

**Caracterização dos Aglomerados Abertos
NGC1981 e Dolidze-Dzim1**

Francisco Ferreira de Souza Maia

Julho 2007

Francisco Ferreira de Souza Maia

**Caracterização dos Aglomerados Abertos
NGC1981 e Dolidze-Dzim1**

Dissertação submetida à UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS como requisito parcial para a obtenção do
grau de MESTRE EM FÍSICA.

Área de Concentração: ASTROFÍSICA

Orientador: Prof. Dr. Wagner José Corradi Barbosa (UFMG)

Co-orientador: Prof. Dr. João Francisco Coelho dos Santos Júnior (UFMG)

Departamento de Física - ICEX - UFMG

2007

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos aqueles que me ajudaram, me apoiaram, incentivaram, acompanharam ou simplesmente me compreenderam em todo o percurso até aqui. Em especial gostaria de agradecer:

- aos meus orientadores Waguinho e João por todo esforço, perseverança, paciência e por tudo que fui capaz de aprender pela experiência e exemplo deles;
- ao Prof. Dr. Rodrigo Társia e aos demais professores do Grupo, pelas sugestões, discussões e explicações que ajudaram na conclusão deste trabalho;
- a toda minha família, especialmente a minha mãe que sempre me incentivou e acreditou em mim;
- a Lilian, por estar ao meu lado, por seu carinho, por seu esforço em me compreender e sua preocupação com meu bem estar;
- a todos os amigos, companheiros de laboratório e inclusive aqueles que apenas frequentam o laboratório, pela ajuda, companhia e por tornar mais alegre cada dia de trabalho
- ao Sérgio, por ter gentilmente doado sua cafeteira para o Laboratório, sem a qual não haveria nenhum trabalho;
- a Blizzard e a Dreamworks por propiciar entretenimento nos momentos de estresse elevado, ajudando a manter um nível saudável de sanidade
- ao CNPq pelo financiamento de minha bolsa de pesquisa.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	6
2	Observações	7
3	Pré-Redução dos Dados	10
3.1	Correção dos cabeçalhos das imagens	11
3.1.1	Arquivos de instrumentos e filtros	12
3.1.2	Características do CCD	13
3.2	Correção do Perfil Instrumental	14
3.2.1	Combinando as imagens de Bias e Flat Field	14
3.2.2	Seccionamento das imagens	16
3.2.3	Processamento das imagens	17
4	Calibração ao Sistema Padrão	18
4.1	Obtenção das magnitudes instrumentais	18
4.1.1	Curva de crescimento	18
4.1.2	Construção dos arquivos de coordenadas	23
4.1.3	Determinação das magnitudes	24
4.2	Transformação para o sistema padrão	26
4.2.1	Criação do catálogo de estrelas-padrão	26
4.2.2	Criação do arquivo de observações	27
4.2.3	Definição das equações de transformação	28
4.2.4	Transformação para o sistema padrão $BV(RI)_c$	29
4.2.5	Resultados da transformação	34
5	Processamento das imagens dos aglomerados	37
5.1	Caracterização e separação das imagens	37
5.2	Alinhamento das imagens	38
5.3	Somando as imagens	39
5.4	Corte das imagens	40
5.5	Criação do arquivo de coordenadas	42
5.6	Obtenção das magnitudes instrumentais	45
5.7	Calibração ao sistema padrão	46
5.8	Exclusão de objetos repetidos em campos adjacentes	49
5.8.1	Construção do mosaico	50

6	Análise dos Dados	51
6.1	Exclusão de objetos pelo erro fotométrico	51
6.1.1	Corte em magnitude	53
6.2	Correção do avermelhamento interestelar	54
6.2.1	Determinação do avermelhamento dos aglomerados	56
6.3	Método do ajuste de isócronas	58
6.4	Resultados para NGC 1981	59
6.5	Resultados para Dolidze-Dzim 1	61
7	Conclusões e perspectivas	63
	Referências	66
A	Tarefas IRAF construídas para redução e processamento dos dados	68
A.1	Redução da noite de 21/09/2000	68
A.2	Processamento das imagens de NGC1981	71
B	Rotinas IDL utilizadas	78
B.1	Seleção e exclusão de estrelas repetidas	78

Lista de Figuras

1.1	Pleiades e ω Centauri - exemplos de aglomerados da Galáxia.	1
1.2	Exemplos de aglomerados abertos, M46 e M47	2
1.3	Função de Massa e Luminosidade para King2	3
1.4a	Isócronas teóricas por Bertelli et al. (1994)	6
1.4b	Diagrama Cor-Magnitude para o Aglomerado Aberto NGC 4755	6
2.1	Posição relativa dos campos de NGC 1981.	8
2.2	Imagens de Dolidze-Dzim 1 e NGC 1981, coletadas no LNA.	8
3.1a	Perfil de linhas de uma imagem de <i>bias</i>	16
3.1b	Perfil de linhas de uma imagem de <i>flat</i>	16
4.1	Parâmetros do arquivo <i>datapars</i>	19
4.2	Parâmetros do arquivo <i>centerpars</i>	20
4.3	Parâmetros do arquivo <i>fitskypars</i>	20
4.4	Parâmetros do arquivo <i>photpars</i>	21
4.5	Aberturas realizadas para construção da curva de abertura	21
4.6	Curvas de crescimento	22
4.7	Configuração dos parâmetros da tarefa <i>phot</i>	24
4.8	Arquivo de log da tarefa <i>phot</i>	26
4.9	Parâmetros da tarefa <i>mkobsfile</i>	27
4.10	Parâmetros da tarefa <i>mkconfig</i>	29
4.11	Arquivo de configuração para a tarefa <i>fitparams</i>	30
4.12	Arquivo de configuração para a extinção	31
4.13	Arquivo de configuração para o ajuste de cor	32
4.14	Gráficos de correlação e resíduo dos ajustes.	33
4.15	Parâmetros para a tarefa <i>invertfit</i>	35
5.1	Parâmetros para a tarefa <i>xregister</i>	38
5.2	Imagem de <i>flat</i> para seccionamento	41
5.3	Dolidze-Dzim 1 seccionado	42
5.4	Adição e exclusão de estrelas do arquivo de coordenadas	43
5.5	Arquivos de coordenadas finais para NGC 1981.	44
5.6	Arquivo de calibração modificado	48
5.7	Combinando campos para criação do mosaico	50
6.1	Diagramas <i>erro x magnitude</i> para NGC 1981 e Dolidze-Dzim 1	51
6.2	Diagramas <i>erro x magnitude</i> para os campos NE e S	52

6.3	Objetos contaminados pela luz das estrelas mais brilhantes	52
6.4	Diagramas <i>Erro x magnitude</i> livre de estrelas contaminadas - NGC 1981 .	53
6.5	Ajuste linear à ZAMS empírica nos diagramas cor-cor	55
6.6	Determinação do avermelhamento	57
6.7	Diagrama cor-magnitude para o aglomerado NGC 1981.	59
6.8	Valores limite dos parâmetros físicos.	60
6.9	Diagramas cor-magnitude para o aglomerado Dolidze-Dzim 1.	61

Lista de Tabelas

1.1	Propriedades gerais dos aglomerados abertos	5
2.1	Parâmetros básicos dos aglomerados estudados.	7
2.2	Registro das observações do aglomerados	8
3.1	Ganho e Ruído de leitura	14
3.2	Estatísticas das imagens combinadas	15
4.1a	Erro quadrático médio dos ajustes de extinção e cor - Noite 21/09/2000 . .	34
4.1b	Erro quadrático médio dos ajustes de extinção e cor - Noite 05/08/2001 . .	34
4.2a	Coefficientes da equação de transformação - Noite 21/09/2000	34
4.2b	Coefficientes da equação de transformação - Noite 05/08/2001	34
4.3a	Transformação inversa - Noite 21/09/2000.	36
4.3b	Transformação inversa - Noite 05/08/2001.	36
5.1	Deslocamento entre as coordenadas dos campos de NGC 1981	49
6.1	Relações entre excessos de cor para o sistema Johnson-Cousins.	54
6.2	Relações de avermelhamento.	55
6.3	Características dos ajustes realizados	56
6.4	Excesso de cor calculado para amostras limitadas em magnitude - NGC 1981	58
6.5	Valores dos parâmetros físicos de NGC 1981.	60
6.6	Magnitudes calibradas - Dolidze-Dzim 1	62

Resumo

O objetivo deste trabalho é caracterizar os objetos catalogados como aglomerados abertos NGC 1981 e Dolidze-Dzim 1. Para estes objetos foram coletados dados no sistema Johnson-Cousins $BV(RI)_c$ com o telescópio IAG 0.6m no OPD/LNA nas noites de 21/09/2000 e 05/08/2001.

O método de tratamento dos dados consiste das técnicas de pré-redução comumente utilizadas para fotometria CCD e da calibração de estrelas padrão de Landolt para a determinação das magnitudes das estrelas do aglomerado. Além disso, realizamos o casamento entre os campos, mapeando as regiões de interseção através de um programa IDL que identifica e exclui estrelas incidentes em vários campos, segundo um critério de proximidade da borda da imagem.

Aplicamos métodos de correção do avermelhamento interestelar e de ajuste de isócronas para determinar os parâmetros físicos avermelhamento, módulo de distância e idade para os objetos estudados.

O cálculo do avermelhamento foi realizado usando o ajuste linear à ZAMS em diagramas cor-cor, conforme proposto por Munari & Carraro (1996), adotando uma ZAMS empírica. Encontramos um excesso de cor $E(B - V) = 0.10 \pm 0.02$ para NGC 1981, mas não utilizamos este método para Dolidze-Dzim 1 já que as estrelas de seu campo não aparentam formar um sistema físico.

Idade e distância foram determinadas utilizando o conjunto de isócronas de Padova ($Z=0.019$) e o conjunto de isócronas pré-sequência principal de Siess et al. (2000) ($Z=0.020$), ambos com *overshooting*. No caso de NGC 1981, devido à ausência de estrelas supergigantes, o ajuste fornece melhores resultados quando isócronas pré-sequência principal são consideradas, indicando uma idade entre $6.7 \leq \log(t) \leq 7.0$, e módulo de distância verdadeiro de 8.6 ± 0.2 . A distância correspondente é 455^{+50}_{-42} pc. Estes valores dos parâmetros de idade e distância diferem em até 15% daqueles obtidos por Kharchenko et al. (2005); nossos resultados entretanto foram determinados com uma maior amostra de dados.

Através da análise fotométrica inédita realizada, concluímos também que nenhuma isócrona utilizada proporcionou um ajuste aos dados de Dolidze-Dzim 1, indicando que o suposto aglomerado não constitui um sistema físico, se tratando de um asterismo. Este resultado é corroborado pela informação da literatura de que os movimentos próprios das estrelas não apresentam coerência entre si.

Abstract

The main goal of this work is to characterize the objects NGC 1981 and Dolidze-Dzim 1 catalogued as open clusters. We have collected Johnson-Cousins $\mathbf{BV(RI)}_c$ photometric data using the IAG 0.6m telescope at OPD/LNA on the nights 21/09/2000 and 05/08/2001.

The CCD data processing method consists of standard IRAF pre-reduction techniques allied to Landolt standard stars calibration for the determination of the cluster star's magnitudes. Furthermore we have matched the fields and mapped their intersection areas by means of an IDL script which identifies and excludes multi-field incident stars based on border distance criteria.

We have applied interstellar reddening correction and isochrone fitting methods to determine the physical parameters reddening, distance modulus and age for the studied objects.

Reddening calculation was done using a linear fitting to an empirical ZAMS on two-color diagrams as proposed by Munari & Carraro (1996). We have found a color excess of $E(B - V) = 0.10 \pm 0.02$ for NGC 1981 but we could not apply this method to Dolidze-Dzim 1 because the stars in the field apparently do not constitute a physical system.

Ages and distances were determined by isochrone fitting, using the Padova grid ($Z = 0.019$) and Siess et al. (2000) pre-main sequence grid ($Z=0.020$), both with overshooting. In the case of NGC 1981, due to the lack of supergiant stars, the fitting gives best results when the pre-main sequence tracks are considered, indicating an age between $6.7 \leq \log(t) \leq 7.0$ and true distance modulus of 8.6 ± 0.2 . The corresponding distance is 455_{-42}^{50} pc. These values show deviations up to 15% from those published by Kharchenko et al. (2005), having our results however been determined with a larger sample of stars.

The photometric analysis done, suggests that no particular isochrone can be fit on Dolidze-Dzim 1 data, indicating that the presumed cluster does not constitute a physical system, being an asterism. This result is corroborated by the literature information that the stars' proper motion shows no coherence among them.

Capítulo 1

Introdução

Os aglomerados de estrelas da Galáxia apresentam uma variação muito grande em sua luminosidade, composição química e grau de compactação da estrutura. Os mais compactos, luminosos e com menor conteúdo de elementos pesados¹ são chamados aglomerados globulares, enquanto aqueles menos compactos, menos luminosos e com maior conteúdo de elementos pesados são chamados aglomerados abertos (AA) ou aglomerados Galácticos. A Figura 1.1 mostra exemplos típicos dessas duas categorias.



Figura 1.1: (*À esquerda*): aglomerado aberto das Pleiades. (*À direita*): aglomerado globular ω Centauri.

¹Em Astrofísica, chamamos de elementos pesados, ou metais, todos os elementos que tenham número atômico maior que o do Hélio

Os aglomerados globulares podem ser definidos como sendo sistemas estelares aproximadamente esféricos, contendo baixa ou nenhuma quantidade de gás ou poeira, que são encontrados desde o bojo Galáctico até as regiões mais externas do halo. Eles contêm, geralmente, entre $10^3 - 10^6$ estrelas e apresentam idades de aproximadamente 10×10^9 anos (10 G anos) (Friel, 1995).

Em contraste, os aglomerados abertos são objetos definidos como sistemas estelares escassamente povoados, fracamente ligados gravitacionalmente, contendo entre $10 - 10^3$ estrelas. São encontrados principalmente no disco Galáctico, a distâncias de até 13kpc do centro, e possuem, os mais jovens, grandes quantidades de gás e poeira associados, sugerindo portanto associações com regiões de formação estelar. Em sua grande maioria são jovens, mas podem apresentar variações de idade na faixa de $0.1 - 10$ G anos e massas entre $10^2 - 10^4 M_{\odot}$, segundo Friel (1995). A Figura 1.2 apresenta exemplos de aglomerados abertos jovens, à esquerda um AA rico em estrelas e à direita um AA menos populoso.



Figura 1.2: Aglomerados abertos M46 e M47. (*À esquerda*): M46 com ≈ 1000 estrelas e 300 milhões de anos. (*À direita*): M47 com ≈ 100 estrelas e 80 milhões de anos. A imagem tem dimensões aproximadas de $1,5^{\circ} \times 2,0^{\circ}$

Atualmente, mais de 1200 aglomerados abertos encontram-se catalogados nas bases de dados existentes. Exemplos dessas bases de dados incluem os catálogos de Hesser & Ruprecht (1981), Lyngå (1987), Dias et al. (2002)², Kharchenko et al. (2005) e da base de dados WEBDA³ de Mermilliod, onde podem ser encontradas informações sobre os parâmetros físicos desses aglomerados.

²<http://www.astro.iag.usp.br/wilton/>

³<http://www.univie.ac.at/webda/>

Devido aos efeitos destrutivos causados pelas forças de maré da Galáxia e principalmente, às colisões com nuvens moleculares, os aglomerados abertos tendem a perder estrelas constantemente, misturando-se com as estrelas de campo. Além disso, espera-se que a evolução dinâmica seja muito eficiente nos aglomerados mais populosos causando segregação de massa no sistema e evaporação das estrelas de menor massa (Mathieu, 1984; Mathieu & Latham, 1986). O caso de M11, um aglomerado aberto populoso, foi estudado neste contexto recentemente (Santos Jr., et al., 2005).

Os efeitos dessas forças destrutivas tem sido estudados e modelados por vários autores, indicando que a maior parte dos aglomerados abertos seria completamente destruída pelos fatores mencionados anteriormente em um intervalo de 10^8 a 10^9 anos (e.g. Spitzer, 1958; Wielen, 1985; Terlevich, 1987; Portegies Zwart et al., 2001)

Assim, os poucos aglomerados abertos velhos (com idades superiores a 1 G ano) apresentam propriedades distintas quando comparados com os mais jovens e em maior número (Lyngå, 1982; Janes & Adler, 1982; Janes et al., 1988; Janes & Phelps, 1994). Estes aglomerados mais velhos se distinguem por serem mais populosos, mais concentrados e por apresentarem funções de massa e de luminosidade características.

Enquanto nos aglomerados mais jovens estas funções aumentam para magnitudes absolutas maiores, elas se tornam constantes ou atingem um máximo e decrescem naqueles mais velhos, conforme mostra a Figura 1.3. Isto porque os aglomerados abertos mais velhos passaram a maior parte de sua vida na região externa do disco, em altas latitudes Galácticas e em órbitas que os permitiram minimizar as forças de maré da Galáxia, ficando assim longe dos efeitos destrutivos das nuvens moleculares gigantes. E, por outro lado, já tiveram tempo de sofrer as consequências da evolução dinâmica, como a evaporação de estrelas de menor massa, que produz a queda observada das funções de massa e luminosidade.

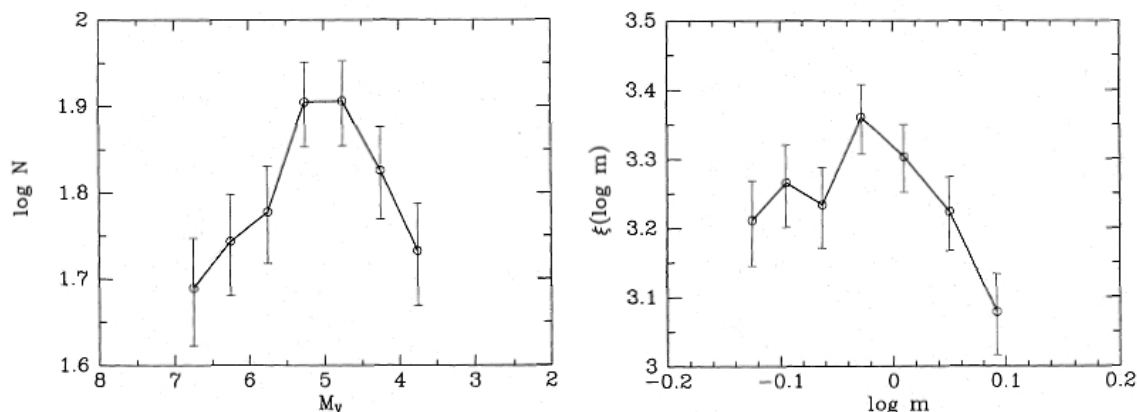


Figura 1.3: Funções de Luminosidade e Massa para o AA velho, King2. À esquerda: Logaritmo do número de estrelas por intervalo de magnitude absoluta M_V , em função de M_V . À direita: Logaritmo do número de estrelas por intervalo de massa, em função de $\log m$. Retirado de Aparicio et al. (1990).

Como aglomerados abertos são parte da população do disco e se dissolvem rapidamente, os aglomerados abertos mais velhos - em estado de dissolução - apresentam-se

como os melhores objetos para definir um limite inferior para a idade do disco Galáctico e para definir a separação entre o disco e o halo da Galáxia.

Entretanto, como consequência da dinâmica do processo evolutivo dos aglomerados abertos, é esperada a ocorrência de sistemas em um estado intermediário, entre os bem definidos, coesos e densos aglomerados jovens e os sistemas já dispersados. Estes sistemas intermediários, chamados de Remanescentes de Aglomerados Abertos, são caracterizados por conterem pequenos números de estrelas em conjuntos fracamente ligados e por apresentarem, em geral, idades superiores a 1 Gano. Devido à grande dificuldade na diferenciação entre esses últimos e os asterismos⁴, é comum o emprego do termo Possível Remanescente de Aglomerado Aberto (POCR) para descrevê-los (Pavani & Bica, 2007).

A determinação da abundância metálica dos aglomerados pode ser realizada por espectroscopia de alta resolução ou por modelos evolutivos de atmosfera estelar. Este valor de abundância é tipicamente medido em termos da razão entre o conteúdo de ferro e o de hidrogênio, comparado com a mesma razão do conteúdo solar. Esse índice é comumente chamado metalicidade, e é definido por:

$$[\text{Fe}/\text{H}] = \log(N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}}) - \log(N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}})_{\odot} = \log\left(\frac{Z}{Z_{\odot}}\right).$$

Normalmente a terminologia *pobre em metais* refere-se a objetos com valores de metalicidade da ordem de $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -1.5$, correspondentes a um conteúdo fracionário⁵ de elementos pesados (Z) da ordem de $Z \leq 0.0006$, ou seja, 0.06%. Objetos *ricos em metais* possuem metalicidades $[\text{Fe}/\text{H}] \geq +0.1$, correspondendo a $Z \approx 0.03$, ou 3%.

Por cobrirem um grande intervalo de distâncias e idades, os aglomerados abertos estão entre os melhores indicadores de metalicidade da Galáxia, formando uma excelente linha temporal ao longo da qual se pode estudar a estrutura e o enriquecimento geral do disco. Aglomerados abertos, em geral, não apresentam uma relação idade-metalicidade nem um gradiente de metalicidade com a altura acima do plano (Friel & Janes, 1993), apesar de Piatti et al. (1995) sugerirem a existência do mesmo. Um gradiente de metalicidade radial foi primeiramente encontrado por Janes & Adler (1982) e confirmado posteriormente por Carraro & Chiosi (1994) e Friel (1995). A Tabela 1.1 mostra algumas propriedades gerais dos aglomerados abertos.

A classificação de Trumpler (Trumpler, 1930) sintetiza de maneira genérica algumas propriedades importantes dos aglomerados abertos, especificando:

- seu grau de concentração como número romano (I...IV), onde números menores indicam maiores níveis de concentração central;
- a faixa de valores possíveis do brilho de suas estrelas, medido em uma escala (1...3) onde números menores indicam uma faixa mais estreita para os possíveis valores do brilho estelar;
- sua população de estrelas, especificada como **p**, **m** ou **r**, se o sistema é pobre (contendo menos de 50 estrelas), moderado (50-100 estrelas) ou rico (mais de 100 estrelas).

⁴Asterismo é a denominação usada para estruturas compactas formadas pelo alinhamento fortuito das estrelas de campo no plano celeste.

⁵O conteúdo fracionário de massa de elementos é dado por X (conteúdo de Hidrogênio), Y (conteúdo de Hélio) e Z (conteúdo de metais) tal que $X + Y + Z = 1$.

Tabela 1.1: Propriedades gerais de vários aglomerados abertos. **D** é a distância do aglomerado em kpc; $(R, z)_{gal}$ são suas coordenadas cilíndricas relativas ao centro Galáctico em kpc; $(B-V)_{TO}$ o índice de cor do *turnoff point*; t é a idade estimada. (Binney & Merrifield, 1998).

Nome	D (kpc)	$(R, z)_{gal}$ (kpc)	M_V mag	Diâmetro (arcmin)	Classe de Trumpler	$(B-V)_{TO}$ mag	$\log(t/\text{ano})$	[Fe/H] dex	Comentários
NGC2264	0.79	9.23, 0.03	-5.4	40	III,3,p,n	-0.25	6.5-7.0	-0.15	jovem
M11	1.72	6.96, -0.08	-5.4	13	I,2,r,-	-0.05	8.4	+0.05	de idade intermediária
NGC188	1.55	9.35, 0.58	-2.9	15	II,2,r,-	+0.58	9.8	-0.16	velho
NGC6791	4.20	8.12, 0.80	-3.6	10	I,2,r,-	+0.60	10.0	+0.15	muito velho, rico em metais
NGC7261	2.12	9.23, 0.03	-3.2	6	III,1,p,-	-0.25	7.6	-0.46	jovem, pobre em metais
Berkeley 17	2.40	10.89, -0.15	-	8	III,1,r,-	+0.58	10.1	-0.29	aglomerado mais velho
Berkeley 20	8.14	16.12, -2.42	-	3	I,3,p,-	-	9.7	-0.75	mais pobre em metais
Hyades	0.05	8.55, -0.02	-2.5	329	II,3,m,-	+0.12	8.8	+0.19	aglomerado mais próximo
Coma, Mel 111	0.08	8.56, 0.07	-2.9	275	III,3,p,-	+0.05	8.6	-0.03	próximo, pouco populoso
Pleiades, M45	0.13	8.63, -0.05	-3.7	109	I,3,r,n-	0.11	8.0	+0.11	próximo, muito estudado
Praesepe, M44	0.16	8.64, 0.08	-2.9	95	II,3,m,-	+0.15	8.8	+0.19	próximo, muito estudado
h Persei	2.23	10.19, -0.14	-7.4	29	I,3,r,-	-0.25	6.7	-0.05	jovem muito populoso
χ Persei	2.22	10.18, -0.14	-7.3	29	I,3,r,-	-0.25	6.7	-0.05	jovem muito populoso

Caso o aglomerado apresente nebulosidade ou emissão difusa em meio a suas estrelas, a letra **n** é anexada à classificação.

Geralmente, determina-se a idade de um aglomerado a partir do ajuste de isócronas aos diagramas cor-magnitude (CMD) do aglomerado. Um conjunto de isócronas típico, como o apresentado na Figura 1.4a, contém uma curva de idade que melhor se ajusta ao loci de pontos apresentado pelas estrelas do aglomerado no CMD. O diagrama apresentado na Figura 1.4b, apresenta os objetos do aglomerado NGC 4755. Nele esta curva de idade teria o valor aproximado de 0.1 G ano, resultado esperado para um aglomerado jovem.

Entretanto, muitos aglomerados abertos apresentam uma significativa população de sistemas binários ou múltiplos e de estrelas *Blue Stragglers*, o que compromete uma comparação precisa com as isócronas mencionadas. As binárias podem tornar a Sequência Principal (MS) 0^m75 mais brilhante (no caso de duas estrelas de mesmo brilho), resultando em um alargamento da MS. *Blue Stragglers* são estrelas usualmente presentes em aglomerados abertos ou globulares, isoladas das demais membros no diagrama cor-magnitude por serem mais azuis e mais luminosas que as demais estrelas na sequência principal do aglomerado. A origem deste fenômeno pode ser atribuída à fusão ou transferência de massa entre binárias de baixa massa. Dessa forma elas se encontram além do ponto de *turnoff*, podendo submeter-se a uma evolução estelar diferente das demais estrelas do AA.

Além da presença de binárias e *Blue Stragglers*, a contaminação por estrelas de campo e incertezas no avermelhamento interestelar e/ou distâncias também terão grande impacto na determinação das idades.

A poeira interestelar não diminui a luz proveniente da estrela igualmente em todos os comprimentos de onda. Ocorre, no azul, maior extinção (absorção e espalhamento da radiação) que no vermelho, resultando em um de-azulamento da radiação observada da estrela em relação à emitida. A este efeito damos o nome de avermelhamento interestelar.

Além de serem uma excelente ferramenta para investigação das propriedades do disco Galáctico, delineando sua estrutura espiral (AA jovens) e traçando a cinemática da parte externa do disco (AA velhos), estudos de aglomerados abertos também servem para testar e aprimorar os modelos de evolução estelar. Em particular, por possuírem uma significativa população de estrelas no estágio de formação, os aglomerados mais jovens podem ser usados para testar modelos de evolução estelar na fase pré-sequência principal.

