5236, with $(B - V) = 0.19$, $(V - R) = 0.32$, and $(V - I) = 0.72$ (Pastoriza *et al.* 1990). The similarity between the nuclear colors of the two galaxies is another evidence that a burst of stellar formation is a good interpretation of the blue color of the nucleus, even though CO emission was not detected in the galaxy (Rowan-Robinson, Phillips, and White 1980).

Another evidence for stellar formation is the observation of a nuclear emission spectrum in this galaxy, with bright emission lines such as $H\alpha$, $[N II]$, $[O III]$, $[S II]$, and $H\beta$, with intensity ratios $\log([N II]6583/H\alpha 6563) = -0.41$, $\log([O II]5007/H\beta 4861) = -0.2$, and $\log([S II]6717+6731/H\alpha 6563) = -0.6$ (L. N. da Costa 1989, private communication). Using the intensity ratios diagnostic diagrams (Figs. 12.1 and 12.3 in Osterbrock 1989), we found that the emission spectrum of NGC 6835 is typical of an H II region of moderate excitation, which supports the results of the recent nuclear stellar population made above.

7. Concluding Remarks

NGC 6835 is a nearly edge-on spiral galaxy, for which we found an absolute magnitude $M_T(B) = -19.0 + 5 \log h$ and a major diameter at $\mu B = 25''$ of $12 h^{-1}$ kpc, indicating that it is a small galaxy. The inclination we derived from the mean axial ratio of the external isophotes is $83^\circ \pm 2^\circ$, in agreement with previous determination (Bottinelli *et al.* 1983).

Our CCD photometry confirms the corrected integrated color of $(B - V)^0 = 0.59$ given in RC2, too blue for an Sa type.

The analysis of the luminosity distribution in the four bands showed that the bulge of the galaxy cannot be fitted either by a de Vaucouleurs' law or by an exponential law, and could be triaxial. The luminosity distribution of the disk was compared with an exponential disk, seen edge on, and we found that it is well fitted with an intrinsic disk with $I_0 = 23.4 \text{ mag/arc sec}^{-2}$, $r_0 = 13.5 \text{ arc sec}$, in B light. Superimposed on this distribution there are dust lanes and knots, which give the irregular appearance of the galaxy. Even though the galaxy has been classified as a barred spiral in RC2, we found no clear feature that could confirm or deny the existence of a bar.

The most significant feature of the color profiles is the blue nucleus. A comparison with synthetic colors showed that it is compatible with stellar-formation events in the last 5×10^7 years superimposed on an old population substrate. The reported observation of emission lines in the nuclear spectrum of the galaxy also supports the interpretation of the blue nucleus as a site of stellar formation.

We are grateful to Dr. Bob Williams, Director of CTIO, for granting us the observing time. We thank Drs. Maximo Capaccioli, Evencio Mediavilla, and Steve Odeh for giving us some of their computer codes. We also thank Drs. Horacio Dottori and Eduardo Bica for helpful discussions and suggestions and the anonymous referee for his suggestions, improving the scientific content of this paper.

REFERENCES

- Allen, C. W. 1973, *Astrophysical Quantities* (London: Athlone Press).
- Bica, E., Alloin, D., and Schmidt, A. 1990, *M.N.R.A.S.*, **242**, 241.
- Bottinelli, L., Gouguenheim, L., and Paturel, G. 1982, *Astr. Ap. Suppl.*, **47**, 171.
- . 1984, *Astr. Ap. Suppl.*, **56**, 381.
- Bottinelli, L., Gouguenheim, L., Paturel, G., and de Vaucouleurs, G. 1983, *Astr. Ap.*, **118**, 4.
- da Costa, L. N., Pellegrini, P. S., Nunes, M. A., and Willmer, C. 1984, *A.J.*, **89**, 1310.
- de Vaucouleurs, G. 1962, in *IAU Symposium 15, Problems of Extragalactic Research*, ed. G. C. McVittie (New York: Macmillan), p. 3.
- . 1977, in *The Evolution of Galaxies and Stellar Populations*, ed. B. Tinsley and R. Larson (New Haven: Yale University Observatory), p. 43.
- de Vaucouleurs, G., and Buta, R. 1983, *A.J.*, **88**, 939.
- de Vaucouleurs, G., de Vaucouleurs, A., and Corwin, H. J., Jr. 1976, *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies* (Austin: University of Texas Press) (RC2).
- Freeman, K. C. 1970, *Ap. J.*, **160**, 811.
- Graham, J. A. 1982, *Pub. A.S.P.*, **94**, 244.
- Lahulla, J. F. 1987, *A.J.*, **94**, 1062.
- Longo, G., and de Vaucouleurs, A. 1983, *A General Catalogue of Photoelectric Magnitudes and Colours in the U,B,V System of 3,578 Galaxies Brighter Than the 16-th V-magnitude (1936-1982)*, The University of Texas Monographs in Astronomy, No. 3.
- Lucy, L. B. 1974, *A.J.*, **79**, 745.
- Mihalas, D., and Binney, J. 1981, *Galactic Astronomy—Structure and Kinematics* (2d ed.; San Francisco: W. H. Freeman and Company), p. 332.
- Osterbrock, D. 1989, *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei* (Mill Valley, CA: University Science Books), p. 346.
- Pastoriza, M. G., Dottori, H., Terlevich, E., and Terlevich, R. 1990, in preparation.
- Roberts, M. S. 1975, in *Star and Stellar Systems, Vol. 9, Galaxies and the Universe*, ed. A. Sandage, M. Sandage, and J. Kristian (Chicago: University of Chicago Press), p. 309.
- Rowan-Robinson, M., Phillips, T. G., and White, G. 1980, *Astr. Ap.*, **82**, 381.
- Sandage, A., and Tammann, G. A. 1981, *A Revised Shapley-Ames Catalog of Bright Galaxies* (Washington, DC: Carnegie Institution of Washington) (RSA).
- Schroder, M. F. S., and Kepler, S. O. 1990, in preparation.
- Walker, A., and Suntzeff, N. 1987, *NOAO Newsletter*, **10**, 18.