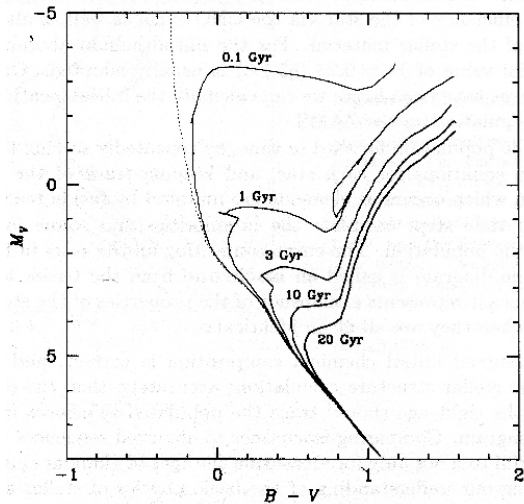


Figura 1.4a: Isócronas teóricas para a evolução de uma população estelar com $Z = 0.004$, $Y = 0.24$ a partir da ZAMS (linha pontilhada). (Bertelli et al., 1994)

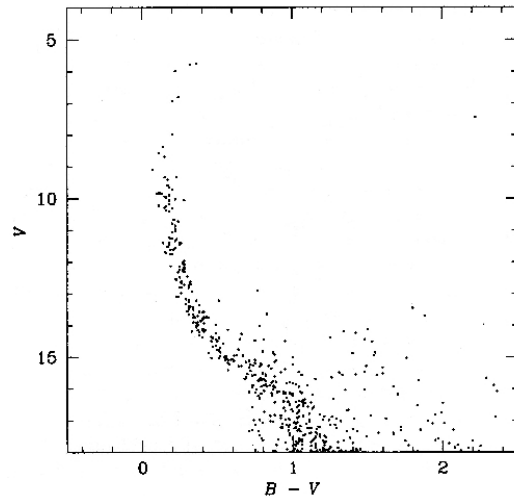


Figura 1.4b: CMD do Aglomerado Aberto NGC 4755. Nota-se extensa sequência principal com uma única estrela supergigante (Binney & Merrifield, 1998)

1.1 Objetivos

Estudos realizados por vários autores (e.g. de Winter et al., 1997; Pérez et al., 1987; van de Ancker et al., 1997) demonstraram que aglomerados abertos jovens apresentam uma escassez de estrelas dos tipos espectrais A e B com excesso de emissão no infravermelho. Sendo este excesso uma característica do grupo de estrelas jovens de massa intermediária Ae/Be de Herbig (HAeBe), seus resultados sugerem que possa haver um déficit destas estrelas em aglomerados jovens.

As estrelas Ae/Be de Herbig são, semelhantemente às estrelas T Tauri, objetos pré-sequência principal ainda imersos em sua nuvem de formação, com fortes linhas de emissão (Herbig G. H., 1960; Vieira et al., 2003). Elas também apresentam uma grande variabilidade espectroscópica e fotométrica causada, em grande parte, pelo gás e poeira remanescente da sua formação que compõem o envelope ou o disco circumstelar. Enquanto as estrelas T Tauri apresentam massas no intervalo $0.5-2.0 M_{\odot}$, as HAeBe apresentam massas maiores ($2-10 M_{\odot}$). Além disso, sua evolução é mais rápida de modo que, ainda na fase protoestelar, elas iniciam o processo de fusão nuclear tornando-se consideravelmente luminosas, mesmo quando envolvidas por sua nuvem progenitora.

Neste trabalho pretende-se fazer uma caracterização de alguns aglomerados abertos observados no período 2000-2001 no Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA/MCT, MG). Foram coletados dados para 10 aglomerados abertos, dentre os quais selecionamos os objetos NGC 1981 e Dolidze Dzim 1 para este estudo. Os objetos selecionados são pouco estudados ou não possuem informação na literatura. Para caracterizá-los serão utilizados CMDs, diagramas cor-cor e o ajuste de isócronas para obter os seguintes parâmetros físicos: avermelhamento, distância e idade dos aglomerados.

A metodologia de redução e caracterização de aglomerados desenvolvida neste trabalho, juntamente com a expansão da base de dados nos permitirá, em trabalhos posteriores, abordar o problema da escassez de estrelas HAeBe nos aglomerados.

Capítulo 2

Observações

Os dados utilizados foram coletados no Observatório do Pico dos Dias, (LNA/MCT) nos períodos de setembro/2000 e agosto/2001. Para o imageamento, utilizou-se o telescópio 0.6m (IAGUSP) com o sistema de filtros **BV(RI)_c** de Johnson/Cousins e câmera CCD com redutor focal, obtendo um campo de aproximadamente 21' x 21'. O CCD utilizado foi o #101 (SITe SI003AB) de 1024 x 1024 pixels; ruído de leitura 5.5 e^- ; fator de conversão (ganho) de 5.0 e^-/ADU .

Em cada noite foram coletadas imagens **BV(RI)_c** de 15 estrelas-padrão de Landolt (1983), onde pelo menos uma delas foi acompanhada durante toda a noite para se calcular a extinção atmosférica.

A Tabela 2.1 contém os parâmetros básicos dos alvos de estudo.

Tabela 2.1: Parâmetros básicos dos aglomerados NGC 1981 e Dolidze-Dzim 1.

Nome	RA(J2000) (h m s)	Dec(J2000) (° ' ")	l (°)	b (°)
NGC 1981	05 35 09	-04 24 00	208.06	-18.96
Dolidze-Dzim 1	02 47 30	+17 16 00	158.62	-37.44

Para o aglomerado NGC 1981 foram coletadas imagens de longa e curta exposição em cada filtro, de forma a se obter imagens não saturadas para as estrelas mais brilhantes e exposições longas o bastante para captar as estrelas menos brilhantes. Além disso, foi necessário montar um mosaico de 6 campos para a cobertura de toda área do aglomerado.

As imagens de Dolidze-Dzim 1 foram coletadas em um único campo com tempos de exposição constantes para os filtros **B** e **I**; as imagens em **R** e **I** tiveram 2 tempos de integração distintos em cada filtro, com 3 exposições cada. Apesar disso, não foi necessária a separação em grupos de imagens de longa e curta exposição, já que não houve estrelas saturadas nas imagens deste aglomerado. A Tabela 2.2 apresenta um registro das observações de NGC 1981 realizadas em 21/09/2000 e de Dolidze-Dzim 1 realizadas em 05/08/2001.

A Figura 2.1 identifica os campos adjacentes de NGC 1981 e suas posições relativas; na Figura 2.2 exibimos as imagens dos aglomerados selecionados para este estudo.

Tabela 2.2: Registro das observações

Aglomerado/ sub-região	filtro	tempos de exposição(s)
NGC 1981/CE	B	1 15 50
	V	1 20
	R	1 20
	I	1 20
NGC 1981/CW	B	1 15 50
	V	1 20
	R	1 20
	I	1 20
NGC 1981/NE	B	1 15 50
	V	1 20
	R	1 20
	I	1 20
NGC 1981/N	B	1 15 50
	V	1 20
	R	1 20
	I	1 20
NGC 1981/NW	B	1 15 50
	V	1 20
	R	1 20
	I	1 20
NGC 1981/S	B	1 15 50
	V	1 20
	R	1 20
	I	1 20
Dolidze-Dzim 1	B	4 4 4
	V	2 2 2 1 1 1
	R	2 2 2 1 1 1
	I	2 2 2

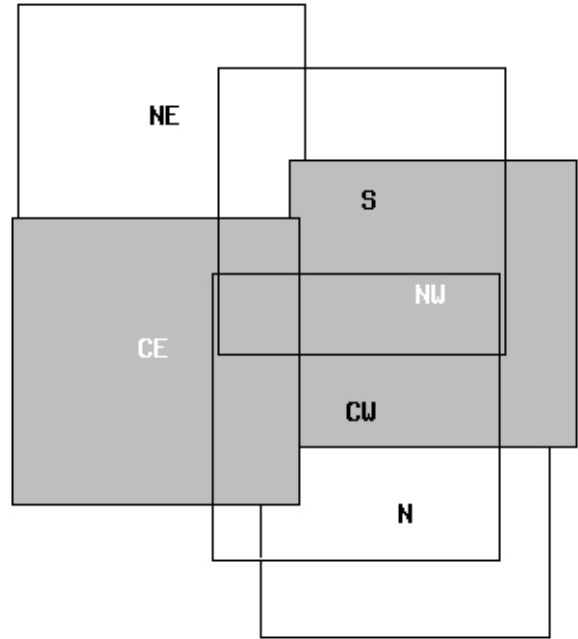


Figura 2.1: Esquema das posições relativas dos campos de NGC 1981.

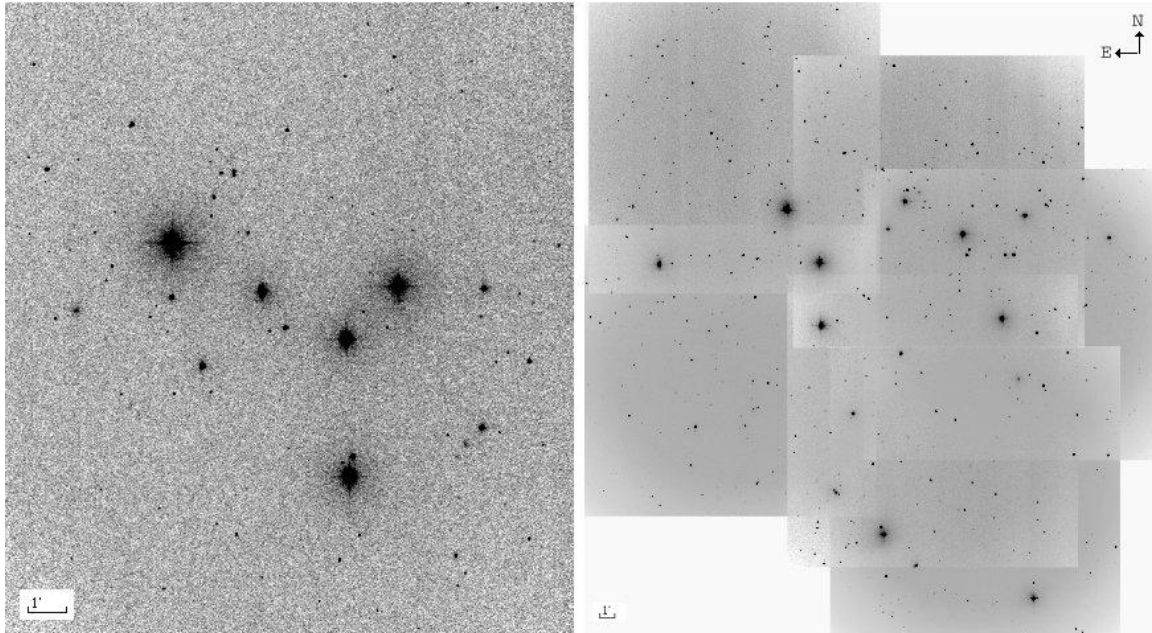


Figura 2.2: Imagens no filtro **R** dos aglomerados selecionados. À esquerda: AA Dolidze-Dzim 1 ($\approx 10'$ de diâmetro). À direita: AA NGC 1981 ($\approx 40'$ de diâmetro). Norte para cima e leste para esquerda.

Foram realizadas buscas nas bases de dados *online* e nos catálogos conhecidos a respeito dos alvos de estudo obtendo-se os seguintes resultados:

- NGC 1981 encontra-se presente no Catálogo de Dados de Aglomerados Abertos (COCD) e no Catálogo de Diagramas de Aglomerados Abertos (OCDA) descritos em Kharchenko et al. (2005), possuindo valores de idade, distância e avermelhamento, calculados segundo o método da "ZAMS evoluída" descrito no referido artigo.
- NGC 1981 encontra-se presente no Catálogo de Aglomerados Abertos Visíveis e Candidatos (Dias et al., 2006) contendo dados de movimento próprio e probabilidade de pertinência ao aglomerado para os objetos na região.
- Dolidze-Dzim 1 possui alguns objetos presentes nos catálogos de Hipparcos e Tycho, apresentando dados de movimento próprio e magnitudes **B** e **V** para estes objetos.
- Archinal & Hynes (2003) caracterizam Dolidze-Dzim 1 como asterismo baseado em informações de movimento próprio.
- Dolidze-Dzim 1 encontra-se na lista de aglomerados excluídos do Catálogo de Aglomerados Abertos Opticamente Visíveis (DAML02 - Dias et al., 2006) baseado no resultado de Archinal & Hynes (2003).

Serão utilizados os dados coletados e os dados da literatura a fim de se alcançar os objetivos propostos com coerência.

Capítulo 3

Pré-Redução dos Dados

Para que se possa construir os diagramas cor-magnitude e cor-cor, necessários para a caracterização dos aglomerados abertos, é preciso primeiro corrigir as imagens CCD do perfil instrumental e dos efeitos da extinção atmosférica, para então extrair as magnitudes instrumentais e transformá-las ao sistema padrão. Para isso utilizamos o pacote de tratamento de dados *Image Reduction and Analysis Facility* (IRAF - Tody, 1986) para realizar as seguintes tarefas (*tasks*).

1. Correção dos cabeçalhos das imagens;
2. Remoção do perfil instrumental:
 - (a) Configuração dos arquivos de instrumentos e filtros;
 - (b) Determinação do Ganho e Ruído de leitura;
 - (c) Processamento das imagens ;
3. Transformação ao sistema padrão:
 - (a) Construção da curva de crescimento;
 - (b) Determinação das magnitudes instrumentais;
 - (c) Determinação dos coeficientes de extinção;
 - (d) Determinação das equações de transformação;
 - (e) Transformação das magnitudes ao sistema padrão;

Abordaremos neste capítulo os itens 1 e 2. O item 3 será discutido no próximo capítulo.

3.1 Correção dos cabeçalhos das imagens

As imagens CCD são coletadas no formato *fits* consistindo de um cabeçalho no formato ASCII e da imagem digitalizada no formato binário. No cabeçalho (*header*) estão listados em palavras-chave (*keywords*) os dados relativos à instrumentação utilizada, ao objeto alvo, ao sítio observacional e ao momento no qual foi feita a observação.

O processo de análise e correção dos cabeçalhos constitui um passo essencial, visto que as tarefas do IRAF utilizam os valores representados pelas palavras-chave. Em particular, na redução de dados fotométricos deve-se observar os valores das seguintes palavras-chave:

observat, exptime, date-obs, st, ra, dec, airmass.

onde as mesmas indicam, respectivamente, o sítio observacional, o tempo de exposição, a data de observação, o tempo sideral, as coordenadas do objeto (ascensão reta e declinação) e a massa de ar.

Para corrigir os cabeçalhos utilizamos, inicialmente, o comando *hselect* para listar os valores das palavras-chave em cada imagem, que redirecionamos para o arquivo **imagens_cruas** :

```
cl> hselect *.fits $I,object,ra,dec,epoch,ut,st,ha,airmass >> imagens_cruas
```

Ao examinar o conteúdo do arquivo criado, pode-se identificar os valores discrepantes ou ausentes no cabeçalho das imagens. Para realizar as alterações mais simples, usa-se a tarefa *hedit* e a tarefa *asthedit* para o cálculo de valores que dependam de outros parâmetros do cabeçalho. Execuções típicas, usadas nesse trabalho, foram:

```
cl> hedit *.fits observat value="LNA" ver- upd+ show+
cl> hedit G156-57*.fits ra value='22:53:16.00' ver- upd+ show+
cl> hedit G156-57*.fits dec value='-14:15:38.00' ver- upd+ show+
cl> asthedit G156-57* cmds.dat verbose+
```

onde **cmds.dat** é um arquivo contendo linhas de comando a serem executadas pela tarefa *asthedit*.

Para calcular o tempo sideral (*st*) no instante de tempo correspondente ao meio da exposição usamos a tarefa *asthedit* e o arquivo **cmds.dat**, com as seguintes instruções:

```
st = mst (@"date-obs",ut,obsdb (observat, "longitude"))
ha = sexstr(st - ra)
if (ha > 12)
    ha = sexstr(ha - 24)
endif
if (ha < -12)
    ha = sexstr(24 + ha)
endif
```

A função interna *mst* (*mean sidereal time*) acessa o banco de dados de observatórios (*obsdb*) do IRAF para o cálculo do tempo sidereal médio e do ângulo horário do objeto usando as palavras-chave da data (*date-obs*) e hora de observação (*ut*), juntamente com a ascensão reta do objeto (*ra*) e sítio de observação (*observat*).

Esse passo é necessário para que se possa determinar a massa de ar correspondente ao meio da exposição, chamada massa de ar efetiva. Nesse caso utiliza-se a tarefa *setairmass* com a seguinte sintaxe:

```
cl> setairmass *.fits upd+
```

Esta rotina só atualizará os cabeçalhos das imagens selecionadas com os novos valores se a opção *update* estiver ativada; caso contrário ela apenas exibirá os resultados, sem realizar qualquer alteração nos cabeçalhos.

Deve-se verificar se as correções foram devidamente efetuadas sobre cada imagem listando-se novamente os valores dos campos do cabeçalho:

```
cl> hselect *.fits $I,object,ra,dec,epoch,ut,st,ha,airmass >> imagens_cor
```

3.1.1 Arquivos de instrumentos e filtros

Os arquivos de instrumentos e filtros determinam quais palavras-chave, reconhecidas nos cabeçalhos das imagens, serão associadas com cada grandeza ou parâmetro usado pelas tarefas do IRAF no processo de redução. O arquivo de instrumentos pode variar conforme o sítio onde as imagens foram coletadas, já que cada observatório utiliza-se de uma nomenclatura própria para os filtros, bem como para os demais campos-chave.

O procedimento de “tradução” dos nomes força as rotinas do IRAF a verificarem no arquivo de instrumentos se existe uma redefinição da palavra-chave procurada antes de buscarem pelo seu conteúdo no cabeçalho da imagem.

O arquivo de instrumentos utilizado neste trabalho contém as linhas:

<code>subset</code>	<code>filters</code>
<code>BIAS</code>	<code>zero</code>
<code>'DOME FLAT'</code>	<code>flat</code>
<code>'SKY FLAT'</code>	<code>object</code>

de modo que as rotinas buscarão no cabeçalho das imagens a palavra-chave *filters* quando precisarem do parâmetro *subset*, conforme definido na primeira linha. Analogamente, para identificar os vários tipos de imagem aceitos pelas tarefas de redução, usa-se o parâmetro *imagetype*. O arquivo de instrumentos também contém redefinições dos tipos de imagem mais usados pelo IRAF.

As imagens coletadas são geralmente agrupadas de acordo com uma configuração instrumental comum tal como filtros, máscaras de abertura ou redes de difração. Neste trabalho, as rotinas de redução usaram o parâmetro *subset*, identificado no cabeçalho das imagens pela palavra-chave *filters*, para separação das imagens em grupos segundo os filtros fotométricos.

No arquivo de filtros pode-se mapear valores encontrados na palavra-chave *filters* a identificadores mnemônicos curtos para cada grupo. No presente trabalho, as imagens foram agrupadas de acordo com o nome do filtro fotométrico ou sua posição na roda de filtros da instrumentação utilizada. O arquivo de filtros portanto, deve conter:

'B'	B
'V'	V
'R'	R
'I'	I
'2'	B
'3'	V
'4'	R
'5'	I

Para a indicação dos arquivos de instrumentos e de filtros deve-se modificar os seguintes parâmetros do pacote *ccdproc*, como exemplificado abaixo:

```
cl> ccdred.instrument="task_dir$opd_iag_ubvri.dat"
cl> ccdred.ssfile="task_dir$subsets_opd_iag_ubvri"
```

onde os arquivos **opd_iag_ubvri.dat** e **subsets_opd_iag_ubvri** são os arquivos de instrumentos e filtros, respectivamente.

3.1.2 Características do CCD

O CCD é um dispositivo semicondutor sensível à luz, que detecta fótons incidentes sobre sua superfície e gera uma corrente de elétrons proporcional ao número de fótons detectados. Naturalmente, nem todos os fótons incidentes no CCD serão detectados, de modo que a fração de fótons incidentes que é detectada define uma característica chamada Eficiência Quântica (**QE**). Esta característica varia de acordo com o comprimento de onda da luz.

Além disso, as contagens de saída do CCD estão relacionadas com o número de elétrons gerados através de um fator de escala chamado **ganho** do CCD. Atualmente, grande parte dos CCD's possuem valores de ganho entre 1 e 5 elétrons/ADU (Analog-to-Digital Units).

Após cada integração, o CCD precisa ser lido para determinação do valor do sinal em cada pixel. Como consequência inerente do processo de leitura, um ruído eletrônico é introduzido ao sinal de cada pixel, chamado **ruído de leitura**. CCD's modernos possuem ruídos de leitura na faixa de 5 a 20 elétrons por pixel.

Assim, as contagens ou números digitalizados (**DN**) podem ser escritos da seguinte forma:

$$DN = \frac{\text{número de elétrons}}{\text{ganho}} = \frac{\text{fótons} \times QE}{\text{ganho}} \quad (3.1)$$

Os parâmetros de ganho (*gain*) e ruído de leitura (*rdnoise*) são amplamente utilizados pelas tarefas do IRAF, tendo grande importância na determinação das magnitudes. Normalmente estes valores são bem conhecidos para a instrumentação usada e devem estar preenchidos nos cabeçalhos das imagens.

Se for preciso determiná-los, pode-se recorrer à tarefa *findgain*. Usando-a em várias secções de nossas imagens de calibração (*bias* e *flat field*) não processadas, obtivemos os valores médios mostrados na Tabela 3.1.

Apesar de termos encontrado valores semelhantes para os parâmetros em questão, adotamos os valores fornecidos pelo sítio (LNA) por terem sido determinados com um número maior de medidas.

Tabela 3.1: Comparação entre os valores calculados para os parâmetros de ganho e ruído de leitura e os valores fornecidos pelo sítio de observação

	Valores Calculados	Valores OPD
Ganho	5.1 ± 0.2	5.0
Ruído de leitura	3.7 ± 0.3	4.9

Além do ganho e ruído de leitura, outras características do dispositivo também exercem influência sobre os dados coletados. O número de pixels, tamanho do pixel e escala do CCD influenciam diretamente o tamanho da imagem a ser coletada durante as exposições. O CCD utilizado para coletar os dados deste projeto possui 1024×1024 pixels de $24 \times 24 \mu\text{m}$, correspondendo a uma escala de pixel de aproximadamente $1.22 \frac{''}{\text{pixel}}$.

3.2 Correção do Perfil Instrumental

O processamento das imagens consiste na eliminação de defeitos e de contagens espúrias introduzidos na imagem pela óptica do telescópio, pelos efeitos térmicos ou falhas da câmera de aquisição ou pelo CCD empregado na coleta das imagens. As imagens de *bias* e de *flat-field* são as imagens adquiridas com o propósito de corrigir tais problemas.

Imagens de *bias* são exposições curtas realizadas com o obturador fechado, tendo o intuito de se medir os níveis de *overscan/pre-scan* e possíveis tendências introduzidas no sinal pelo processo de leitura. O *overscan* determina o nível zero das contagens de cada imagem CCD adicionando um sinal eletrônico ao valor nulo do dispositivo a fim de não se obter contagens negativas. O *bias*, subtraído de *overscan*, revela o padrão bidimensional resultante do processo de leitura do CCD.

O *flat-field* é a imagem capturada de um campo de brilho uniforme. Isso pode ser feito medindo-se uma pequena região do céu no crepúsculo ou medindo-se a luz refletida de uma tela branca, iluminada por uma lâmpada de características espectrais semelhantes à dos filtros utilizados. As imagens adquiridas servem para medir as diferenças na eficiência e sensibilidade de detecção entre os pixels do CCD.

3.2.1 Combinando as imagens de Bias e Flat Field

Normalmente são adquiridas várias imagens de *bias* e *flat-field* com o intuito de serem combinadas para obtenção de um menor ruído nas imagens médias. Para combiná-las, usa-se a tarefa *combine*.

O ganho e o ruído de leitura devem ser configurados com as palavras-chave correspondentes a estes valores no cabeçalho da seguinte maneira:

```
cl> zerocombine.gain="gain"  
cl> zerocombine.rdnoise="rdnoise"  
cl> flatcombine.gain="gain"  
cl> flatcombine.rdnoise="rdnoise"
```


As imagens de *flat-field* foram combinadas filtro-a-filtro automaticamente ao utilizarmos o parâmetro *flatcombine.subsets*. Nesse caso gerou-se um arquivo para cada conjunto de imagens pertencentes ao mesmo grupo, conforme definido anteriormente no arquivo de filtros. Um exemplo da tarefa de combinação das imagens (*combine*) é dado abaixo:

```
cl> zerocombine bias*.fits output="zerocomb" combine=average reject=ccdclip
cl> flatcombine flat*.fits output="flatcomb_" combine=median scale=mode \
>>> reject=ccdclip subsets+
```

Como os valores de ganho e ruído do CCD usado são bem conhecidos, o algoritmo de rejeição de pixels usado, *ccdclip*, é o mais eficiente. Além disso, foi usado para as imagens de *flat-field* o escalonamento a um valor comum de contagens, realizado em cada imagem de acordo com a moda de sua distribuição de pixels. Esse artifício é uma maneira eficiente de se impedir que imagens com contagens muito diferentes do restante do grupo contaminem a imagem resultante.

As imagens de *bias* apresentam uma variação de natureza aleatória proveniente de efeitos térmicos e pequenas variações na corrente do CCD. Por essa razão, a média dos valores de um dado pixel representa melhor essa variação, se comparada à mediana. A significativa redução do desvio padrão (**STDDEV**) na imagem combinada comprova a natureza aleatória das flutuações. A Tabela 3.2 apresenta uma comparação entre as estatísticas das imagens:

Tabela 3.2: Estatísticas das imagens de calibração obtidas pela tarefa *imstat*. São exibidos a média (MEAN), desvio padrão (STDDEV), valores mínimo (MIN) e máximo (MAX) de cada imagem. As estatísticas referem-se a uma secção de 300×300 pixels, no centro das imagens.

BIAS	MEAN	STDDEV	MIN	MAX	FLAT	MEAN	STDDEV	MIN	MAX
bias0011	13.85	1.986	-3.	1104.	flatb0001	21969.	227.8	16743.	23976.
bias0012	12.76	2.321	-2.	1105.	flatb0002	22058.	228.9	16856.	24003.
bias0013	12.57	1.494	-1.	715.	flatb0003	21937.	227.5	16691.	24029.
bias0014	12.38	2.348	-2.	1668.	flatb0004	21986.	228.4	16603.	23848.
bias0015	13.16	2.123	-1.	1655.	flatb0005	21972.	227.9	16708.	23973.
bias0016	11.88	2.328	-3.	1513.	flatb0006	21849.	226.3	16593.	23856.
bias0017	12.82	1.877	-2.	1036.	flatb0007	21869.	226.6	16558.	23792.
bias0018	12.79	3.841	-1.	3443.	flatb0008	21840.	227.1	16664.	23765.
bias0019	12.14	2.384	-2.	1304.	flatb0009	22015.	227.7	16675.	23922.
bias0020	11.77	2.253	-3.	1819.	flatb0010	22096.	229.5	16733.	24067.
biascomb	12.51	0.491	-1.	14.5	flatcombB	21958.	219.5	16687.	23905.

Em contrapartida, as imagens de *flat* são dominadas por variações mais sistemáticas, decorrentes da sensibilidade característica de cada pixel, somadas com pequenas variações aleatórias, como as descritas acima. Assim, a média dos valores de um dado pixel poderia causar um mascaramento da variação sistemática pelas flutuações aleatórias, sendo a mediana um método mais eficiente para a combinação. A pequena redução no desvio médio padrão da imagem combinada (Tabela 3.2), mostra a pequena influência das flutuações aleatórias, sobressaindo-se assim as variações sistemáticas em altas contagens, facilitando a identificação de pixels defeituosos.

As Figuras 3.1a e 3.1b mostram exemplos de imagens combinadas de *bias* e *flat* e os respectivos perfis de contagens ao longo de uma coluna passando pelo centro da imagem.

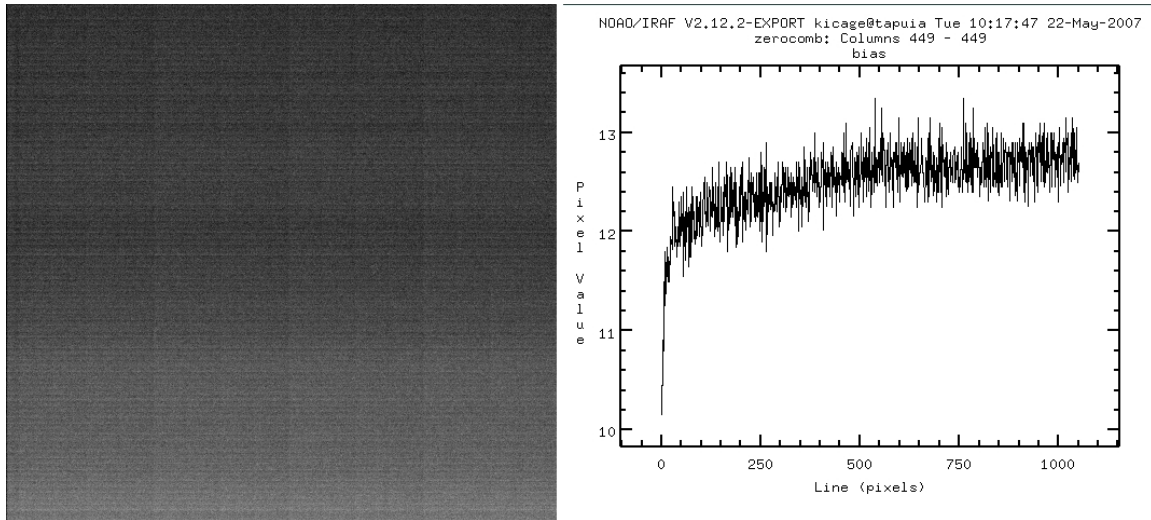


Figura 3.1a: (*À esquerda*): imagem combinada de *bias*. (*À direita*): perfil de linhas.

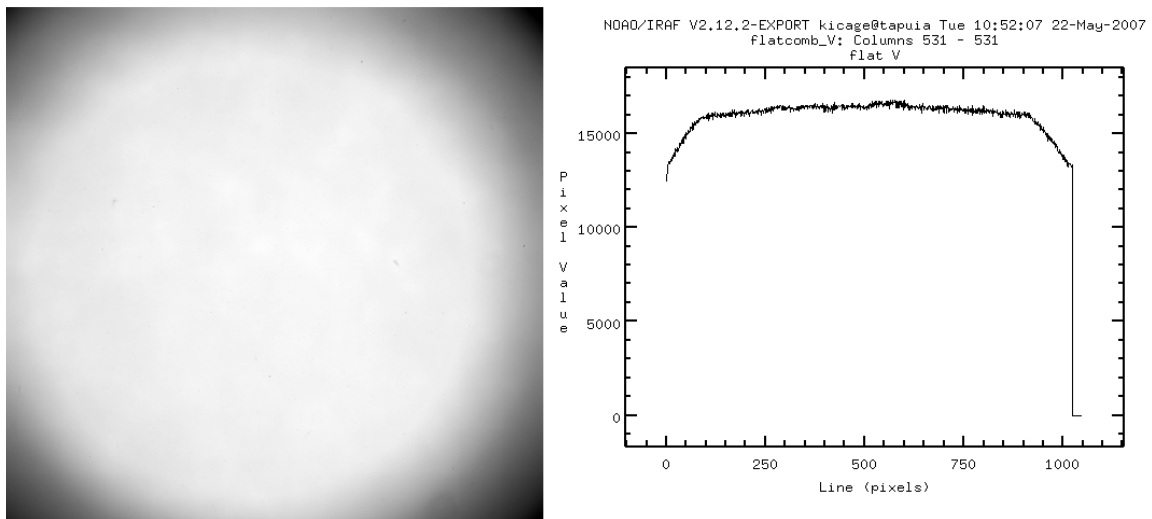


Figura 3.1b: (*À esquerda*): imagem combinada de *flat* no filtro **V**. (*À direita*): perfil de linhas.

3.2.2 Seccionamento das imagens

Deve-se assegurar que as imagens de *bias* e *flat* envolvidas em um processo de redução tenham as mesmas dimensões da imagem a ser corrigida. Como é comum a aquisição de imagens seccionadas para redução do tempo de leitura do CCD, é necessária a criação de imagens de *bias* e *flat*, seccionadas de maneira idêntica às imagens a serem corrigidas. Na presente redução foi necessário o corte de uma região de 251x201 pixels, correspondente ao tamanho das imagens de algumas estrelas padrão. Essa região foi cortada do centro das imagens combinadas de *bias* e *flat* usando a rotina *imcopy*:

```
cl> imcopy flatcomb_B[375:625,400:600] sec_flatB
cl> imcopy combined_zero[375:625,400:600] sec_zero
```

3.2.3 Processamento das imagens

Como foi discutido anteriormente, as imagens dos objetos são corrigidas das flutuações térmicas e valor de ponto zero ao subtrair-se a imagem de *bias*, e compensadas pelas variações sistemáticas de sensibilidade dos pixels ao serem escalonadas pela imagem de *flat*.

Em linhas gerais, a imagem processada final (**IF**) é obtida por:

$$IF = \frac{I_{orig} - I_{Cbias}}{(I_{Cflat} - I_{Cbias})_{normalizada}} \quad (3.2)$$

onde I_{orig} é a imagem não processada, I_{Cbias} a imagem combinada de *bias* e I_{Cflat} a imagem combinada de *flat field*. Ou seja, subtrai-se da imagem original a imagem combinada de *bias* e depois divide-se pela imagem de *flat* corrigida de *bias* e normalizada.

A rotina *ccdproc* faz, de maneira automática, o processamento das imagens selecionadas de acordo com os passos descritos anteriormente. Abaixo, uma execução típica, onde é realizado o processamento das imagens pelas correções de *bias* e de *flat*:

```
cl> ccdproc images="DD*.fits" ccdtype="object" zerocor+ zero="zerocomb" \  
>>> flatcor+ flat="flatcomb_*
```

Capítulo 4

Calibração ao Sistema Padrão

A fotometria de abertura determina a magnitude instrumental das estrelas através da integração das contagens de todos os pixels dentro de um área centrada na estrela (abertura), que simula o efeito do diafragma na fotometria fotoelétrica.

O processo de realização da fotometria de abertura para determinação das magnitudes deve ocorrer, inicialmente, nas estrelas-padrão. A determinação de suas magnitudes instrumentais nos permitirá determinar as equações de transformação para o sistema padrão. Esse processo também nos permitirá avaliar a qualidade dos dados obtidos. Erros muito grandes nas magnitudes instrumentais podem indicar imagens de qualidade ruim, alguma falha no processamento das imagens ou uma escolha errada da abertura.

Anteriormente à determinação das magnitudes, deve-se notar a qualidade do foco, do acompanhamento e saturação de estrelas. Além disso, deve-se realizar a identificação da estrela (ou estrelas) padrão em cada campo. Muitas vezes a identificação é direta mas em campos cheios deve-se confirmar se não houve erro de identificação ou apontamento através de uma consulta a uma carta celeste como o *Aladin Sky Atlas*, por exemplo.

4.1 Obtenção das magnitudes instrumentais

4.1.1 Curva de crescimento

O primeiro passo na obtenção das magnitudes consiste na construção da curva de crescimento para determinação da abertura a ser usada na realização da fotometria CCD. Para isso serão utilizadas imagens que contenham estrelas brilhantes, não saturadas, com valores de contagens próximos da metade do valor de saturação do CCD. Para a estrela selecionada, será determinada sua magnitude utilizando-se aberturas concêntricas cada vez maiores. O objetivo é encontrar a abertura na qual a magnitude dessa estrela torna-se constante.

A tarefa utilizada para esse fim, *phot*, requer a configuração dos arquivos de parâmetros *datapars*, *centerpars*, *fitskypars* e *photpars*:

```

                                I R A F
                                Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = daophot
TASK = datapars

(scale =          1.) Image scale in units per pixel
(fwhmpsf=        2.) FWHM of the PSF in scale units
(emissio=        yes) Features are positive ?
(sigma =         10.) Standard deviation of background in counts
(datamin=       -75.) Minimum good data value
(datamax=       32000.) Maximum good data value
(noise =        poisson) Noise model
(ccdread=       rdnoise) CCD readout noise image header keyword
(gain =         gain) CCD gain image header keyword
(readnoi=       INDEF) CCD readout noise in electrons
(epadu =        INDEF) Gain in electrons per count
(exposur=       exptime) Exposure time image header keyword
(airmass=       airmass) Airmass image header keyword
(filter =       filters) Filter image header keyword
(obstime=       utmiddle) Time of observation image header keyword
(itime =        INDEF) Exposure time
(xairmas=       INDEF) Airmass
(ifilter=       INDEF) Filter
(otime =        INDEF) Time of observation
(mode =         ql)

```

Figura 4.1: Parâmetros do arquivo *datapars* utilizado na criação da curva de abertura.

- O *datapars* contém todos os parâmetros relativos aos dados utilizados no processo de redução fotométrica. A Figura 4.1 mostra a configuração usada desse arquivo, para se obter as magnitudes das estrelas-padrão.

Os valores dos campos *datapars.fwhmpsf* e *datapars.sigma* foram encontrados usando-se a tarefa *imexamine* para determinar a largura do perfil da estrela (FWHM) e o desvio padrão das contagens do céu (sigma).

Os valores dos parâmetros *exposure*, *airmass*, *filter*, *obstime*, *ccdread* e *gain* devem ser preenchidos com as correspondentes palavras-chave no cabeçalho das imagens.

- Passa-se então para o arquivo de parâmetros *centerpars*. Ele controla, em modo automático ou interativo, os algoritmos de centralização usados na localização das estrelas. Os valores de seus parâmetros usados na construção da curva de crescimento estão listados na Figura 4.2.

O algoritmo de centralização mais eficiente utilizado foi o **centroid** e o valor adotado da caixa de centralização foi aproximadamente 3 vezes a largura do perfil da estrela. Como nesse passo de nossa redução a localização das estrelas foi realizada de maneira manual, o desvio máximo permitido (*maxshift*) adotado foi razoavelmente grande.

- O arquivo *fitskypars* contém parâmetros de ajuste e cálculo estatístico do valor do céu. A Figura 4.3 mostra os valores adotados para estes parâmetros, para a construção da curva de crescimento.

Os parâmetros *annulus* e *dannulus* determinam o anel onde será feita a estimativa do céu. É recomendável que esse anel comece onde termina a abertura para medida da estrela. Para construção da curva de crescimento deixamos o anel do céu começando a 25 pixels do centro da estrela e se estendendo por mais 5 pixels. O parâmetro *salgori* determina o algoritmo utilizado para o cálculo do valor do céu empregado na distribuição dos valores dos pixels dentro da área demarcada pelo anel. O tipo de região onde se encontram as estrelas determina qual algoritmo deve ser utilizado.

```

      I R A F
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = daophot
TASK = centerpars

(calgori=          centroid) Centering algorithm
(cbox =           6.) Centering box width in scale units
(cthresh=         0.) Centering threshold in sigma above background
(minsnra=         1.) Minimum signal-to-noise ratio for centering algo
(cmaxite=         10) Maximum iterations for centering algorithm
(maxshif=         5.) Maximum center shift in scale units
(clean =          no) Symmetry clean before centering
(rclean =         1.) Cleaning radius in scale units
(rclip =          2.) Clipping radius in scale units
(kclean =         3.) K-sigma rejection criterion in skysigma
(mkcente=         yes) Mark the computed center
(mode =           ql)

```

Figura 4.2: Parâmetros do arquivo *centerpars* utilizados na criação da curva de crescimento.

```

      I R A F
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = daophot
TASK = fitskypars

(salgori=          centroid) Sky fitting algorithm
(annulus=         25.) Inner radius of sky annulus in scale units
(dannulu=         5.) Width of sky annulus in scale units
(skyvalu=         0.) User sky value
(smaxite=         10) Maximum number of sky fitting iterations
(sloclip=         0.) Lower clipping factor in percent
(shiclip=         0.) Upper clipping factor in percent
(snrejec=         50) Maximum number of sky fitting rejection iterations
(sloreje=         3.) Lower K-sigma rejection limit in sky sigma
(shireje=         3.) Upper K-sigma rejection limit in sky sigma
(khist =          3.) Half width of histogram in sky sigma
(binsize=         0,1) Binsize of histogram in sky sigma
(smooth =         no) Boxcar smooth the histogram
(rgrow =          0.) Region growing radius in scale units
(mksky =          no) Mark sky annuli on the display
(mode =           ql)

```

Figura 4.3: Parâmetros do arquivo *fitskypars* utilizado na criação da curva de abertura.

Para regiões estelares muito densas recomenda-se a moda (*mode*); em regiões onde o céu varia muito rapidamente deve-se utilizar a mediana (*median*) e nos demais casos *centroid* é um algoritmo eficiente e rápido, utilizado no nosso trabalho.

- No arquivo *photpars* apenas o parâmetro *photpars.apertur* deve ser modificado. Ele determina um raio, com origem no centro calculado da estrela, delimitando uma área na qual foram integrados os valores das contagens dos pixels para a determinação da magnitude da estrela. A Figura 4.4 mostra o valor adotado para este parâmetro. Esse valor de abertura significa que foram feitas aberturas de vários raios, de 2 a 25 pixels, com incrementos de 0.5 pixel. Para cada abertura a magnitude instrumental da estrela foi calculada e escrita num arquivo ou na tela. Estes valores nos permitiram determinar a abertura a ser utilizada no processo de redução.
- Finalmente, pôde-se executar a tarefa *phot* para obtenção das magnitudes nas várias aberturas utilizadas:

```
cl> phot interac+ verify- verbose+ coords=' ' output=curvacres.mag
```

```

      I R A F
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = daophot
TASK = photpars

(weighti=      constant) Photometric weighting scheme
(apertur=     2:25:0.5) List of aperture radii in scale units
(zmag =  25.) Zero point of magnitude scale
(mkapert=     yes) Draw apertures on the display
(mode =      ql)

```

Figura 4.4: Parâmetros do arquivo *photpars* utilizado na criação da curva de abertura.

A tarefa foi executada sobre a imagem exibida no terminal gráfico, onde foram necessários comandos interativos para determinação das magnitudes:

- **c** define o valor inicial para o centro da estrela sobre o cursor;
- *espaço* realiza a obtenção das magnitudes;
- **q** encerra a rotina.

Realizou-se esse processo para mais de uma estrela padrão, visando a obtenção de um valor mais preciso da abertura a ser utilizada. A Figura 4.5 mostra o resultado do processo utilizado.

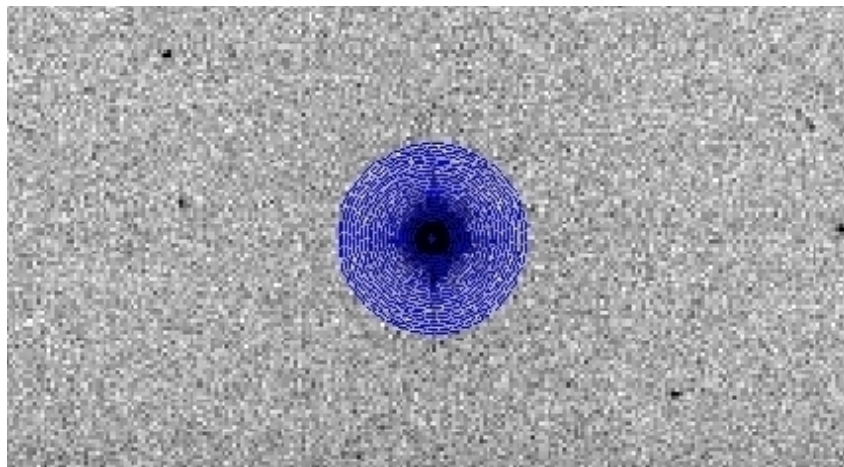


Figura 4.5: Aberturas realizadas para construção da curva de abertura durante a utilização da tarefa *phot*.

A extração das informações relevantes pode ser realizada através de um editor de texto ou pela rotina *txdump*, conforme mostrado a seguir:

```

c1> txdump curvacres.mag rapert,mag "yes" >> ca108_1911tab

```

- Com os dados propriamente editados, construímos o gráfico *Diferença de Magnitude* (Δm) \times *Abertura média* (\bar{r}) e determinamos a abertura ótima para o conjunto. A partir do gráfico pode-se identificar a abertura ótima quando não há uma diminuição

significativa na magnitude em função do raio. Para os nossos dados obtivemos valores de abertura entre 15 e 20 pixels.

Na Figura 4.6 estão exibidos os gráficos de abertura para uma estrela-padrão e para uma estrela típica de um aglomerado. Nem sempre é possível encontrar um valor ótimo de abertura para todo o conjunto de dados, já que estrelas mais brilhantes tendem a ter um perfil mais largo que as menos brilhantes, necessitando portanto de aberturas ligeiramente maiores. Além disso, a óptica do telescópio e o filtro utilizado modificam o perfil estelar de maneiras diferentes em cada comprimento de onda, de forma que efeitos de foco e *seeing* produzem pequenas variações nos valores de abertura em cada filtro.

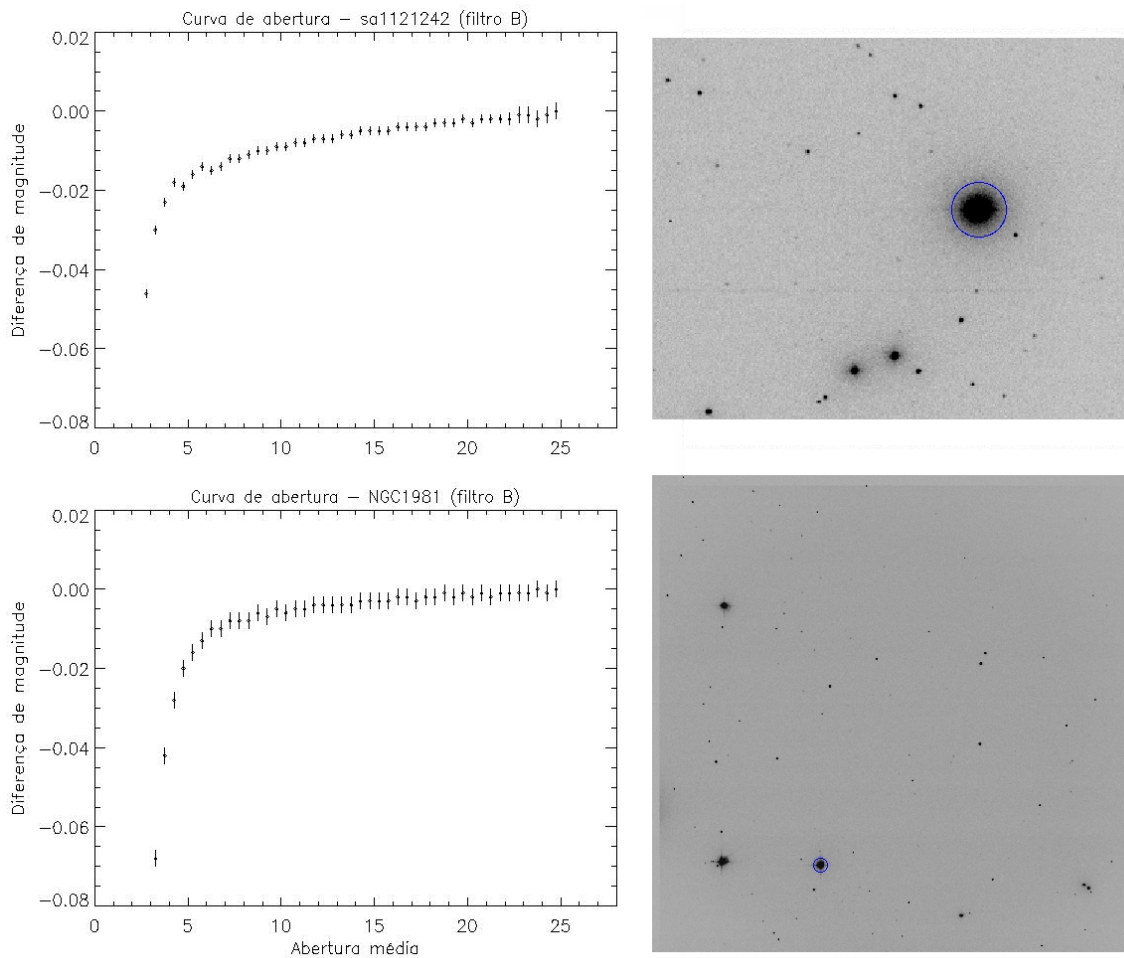


Figura 4.6: Curvas de crescimento para a padrão *sa112_1242*, acima, e para *NGC1981*, abaixo. As curvas de crescimento mostram que a maior parte da luz das estrelas estará contida em uma abertura de 20 pixels para as estrelas-padrão e 15 pixels para as estrelas do aglomerado. As barras verticais representam o erro na magnitude calculada.

Por se tratar de um grande conjunto de estrelas-padrão e de campos relativamente densos para os aglomerados desse trabalho, utilizamos aberturas de 20 pixels nas imagens das estrelas-padrão e 15 pixels nas imagens do aglomerado de modo a se

evitar superposições de estrelas em uma única abertura. Estes valores correspondem ao valor médio encontrado nas curvas de crescimento no filtro **B**, onde as aberturas necessárias foram maiores.

4.1.2 Construção dos arquivos de coordenadas

O arquivo de coordenadas contém as posições do centro das estrelas padrão ou de programa para as quais serão realizadas a fotometria. Ele pode ser um arquivo coletivo, contendo coordenadas de estrelas compartilhadas por muitas imagens, ou individual, contendo as coordenadas das estrelas de uma única imagem. Pode-se construí-lo de muitas maneiras, bastando que o arquivo final contenha em cada linha as coordenadas **X** e **Y** de cada estrela na imagem correspondente.

Por serem obtidas em momentos diferentes da noite, as imagens das estrelas-padrão podem não apresentar um bom alinhamento entre si. Além disso, a localização de apenas uma estrela no campo, geralmente a mais brilhante, favorece o uso de arquivos de coordenadas individuais para cada imagem por consumir menos tempo que o necessário para alinhar as imagens.

O arquivo de coordenadas é necessário para a realização automática da fotometria nas imagens e foi construído a partir da tarefa *daofind*, já que o conjunto de estrelas-padrão conta com um número muito grande de imagens. Ela opera sobre todas as imagens de estrelas-padrão listadas no arquivo de entrada, construindo seus respectivos arquivos de coordenadas.

Antes da execução da tarefa deve-se ajustar o limite de detecção, de modo que não sejam encontradas estrelas de campo indesejadas. Assim, perfis estelares com valores de pico inferiores ao valor limite estipulado não serão considerados. O limite de detecção, em contagens, é dado pelo parâmetro *findpars.threshold* em função do desvio médio padrão do céu (*datapars.sigma*):

$$\text{Limite} = (\text{datapars.sigma}) \times (\text{findpars.threshold}) \quad (4.1)$$

O valor de limite pode não ser único para todo o conjunto de estrelas-padrão, podendo-se portanto dividir o conjunto em subgrupos onde as estrelas-padrão tenham contagens semelhantes.

A execução da tarefa é dada por:

```
cl> daofind @lista_padroes output=default verify- verbose+ >> daofind.log
```

Para cada imagem da lista é gerado um arquivo de coordenadas contendo os valores dos vários parâmetros envolvidos na execução da tarefa, bem como os objetos encontrados e suas coordenadas. O arquivo de log (*daofind.log*) contém de maneira sucinta os objetos encontrados em cada imagem e os valores dos parâmetros mais importantes usados. Nele pode-se verificar a necessidade de remoção de estrelas indesejadas ou de inclusão de estrelas-padrão não localizadas.

As estrelas não detectadas podem estar abaixo do valor limite mencionado acima, ou apresentarem características muito diferentes daquelas listadas no arquivo *datapars*, como a largura do perfil (FWHM); isto pode ocorrer em imagens com valor de *seeing* muito alto, ou foco mal determinado. Os parâmetros devem ser corrigidos e a tarefa re-executada até que se encontre a estrela desejada. Nesse ponto pode ser interessante restringir a região de detecção da tarefa à uma pequena região ao redor da estrela:

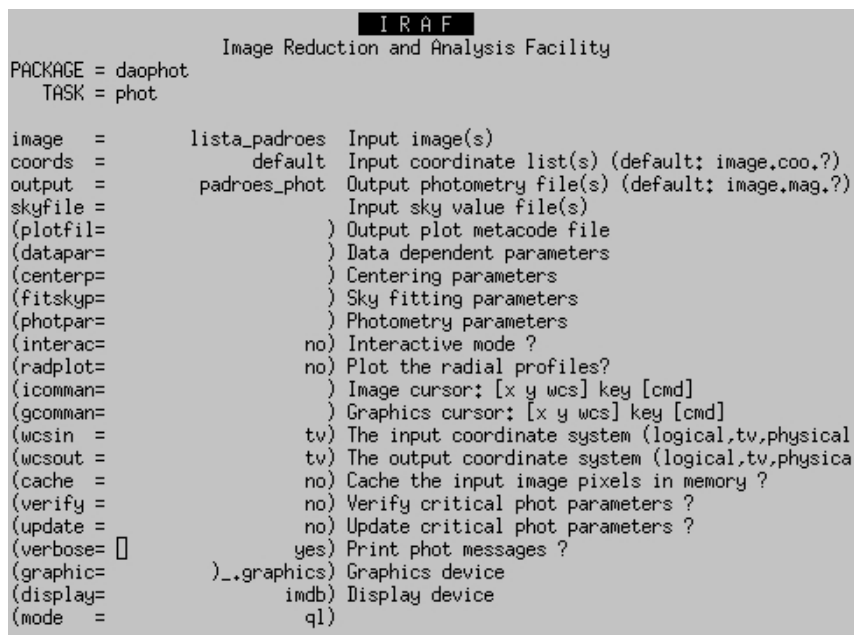
```
cl> daofind G156_57I0014[110:130,90:110] verify+ update+
```

Nos arquivos onde houveram estrelas de campo detectadas, editamos o arquivo de coordenadas para excluí-las.

Cada objeto encontrado em uma imagem recebe um identificador (ID) conforme a ordem em que foi encontrado. O algoritmo varre a imagem em linhas, começando pela linha $Y = 0$, de forma que os objetos ficam ordenados por esta coordenada. Não devem haver objetos referentes a uma mesma estrela-padrão, com identificadores distintos. Ao remover estrelas de campo de uma imagem, deve-se certificar que o identificador da estrela-padrão seja o mesmo que o recebido em suas imagens nos demais filtros. Isso pode ser feito usando-se a tarefa *txrenumber* nos arquivos de coordenadas.

4.1.3 Determinação das magnitudes

Finalmente, pode-se determinar as magnitudes para as estrelas-padrão pelo uso da tarefa *phot*. Sua execução em modo automático requer seus parâmetros configurados conforme mostra a figura 4.7.



```
IRAF
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = daophot
TASK = phot

image =      lista_padroes  Input image(s)
coords =      default      Input coordinate list(s) (default: image.coo.?)
output =      padroes_phot  Output photometry file(s) (default: image.mag.?)
skyfile =
              Input sky value file(s)
(plotfil=    ) Output plot metacode file
(datapar=    ) Data dependent parameters
(centerp=    ) Centering parameters
(fitskyp=    ) Sky fitting parameters
(photpar=    ) Photometry parameters
(interac=    no) Interactive mode ?
(radplot=    no) Plot the radial profiles?
(icomman=    ) Image cursor: [x y wcs] key [cmd]
(gcomman=    ) Graphics cursor: [x y wcs] key [cmd]
(wcsin =     tv) The input coordinate system (logical,tv,physical)
(wcsout =    tv) The output coordinate system (logical,tv,physical)
(cache =     no) Cache the input image pixels in memory ?
(verify =    no) Verify critical phot parameters ?
(update =    no) Update critical phot parameters ?
(verbose=    ) Print phot messages ?
(graphic=    )_._graphics) Graphics device
(display=    imdb) Display device
(mode =      ql)
```

Figura 4.7: Configuração dos parâmetros da tarefa phot

Além disso, outros parâmetros também deverão ser configurados antes da execução da tarefa.

Em *photpars* deve-se modificar o valor da abertura a ser utilizada. Este valor será o valor ótimo encontrado na curva de abertura, anteriormente. Neste trabalho usou-se uma abertura de 20 pixels para todas as imagens das estrelas-padrão.

```
cl> photpars.apertur=20
```

O valor da abertura usada para o cálculo do céu também deverá ser modificado no arquivo *fitskypars*. A área utilizada para este cálculo deve ser, preferencialmente, contínua àquela da abertura ótima encontrada na curva de crescimento. Sendo assim usamos para a abertura do céu os seguintes valores:

```
c1> fitskypars.annulus=20
c1> fitskypars.dannulu=5
```

É desaconselhado, pelo manual da tarefa *centerpars*, o uso de seus algoritmos de centralização em casos onde uma tarefa mais eficiente, como a *daofind*, foi previamente utilizada para determinação das coordenadas estelares. Assim, deve-se desabilitar os processos de centralização para essa execução do *phot*:

```
c1> centerpars.calgori=none
```

No arquivo *datapars* devemos nos certificar que seus parâmetros adotem valores mais representativos de todo o grupo. No presente grupo de estrelas os valores utilizados foram:

```
c1> datapars.fwhm=2.4
c1> datapars.sigma=10
```

Caso tenha sido necessária a divisão do conjunto em subgrupos, para criação dos arquivos de coordenadas, então deve-se aplicar essa mesma divisão aos dados para procedimentos fotométricos.

Tendo todos os parâmetros configurados, resta agora apenas a execução da rotina:

```
c1> phot >> phot.log
```

Realizada a execução, pode-se verificar o arquivo de log em busca de erros. Caso seja constatado um erro, devemos verificar o arquivo de saída em busca de maiores detalhes.

O arquivo de saída da tarefa contém um cabeçalho com os valores de todos os parâmetros usados, seguido de um conjunto de informações em 5 linhas sobre cada objeto processado. A primeira linha contém informações gerais como nome da imagem, nome do arquivo de coordenadas e o número de identificação da estrela. A linha seguinte contém informações sobre o processo de centralização: os valores computados de \mathbf{X} e \mathbf{Y} do centro e seus desvios. A terceira linha fornece informações sobre o céu e a quarta linha sobre o cabeçalho da imagem, incluindo massa de ar e filtro. A quinta linha contém a fotometria, incluindo a abertura usada, o número de contagens na área da abertura e a magnitude calculada. A figura 4.8 apresenta este arquivo.

Conforme pode-se ver, ao final de algumas linhas há alguns sinalizadores de erro. O sinalizador da segunda linha corresponde aos processos de centralização, o da terceira linha corresponde aos procedimentos utilizados para cálculo do céu e o da quinta linha à fotometria e cálculo da magnitude. O campo anterior ao sinalizador exibirá um código identificador do erro encontrado. Se nenhum erro foi encontrado esse código é nulo.

Pode-se usar o *txdump* para selecionar e separar informações do arquivo de saída como a posição do centro da estrela, as magnitudes calculadas e os códigos de erros gerados pelos sinalizadores. A execução abaixo foi utilizada para listar esses valores, para todas as imagens onde houve erro na fotometria ($\text{pier} \neq 0$):

```
c1> txdump padroes_phot image,xcenter,ycenter,mag,merr,cier,sier,pier "pier!=0"
```

```

#N IMAGE          XINIT  YINIT  ID  COORDS          LID  \
#U imagename     pixels pixels ## filename     ##  \
#F %-23s         %-10.3f %-10.3f %-6d  %-23s         %-6d  \
#
#N XCENTER       YCENTER  XSHIFT  YSHIFT  XERR  YERR          CIER CERROR  \
#U pixels        pixels   pixels  pixels  pixels pixels        ##  errors  \
#F %-14.3f       %-11.3f  %-8.3f  %-8.3f  %-8.3f %-15.3f      %-5d  %-9s  \
#
#N MSKY          STDEV     SKEW     NSKY  NSREJ  SIER SERROR  \
#U counts        counts   counts   npix  npix   ##  errors  \
#F %-18.7g       %-15.7g  %-15.7g  %-7d  %-9d   %-5d  %-9s  \
#
#N ITIME         XAIRMASS  IFILTER          OTIME          \
#U timeunit      number    name             timeunit       \
#F %-18.7g       %-15.7g  %-23s          %-23s         \
#
#N RAPERT        SUM        AREA        FLUX        MAG  MERR  PIER PERROR  \
#U scale         counts    pixels     counts     mag  mag   ##  errors  \
#F %-12.2f       %-14.7g  %-11.7g    %-14.7g    %-7.3f %-6.3f %-5d  %-9s  \
#
G156_57B0001    70.893  130.729  1  G156_57B0001.coo.1  1  \
70.875  130.726  -0.018  -0.003  0.003  0.002  0  NoError  \
506.2142  11.1412  6.048427  640  2  0  NoError  \
50.  1.53083  B  1:31:21.8  \
14.00  382590.3  615.7953  70865.96  17.121  0.006  0  NoError  \
G156_57B0002    70.849  132.126  2  G156_57B0002.coo.1  1  \
70.861  132.097  0.012  -0.029  0.003  0.003  0  NoError  \
506.9597  10.64395  -2.828379  642  2  0  NoError  \
50.  1.524027  B  1:32:19.2  \
14.00  382975.3  616.3871  70491.84  17.127  0.006  0  NoError  \
G156_57B0003    70.894  133.030  3  G156_57B0003.coo.1  1  \
70.879  133.047  -0.015  0.017  0.002  0.002  0  NoError  \
508.2611  10.19562  -4.173727  638  7  0  NoError  \
50.  1.517404  B  1:33:15.7  \
14.00  383545.4  616.5551  70174.41  17.132  0.006  0  NoError  \
                                     56,1  3%

```

Figura 4.8: Arquivo de log da tarefa *phot*. O arquivo contém o formato dos dados (comentados com #) e os dados para as primeiras estrelas. O cabeçalho do arquivo foi omitido.

4.2 Transformação para o sistema padrão

De posse das magnitudes instrumentais para as estrelas-padrão, pode-se determinar equações que transformem estas magnitudes instrumentais para seus valores no sistema padrão. A solução dessas equações tornará possível sua aplicação nas estrelas dos aglomerados, obtendo-se assim as magnitudes no sistema padrão.

4.2.1 Criação do catálogo de estrelas-padrão

Inicialmente deve ser criado um catálogo contendo as magnitudes e índices de cor das estrelas-padrão no sistema padrão. A tarefa *mkcatolg* fornece os meios para isso. As estrelas-padrão usadas nesse projeto pertencem ao catálogo de Landolt de estrelas-padrão UBVRI (Landolt, 1983), já presente na base de dados do IRAF (**photcal\$catalogs**).

Os catálogos presentes na base de dados do IRAF são compostos por 3 arquivos: o arquivo de formatação, o arquivo de dados e o arquivo de transformação. O arquivo de formatação descreve como os dados estão organizados no arquivo de dados, e o arquivo de transformação contém as equações de transformação ao sistema padrão usadas na criação do catálogo.

4.2.2 Criação do arquivo de observações

Em seguida deve-se criar um arquivo contendo as magnitudes e índices de cor instrumentais das estrelas-padrão com seus respectivos erros: o arquivo de observação. Assim como no caso dos catálogos já disponíveis no IRAF, este deverá ser constituído de um arquivo contendo os dados e outro descrevendo a formatação destes dados. Para criá-los usa-se a rotina *mknobsfile*, com os parâmetros configurados conforme mostra a figura 4.9.

```

      I R A F
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = photcal
TASK = mknobsfile

photfile=      padroes_phot  The input list of APPHOT/DAOPHOT databases
idfilter=      B,I,R,V     The list of filter ids
imsets =       padroes_imgset The input image set file
observat=      padroes_obsfile The output observations file
(wrap =       yes) Format output file for easy reading ?
(obspara=      ) The input observing parameters file
(obscolu=      ) The format of obsparams
(minimage=     0.001) The minimum error magnitude
(shifts =      ) The input x and y coordinate shifts file
(apercor=      ) The input aperture corrections file
(apertur=     1) The aperture number of the extracted magnitude
(toleran=     10.) The tolerance in pixels for position matching
(allfilt=     no) Output only objects matched in all filters
(verify =     no) Verify interactive user input ?
(verbose=     yes) Print status, warning and error messages ?
(mode =       ql)

```

Figura 4.9: Parâmetros da tarefa *mknobsfile* para criação do arquivo de observações.

No parâmetro *mknobsfile.imsets* deve-se especificar o arquivo de agrupamento de imagens. Nele estarão separadas as imagens que formarem um conjunto observacional completo nos filtros observados. Ele pode ser criado manualmente ou através da tarefa *mkimsets* e seu conteúdo deve conter o identificador da padrão, conforme consta no catálogo de estrelas-padrão utilizado, seguido do nome das imagens em cada filtro, da mesma maneira como aparece no arquivo de fotometria (*padroes_phot*), que formem um conjunto. Algumas linhas desse arquivo, utilizado em nossa redução, estão exibidos abaixo:

```

216135 : HD216135b0001 HD216135i0001 HD216135r0001 HD216135v0001
216135 : HD216135b0002 HD216135i0002 HD216135r0002 HD216135v0002
216135 : HD216135b0003 HD216135i0003 HD216135r0003 HD216135v0003
216135 : HD216135i0004
216135 : HD216135i0005
216135 : HD216135i0006

```

```

114_473 : sa114473b0008 sa114473i0008 sa114473r0008 sa114473v0010
114_473 : sa114473b0009 sa114473i0009 sa114473r0009 sa114473v0013
114_473 : sa114473b0010 sa114473i0010 sa114473r0010 sa114473v0014

```

As imagens em cada filtro foram agrupadas segundo a hora em que foram observadas e não pelo nome da imagem, já que algumas imagens saturadas foram excluídas e substituídas.

O parâmetro *mknobsfile.idfilters* contém os filtros nos quais foram coletadas as imagens, ordenados conforme a ordem das imagens no arquivo de agrupamento de imagens. Para se executar a tarefa usamos:

```
cl> mknobsfile >> mknobsfile.log
```

O arquivo de registro contém o número de estrelas encontradas em cada grupo definido no arquivo de agrupamento de imagens. Como os arquivos de coordenadas contém apenas uma estrela por imagem, a localização de objetos adicionais implica que a estrela não compartilha da mesma coordenada em todos os filtros sendo por isso identificada como objeto distinto. Para correção desse problema, será necessário o alinhamento das imagens ou o uso de um valor maior para a tolerância de posicionamento (*mknobsfile.tolerance*) da tarefa.

O ajuste para a determinação das equações de transformação é realizado de maneira independente entre os filtros, de forma que mesmo o conjunto que contenha apenas imagem em um filtro irá contribuir para um melhor ajuste da equação de transformação naquele filtro.

4.2.3 Definição das equações de transformação

A seguir foram definidas as transformações aplicadas às magnitudes instrumentais para determinação das magnitudes padrão. Estas transformações incluem um termo linear no índice de cor, podendo possuir termos de 1^a e 2^a ordem na extinção.

Neste trabalho, foram utilizadas as equações de transformação referentes ao catálogo **nlandolt** (Landolt , 1983) presente na base de dados do IRAF:

$$b = B + Const + Termo\ de\ Cor \times (B - V) + Extinção \times Massa\ de\ ar + Extinção\ 2^{a}\ ordem \times (B - V) \times Massa\ de\ ar \quad (4.2a)$$

$$v = V + Const + Termo\ de\ Cor \times (B - V) + Extinção \times Massa\ de\ ar + Extinção\ 2^{a}\ ordem \times (B - V) \times Massa\ de\ ar \quad (4.2b)$$

$$r = R + Const + Termo\ de\ Cor \times (V - R) + Extinção \times Massa\ de\ ar + Extinção\ 2^{a}\ ordem \times (V - R) \times Massa\ de\ ar \quad (4.2c)$$

$$i = I + Const + Termo\ de\ Cor \times (V - I) + Extinção \times Massa\ de\ ar + Extinção\ 2^{a}\ ordem \times (V - I) \times Massa\ de\ ar \quad (4.2d)$$

Estas equações foram resolvidas através do ajuste múltiplo dos termos de cor e extinção, buscando pelos melhores valores para os coeficientes de ponto zero, cor e extinção em primeira e segunda ordens.

Apesar da fotometria fotoelétrica ter suas equações geralmente escritas em termos dos índices de cor e na forma invertida em relação à que apresentamos aqui, adotamos essa abordagem devido às peculiaridades da fotometria CCD.

Na fotometria fotoelétrica os filtros podem ser alternados rapidamente de forma que as variações atmosféricas e erros de centralização afetam os filtros de maneira semelhante, resultando em índices de cor que são, normalmente, melhor determinados do que as magnitudes individuais.

Na fotometria CCD, entretanto, as medidas em cada filtro são desvinculadas já que cada imagem contém toda a informação fotométrica do objeto e do céu, com menos importância para o intervalo entre as medidas de diferentes filtros. Por isso, as magnitudes CCD são calculadas com base em massas de ar individuais, fazendo com que elas sejam melhor determinadas que os índices de cor e seja mais adequado realizar as transformações separadamente.

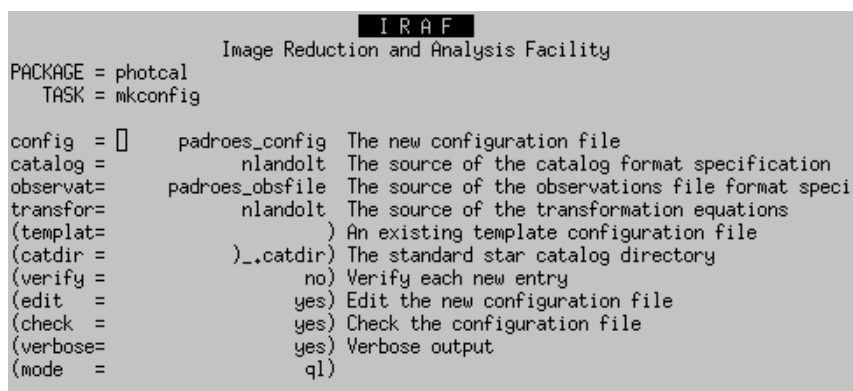
4.2.4 Transformação para o sistema padrão $BV(RI)_c$

Criação do arquivo de configuração

Ao utilizar um catálogo de estrelas-padrão já existente na base de dados do IRAF, encontram-se prontos também o arquivo de formatação, contendo a descrição do catálogo, e o arquivo de transformação, contendo a forma analítica das equações de transformação.

A tarefa *mkconfig* usa os arquivos mencionados acima para a criação do arquivo de configuração, onde estão listadas todas as informações necessárias para o ajuste dos termos das equações de transformação. A figura 4.10 mostra a configuração dos parâmetros necessária para execução da tarefa:

```
cl> mkconfig >> mkconfig.log
```



```

IRAF
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = photcal
TASK = mkconfig

config = []      padroes_config  The new configuration file
catalog =        nlandolt      The source of the catalog format specification
observat=       padroes_obsfile The source of the observations file format speci
transfor=       nlandolt      The source of the transformation equations
(templat=      ) An existing template configuration file
(catdir =      )_catdir) The standard star catalog directory
(verify =      no) Verify each new entry
(edit =        yes) Edit the new configuration file
(check =       yes) Check the configuration file
(verbose=      yes) Verbose output
(mode =       ql)

```

Figura 4.10: Parâmetros da tarefa *mkconfig* para criação do arquivo de configuração.

No arquivo de configuração criado pela tarefa, deve-se ter atenção especial às equações de transformação. Cada variável ou constante usada na equação deve estar definida na parte correspondente às variáveis do catálogo ou das observações. Além disso, deve-se excluir as equações de possíveis filtros ausentes no conjunto de dados. Por não termos imagens no filtro U, excluimos a equação de ajuste desse filtro. A figura 4.11 mostra o arquivo de configuração usado nesse trabalho:

```

# Declare the new Landolt UBVRI standards catalog variables

catalog

V      4          # the V magnitude
BV     5          # the (B-V) color
UB     6          # the (U-B) color
VR     7          # the (V-R) color
RI     8          # the (R-I) color
VI     9          # the (V-I) color

error(V) 12       # the V magnitude error
error(BV) 13      # the (B-V) color error
error(UB) 14      # the (U-B) color error
error(VR) 15      # the (V-R) color error
error(RI) 16      # the (R-I) color error
error(VI) 17      # the (V-I) color error
# Declare the observations file variables

observations

TB      3          # time of observation in filter B
XB      4          # airmass in filter B
xB      5          # x coordinate in filter B
yB      6          # y coordinate in filter B
mB      7          # instrumental magnitude in filter B
error(mB) 8       # magnitude error in filter B

TI      10         # time of observation in filter I
XI      11         # airmass in filter I
xI      12         # x coordinate in filter I
yI      13         # y coordinate in filter I
mI      14         # instrumental magnitude in filter I
error(mI) 15      # magnitude error in filter I

TR      17         # time of observation in filter R
XR      18         # airmass in filter R
xR      19         # x coordinate in filter R
yR      20         # y coordinate in filter R
mR      21         # instrumental magnitude in filter R
error(mR) 22      # magnitude error in filter R

TV      24         # time of observation in filter V
XV      25         # airmass in filter V
xV      26         # x coordinate in filter V
yV      27         # y coordinate in filter V
mV      28         # instrumental magnitude in filter V
error(mV) 29      # magnitude error in filter V

# Sample transformation section for the new Landolt UBVRI system

transformation

fit  b1=0.0, b2=0.35, b3=0.000
const b4=0.0
BFIT : mB = (BV + V) + b1 + b2 * XB + b3 * BV + b4 * BV * XB

fit  v1=0.0, v2=0.17, v3=0.000
const v4=0.0
VFIT : mV = V + v1 + v2 * XV + v3 * BV + v4 * BV * XV

fit  r1=0.0, r2=0.08, r3=0.000
const r4=0.0
RFIT : mR = (V - VR) + r1 + r2 * XR + r3 * VR + r4 * VR * XR

fit  i1=0.0, i2=0.03, i3=0.000
const i4=0.0
IFIT : mI = (V - VI) + i1 + i2 * XI + i3 * VI + i4 * VI * XI

```

1,1

All

Figura 4.11: Arquivo de configuração utilizado. Todos os termos da equação devem estar listados na parte correspondente ao dados do catálogo ou do arquivo de observações.

Ajuste iterativo das equações

O ajuste iterativo para obtenção dos parâmetros da equação de transformação pode ser realizado em duas etapas. Primeiro deve-se realizar o ajuste dos parâmetros de extinção, usando apenas as estrelas de extinção. Então, usando os valores encontrados para os coeficientes de extinção, realiza-se o ajuste dos termos de ponto zero e de cor com o restante das estrelas-padrão.

Para realizar o ajuste, separamos o conteúdo de nosso arquivo de observações em arquivos contendo apenas as estrelas de extinção e as demais estrelas-padrão. Modificamos então o arquivo de configuração de modo que o ajuste seja realizado apenas para os termos de extinção, mantendo o termo de cor constante (figura 4.12):

```
# Sample transformation section for the Landolt UBVRI system
transformation
fit  b1=0.0, b2=0.35, b4=0.000
const b3=0.0
BFIT : mB = (BV + V) + b1 + b2 * XB + b3 * BV + b4 * BV * XB

fit  v1=0.0, v2=0.17, v4=0.000
const v3=0.0
VFIT : mV = V + v1 + v2 * XV + v3 * BV + v4 * BV * XV

fit  r1=0.0, r2=0.08, r4=0.000
const r3=0.0
RFIT : mR = (V - VR) + r1 + r2 * XR + r3 * VR + r4 * VR * XR

fit  i1=0.0, i2=0.03, i4=0.000
const i3=0.0
IFIT : mI = (V - VI) + i1 + i2 * XI + i3 * VI + i4 * VI * XI
54,1 98%
```

Figura 4.12: Alterações no arquivo de configuração para o ajuste dos termos de extinção. O termo de cor é mantido constante.

Construído o arquivo de configuração, pode-se realizar o ajuste dos termos de extinção usando-se a tarefa *fitparams*. É necessário o ajuste dos seguintes parâmetros, anteriormente à execução da tarefa:

```
cl> fitparams.catalogs="landolt.dat"
cl> fitparams.weighting="photometric"
cl> fitparams.logfile="fitparams.log"
cl> fitparams.catdir="home$00set21/padrees"
cl> fitparams.observat="ext_obsfile"
cl> fitparams.config="ext_config"
cl> fitparams.paramete="extincao_params"
cl> fitparams addscatter+
```

Executada a rotina, será exibido um gráfico contendo os pontos do ajuste no primeiro filtro. Cada ponto corresponde à magnitude extraída de uma das imagens neste filtro. No cabeçalho pode-se verificar informações importantes do ajuste, como o número de estrelas excluídas e rejeitadas, a tolerância usada no ajuste e o valor do desvio-padrão, caso a solução convirja.

Caso o parâmetro *fitparams.nreject* seja maior que zero, o algoritmo de rejeição será usado e fará o número de iterações listadas para identificação e exclusão automática de pontos com grande desvio. Pode-se também realizar a exclusão manual de pontos. Na redução das estrelas-padrão foram excluídos, em qualquer filtro, os pontos que apresentaram resíduo maior que 0^m25 em relação aos dados do catálogo. Sendo o erro da transformação da ordem de 0^m01 , valores tão elevados de resíduo implicam em problemas na obtenção das magnitudes, como saturação ou variabilidade atmosférica. O número de estrelas excluídas dessa maneira não excedeu a 15% da amostra efetiva

Por haver, entre o conjunto de estrelas-padrão, imagens ligeiramente prejudicadas por efeitos atmosféricos, para as quais os erros fotométricos são maiores, utilizamos um peso fotométrico para o ajuste segundo mostra o parâmetro *fitparams.weighting*. Além disso, recomenda-se adicionar um termo de espalhamento ao erro fotométrico (*fitparams.addscatter*). Tal artifício é necessário para estabilizar o ajuste, já que os erros intrínsecos das transformações são geralmente muito maiores que os erros fotométricos obtidos.

O arquivo de saída contém os valores dos termos de extinção (**b2**, **v2**, **r2**, **i2** e **b4**, **v4**, **r4**, **i4**) a serem utilizados no ajuste seguinte. O arquivo de configuração deverá ser novamente modificado para a realização do ajuste dos termos de cor e de ponto zero (figura 4.13):

```

Sample transformation section for the Landolt UBVR system
transformation

fit  b1=0.0, b3=0.000
const b4=-0.03596751, b2=0.284003
BFIT : mB = (BV + V) + b1 + b2 * XB + b3 * BV + b4 * BV * XB

fit  v1=0.0, v3=0.000
const v4=0.1515449, v2=0.1724646
VFIT : mV = V + v1 + v2 * XV + v3 * BV + v4 * BV * XV

fit  r1=0.0, r3=0.000
const r4=0.1896494, r2=0.1117696
RFIT : mR = (V - VR) + r1 + r2 * XR + r3 * VR + r4 * VR * XR

fit  i1=0.0, i3=0.000
const i4=0.06917196, i2=0.08046196
IFIT : mI = (V - VI) + i1 + i2 * XI + i3 * VI + i4 * VI * XI
50,1 98%

```

Figura 4.13: Alterações no arquivo de configuração para o ajuste de cor. Os termos de extinção são mantidos constantes com valores determinados no ajuste anterior.

Para realizar o ajuste dos termos de cor, os seguintes parâmetros foram modificados:

```

cl> fitparams.observat="cor_obsfile"
cl> fitparams.config="cor_config"
cl> fitparams.paramete="ngc1981_params"
cl> fitparams addscatter+

```

As soluções conseguidas para cada filtro apresentaram valores de desvio padrão da ordem de 0.05 com aproximadamente 15 iterações. Na Figura 4.14 estão exibidos os gráficos de correlação e *magnitude* × *resíduo* para o ajuste das estrelas-padrão.

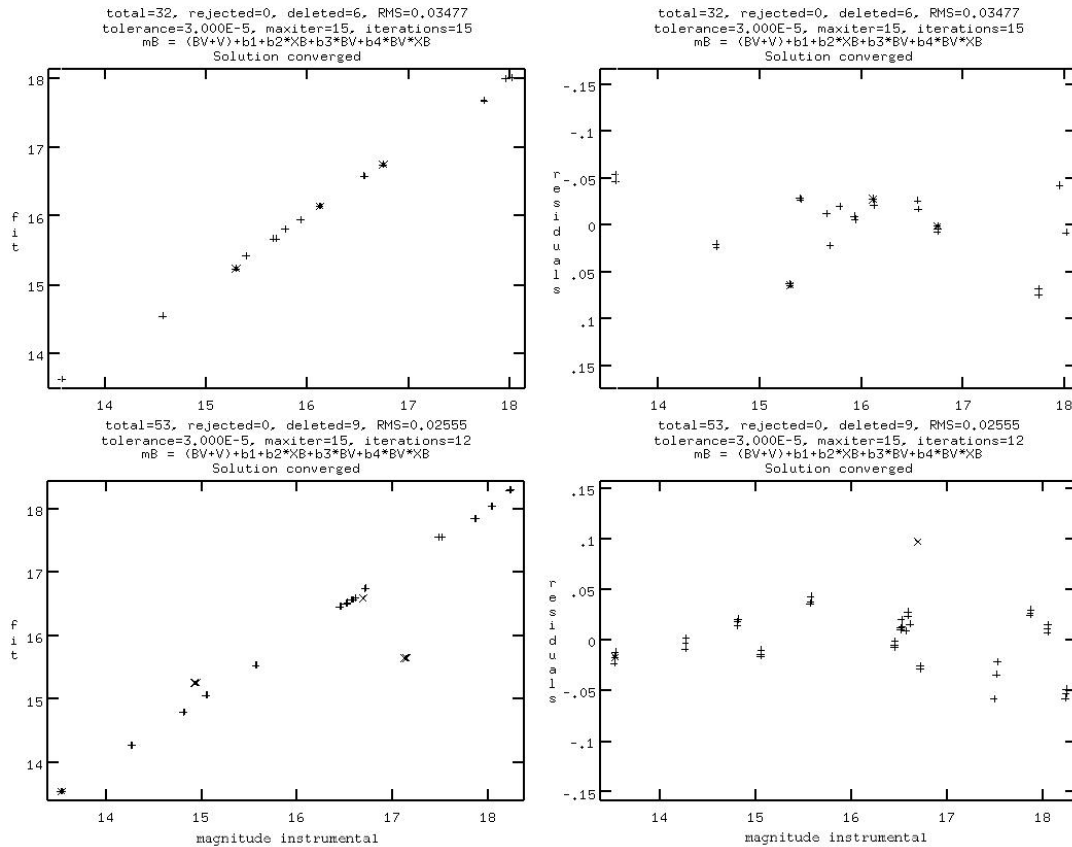


Figura 4.14: Ajuste das equações de transformação, realizado para as noites 21/09/2000 (acima) e 05/08/2001 (abaixo), no filtro **B**. São exibidos a correlação da magnitude com o ajuste (esquerda) e os resíduos do ajuste (direita). Os pontos deletados são indicados por um **X**

A qualidade dos ajustes realizados pode ser verificada pelos valores dos erros quadráticos médios de cada ajuste. As Tabelas 4.1a e 4.1b contém os valores destes parâmetros para os ajustes realizados.

Ao inspecionar estas tabelas, pode-se verificar que o ajuste da noite de 05/08/2001 apresentou valores de erros significativamente menores que o ajuste para os dados de 21/09/2000, apontando para uma menor dispersão das magnitudes em relação ao ajuste. Como o conjunto instrumental e o catálogo de estrelas-padrão utilizados foram os mesmos em ambas as noites, pode-se inferir que essa diferença no erro quadrático representa uma diferença de qualidade entre as condições fotométricas das noites.

Tabela 4.1a: Erro quadrático médio dos ajustes de extinção e cor para a noite 21/09/2000 (NGC 1981).

	RMS dos ajustes			
	Filtro B	Filtro V	Filtro R	Filtro I
Extinção	0.06	0.04	0.04	0.05
Cor	0.03	0.04	0.05	0.03

Tabela 4.1b: Erro quadrático médio dos ajustes de extinção e cor para a noite 05/08/2001 (Dolidze-Dzim 1).

	RMS dos ajustes			
	Filtro B	Filtro V	Filtro R	Filtro I
Extinção	0.02	0.02	0.01	0.01
Cor	0.03	0.02	0.04	0.03

4.2.5 Resultados da transformação

Os coeficientes das equações de transformação conseguidos pelo ajuste composto (extinção + cor) estão listados nas Tabelas 4.2a e 4.2b para cada noite.

Uma análise dos coeficientes de transformação conseguidos mostra que os valores de segunda ordem dos coeficientes de extinção apresentaram uma significativa diferença entre as noites. Os valores mais elevados encontrados para a noite de 21/09/2000 mostram que a correção em segunda ordem introduziu um efeito significativo no ajuste, denotando assim maior influência atmosférica sobre os dados, como sugerido anteriormente.

Para se testar a qualidade da solução conseguida, pode-se realizar a transformação das magnitudes instrumentais das próprias estrelas-padrão para o sistema padrão. A tarefa a ser utilizada para esse fim, *invertfit*, necessita da configuração de parâmetros mostrada na Figura 4.15 para ser executada:

```
cl> invertfit >> invertfit.log
```

Como os parâmetros das equações de transformação foram calculados de maneira que as magnitudes instrumentais das estrelas-padrão se ajustassem às magnitudes do catálogo, espera-se que o resíduo seja baixo ao aplicar esta transformação sobre as estrelas que a definiram.

Tabela 4.2a: Coeficientes das equações de transformação. Noite de 21/09/2000 - NGC 1981.

b1=5.79±0.01	v1=5.35±0.01	r1=4.53±0.02	i1=5.05±0.01
b2=0.28±0.06	v2=0.17±0.04	r2=0.11±0.04	i2=0.08±0.05
b3=-0.19±0.01	v3=-0.20±0.02	r3=-0.18±0.07	i3=-0.11±0.02
b4=-0.04±0.04	v4=0.15±0.02	r4=0.19±0.04	i4=0.07±0.03

Tabela 4.2b: Coeficientes das equações de transformação. Noite de 05/08/2001 - Dolidze-Dzim 1.

b1=5.31±0.01	v1=4.93±0.01	r1=4.70±0.01	i1=5.22±0.01
b2=0.28±0.04	v2=0.16±0.01	r2=0.11±0.03	i2=0.08±0.01
b3=-0.16±0.01	v3=0.04±0.01	r3=0.10±0.02	i3=-0.020±0.006
b4=-0.030±0.001	v4=-0.010±0.001	r4=-0.010±0.001	i4=-0.005±0.001

```

      I R A F
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = photcal
TASK = invertfit

observat=  padroes_obsfile  List of observations files
config =   padroes_config   Configuration file
paramete=  padroes_params   Fitted parameters file
calib =    padroes_calib    Output calibrated standard indices file
(catalog=  nklandolt)      List of standard catalog files
(errors =  obserrors)      Error computation type (undefined,obserrors,equa
(objects=  all)             Objects to be fit (all,program,standards)
(print =   )                Optional list of variables to print
(format =  )                Optional output format string
(append =  no)              Append output to an existing file ?
(catdir =  home$01ago05/padroes) The standard star catalog directory
(mode =   ql)

```

Figura 4.15: Configuração do parâmetros para a execução da tarefa *invertfit*.

As magnitudes e índices de cor obtidos pela aplicação da transformação às estrelas-padrão, os erros correspondentes e o resíduo em relação aos valores do catálogo estão mostrados nas Tabelas 4.3a e 4.3b. Como algumas estrelas-padrão foram observadas mais de uma vez durante a noite, os valores mencionados correspondem à média realizada sobre todas as observações de uma mesma estrela.

Conforme esperado, a transformação mostrou-se eficiente para o conjunto, tendo em vista os baixos resíduos encontrados para a maior parte das estrelas. Um pequeno grupo porém apresentou valores divergentes dos demais: *HD173637*, *HD216135*, e *SA108_475* na noite de 05/08/2001, e *SA112_1242* na noite de 21/09/2000. Estas estrelas haviam sido excluídas do processo de ajuste por apresentarem resíduos muito grandes em todos os filtros.

Algumas estrelas-padrão apresentaram saturação em alguns filtros, não possuindo portanto magnitude ou índice de cor calculados (**INDEF**) nas tabelas 4.3a e 4.3b.

Tabela 4.3a: Aplicação da transformação nas estrelas-padrão da noite 21/09/2000 (NGC 1981).

ID	Mag/IC	erro	resíduo	ID	Mag/IC	erro	resíduo		
HD216135	V	10.112	0.003	0.000	SA111_773	V	8.972	0.003	-0.009
	(B-V)	-0.146	0.006	0.032		(B-V)	0.276	0.004	-0.070
	(V-R)	-0.028	0.004	-0.024		(V-R)	0.137	0.004	-0.019
	(V-I)	-0.112	0.004	-0.009		(V-I)	0.264	0.004	-0.003
SA110_441	V	11.215	0.003	-0.091	SA112_223	V	11.421	0.004	0.001
	(B-V)	0.527	0.006	0.026		(B-V)	0.431	0.007	0.022
	(V-R)	0.380	0.004	-0.056		(V-R)	0.305	0.007	-0.032
	(V-I)	0.395	0.006	0.268		(V-I)	INDEF	0.000	INDEF
SA111_1496	V	7.180	0.003	0.036	SA112_636	V	9.836	0.003	0.017
	(B-V)	0.260	0.006	0.018		(B-V)	0.682	0.006	0.005
	(V-R)	INDEF	0.000	INDEF		(V-R)	0.432	0.004	-0.030
	(V-I)	0.318	0.004	0.002		(V-I)	0.779	0.004	0.020
SA111_2522	V	9.684	0.003	0.022	SA113_274	V	8.801	0.004	0.030
	(B-V)	0.182	0.006	-0.018		(B-V)	0.483	0.008	-0.003
	(V-R)	INDEF	0.000	INDEF		(V-R)	0.288	0.006	-0.004
	(V-I)	0.272	0.004	-0.005		(V-I)	0.545	0.006	0.010
SA111_2864	V	8.266	0.003	0.025	SA113_442	V	9.661	0.003	-0.011
	(B-V)	1.723	0.006	-0.007		(B-V)	1.157	0.007	0.006
	(V-R)	INDEF	0.000	INDEF		(V-R)	0.625	0.004	-0.020
	(V-I)	INDEF	0.000	INDEF		(V-I)	1.151	0.006	-0.029
SA111_717	V	8.544	0.007	-0.015	SA114_272	V	7.760	0.003	-0.023
	(B-V)	0.438	0.013	-0.013		(B-V)	0.861	0.006	0.002
	(V-R)	0.275	0.011	-0.039		(V-R)	INDEF	0.000	INDEF
	(V-I)	0.500	0.012	-0.017		(V-I)	1.000	0.002	-0.059

Tabela 4.3b: Aplicação da transformação nas estrelas-padrão da noite 05/08/2001 (Dolidze-Dzim 1).

ID	Mag/IC	erro	resíduo	ID	Mag/IC	erro	resíduo		
G156_57	V	10.174	0.037	0.006	SA111_2522	V	9.715	0.005	-0.009
	(B-V)	1.610	0.080	-0.054		(B-V)	0.201	0.009	-0.037
	(V-R)	1.176	0.062	-0.002		(V-R)	0.137	0.009	-0.016
	(V-I)	2.775	0.041	-0.062		(V-I)	0.288	0.007	-0.021
SA107_595	V	7.506	0.003	-0.006	SA112_1242	V	9.063	0.005	0.025
	(B-V)	0.515	0.009	0.028		(B-V)	0.429	0.009	-0.015
	(V-R)	INDEF	0.000	INDEF		(V-R)	0.249	0.007	0.002
	(V-I)	0.589	0.005	0.019		(V-I)	0.481	0.007	0.020
SA107_970	V	10.926	0.003	0.013	SA112_223	V	11.394	0.012	0.030
	(B-V)	1.645	0.007	-0.049		(B-V)	0.444	0.021	0.010
	(V-R)	1.121	0.005	0.021		(V-R)	0.281	0.017	-0.008
	(V-I)	2.600	0.005	-0.026		(V-I)	0.537	0.014	0.010
SA108_1911	V	8.042	0.003	0.008	SA112_275	V	9.901	0.005	0.004
	(B-V)	0.764	0.007	-0.006		(B-V)	1.181	0.022	0.029
	(V-R)	0.398	0.003	0.019		(V-R)	0.688	0.007	-0.041
	(V-I)	0.734	0.005	0.050		(V-I)	1.229	0.005	-0.012
SA108_551	V	10.732	0.005	-0.029	SA112_595	V	11.338	0.010	0.014
	(B-V)	0.138	0.009	0.041		(B-V)	1.552	0.022	0.049
	(V-R)	0.116	0.009	-0.017		(V-R)	0.905	0.014	-0.006
	(V-I)	0.240	0.009	-0.032		(V-I)	1.800	0.010	0.001

Capítulo 5

Processamento das imagens dos aglomerados

A determinação das magnitudes das estrelas dos aglomerados segue passos semelhantes aos utilizados nas imagens das estrelas-padrão. Nos aglomerados, porém, cada imagem possui múltiplos objetos que devem estar correlacionados entre as exposições de cada filtro. Além disso, pode ser necessário correlacionar objetos entre duas imagens de campos adjacentes, caso o aglomerado seja extenso.

Diferentemente das imagens de estrelas-padrão, os aglomerados podem conter objetos de estudo pouco brilhantes e extremamente brilhantes no mesmo campo, tornando necessária a utilização de imagens de curta e de longa exposição. Nesse caso, o processo de redução deve correr de maneira paralela e complementar nestas imagens.

Estas características fazem com que o processo de redução para os aglomerados seja mais complexo e demande a adoção de métodos ligeiramente diferentes daqueles utilizados anteriormente.

5.1 Caracterização e separação das imagens

Antes da utilização de qualquer tarefa de processamento ou análise nos dados do aglomerado, deve-se caracterizar e separar os dados. O conjunto de dados utilizado neste trabalho contém imagens do aglomerado NGC 1981, em observações de curta exposição (1 imagem) e longa exposição (2 imagens) para cada filtro, separadas em 6 campos adjacentes; e imagens do aglomerado Dolidze-Dzim 1 em um único campo, com tempos de exposição curtos, conforme mostra a Tabela 2.2.

Imagens dos vários campos devem ser processadas de maneira completamente independente dos demais campos, enquanto imagens de curta e longa exposições serão tratadas simultaneamente.

5.2 Alinhamento das imagens

Anteriormente à criação dos arquivos de coordenadas para os aglomerados, deve-se certificar que todas as imagens estejam em um referencial comum de coordenadas, isto é, que uma dada estrela com coordenadas $[X,Y]$ em uma dada imagem, tenha exatamente as mesmas coordenadas $[X,Y]$ em todas as demais imagens. Só assim será possível a criação de um arquivo único de coordenadas.

Esse processo foi realizado, inicialmente, usando-se as imagens no filtro **I** como referência, por possuírem mais estrelas visíveis em suas imagens. Não é necessário, nesse ponto, separar-se as imagens de curta e longa exposição, já que é preciso que todas elas tenham uma origem de coordenadas comum. Por isso, utilizamos como referência as imagens de exposição longa de cada campo dos aglomerados.

A rotina *xregister* aplica desvios em todas as imagens de entrada até que suas estrelas tenham as mesmas coordenadas $[X,Y]$ da imagem de referência. Seus parâmetros devem ser configurados conforme mostra a Figura 5.1.

```

                                I R A F
                                Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = immatch
TASK = xregister

input =          @lista  Input images to be registered
referenc=       ngc1981cei0001  Input reference images
regions =          Reference image regions used for registration
shifts =         xregister.log  Input/output shifts database file
(output =       @lista)  Output registered images
(databas=       yes)  Write the shifts file in database format ?
(append =       yes)  Open shifts database for writing in append mode
(records=       )  List of shifts database records
(coords =       )  Input coordinate files defining the initial shif
(xlag =         0)  Initial shift in x
(ylag =         0)  Initial shift in y
(dxlag =        0)  Incremental shift in x
(dylag =        0)  Incremental shift in y
(backgro=       none)  Background fitting function
(border =       INDEF)  Width of border for background fitting
(lorejec=       INDEF)  Low side k-sigma rejection factor
(hirejec=       INDEF)  High side k-sigma rejection factor
(apodize=       0.)  Fraction of endpoints to apodize
(filter =       none)  Spatially filter the data
(correla=       discrete)  Cross-correlation function
(xwindow=       11)  Width of correlation window in x
(ywindow=       11)  Width of correlation window in y
(funcio=       centroid)  Correlation peak centering function
(xcbox =        5)  X box width for centering correlation peak
(ycbox =        5)  Y box width for fitting correlation peak
(interp_=       linear)  Interpolant
(boundar=       nearest)  Boundary (constant,nearest,reflect,wrap)
(constan=       0.)  Constant for constant boundary extension
(interac=       no)  Interactive mode ?
(verbose=       yes)  Verbose mode ?
(graphic=       stdgraph)  The standard graphics device
(display=       stdimage)  The standard image display device
(gcomman=       )  The graphics cursor
(iconman=       )  The image display cursor
(mode =        ql)

```

Figura 5.1: Parâmetros para a tarefa *xregister*

O arquivo **lista** refere-se a uma lista de todas as imagens de um determinado campo que serão sobreescritas pelas imagens de saída, devidamente alinhadas. Caso o parâmetro

de saída seja nulo, a tarefa irá calcular os desvios e escrevê-los no arquivo de log **xregister.log**, sem aplicá-los nas imagens.

O parâmetro *xregister.correlation* define a função de correlação a ser utilizada pela tarefa para determinação dos desvios em cada imagem. Para pequenos desvios a função **discrete** é o método mais eficiente; para desvios calculados a partir de regiões muito pequenas, a função **fourier** apresenta melhores resultados; para grandes desvios, deve-se usar a função **diference**. As regiões escolhidas na imagem de referência para aplicação dos algoritmos devem possuir um grande número de estrelas não saturadas e localizar-se próximas ao centro da imagem.

Após a execução da rotina, deve-se verificar a qualidade do alinhamento das imagens, executando-a novamente com parâmetro de saída nulo. Caso as diferenças entre as coordenadas continuem grandes (1 ou 2 pixels), pode-se mudar a imagem de referência e repetir o processo. Duas ou três utilizações dessa rotina foram suficientes para conseguir uma diferença de 0.1 pixel entre as coordenadas das imagens.

5.3 Somando as imagens

Nesse passo, todas as imagens de um mesmo filtro serão somadas, de modo a conseguir uma melhor razão *sinal/ruído* na imagem resultante. Como as imagens de NGC 1981 foram obtidas com exposições longas e curtas, tomou-se o cuidado de somá-las separadamente de modo a restar apenas uma imagem de longa exposição e uma imagem de curta exposição em cada um dos filtros. A rotina utilizada para tal fim foi *imarith*, que realiza operações aritméticas com imagens.

```
cl> imarith.hparams="exptime,darktime,iraf-max,iraf-min"
cl> imarith ngc1981ceb0001 + ngc1981ceb0002 ngc1981ceb0012
cl> hedit ngc1981ceb0012 rdnoise '(real((rdnoise)*sqrt(2)))' ver- show+ upd+
```

O parâmetro *imarith.hparams* controla que informações do cabeçalho da imagem devem ser operados juntamente com as imagens. Nesse caso, queremos que a imagem resultante tenha o tempo de exposição igual à soma dos tempos de exposição de cada imagem. Os parâmetros usados para controlar os valores extremos de contagens também devem ser operados, para que o cabeçalho fique condizente com a nova imagem. Além disso, ao combinar imagens, deve-se ajustar o ganho (*gain*) e o ruído de leitura (*rdnoise*) conforme o tipo de operação usada para combiná-las:

- se a imagem é a soma de N imagens:
ganho efetivo = ganho individual
ruído de leitura efetivo = $\sqrt{N} \times$ ruído de leitura individual
- se a imagem é a média de N imagens:
ganho efetivo = $N \times$ ganho individual
ruído de leitura efetivo = $\sqrt{N} \times$ ruído de leitura individual

- se a imagem é a mediana de N imagens:

$$\text{ganho efetivo} = \frac{2}{3} \times N \times \text{ganho individual}$$

$$\text{ruído de leitura efetivo} = \sqrt{\frac{2}{3} \times N} \times \text{ruído de leitura individual}$$

A razão sinal/ruído de uma imagem CCD é dada pela seguinte equação (Howell , 1989):

$$S/N = \frac{N_*}{\sqrt{N_* + n_{pix}(N_s + N_d + N_r^2)}} \approx \frac{N_*}{\sqrt{N_*}} = \sqrt{N_0} \quad (5.1)$$

onde N_* é o número de contagens da fonte após subtração das contagens do céu; n_{pix} é o número de pixels dentro da abertura usada; N_s o número de contagens de céu por pixel; N_d as contagens referentes à corrente escura por pixel; e N_r as contagens referentes ao erro de leitura por pixel.

Para estrelas brilhantes os termos de ruído N_s , N_d e N_r são aceitavelmente pequenos se comparados a N_* de forma que se pode desprezar o segundo termo do denominador chegando-se à conhecida estatística de Poisson para uma fonte puntual. Semelhantemente, para a soma de N imagens a razão seria:

$$S/N = \frac{N \times N_*}{\sqrt{N \times N_* + n_{pix}(N_s + N_d + \sqrt{N}N_r^2)}}. \quad (5.2)$$

Realizando-se a mesma aproximação:

$$S/N \approx \frac{N \times N_*}{\sqrt{N \times N_*}} = \sqrt{N \times N_0} \quad (5.3)$$

Assim, ao somarmos N imagens no mesmo filtro teremos um aumento na razão *sinal/ruído* equivalente a \sqrt{N} .

5.4 Corte das imagens

Por consequência da própria óptica do telescópio e seus instrumentos, há uma perda de luminosidade nas bordas do CCD fazendo com que apenas uma fração da luz incidente no centro da câmera atinja as regiões periféricas. Esse efeito é chamado “vignetting” e é uma característica típica da câmera, que é acentuado com o uso do redutor focal.

As bordas das imagens contêm estrelas pouco brilhantes que teriam suas magnitudes calculadas de forma dúbia, introduzindo assim incertezas no conjunto de dados. Sendo assim, faz-se necessário o corte das imagens adquiridas de modo a se excluir as bordas pouco proveitosas.

Uma boa estimativa da parte ruim das imagens pode ser conseguida processando-se uma imagem de *flat field*. Esta imagem deveria apresentar-se como um campo uniforme de contagens. Entretanto, observa-se uma queda radial de contagens e um aumento radial expressivo do desvio padrão em uma pequena célula de tamanho constante.

Escolhemos, então, um raio limite para o qual as contagens nos pixels caem à metade do valor central, considerando-o a região utilizável da imagem. Ao longo dessa região observa-se um aumento suave, de aproximadamente 50%, no desvio padrão. Na região externa ao círculo, considerada inutilizável, observa-se uma queda brusca do número de

contagens e um aumento expressivo do desvio padrão, para valores até 200% maiores que o valor central. Para delimitar essas regiões usamos o seguinte procedimento:

```
cl> imgets flatcomb_B IRAF-MAX
cl> normflat.minflat = real(imgets.value)/2
cl> normflat flatcomb_B flatnorm_B
```

Ou seja, aproximamos o valor de contagens central pelo valor máximo de contagens na imagem e normalizamos apenas os pixels de contagens superiores à metade deste valor. A região útil da imagem é escolhida com base nos perfis de linhas e colunas (tarefa *imexamine*) e na região delimitada pela normalização da imagem de *flat field*: $[X_i : X_f, Y_i : Y_f] = [90 : 920, 90 : 920]$, conforme ilustrada na figura 5.2

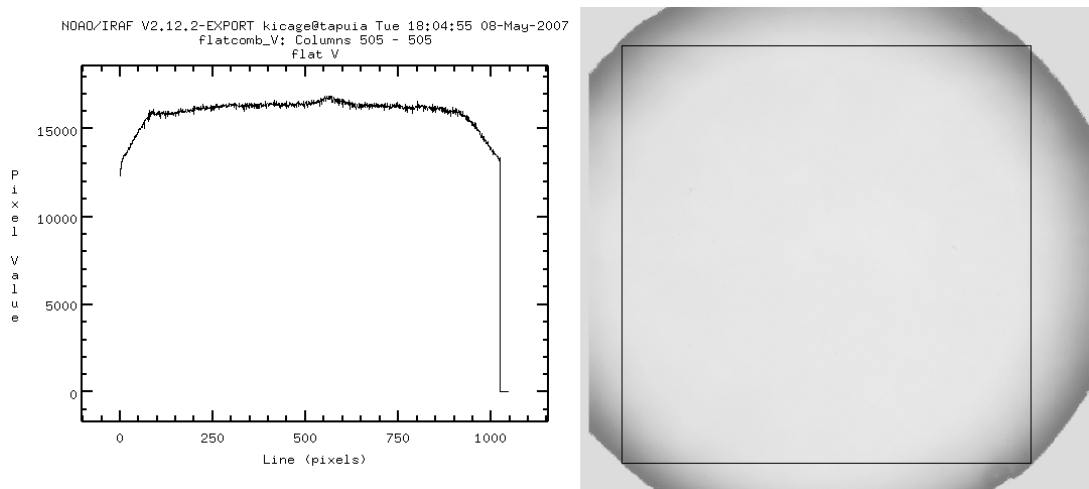


Figura 5.2: À esquerda: perfil de linhas da imagem combinada de *flat* no filtro **B**. À direita: imagem de *flat* normalizada (*flatnorm_B*) pelos pixels com contagens maiores que a metade do valor máximo. O retângulo marca a região útil seccionada da imagem.

No caso de um aglomerado extenso como NGC 1981, composto de muitos campos, o corte deve ser preciso, respeitando a região limite de interseção entre os campos adjacentes, ao invés da região demarcada no *flat field*. Caso a interseção entre os campos seja muito pequena não se deve realizar o corte das imagens.

Utilizou-se a rotina *imcopy*, exemplificada abaixo, para selecionar a região útil das imagens do aglomerado Dolidze-Dzim 1, conforme pode ser visto na Figura 5.3:

```
cl> imcopy DDZIM1B0013[90:920,90:920] DDZIM1B0013
cl> imcopy DDZIM1V0016[90:920,90:920] DDZIM1V0016
cl> imcopy DDZIM1R0016[90:920,90:920] DDZIM1R0016
cl> imcopy DDZIM1I0013[90:920,90:920] DDZIM1I0013
```

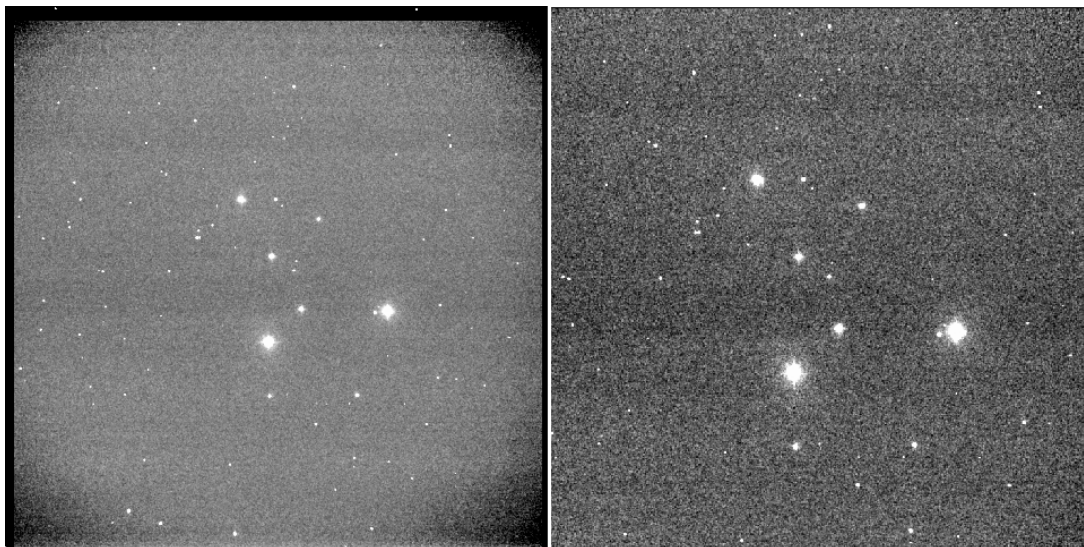


Figura 5.3: À esquerda: imagem resultante somada de outras 3 imagens no filtro **R**, com dimensões $[X,Y]=[1025,1025]$. À direita: secção do centro da mesma imagem, com as seguintes dimensões $[X,Y]=[810,810]$.

5.5 Criação do arquivo de coordenadas

Diferentemente do processo utilizado para as estrelas-padrão, onde cada imagem possuía seu próprio arquivo de coordenadas, as imagens do aglomerado devem compartilhar um único arquivo de coordenadas. Basta que as imagens estejam devidamente alinhadas para que o arquivo único de coordenadas possa ser utilizado, facilitando a identificação de cada estrela detectada, para posterior seleção das estrelas do aglomerado.

Ao analisar-se as imagens dos aglomerados, percebeu-se que as imagens nos filtros **R** e **I** contêm uma quantidade maior de estrelas, ausentes nos demais filtros, especialmente no filtro **B**, o mais pobre em estrelas. Constatou-se, entretanto, que estas estrelas presentes apenas nos filtros **R** e **I** apresentaram-se distribuídas uniformemente por toda a imagem e não concentradas na região do aglomerado, constituindo possível população de campo.

Dessa forma, poderia-se utilizar na geração do arquivo de coordenadas apenas a imagem no filtro **B** visando não só evitar estrelas espúrias de campo mas também os objetos que não estão presentes em todos os filtros, que seriam excluídos posteriormente. Esse processo foi adotado para a redução de NGC 1981 já que, sendo um aglomerado extenso, apresenta uma grande quantidade de estrelas de campo.

Para Dolidze-Dzim 1, entretanto, utilizamos a imagem no filtro **I** para construção do arquivo de coordenadas visando conseguir, a partir dos objetos presentes apenas nos filtros **R** e **I**, uma melhor definição para a população de campo nos diagramas cor-magnitude a serem construídos, já que conta com um único campo com baixos tempos de exposição.

Para a criação do arquivo de coordenadas usa-se a rotina *daofind*, com a seguinte configuração de parâmetros:

```
cl> daofind.image= ngc1981ceb0012
cl> daofind.output= ce_1.coo
cl> datapars.fwhm= 3.0
cl> datapars.sigma= 3
```

```

cl> datapars.datamin= -75
cl> datapars.datamax= 64000
cl> findpars.threshold= 20
cl> daofind >> daofind.log

```

Como a imagem resultante a ser trabalhada é a soma de outras imagens, o intervalo de valores de pixels utilizáveis (*datapars.datamax*, *datapars.datamin*) necessita ser redimensionado. Além disso, os valores da largura do perfil estelar (*datapars.fwhmpsf*) e do desvio padrão do céu (*datapars.sigma*) devem ser determinados para cada campo do aglomerado.

Para o aglomerado NGC 1981, os arquivos de coordenadas foram criados a partir das imagens de longa exposição, usando-se baixos limites de detecção (*findpars.threshold*) para se encontrar um grande número de estrelas nos campos.

A Figura 5.4 mostra os objetos do arquivo de coordenadas sobre a imagem de referência usada, no filtro **B**, e sobre uma imagem de comparação no filtro **I**, para um campo de NGC 1981. Só foram mantidas as estrelas não saturadas presentes em ambas as imagens.

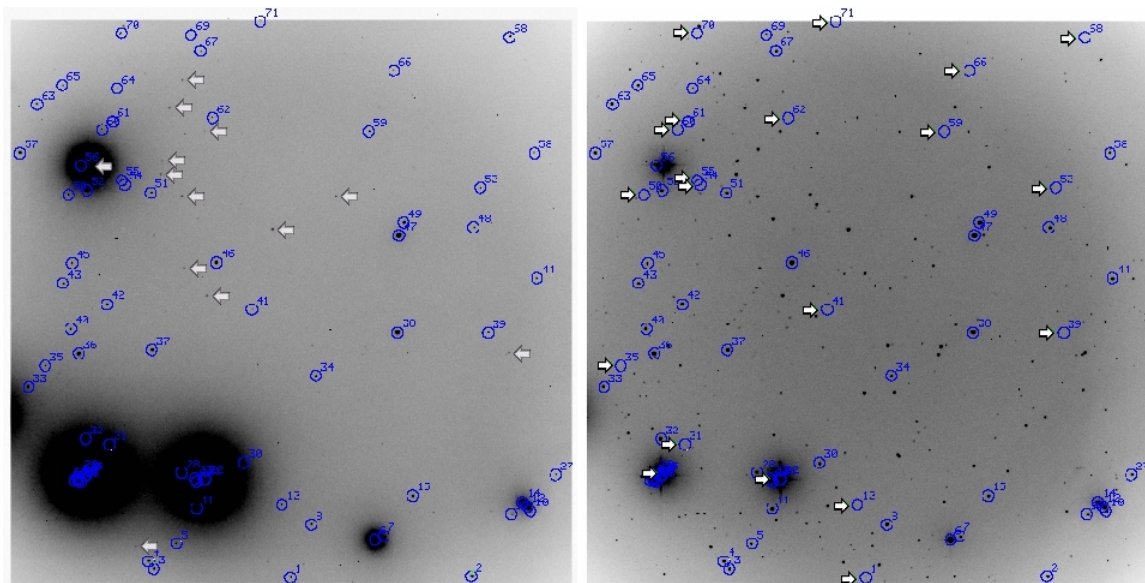


Figura 5.4: À esquerda: arquivo de coordenadas sobre a imagem de referência, no filtro **B**. À direita: arquivo de coordenadas sobre a imagem de comparação, no filtro **I**. Setas para direita indicam estrelas a serem excluídas e setas para esquerda estrelas a serem adicionadas ao arquivo de coordenadas.

Para se realizar a inclusão ou exclusão de estrelas exibimos o arquivo de coordenadas construído utilizando a tarefa *tvmark*, em modo interativo, com a seguinte configuração de parâmetros:

```

cl> tvmark.deletions=del
cl> tvmark.tolerance=5
cl> display ngc1981ceb0012 1
cl> tvmark 1 ce_1.coo number+ interac+

```

Os seguintes comandos foram usados para adição e exclusão de estrelas:

- **l** para exibir todas as estrelas do arquivo de coordenadas carregado no *frame* selecionado;
- **d** para excluir o objeto do arquivo de coordenadas e inserí-lo no arquivo de objetos excluídos. O objeto a ser excluído precisa estar a uma distância de, no máximo, *twmark.tolerance* pixels da posição do cursor. Caso haja mais de um objeto dentro do raio de tolerância, será excluído aquele que estiver mais próximo das coordenadas do cursor.
- **a** para adicionar objeto na posição do cursor ao arquivo de coordenadas.

Deve-se editar o arquivo de coordenadas final e atribuir identificadores quaisquer para as estrelas adicionadas, para que possam ser renumeradas no próximo passo.

O reordenamento do arquivo final de coordenadas segundo o padrão utilizado pelas rotinas do IRAF (ordem crescente de coordenada **Y**) foi realizado com as seguintes tarefas:

```
cl> txsort ce_1.coo YCENTER
cl> txrenumber ce_1.coo id="ID"
```

O último passo foi a localização e remoção das estrelas saturadas no arquivo de coordenadas de longa exposição e sua inclusão em um arquivo de coordenadas das imagens de curta exposição.

A Figura 5.5 mostra os objetos assim localizados nas imagens de longa e curta exposição, do campo **CE** do aglomerado NGC 1981.

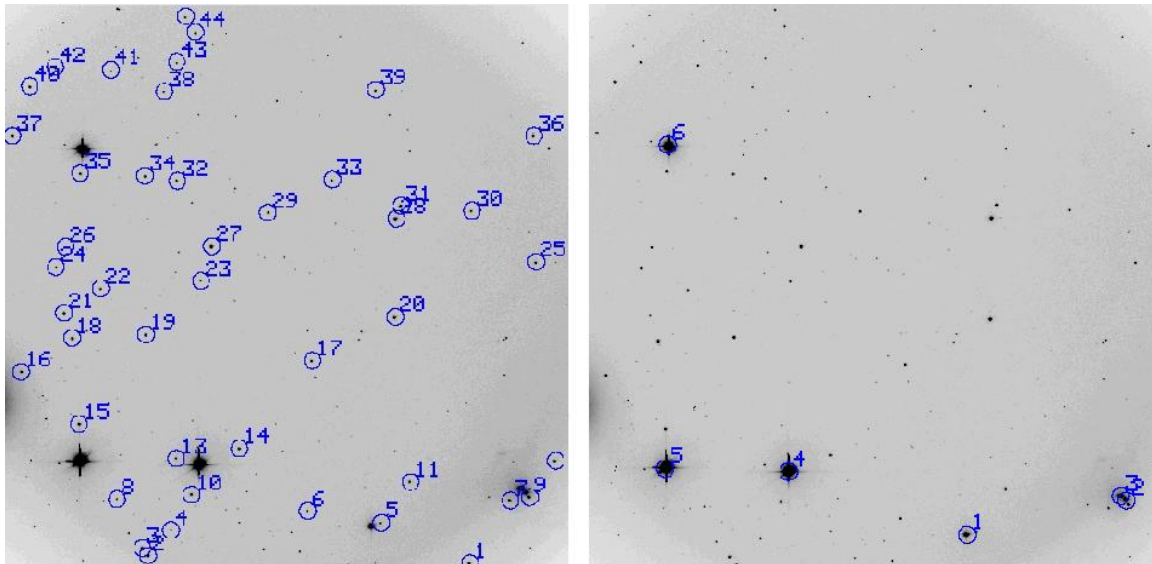


Figura 5.5: À esquerda: arquivo de coordenadas final para as imagens de longa exposição (*ce_1.coo*). À direita: arquivo de coordenadas final para as imagens de curta exposição (*ce_c.coo*).

5.6 Obtenção das magnitudes instrumentais

Similarmente aos procedimentos realizadas na obtenção das magnitudes das estrelas-padrão, foi utilizada a tarefa *phot* para cálculo das magnitudes das estrelas dos aglomerados, e a tarefa *txdump* para análise dos arquivos de saída. Antes da execução da tarefa *phot*, deve-se ajustar os parâmetros referentes aos dados (*phot.datapars*) segundo as características das imagens, conforme realizado na determinação das magnitudes das estrelas-padrão. Nos demais arquivos deve-se alterar os parâmetros de abertura para o valor de 15 pixels, definido anteriormente.

```
cl> phot.centerpars.calgori = none
cl> phot.photpars.apertur = 15
cl> phot.fitskypars.salgori = centroid
cl> phot.fitskypars.annulus = 15
cl> phot.fitskypars.dannulu = 5
```

Neste ponto, as imagens do aglomerado a serem utilizadas pela rotina já foram somadas ou combinadas de modo a restar apenas uma imagem em cada filtro. A tarefa *hselect* as seleciona com base nos tempos de exposição. Caso hajam dois arquivos de coordenadas, o processo deve ser realizado separadamente para cada um deles, gerando arquivos de magnitudes independentes para as imagens de curta e longa exposição, como realizado para NGC 1981:

```
cl> hselect ngc1981ce*.fits $I "exptime==1" >> ngc1981ce.c
cl> phot.image="@ngc1981ce.c"
cl> phot.coords="ce_c.coo"
cl> phot.output="ce_c.mag"
cl> phot >> phot_ce.log
```

```
cl> hselect ngc1981ce*.fits $I "exptime=20 | exptime=65" >> ngc1981ce.l
cl> phot.image="@ngc1981ce.l"
cl> phot.coords="ce_l.coo"
cl> phot.output="ce_l.mag"
cl> phot >> phot_ce.log
```

Ao final do processo, deve-se concatenar os arquivos de magnitudes dos vários campos do aglomerado em um único arquivo:

```
cl> txconcat c*.mag,n*.mag,s*.mag ngc1981.mag
```

Após a execução da rotina, pôde-se avaliar melhor seus resultados usando a rotina *txdump* para selecionar, no arquivo de magnitudes, os dados nos quais o sinalizador de erro fotométrico apresentou valor não nulo, acusando algum erro na fotometria.

```
cl> txdump ngc1981.mag lid,ifilter,image,xcenter,ycenter,pier,perror "pier!=0"
```

```
1 B ngc1981ceb0012.fits 857.034 14.349 301 OffImage
1 I ngc1981cei0001.fits 857.034 14.349 301 OffImage
1 R ngc1981cer0001.fits 857.034 14.349 301 OffImage
1 V ngc1981cev0001.fits 857.034 14.349 301 OffImage
```

No exemplo mostrado anteriormente, a estrela de identificador **1** apresentou um problema comum a todos os filtros. A mensagem de erro exibida, *OffImage*, e seu código de erro equivalente (*301*) correspondem a uma abertura completa, ou parcialmente fora da imagem. Ao inspecionar a imagem, verificamos que esta estrela se encontrava na borda da imagem, de modo que ou a abertura fotométrica para determinação da magnitude, ou o anel circunscrito para determinação do céu, teve parte de sua área fora da imagem, conforme pode-se verificar na Figura 5.5.

Estas estrelas foram localizadas e excluídas do arquivo de coordenadas. Dependendo da forma como foi construído, o identificador usado no arquivo de coordenadas pode não coincidir com aquele gerado por esta tarefa, fazendo-se necessária a conferência pelas coordenadas da estrela.

Podem haver estrelas para as quais as magnitudes ficam indefinidas em algum filtro. Essas estrelas estão, normalmente, no limite de detecção do algoritmo por serem pouco brilhantes naquele filtro e deverão permanecer nos arquivos de magnitudes e coordenadas, podendo ser excluídas após o processo de transformação ao sistema padrão.

5.7 Calibração ao sistema padrão

De posse das magnitudes instrumentais das estrelas do aglomerado, deve-se agora realizar a transformação destas magnitudes para o sistema padrão.

Inicialmente foi criado o arquivo de agrupamento das imagens. No caso do aglomerado **Dolidze-Dzim 1** esse arquivo continha uma única linha, com as imagens resultantes em cada um dos filtros. O arquivo de agrupamento de imagens usado para o aglomerado NGC 1981 foi construído a partir da rotina *mkimsets* e está dado abaixo. Os identificadores se referem à divisão dos campos de NGC 1981, para as imagens de curta e longa exposição.

```
ce_c : ngc1981ceb0003.fits ngc1981cei0002.fits ngc1981cer0002.fits ngc1981cev0002.fits
cw_c : ngc1981cwb0002.fits ngc1981cwi0001.fits ngc1981cwr0001.fits ngc1981cww0001.fits
n_c  : ngc1981nb0003.fits ngc1981ni0002.fits ngc1981nr0002.fits ngc1981nv0002.fits
ne_c : ngc1981neb0001.fits ngc1981nei0001.fits ngc1981ner0001.fits ngc1981nev0001.fits
nw_c : ngc1981nwb0003.fits ngc1981nwi0002.fits ngc1981nwr0002.fits ngc1981nww0002.fits
s_c  : ngc1981sb0001.fits ngc1981si0001.fits ngc1981sr0001.fits ngc1981sv0001.fits
ce_l : ngc1981ceb0012.fits ngc1981cei0001.fits ngc1981cer0001.fits ngc1981cev0001.fits
cw_l : ngc1981cwb0034.fits ngc1981cwi0002.fits ngc1981cwr0002.fits ngc1981cww0002.fits
n_l  : ngc1981nb0012.fits ngc1981ni0001.fits ngc1981nr0001.fits ngc1981nv0001.fits
ne_l : ngc1981neb0023.fits ngc1981nei0002.fits ngc1981ner0002.fits ngc1981nev0002.fits
nw_l : ngc1981nwb0012.fits ngc1981nwi0001.fits ngc1981nwr0001.fits ngc1981nww0001.fits
s_l  : ngc1981sb0023.fits ngc1981si0002.fits ngc1981sr0002.fits ngc1981sv0002.fits
```

A seguir, utilizamos a rotina *mkobsfile*, semelhante à *mkobsfile* usada anteriormente, para a criação de um arquivo de observações para as estrelas dos aglomerados. A rotina usada agora é otimizada para imagens com múltiplos objetos, e não realiza nenhuma referência ao catálogo de estrelas-padrão. A tarefa cria também um arquivo auxiliar, contendo o formato dos dados no arquivo principal.


```

cl> mkobsfile.photfile = 'ngc1981.mag'
cl> mkobsfile.idfilter = B I R V
cl> mkobsfile.observat = 'ngc1981_obsfile'
cl> mkobsfile.imsets = 'ngc1981_imgset'
cl> mkobsfile.obspara = ' '
cl> mkobsfile.shifts = ' '
cl> mkobsfile.apercor = ' '
cl> mkobsfile >> mkobsfile.log

```

A ordem na qual os filtros são listados no parâmetro *mkobsfile.idfilter* deve corresponder à ordem na qual as imagens de cada filtro foram listadas no arquivo de agrupamento de imagens.

Finalmente, foi usada a tarefa *invertfit* para obtermos as magnitudes das estrelas do aglomerado no sistema padrão. Essa tarefa foi executada de maneira idêntica ao seu uso anterior, com a exceção que não houve catálogo de magnitudes para comparação e cálculo de resíduos.

```

cl> invertfit.observat = 'ngc1981_obsfile'
cl> invertfit.config = 'ngc1981_config'
cl> invertfit.paramete = 'cor_params'
cl> invertfit.calib = 'ngc1981_calib'
cl> invertfit.catalog = ' '
cl> invertfit.errors="obserrors"

```

A Figura 5.6 mostra o arquivo de calibração usado para obtenção das magnitudes das estrelas do aglomerado no sistema padrão.

Neste arquivo, as equações e variáveis do catálogo foram re-escritas de forma que as magnitudes se tornem as variáveis a serem ajustadas, e não os índices de cor. Dessa forma a tarefa retornará, no arquivo de saída, as magnitudes individuais das estrelas ao invés de seus índices de cor.

As equações re-escritas para obtenção das magnitudes das estrelas dos aglomerados no sistema padrão estão mostradas abaixo:

$$mb = B + b1 + b2 \times (B - V) + b3 \times Massa\ de\ ar + b4 \times (B - V) \times Massa\ de\ ar \quad (5.4a)$$

$$mv = V + v1 + v2 \times (B - V) + v3 \times Massa\ de\ ar + v4 \times (B - V) \times Massa\ de\ ar \quad (5.4b)$$

$$mr = R + r1 + r2 \times (V - R) + r3 \times Massa\ de\ ar + r4 \times (V - R) \times Massa\ de\ ar \quad (5.4c)$$

$$mi = I + i1 + i2 \times (V - I) + i3 \times Massa\ de\ ar + i4 \times (V - I) \times Massa\ de\ ar \quad (5.4d)$$

```

# Declare the Landolt UBVRI standards catalog variables
catalog
B      5          # the (B-V) color
V      6          # the (U-B) color
R      7          # the (V-R) color
I      8          # the (R-I) color

error(B) 12       # the V magnitude error
error(V) 13       # the (B-V) color error
error(R) 15       # the (V-R) color error
error(I) 16       # the (R-I) color error

# Declare the observations file variables
observations
TB      3          # time of observation in filter B
XB      4          # airmass in filter B
xB      5          # x coordinate in filter B
yB      6          # y coordinate in filter B
mB      7          # instrumental magnitude in filter B
error(mB) 8       # magnitude error in filter B

TI      10         # time of observation in filter I
XI      11         # airmass in filter I
xI      12         # x coordinate in filter I
yI      13         # y coordinate in filter I
mI      14         # instrumental magnitude in filter I
error(mI) 15      # magnitude error in filter I

TR      17         # time of observation in filter R
XR      18         # airmass in filter R
xR      19         # x coordinate in filter R
yR      20         # y coordinate in filter R
mR      21         # instrumental magnitude in filter R
error(mR) 22      # magnitude error in filter R

TV      24         # time of observation in filter V
XV      25         # airmass in filter V
xV      26         # x coordinate in filter V
yV      27         # y coordinate in filter V
mV      28         # instrumental magnitude in filter V
error(mV) 29      # magnitude error in filter V

# Sample transformation section for the Landolt UBVRI system
transformation

fit  b1=0,0, b3=0,000
const b4=-0,03596751, b2=0,284003
BFIT : mB = B + b1 + b2 * XB + b3 * (B - V) + b4 * (B - V) * XB

fit  v1=0,0, v3=0,000
const v4=0,1515449, v2=0,1724646
VFIT : mV = V + v1 + v2 * XV + v3 * (B - V) + v4 * (B - V) * XV

fit  r1=0,0, r3=0,000
const r4=0,1896494, r2=0,1117696
RFIT : mR = R + r1 + r2 * XR + r3 * (V - R) + r4 * (V - R) * XR

fit  i1=0,0, i3=0,000
const i4=0,06917196, i2=0,08046196
IFIT : mI = I + i1 + i2 * XI + i3 * (V - I) + i4 * (V - I) * XI

```

Figura 5.6: Arquivo de calibração modificado para o aglomerado. As equações foram re-escritas em termos das magnitudes. As variáveis do catálogo, apesar de não serem utilizadas, indicam as variáveis de saída da tarefa.

5.8 Exclusão de objetos repetidos em campos adjacentes

Conforme ilustrado na Figura 2.1, o aglomerado NGC 1981 possui regiões de superposição onde dois ou mais campos exibem uma mesma área do aglomerado. Os objetos incidentes nestas áreas irão possuir múltiplos valores de magnitudes, calculados individualmente em cada campo, que deverão ser excluídos de forma a restar um único valor.

Para seleção do valor a ser mantido, e exclusão dos demais, usou-se o critério de proximidade ao centro da imagem: o objeto presente em múltiplas imagens foi mantido na imagem na qual estava mais próximo ao centro. Optamos por realizar a exclusão das estrelas já que as imagens apresentam um efeito de *vigneting* acentuado, de modo que objetos incidentes nas bordas são fortemente afetados. Esta seleção foi realizada por uma rotina IDL, descrita no apêndice B.1.

Os valores obtidos para os deslocamentos entre as coordenadas dos campos, usados na rotina, estão listados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Deslocamento entre as coordenadas dos campos de NGC 1981. Os valores foram obtidos usando o campo **CE** como referência.

Deslocamento (em pixels)	Campos					
	CE	CW	NE	N	NW	S
X	0	178	-778	424	-197.5	-589
Y	0	-708	-16	-858	-978	-730

A rotina necessita dos arquivos de coordenadas e dos valores de deslocamento entre os campos, em pixels, como parâmetros de entrada; e fornece uma lista das estrelas repetidas, evidenciando aquela que não será excluída. A saída desta rotina está exemplificada abaixo, para os dados de NGC 1981. Foram excluídas, dessa maneira, 109 estrelas de uma amostra inicial de aproximadamente 350 objetos.

(cw5) ce1 n6	(ne43) ce23	(nw13) cw5 s8	(s57) nw49
(cw6) ce2 n7	(ne49) ce25	(ce14) cw53	(s61) nw50
(cw7) ce3 n8	(ne55) ce35	(nw19) n12	(cw29) nw52 n28
(s8) ce5 ne1	(ne60) ce38	(cw34) n37	(s64) nw54
(nw2) cw1 n2	(cw39) ce4 s78	(n45) n46	(s65) nw55
(nw3) cw2 s2	(ne63) ce40	(s79) ne10	(s66) nw56
(n5) cw4	(cw42) ce6	(ne21) ne22	(cw30) nw57 n32
(ce6) ne3	(n42) ce7	(s75) ne4	(nw16) s12
(s1) nw1	(cw45) ce9 n43	(ce21) ne42	(nw21) s18
(s3) nw4	(nw6) cw1 n7	(ce33) ne52	(nw22) s19
(s4) nw5	(nw23) cw13 s21	(s77) ne6	(nw24) s22
(s5) nw6	(s34) cw15	(s11) nw14	(nw27) s26
(cw3) nw7 n4	(n9) cw2 nw7	(s17) nw20	(cw22) s49
(s6) nw8	(n25) cw25	(s25) nw25	(cw28) s58
(ce4) s7 cw8	(s56) cw27	(s30) nw30	(cw32) s68 nw58
	(nw8) cw3 s3	(s37) nw34	(ne5) s76
(cw35) ce1 n38	(n36) cw33	(s39) nw35	(ne12) s80
(cw48) ce11	(s72) cw36 ce2 nw60	(s43) nw37	(ne15) s83
(cw49) ce12	(s74) cw37 ce3	(s44) nw38	(ne18) s84
(ne31) ce16	(nw9) cw4	(cw21) nw43 n22	(ne20) s85
(ne37) ce18	(n39) cw41	(s53) nw46	(ne23) s86
(ne38) ce20	(ce10) cw46	(n24) nw47	

5.8.1 Construção do mosaico

Com os valores dos desvios entre as coordenadas dos campos mostrados na Tabela 5.1, foi possível realizar a combinação das imagens dos vários campos do aglomerado usando a tarefa *combine*:

```
cl> hselect ngc1981*.fits $I "exptime==1 & filters=='R'" >> mosaico_lista
cl> combine '@mosaico_lista' mosaico.fits combine=median scale=mode \
>>> offsets=mosaico_offsets
```

Foram combinadas as imagens de curta exposição no filtro **R**, dando origem à Figura 2.2.

Ao verificar os valores usados pela tarefa para combinação das imagens (Figura 5.7) pôde-se constatar que a imagem do campo **N** apresentou um valor elevado na moda de sua distribuição, discrepante das demais imagens. Esse valor pode ser associado com o nível das contagens do céu, indicando portanto uma possível contaminação atmosférica superior aos demais campos em suas medidas.

Alternativamente, este valor elevado das contagens do céu poderia ser associado à contaminação por nebulosidade, presente nas imediações do aglomerado. Uma análise preliminar das regiões de intersecção envolvendo o campo contaminado e seus adjacentes contestam essa hipótese; além disso, um estudo detalhado da poeira e gás presentes no aglomerado vai além do escopo deste trabalho.

```
Jul 17 17:12: IMCOMBINE
combine = median, scale = mode, zero = none, weight = none
blank = 0.
      Images      Mode  Scale  Offsets
ngc1981cer0002.fits 2.2748 1.746  778  978
ngc1981cwr0001.fits 2.1967 1.808  956  270
ngc1981ner0001.fits 2.1397 1.856   0  962
ngc1981nr0002.fits 12.354 0.322 1202 120
ngc1981nwr0002.fits 2.0637 1.925  580   0
ngc1981sr0001.fits 2.8035 1.417  189  248

Output image = mosaico.fits, ncombine = 6
cl> █
```

Figura 5.7: Registro da tarefa *combine* para criação do mosaico. A imagem **ngc1981nr0002**, referente ao campo N, teve um escalonamento menor que as demais imagens por apresentar um valor muito elevado da moda de seus pixels.

As tarefas construídas neste trabalho para a redução e análise dos dados encontram-se descritas nos Apêndices A e B.1.

Capítulo 6

Análise dos Dados

6.1 Exclusão de objetos pelo erro fotométrico

O arquivo de saída da tarefa *invertfit* contém as magnitudes calibradas de todas as estrelas das imagens presentes nos arquivos de coordenadas. Entretanto, algumas dessas estrelas apresentaram erros fotométricos muito grandes ou tiveram suas magnitudes indefinidas em algum filtro, tornando-as impróprias para a utilização posterior na construção dos diagramas.

Para a exclusão criteriosa desses objetos, construímos diagramas do erro em magnitude em função da magnitude, para cada campo dos aglomerados onde será definida uma magnitude de corte a partir da qual os erros fotométricos se tornam inaceitáveis, segundo os critérios que estabeleceremos adiante. A Figura 6.1 apresenta estes gráficos para os aglomerados estudados.

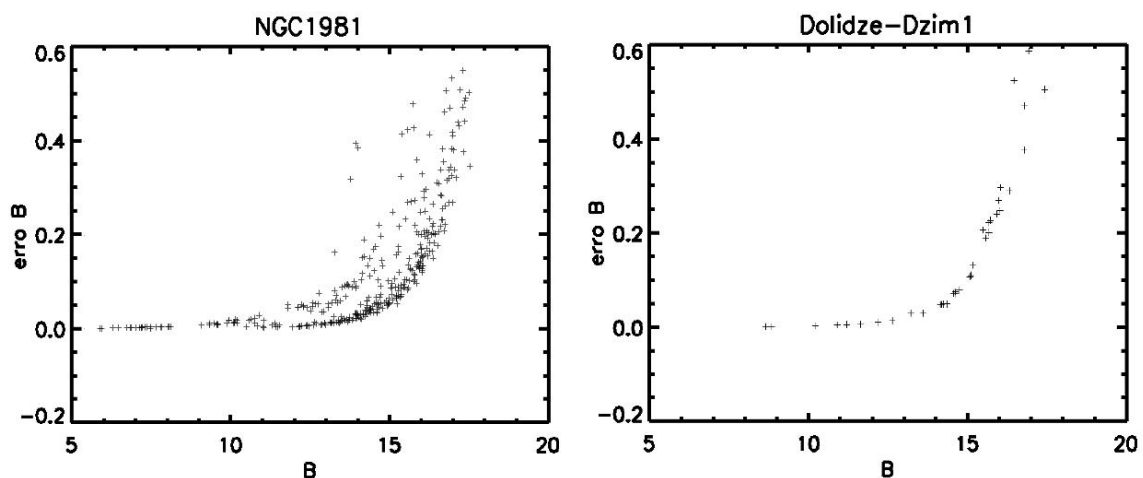


Figura 6.1: Diagramas *erro x magnitude* para os aglomerados estudados.

Com o intuito de investigar o grande espalhamento dos pontos no diagrama *erro* \times *magnitude* de NGC 1981, foram construídos diagramas semelhantes para cada campo do aglomerado, onde foi possível verificar a presença de um grupo de estrelas com valores de erro superior às demais estrelas de mesma magnitude. A figura 6.2 exemplifica essa situação nos campos mais afetados.

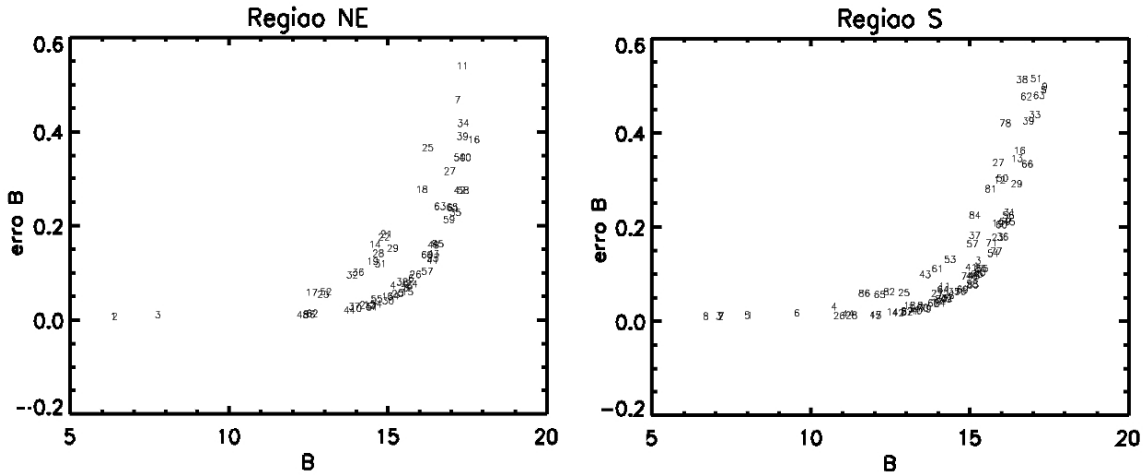


Figura 6.2: Diagramas *erro* \times *magnitude* para os campos NE e S. Cada estrela está representada por seu identificador do arquivo de coordenadas do campo.

Ao relacionar as estrelas de distribuição dicotômica no diagrama *erro* \times *magnitude* com suas posições nas imagens do campo, verificamos que estes são objetos tênues localizados próximos às estrelas mais brilhantes do aglomerado, de modo que a razão *signal/ruído* é fortemente contaminada pela luz das estrelas brilhantes. A figura 6.3 demonstra essa situação para o campo NE, em imagem no filtro B, onde o efeito foi mais acentuado.

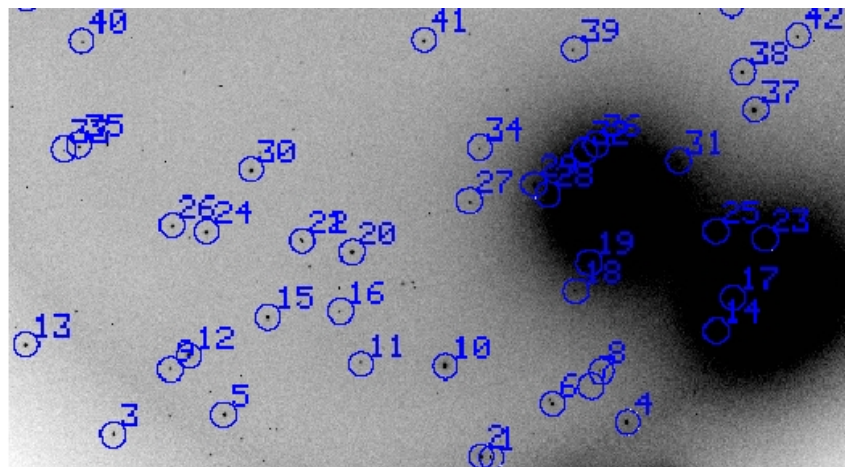


Figura 6.3: Objetos contaminados pela luz das estrelas brilhantes. A imagem refere-se ao campo NE e seu contraste foi exagerado para exibir a extensão do perfil dos objetos brilhantes.

6.2 Correção do avermelhamento interestelar

Para a determinação do avermelhamento, utilizamos o método de ajuste linear à ZAMS nos diagramas cor-cor, como proposto por Munari & Carraro (1996). O método consiste em encontrar uma relação linear entre os índices de cor instrínsecos e calibrar uma relação de avermelhamento simples, em termos dos parâmetros do ajuste linear, aos dados.

Denotando as bandas fotométricas como W_i , procuramos por uma relação, válida sobre um intervalo $\epsilon_1 \leq (W_1 - W_2)_0 \leq \epsilon_2$, do tipo:

$$(W_3 - W_4)_0 = \alpha + \beta \times (W_1 - W_2)_0 \quad (6.1)$$

Assumindo uma relação linear entre os índices de cor dada por

$$\frac{E(W_3 - W_4)}{E(W_1 - W_2)} = \frac{(W_3 - W_4) - (W_3 - W_4)_0}{(W_1 - W_2) - (W_1 - W_2)_0} = \gamma \quad (6.2)$$

pode-se reescrever a equação 6.1, em termos dos índices de cor dos dados observados, da seguinte maneira:

$$(W_3 - W_4) = \alpha + \beta \times (W_1 - W_2) + (\gamma - \beta) \times E(W_1 - W_2) \quad (6.3)$$

Assim, ao ajustarmos uma reta de inclinação β aos nossos dados, num diagrama $(W_3 - W_4) \times (W_1 - W_2)$, iremos obter o coeficiente linear Q dado por:

$$Q = \alpha + (\gamma + \beta) \times E(W_1 - W_2) \quad (6.4)$$

O excesso de cor pode então ser determinado, em função dos parâmetros acima definidos, por:

$$E(W_1 - W_2) = \frac{Q - \alpha}{\gamma - \beta} \quad (6.5)$$

O denominador $(\gamma - \beta)$ determina a sensibilidade do método pois, para um dado valor de avermelhamento, o deslocamento Q será tanto maior quanto maior for $(\gamma - \beta)$. Valores pequenos desse parâmetro implicariam num deslocamento dos dados sobre a curva definida na equação 6.1.

Os valores de γ , que relacionam os excessos de cor no sistema de bandas de Johnson-Cousins entre si, como dado por Munari & Carraro (1996), são dados na tabela 6.1:

Tabela 6.1: Relações entre excessos de cor para o sistema Johnson-Cousins.

	$E(B - V)$	$E(B - R)$	$E(B - I)$	$E(V - R)$	$E(V - I)$	$E(R - I)$
$E(B - V)$	1.00	1.54	2.25	0.54	1.25	0.71
$E(B - R)$	0.65	1.00	1.47	0.35	0.81	0.46
$E(B - I)$	0.44	0.68	1.00	0.24	0.56	0.32
$E(V - R)$	1.85	2.85	4.17	1.00	2.31	1.32
$E(V - I)$	0.80	1.23	1.80	0.43	1.00	0.57
$E(R - I)$	1.40	2.16	3.16	0.76	1.76	1.00

Uma vez determinado o excesso de cor, poderemos determinar o avermelhamento nas várias bandas através das relações apresentadas na tabela 6.2, conforme dado por Munari & Carraro (1996). Utilizamos neste trabalho a lei extinção padrão, $R_V = 3.1$.

Tabela 6.2: Relações de extinção na várias bandas do Sistema Johnson-Cousins.

R_V	$\frac{A(U)}{A(J)}$	$\frac{A(B)}{A(J)}$	$\frac{A(V)}{A(J)}$	$\frac{A(R)}{A(J)}$	$\frac{A(I)}{A(J)}$
3.1	5.53	4.65	3.58	3.00	2.23
5.0	4.06	3.64	3.07	2.68	2.10

Determinação das relações entre os índices de cor intrínsecos

Inicialmente determinamos as relações lineares entre os índices de cor, válidas dentro de um limite de valores, utilizando dados da ZAMS empírica (Cousins, 1978; Koornneef, 1983; Schmidt-Kaler, 1982). A partir destes dados, foram construídos diagramas cor-coro onde realizamos, em cada diagrama, o ajuste linear em 3 intervalos distintos (**I**, **II** e **III**), obtendo assim valores mais precisos dos parâmetros em cada segmento. Os ajustes realizados estão exibidos na figura 6.5.

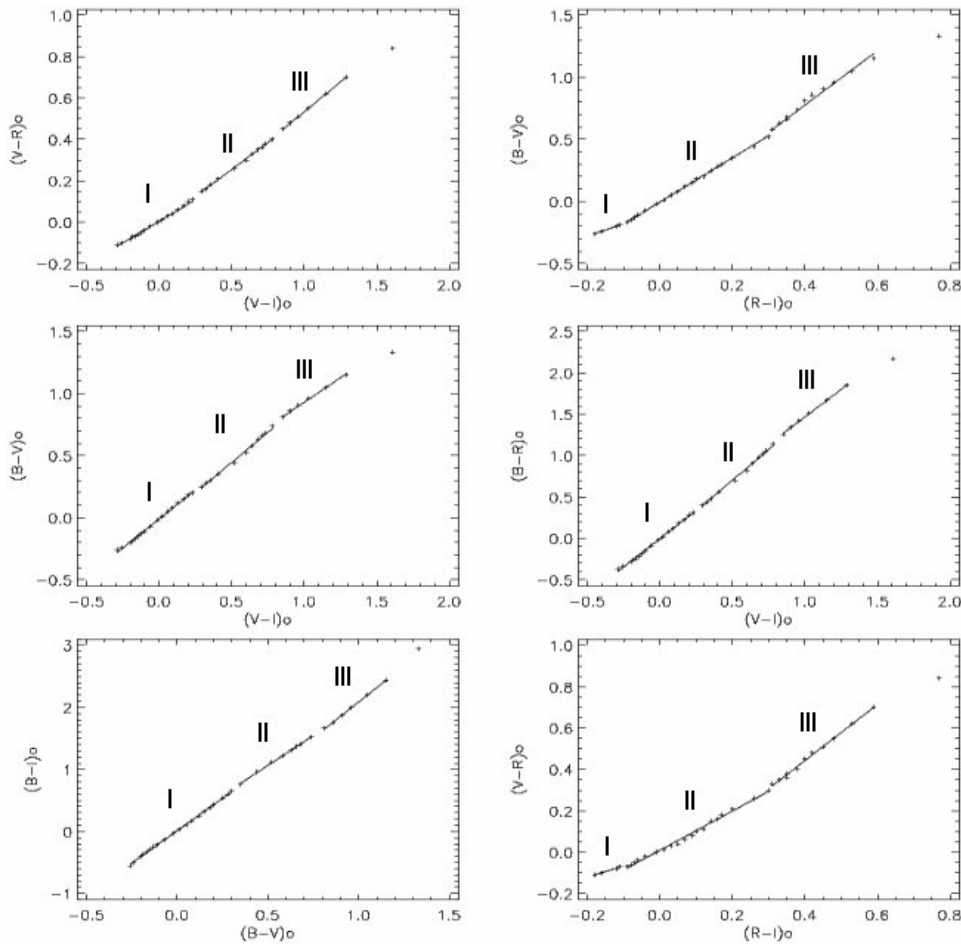


Figura 6.5: Ajuste linear à ZAMS empírica nos diagramas cor-coro

As características dos ajustes realizados estão exibidos na tabela 6.3.

Tabela 6.3: Características dos ajustes realizados nos diagramas cor-cor intrínsecos

Diagrama ($Y \times X$)	Intervalo (em X)		α	β	$(\gamma - \beta)$
	MIN	MAX			
$(V - R)_0 \times (V - I)_0$	-0.2490	0.2000	0.0039	0.4177	0.0123
	0.2000	0.7500	-0.0050	0.5193	-0.0893
	0.7500	1.300	-0.0452	0.5786	-0.1486
$(B - V)_0 \times (R - I)_0$	-0.5000	-0.1000	-0.0799	1.0009	0.3991
	-0.1000	0.2000	-0.0052	1.7831	-0.3831
	0.2000	0.6000	-0.0994	2.1908	-0.7908
$(B - V)_0 \times (V - I)_0$	-0.2490	0.2500	-0.0101	0.9336	-0.1336
	0.2500	0.7500	-0.0429	0.9750	-0.1750
	0.7500	1.300	0.1391	0.7911	0.0089
$(B - R)_0 \times (V - I)_0$	-0.2490	0.2500	-0.0043	1.3646	-0.1346
	0.2500	0.8000	-0.0526	1.5073	-0.2773
	0.8000	1.500	0.1395	1.3289	-0.0989
$(B - I)_0 \times (B - V)_0$	-1.006	0.3500	0.0126	2.0858	0.1642
	0.3500	0.7500	0.1043	1.9207	0.3293
	0.7500	1.200	-0.2236	2.3104	-0.0604
$(V - R)_0 \times (R - I)_0$	-0.5000	-0.1000	-0.0117	0.5496	0.2104
	-0.1000	0.3000	0.0089	0.9494	-0.1894
	0.3000	0.6000	-0.0990	1.3549	-0.5949

Conforme mostramos na equação 6.5, devemos selecionar os segmentos onde o parâmetro $(\gamma - \beta)$ tenha módulo maior. Dessa forma estaremos selecionando as regiões onde o vetor de avermelhamento esteja mais inclinado com relação à ZAMS empírica e seja, por isso, mais sensível ao avermelhamento. Escolhemos portanto o terceiro segmento dos diagramas $(B - V)_0 \times (R - I)_0$ e $(V - R)_0 \times (R - I)_0$ para calcular o avermelhamento.

6.2.1 Determinação do avermelhamento dos aglomerados

Utilizamos os valores do parâmetro β obtidos para realizar o ajuste linear aos nossos dados, visando encontrar apenas o valor do termo de ordem zero, Q , e o excesso de cor a partir da Eq. 6.4. A figura 6.6 mostra esse ajuste realizado para todo o conjunto de diagramas, utilizando os dados de NGC 1981. Pode-se perceber que o vetor de avermelhamento é quase paralelo à ZAMS nos diagramas exceto naqueles com valores mais elevados do parâmetro $(\gamma - \beta)$.

Este ajuste foi repetido para os dois diagramas selecionados, limitando a amostra em magnitudes cada vez menores de modo a verificar o comportamento do excesso de cor calculado. Constatamos que, à medida que excluímos as estrelas menos brilhantes, causamos uma diminuição no excesso de cor fazendo-o passar por um mínimo.

Este comportamento sugere que, ao excluir as estrelas menos brilhantes, estamos selecionando, indiretamente, as estrelas do aglomerado. Como estas estrelas têm um valor coerente de avermelhamento, ao contrário das estrelas de campo, é natural que o valor do

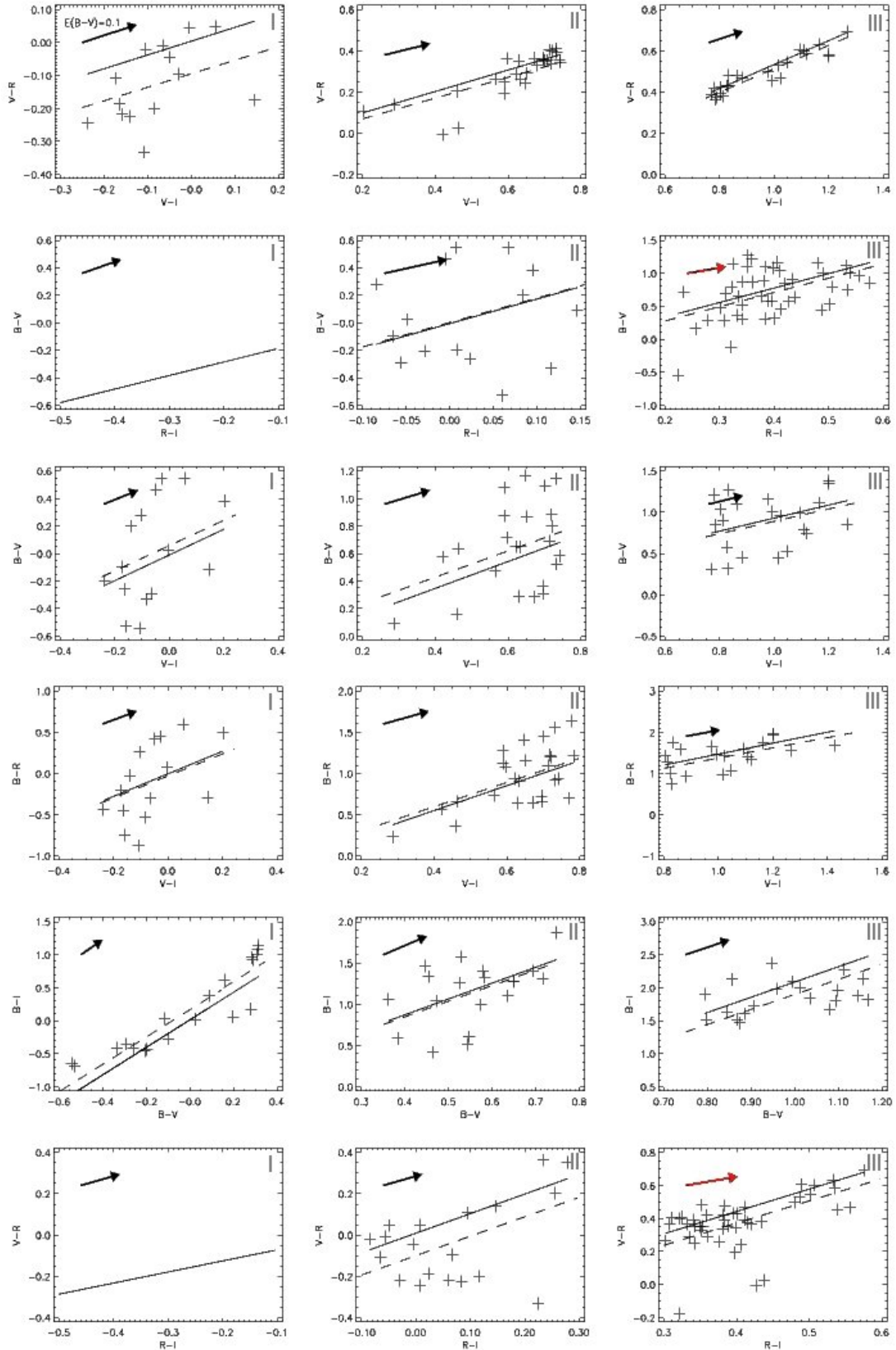


Figura 6.6: Ajuste linear dos dados (linha tracejada) comparado à ZAMS empírica (linha sólida), de mesma inclinação. A flecha indica um avermelhamento correspondente a $E(B-V) = 0.1$ na direção indicada. Cada diagrama corresponde a um intervalo (I, II e III) do ajuste realizado nos vários CMD's.

excesso de cor convirja para um valor mais representativo da população do aglomerado, quando se excluem as estrelas mais fracas do campo. Existe, porém, um limite inferior de magnitude onde o número de estrelas fica muito reduzido, interferindo nos resultados alcançados. A Tabela 6.4 mostra os resultados encontrados.

Tabela 6.4: Excesso de cor calculado para amostras limitadas em magnitude para NGC 1981. **N** representa o número de objetos utilizados no ajuste.

Magnitude de corte	$(\gamma - \beta) = -0.79$		$(\gamma - \beta) = -0.59$	
	$E(B - V)$	N	$E(B - V)$	N
11	0.42	9	0.67	6
12	0.17	22	0.26	18
12.2	0.11	26	0.26	22
12.5	0.10	29	0.21	26
12.8	0.11	41	0.18	41
13	0.11	44	0.16	45
13.2	0.11	48	0.17	50
13.5	0.10	52	0.18	55
13.8	0.18	56	0.20	73

De acordo com os valores apresentados na tabela, ambos diagramas apresentaram um mínimo de excesso de cor com aproximadamente 45 objetos no ajuste. Outros mínimos locais de excesso de cor conseguidos com um número menor de pontos teriam um peso estatístico menor, sendo por isso descartados em favor do mínimo com maior número de objetos.

Estando determinado o comportamento geral dos valores de excesso de cor, selecionamos o diagrama com maior sensibilidade ao avermelhamento, $(B - V) \times (R - I)$, e usamos seu valor mínimo de excesso de cor como o valor ótimo conseguido para o aglomerado NGC 1981: $E(B - V) \approx 0.10$.

O mesmo procedimento não é válido para aplicação no aglomerado Dolidze-Dzim 1, devido ao pequeno número de objetos com o qual cada diagrama conta. Nesse caso, não foi possível realizar uma análise estatística do avermelhamento do aglomerado. É possível, entretanto, aplicar uma análise de avermelhamento individual das estrelas do aglomerado, a ser realizada em trabalhos futuros.

6.3 Método do ajuste de isócronas

O método de ajuste de isócronas consiste em aplicar aos dados desvios na cor e magnitude, com o objetivo de se conseguir sua melhor superposição com as isócronas teóricas. Três parâmetros independentes podem afetar o ajuste dos dados às curvas: a idade do aglomerado, a distância do aglomerado e o seu avermelhamento.

Existem 3 conjuntos principais de dados de isócronas utilizáveis para ajuste de CMDs de aglomerados: as isócronas de Geneva (Lejeune & Schaerer, 2001), de Padova (Girardi et al., 2002) e as isócronas Y^2 (Demarque et al., 2004). Entretanto, as isócronas de Geneva não apresentam uma boa concordância com a MS de aglomerados abertos, e as isócronas

Y^2 são limitadas a massas baixas e intermediárias ($m \leq 5M_{\odot}$), não podendo ser aplicadas às estrelas massivas e luminosas presentes nos aglomerados abertos (Kharchenko et al., 2005). As isócronas de Padova, por outro lado, abrangem uma boa faixa de massas ($1M_{\odot}$ a $66M_{\odot}$) e mostram boa concordância com a MS dos aglomerados abertos.

As isócronas Pré-Sequência Principal (PMS) adotadas foram adquiridas através do Servidor Online de Trilhas PMS¹ (Siess et al., 2000). O grupo destas isócronas utilizadas cobre a mesma escala das isócronas de Padova utilizadas e apresentam boa concordância para os propósitos desse trabalho.

Assim foram usadas isócronas de Padova com $Z=0.019$ em conjunto com as isócronas PMS de Siess et al. (2000) com $Z=0.02$, adotando modelos com "overshooting". A faixa de massa dos modelos adotados abarcam estrelas com massas no intervalo de $1M_{\odot}$ até $66M_{\odot}$.

6.4 Resultados para NGC 1981

O processo de ajuste dos dados às isócronas é realizado inicialmente mantendo-se fixo o valor de avermelhamento conseguido anteriormente, e ajustando o valor do módulo de distância até que os dados se superponham às isócronas. Deve-se avaliar então o conjunto de isócronas que mais se aproxima do *loci* de pontos, conforme mostra a figura 6.7. Foram utilizados $V_0 - M_v = 8.6$ e $E(B - V) = 0.1$ para deslocar os dados.

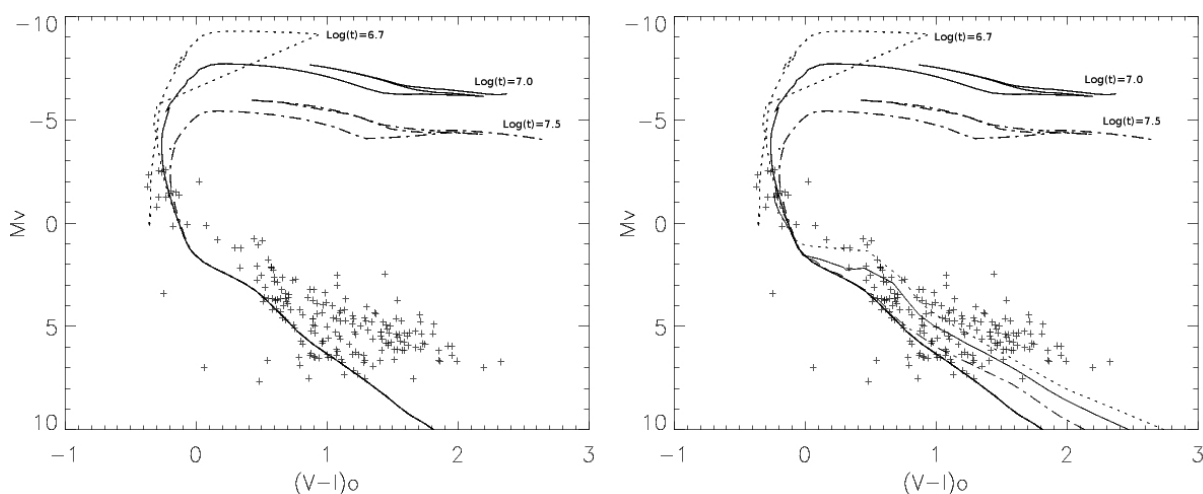


Figura 6.7: CMD's para NGC 1981. À esquerda: isócronas de Padova. À direita: isócronas PMS foram inseridas. Para ambos conjuntos de isócronas, a linha pontilhada representa idade de 5 milhões de anos, a linha sólida 10 milhões de anos e a linha ponto-tracejada 32 milhões de anos

Devido à ausência de estrelas gigantes no diagrama, as isócronas representativas das idades de 5, 10 e 32 *Manos* não definem a idade do aglomerado. Entretanto usamos as

¹<http://www-astro.ulb.ac.be/siess/server/iso.html>

isócronas PMS para tentar estimar a idade do aglomerado, já que ele deve apresentar uma população de estrelas PMS.

Na figura 6.7 estão exibidas isócronas PMS de mesma idade das isócronas de Padova, onde usamos a mesma simbologia para isócronas de mesma idade. Dessa forma, podemos ver que as isócronas de 5 milhões de anos ($\log t=6.7$) e 10 milhões de anos ($\log t=7$), no ramo PMS, abarcam uma significativa porção de estrelas à direita da sequência principal, enquanto a isócrona mais velha ($\log t=7.5$) não.

Isso nos mostra que a idade de NGC 1981 pode, segundo os valores adotados de módulo de distância e avermelhamento, assumir valores entre 5 e 10 milhões de anos.

Para encontrar a faixa de valores aceitáveis de nossos parâmetros físicos devemos encontrar os valores extremos, para os quais o ajuste não é mais aceitável. Assim, ao variar os valores do módulo de distância e avermelhamento em torno dos valores ótimos conseguidos, obtemos as duas situações limites, onde os pontos não mais se ajustam às isócronas. A figura 6.8 demonstra essas situações.

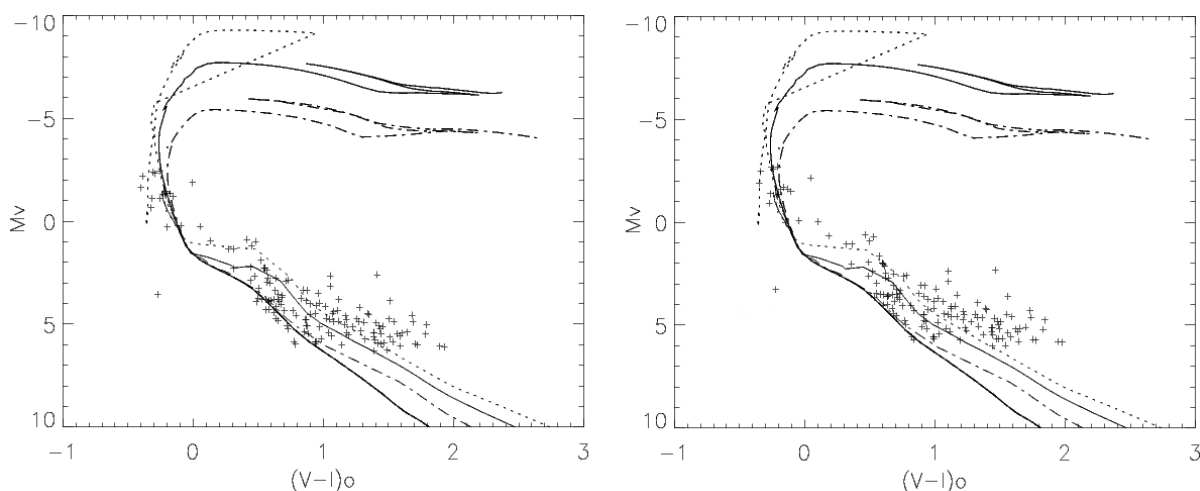


Figura 6.8: Valores limite dos parâmetros físicos. À esquerda: $E(B-V) = 0.12$ e $V_0 - M_v = 8.4$. À direita: $E(B-V) = 0.08$ e $V_0 - M_v = 8.8$. Simbologia como na figura 6.7

Levando em conta os intervalos dentro dos quais os ajustes de isócronas são aceitáveis, determinamos enfim, os valores dos parâmetros físicos para NGC 1981, conforme mostrado na Tabela 6.5.

Tabela 6.5: Valores dos parâmetros físicos de NGC 1981.

Idade ($\log t$)	$V_0 - M_v$ (mag)	Distância (pc)	$E(B - V)$ (mag)
6.7 - 7.0	8.6 ± 0.2	455^{+44}_{-40}	0.10 ± 0.02

Os valores encontrados estão em desacordo com aqueles encontrados por Kharchenko et al. (2005), ou seja:

$$\text{Log}(t) = 7.5 \quad V_0 - M_v = 8.16 \quad E(B - V) = 0.05$$

Entretanto, Kharchenko et al. (2005) definem a idade dos aglomerados como uma média das idades das estrelas sobre a sequência principal, de modo que apenas as estrelas com maior probabilidade de pertinência ao aglomerado (avaliada por critérios cinemáticos) são consideradas. A idade destas estrelas é derivada de sua localização em relação às isócronas no diagrama cor-magnitude.

Kharchenko et al. (2005) comentam ainda que a determinação das idades pelo método empregado depende do número de estrelas utilizadas pelo algoritmo. Para NGC 1981, apenas uma estrela foi selecionada para a determinação de idade, segundo consta no catálogo COCD, podendo justificar portanto a discrepância entre os valores encontrados.

6.5 Resultados para Dolidze-Dzim 1

De posse das magnitudes calibradas ao sistema padrão construímos os diagramas cor-magnitude para o aglomerado Dolidze-Dzim 1. A Figura 6.9 mostra uma tentativa de ajuste, usando módulo de distância $V_0 - M_v = 9.5$ e excesso de cor $E(B - V) = 0.05$. As isócronas usadas correspondem às idades de $\log t = 8.5$ (0.32 G anos) e $\log t = 10.0$ (10 G anos).

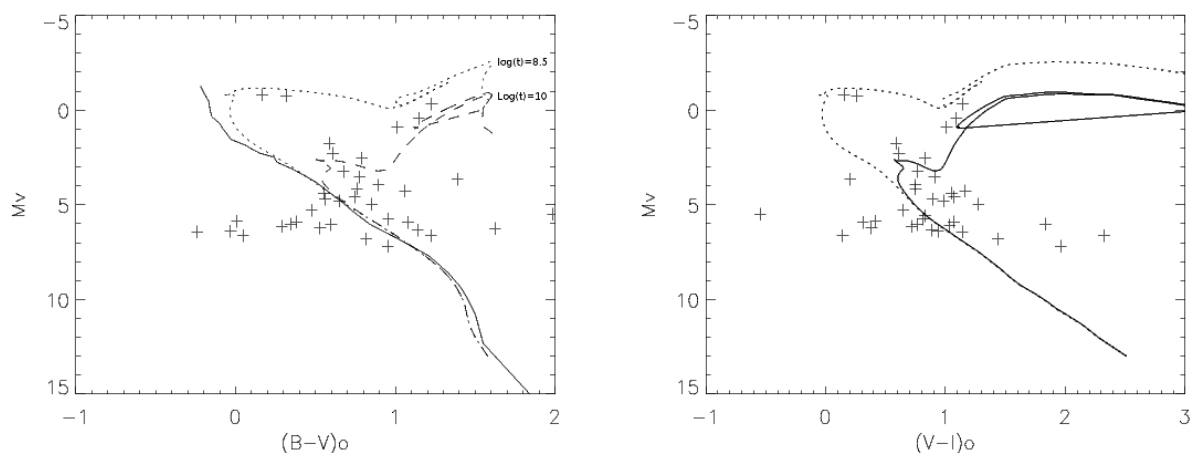


Figura 6.9: CMD's para Dolidze-Dzim 1. As isócronas de $\log t = 8.5$ e $\log t = 10.0$ se ajustam a estrelas em diferentes regiões do diagrama.

Nenhuma isócrona apresentou um ajuste razoável aos dados deste aglomerado. A figura 6.9 mostra que as isócronas de $\log t = 8.5$ e $\log t = 10.0$ proporcionam um ajuste a grupos de estrelas em diferentes regiões do diagrama, onde a isócrona de 10 bilhões de anos ($\log t = 10.0$) se ajusta a um maior número de estrelas. Um valor tão elevado de idade, porém, é absurdo para aglomerados tão dispersos e pouco populosos como Dolidze-Dzim 1. Segundo Portegies Zwart et al. (2001), aglomerados abertos se dissolvem em $0.5 - 2.5$ G anos dependendo de sua massa inicial total e distância do centro Galáctico.

A falta da definição de um padrão coerente, especialmente com relação às estrelas mais brilhantes do aglomerado, juntamente com a grande dispersão dos pontos que não pôde ser atribuída a problemas fotométricos, nos leva a crer que Dolidze-Dzim 1 não aparenta compor um sistema físico, mas um asterismo, como indicado na literatura (Archinal &

Hynes, 2003). Além disso, as poucas estrelas do aglomerado que possuem dados do catálogo de Tycho apresentam movimentos próprios incoerentes, fortalecendo a conclusão alcançada.

As magnitudes individuais selecionadas segundo o critério de erro adotado, estão dadas na Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Magnitudes e erros **B, V, R, I** calibrados para Dolidze-Dzim 1.

ID	B	σB	V	σV	R	σR	I	σI
6	14.197	0.048	13.488	0.033	13.086	0.018	12.800	0.021
8	14.619	0.075	13.923	0.047	13.222	0.020	12.912	0.022
9	12.188	0.010	11.630	0.007	11.318	0.004	11.080	0.005
10	12.627	0.013	11.886	0.008	11.468	0.004	11.118	0.006
13	14.749	0.080	14.149	0.057	13.581	0.028	13.229	0.027
17	8.847	0.001	8.580	0.001	8.524	0.001	8.380	0.001
22	13.212	0.029	12.587	0.018	12.213	0.010	11.882	0.013
23	8.655	0.001	8.540	0.001	8.510	0.001	8.450	0.001
24	10.893	0.004	9.796	0.002	9.232	0.001	8.769	0.001
28	14.634	0.071	13.623	0.039	12.984	0.017	12.520	0.017
31	11.207	0.005	10.244	0.002	9.731	0.002	9.297	0.002
35	14.149	0.048	13.306	0.028	12.908	0.016	12.619	0.018
39	14.347	0.049	13.008	0.023	13.266	0.022	12.865	0.022
41	11.636	0.006	11.100	0.004	10.818	0.003	10.575	0.004
42	13.615	0.029	12.889	0.020	12.414	0.010	12.043	0.012
43	10.217	0.003	9.040	0.001	8.442	0.001	7.959	0.001
60	14.562	0.072	14.051	0.055	13.632	0.028	13.221	0.028

Capítulo 7

Conclusões e perspectivas

Com relação aos dados, pudemos constatar que:

- a aquisição de um campo de controle nos permitiria utilizar critérios mais precisos de exclusão de estrelas de campo;
- a realização de fotometria no filtro B requer uma melhor qualidade fotométrica da noite e mostrou-se indispensável na determinação do avermelhamento;
- para a construção de mosaicos em aglomerados extensos, deve-se manter no cabeçalho das imagens as diferenças entre as coordenadas de cada campo;
- um conjunto extenso de padrões é necessário para a transformação ao sistema padrão de forma mais precisa, permitindo o cálculo dos coeficientes de extinção e dos termos de cor separadamente.

Para obtenção da amostra final de estrelas, realizamos a exclusão de objetos em três etapas:

- Exclusão de objetos reincidentes em campos adjacentes. Com o método utilizado, foram localizadas e eliminadas mais de 100 estrelas de nossa amostra inicial;
- Exclusão de objetos contaminados pelo perfil estelar de objetos mais brilhantes. Foram identificados e excluídos aproximadamente 80 estrelas contaminadas da amostra restante;
- Exclusão de objetos pelo erro fotométrico. Nesse passo, uma quantidade diferente de estrelas foi excluída em cada filtro. Em média outras 100 estrelas foram excluídas nesse processo.

Ao final deste processo, contamos com menos de um terço de nossa amostra inicial de estrelas.

Calculamos o avermelhamento interestelar estatisticamente, por meio do ajuste linear dos nossos dados à ZAMS empírica (Munari & Carraro, 1996), através dos seguintes passos:

- determinamos um conjunto de retas de melhor ajuste à ZAMS empírica para vários diagramas cor-cor (Figura 6.5);
- selecionamos, quantitativamente, os diagramas cor-cor e intervalo de cor mais sensíveis ao avermelhamento (Tabela 6.3);
- calculamos o excesso de cor nos diagramas selecionados para amostras limitadas em diferentes valores de magnitude;
- determinamos o valor de $E(B - V)$ mais representativo das estrelas do aglomerado (Tabela 6.4).

Obtivemos assim um excesso de cor $E(B - V) = 0.1$ para NGC 1981. Para Dolidze-Dzim não foi possível aplicação concisa do método, já que o aglomerado não aparenta constituir um sistema físico. Além disso, o número reduzido de dados de sua amostra final não foi suficiente para uma análise estatística por este método.

Realizamos, por fim, a construção de diagramas cor-magnitude para os aglomerados, com os quais foi possível caracterizar os alvos de estudo obtendo-se os seguintes resultados:

- Dolidze-Dzim 1 não forma um sistema coeso de estrelas, sendo este trabalho a primeira análise fotométrica deste objeto que suporta essa conclusão.
- a partir do excesso de cor calculado anteriormente $E(B - V) = 0.10 \pm 0.02$, os parâmetros físicos de módulo de distância verdadeiro, distância e idade obtidos para NGC 1981, respectivamente, foram:

$$V_0 - M_v = 8.6 \pm 0.2 \quad d = 455_{-40}^{+44} \text{ pc} \quad 6.7 \leq \log t \leq 7.0.$$

Estes valores foram obtidos utilizando isócronas de Padova de $Z=0.019$ e isócronas PMS de Siess et al. (2000) de $Z=0.020$, com “overshooting”.

Os resultados obtidos discordam em até 15% daqueles obtidos por Kharchenko et al. (2005), exibidos abaixo:

$$E(B - V) = 0.05 \quad V_0 - M_v = 8.16 \quad d = 399 \text{ pc} \quad \log t = 7.5$$

Acreditamos que nossos resultados são mais confiáveis porque foram obtidos com ênfase no ajuste de estrelas PMS na determinação da idade, enquanto Kharchenko et al. (2005) restringe sua determinação de idade às estrelas da Sequência Principal, utilizando um número reduzido de estrelas em sua análise.

Sequência do trabalho

Dando sequência ao trabalho, pretendemos realizar a submissão de um artigo contendo os resultados obtidos e os seguintes refinamentos:

- implementação do cálculo de avermelhamento individual para as estrelas de NGC 1981 e Dolidze-Dzim 1;
- realização de uma análise de movimento próprio e probabilidade de pertinência ao aglomerado para as estrelas de NGC 1981, a partir dos dados existentes no catálogo DAML02 - Dias et al. (2006);
- utilização de isócronas pré-sequência principal construídas a partir das trilhas evolutivas do código ATON (Ventura et al., 1998), desenvolvidas por colaboradores do grupo de Astrofísica/UFMG, para ajuste da idade de NGC 1981 e comparação da idade obtida com outros modelos existentes.

Os resultados também servirão de base para submissão de um pedido de tempo para o telescópio SOAR visando a realização de fotometria de maior qualidade, para complementação e melhoria dos resultados já alcançados.

Além disso, utilizaremos o método desenvolvido para a redução e caracterização de outros aglomerados abertos já observados, contribuindo assim para aumentar a base de dados existentes sobre os alvos.

Referências

- Archinal B. A., Hynes S. J. 2003, *Star Clusters*, Willmann-Bell Inc.
- Aparicio A., Bertelli G., Chiosi C., Garcia-Pelayo J. M. 1990, *A&A* 240,262
- Bertelli G., Bressan A., Chiosi C., et al.. 1994, *A&AS* 106,275
- Bica E., Santiago B. X., Dutra C. M. et al.2001, *A&A* 366,827
- Binney J., Merrifield M. 1998, *Galactic Astronomy*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, p.379
- Carraro, G., Chiosi, C. 1994, *A&A* 287,761
- Cousins, A. W. J. 1978, *The Observatory* 98, 54
- de Winter D., Koulis C., The P. S., van den Ancker M. E. et al.. 1997, *A&A* 121,223
- Demarque P., Woo J. H., Kim Y. C., Yi S. K. 2004, *ApJS* 155, 667
- Dias W. S., Alessi B. S., Moitinho A., Lépine, J. R. D. 2002, *A&A*, 389,871
- Dias W. S., Lépine, J. R. D., Alessi B. S., Moitinho A. 2006, *Open Clusters and Galactic structure*, Version 2.7, <http://www.astro.iag.usp.br/wilton/>
- Dias W. S., Assafin M., Flório V., et al.2006, *A&A* 446,949
- Friel E. D., Janes K. A. 1993, *A&A* 267,75
- Friel E. D. 1995, *ARA&A* 33,381
- Girardi L., Bertelli G., Bressan A., et al.. 2002, *A&A* 391,195
- Herbig G. H. 1960, *ApJS* 4,337
- Herbig G. H. 1994, *The Nature and Evolutionary Status of Herbig Ae/Be Stars - ASP Conference Series* 62,3
- Hesser J. E., Ruprecht, J. 1981, *Space Science Reviews*, 28, 112
- Howell S. B. 1989, *PASP* 101,616
- Janes K. A. 1979, *ApJS* 39,135
- Janes K. A., Adler D. 1982, *ApJS* 49,425

- Janes K. A., Tilley C., Lynga G. 1988, *AJ* 95,771
- Janes K. A., Phelps R. L. 1994, *AJ* 108,1773
- Kharchenko N. V., et al.2005, *A&A* 438,1163
- Koornneef, J. 1983, *A&A* 128, 84
- Landolt A. U. 1983, *AJ* 88,439
- Lejeune T., Schaerer D. 2001, *A&A* 366,538
- LyngåG. 1982, *A&A* 109,213
- Lyngå, G. 1987, Publications of the Astronomical Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences, 69, 121
- Mathieu R. D. 1984, *ApJ* 284,643
- Mathieu R. D., Latham D. W. 1986, *AJ* 92,1364
- Munari, U., Carraro, G. 1996, *A&A* 314,108
- Pavani D. B., & Bica E. 2007, *A&A* 468, 139
- Pérez M. R., et al.1987, *PASP* 99,1050
- Piatti A. E., Clariá J. J., Abadi M. G. 1995, *AJ* 110,2813
- Portegies Zwart S. F., McMillan, S. L. W., Hut P., et al.. 2001, *MNRAS* 321,199
- Salaris M., Weiss A., Percival S. M. 2004, *A&A* 414,163
- Santos Jr. J. F. C., Bonatto C., Bica E. 2005, *A&A* 442,201
- Schmidt-Kaler Th. 1982, in Landolt-Bornstein New Series Vol. 2b, Astronomy and Astrophysics, Star and Star clusters, Physical Parameters of the Stars, Springer-Verlag, Newbak.
- Siess L., Dufour E., Forestini M. 2000, *A&A* 358,593
- Spitzer L. 1958, *ApJ* 127,17
- Terlevich E. 1987, *MNRAS* 224,193
- Tody, D. 1986. Proceedings of the SPIE Conference 627,733
- Trumpler, R. J. 1930, Lick Observatory Bulletin 14,154
- Ventura P., Zeppieri A., Mazzitelli I., D'Antona F. 1998, *A&A*, 334,953
- van de Ancker, et al.1997, *A&AS* 123,63
- Vieira S. L. A., Corradi W. J. B., Alencar S. H. P., et al.2003, *AJ* 126,2971
- Wielen R. 1985, In *Dynamics of Star Clusters, Proc. IAU Symp. 113*, ed. J Goodman, P Hut, p. 449. Dordrecht; Reidel

Apêndice A

Tarefas IRAF construídas para redução e processamento dos dados

Os scripts IRAF utilizados neste trabalho encontram-se disponíveis no endereço eletrônico:
www.fisica.ufmg.br/~wag/transf/SOFTWARE/OPENCLU.

A.1 Redução da noite de 21/09/2000

```
#Task para reducao da noite de 00set21 e padroes

#####
#Definicao dos arquivos de instrumentos filtros e log
#####
cd task_dir$
ccdred.logfile="home$00set21/log_00set21"

setinstrument home$tasks_opd/opd_iag_ubvri site="" dir="" review-

#####
#Correcao dos cabecalhos das imagens
#####

#mudanca nos campos: observat, dec e ra, imagetyp

cd home$00set21
hedit *.fits observat value="LMA" ver- upd+ show+
hedit bias*.fits imagetyp value="zero" ver- upd+ show+
hedit flat*.fits imagetyp value="flat" ver- upd+ show+

cd home$00set21/ngc1981
hedit *.fits observat value="LMA" ver- upd+ show+
hedit ngc1981*.fits ra value="5:35:12.00" ver- upd+ show+
hedit ngc1981*.fits dec value="-4:26:00.00" ver- upd+ show+
hedit ngc1981*.fits imagetyp value="object" ver- upd+ show+
hedit ngc1981*.fits epoch value="2000.0" ver- upd+ show+

#Correcao do cabecalho das padroes
#verificar ra e dec das padroes

cd home$00set21/padroes
hedit *.fits observat value="LMA" ver- upd+ show+
hedit *.fits imagetyp value="object" ver- upd+ show+
hedit *.fits epoch value="1985.0" ver- upd+ show+

hedit hd216135*.fits ra value="22:49:41.00" ver- upd+ show+
hedit hd216135*.fits dec value="-13:23:12.00" ver- upd+ show+

hedit sa110441*.fits ra value="18:43:34.00" ver- upd+ show+
hedit sa110441*.fits dec value="0:19:40.00" ver- upd+ show+
hedit sa110441*.fits epoch value=2000.0 ver- upd+ show+

hedit sa1111496*.fits ra value="19:37:36.00" ver- upd+ show+
hedit sa1111496*.fits dec value="0:18:39.00" ver- upd+ show+
```

```

hedit sal112522*.fits ra value="19:36:19.00" ver- upd+ show+
hedit sal112522*.fits dec value="0:35:31.00" ver- upd+ show+

hedit sal112864*.fits ra value="19:38:02.00" ver- upd+ show+
hedit sal112864*.fits dec value="0:34:16.00" ver- upd+ show+

hedit sal11717*.fits ra value="19:36:09.00" ver- upd+ show+
hedit sal11717*.fits dec value="0:05:29.00" ver- upd+ show+

hedit sal11773*.fits ra value="19:37:16.00" ver- upd+ show+
hedit sal11773*.fits dec value="0:10:59.00" ver- upd+ show+
hedit sal11773*.fits epoch value=2000.0 ver- upd+ show+
imrename sal11773b0003 sal11773v0003
imrename sal11773b0004 sal11773v0004

hedit sal121242*.fits ra value="20:41:38.00" ver- upd+ show+
hedit sal121242*.fits dec value="0:23:29.00" ver- upd+ show+

hedit sal12223*.fits ra value="20:42:14.00" ver- upd+ show+
hedit sal12223*.fits dec value="0:09:01.00" ver- upd+ show+
hedit sal12223*.fits epoch value=2000.0 ver- upd+ show+

hedit sal12636*.fits ra value="20:40:49.00" ver- upd+ show+
hedit sal12636*.fits dec value="0:13:18.00" ver- upd+ show+

hedit sal13274*.fits ra value="21:41:41.00" ver- upd+ show+
hedit sal13274*.fits dec value="0:22:38.00" ver- upd+ show+

hedit sal13442*.fits ra value="21:39:54.00" ver- upd+ show+
hedit sal13442*.fits dec value="0:40:37.00" ver- upd+ show+

hedit sal14272*.fits ra value="22:42:11.00" ver- upd+ show+
hedit sal14272*.fits dec value="0:19:37.00" ver- upd+ show+

hedit sal14473*.fits ra value="22:41:38.00" ver- upd+ show+
hedit sal14473*.fits dec value="0:41:32.00" ver- upd+ show+

#com os campos de ra e dec e observat ja corrigidos
#observar se os cabecalhos tambem possuem data e tempo sideral da observacao
#corrigir as padroes se for necessario

#Correcao de tempo sideral nos cabecalhos

#contedudo do arquivo cmds:
## st = mst (date,ut,obsdb (observat, "longitude"))
## ha = sexstr(st - ra)

cd home$00set21/ngc1981
asthedit ngc* cmds.dat verbose+

cd home$00set21/padroes
asthedit *.fits cmds.dat verbose+

#Calculo das massas de ar

cd home$00set21/ngc1981
setairmass ngc1981*.fits upd+

cd home$00set21/padroes
setairmass *.fits upd+

#Determinacao do ruido e ganho

#cd home$00set21

#delete rongain.00set21* ver-
#delete sgi* ver-

#findgain flatb0001.fits flatb0002.fits bias0003.fits bias0004.fits section=[250:700,515:750] >> rongain.00set21
#findgain flatb0005.fits flatb0006.fits bias0007.fits bias0008.fits section=[250:700,515:750] >> rongain.00set21
#findgain flatb0009.fits flatb0010.fits bias0011.fits bias0012.fits section=[500:450,720:525] >> rongain.00set21
#findgain flatb0013.fits flatb0014.fits bias0015.fits bias0016.fits section=[500:450,720:525] >> rongain.00set21
#findgain flatb0017.fits flatb0018.fits bias0019.fits bias0020.fits section=[550:550,650:750] >> rongain.00set21
#findgain flatb0020.fits flatb0019.fits bias0018.fits bias0017.fits section=[550:550,650:750] >> rongain.00set21

#findgain flatv0016.fits flatv0015.fits bias0014.fits bias0013.fits section=[250:700,515:750] >> rongain.00set21
#findgain flatv0012.fits flatv0011.fits bias0010.fits bias0009.fits section=[250:700,515:750] >> rongain.00set21
#findgain flatv0008.fits flatv0007.fits bias0006.fits bias0005.fits section=[500:450,720:525] >> rongain.00set21
#findgain flatv0004.fits flatv0003.fits bias0002.fits bias0001.fits section=[500:450,720:525] >> rongain.00set21
#findgain flatv0001.fits flatv0002.fits bias0003.fits bias0004.fits section=[550:550,650:750] >> rongain.00set21
#findgain flatv0005.fits flatv0006.fits bias0007.fits bias0008.fits section=[550:550,650:750] >> rongain.00set21

#findgain flatr0009.fits flatr0010.fits bias0011.fits bias0012.fits section=[250:700,515:750] >> rongain.00set21
#findgain flatr0013.fits flatr0014.fits bias0015.fits bias0016.fits section=[250:700,515:750] >> rongain.00set21
#findgain flatr0017.fits flatr0018.fits bias0019.fits bias0020.fits section=[500:450,720:525] >> rongain.00set21
#findgain flatr0020.fits flatr0019.fits bias0017.fits bias0016.fits section=[500:450,720:525] >> rongain.00set21
#findgain flatr0015.fits flatr0014.fits bias0013.fits bias0012.fits section=[550:550,650:750] >> rongain.00set21
#findgain flatr0011.fits flatr0010.fits bias0009.fits bias0008.fits section=[550:550,650:750] >> rongain.00set21

#findgain flati0007.fits flati0006.fits bias0005.fits bias0004.fits section=[250:700,515:750] >> rongain.00set21
#findgain flati0003.fits flati0002.fits bias0001.fits bias0002.fits section=[250:700,515:750] >> rongain.00set21
#findgain flati0003.fits flati0004.fits bias0005.fits bias0006.fits section=[500:450,720:525] >> rongain.00set21
#findgain flati0007.fits flati0008.fits bias0009.fits bias0010.fits section=[500:450,720:525] >> rongain.00set21
#findgain flati0011.fits flati0012.fits bias0013.fits bias0014.fits section=[550:550,650:750] >> rongain.00set21

```

```

#findgain flat10015.fits flat10016.fits bias0017.fits bias0018.fits section=[550:550,650:750] >> rongain.00set21

#Visualizacao grafica do gain e ron

#graph rongain.00set21 point+ title="Ruido vs. Ganho (00set21)" \
#xlabel="Ganho (e/ADU)" ylabel="Ruido de Leitura (ADU)" round+ device=epsf
#gflush
#rename sgi* rongain.00set21.eps

#Corrigir cabecalhos com o novo valor de ganho e ruido caso seja necessario

#hedit *.fits gain value=" " ver- upd+ show+
#hedit *.fits rdnoise value=" " ver- upd+ show+

#####
#Processamento das imagens de Bias e Flat
#####

#Combinando Bias

cd home$00set21
zerocombine.gain="gain"
zerocombine.rdnoise="rdnoise"

delete stat_zero ver-
imdel zerocomb.fits ver-
zerocombine bias*.fits output="zerocomb" combine=average reject=avsigclip \
statsec=[250:800,250:800]

incopy zerocomb[300:650,300:650] sec350_zero

imstat zerocomb.fits >> stat_zero
imstat bias* >> stat_zero

#Corrigindo as imagens de Flat de Bias e Overscan

cd home$00set21
ccdproc.noproc=no
ccdproc.biassec="[1:17,1:1050]"
ccdproc.function="chebyshev"
ccdproc.interac=no
ccdproc.trimsec="[23:1038,05:1020]"

ccdproc images="flat*" ccdtype="flat" overscan+ trim- zerocor+ \
zero="home$00set21/zerocomb"

#Combinando e normalizando as imagens de Flat

cd home$00set21
flatcombine.gain="gain"
flatcombine.rdnoise="rdnoise"

delete stat_flat ver-
imdel flatcomb* ver-
flatcombine input="flat*.fits" output="flatcomb_" combine=median scale=mode \
reject=crreject subsets+ process- statsec=[250:800,250:800]

imstat flat* >> stat_flat

normalize flatcomb_B sample=[250:800,250:800]
normalize flatcomb_V sample=[250:800,250:800]
normalize flatcomb_R sample=[250:800,250:800]
normalize flatcomb_I sample=[250:800,250:800]

ccdproc images="flatcomb*" ccdtype="flat" trim+
ccdproc images="zerocomb*" ccdtype="zero" trim+

#Seccionando bias e flat para se ajustarem ao campo reduzido das padroes

imdel sec350* ver-
incopy flatcomb_B[300:650,300:650] sec350_flatB
incopy flatcomb_V[300:650,300:650] sec350_flatV
incopy flatcomb_R[300:650,300:650] sec350_flatR
incopy flatcomb_I[300:650,300:650] sec350_flatI

cd home$00set21/
hedit sec350* field=ccdsec delete+ ver- upd+

#Subtracao de bias e correcao de flat das imagens

cd home$00set21/ngc1981
ccdproc images="ngc1981*.fits" ccdtype="object" trim+ overscan+ zerocor+ \
zero="home$00set21/zerocomb"

ccdproc.minreplace=0.7
ccdproc images="ngc1981*.fits" ccdtype="object" trim+ \
flatcor+ flat="home$00set21/flatcomb_*"

cd home$00set21/padroes
ccdproc images="*.fits" ccdtype="object" trim- overscan- zerocor+ \
zero="home$00set21/sec350_zero" flatcor+ flat="home$00set21/sec350_flat*"

#####
#Encontrando o thresh (erro aleatorio do nivel do ceu)
#escolher regioao livre de estrelas
#####

```



```

cd home$00set21/ngc1981
delete skysigma.00set21 ver-

findthresh images="ngc1981ce*" section=[520:490,690:640] gain=5.0 readnoise=4.9 >> skysigma.00set21
findthresh images="ngc1981cw*" section=[430:490,740:700] gain=5.0 readnoise=4.9 >> skysigma.00set21
findthresh images="ngc1981n*" section=[310:480,550:650] gain=5.0 readnoise=4.9 >> skysigma.00set21
findthresh images="ngc1981ne*" section=[400:410,610:550] gain=5.0 readnoise=4.9 >> skysigma.00set21
findthresh images="ngc1981nw*" section=[600:650,780:780] gain=5.0 readnoise=4.9 >> skysigma.00set21
findthresh images="ngc1981s*" section=[680:500,850:700] gain=5.0 readnoise=4.9 >> skysigma.00set21

#####
#Lista com operacoes feitas sobre cada imagem
#####

#ccdlist *.fits lot >> ccdlist.00set21

cd home$00set21
imdel bias* ver-

```

A.2 Processamento das imagens de NGC1981

```

#Task para processamento das imagens de NGC1981

#CURVA DE CRESCIMENTO PARA AS PADROES
datapars.fwhmpsf=1.5          #valor obtido da estrela com imexamine(r)
datapars.sigma=1.3           #valor obtido das contagens de background com
datapars.datamin=-75         #imexamine(m)
datapars.datamax=32000
datapars.noise="poisson"
datapars.ccdread="rdnoise"
datapars.gain="gain"
datapars.exposu="exptime"
datapars.airmass="airmass"
datapars.filter="filters"
datapars.obstime="utmiddle"

centerpars.calgori="centroid"
centerpars.cbox=6
centerpars.maxshift=5

fitskypars.salgori="centroid"
fitskypars.annulus=25
fitskypars.dannulus=5

photpars.apertur="2:25:0.5"

phot interac+ verify- verbose+ coords="" output="curvacres.mag"

txdump curvacres.mag rapert,mag >> tabela.mag

graph tabela.mag

#ARQUIVO DE COORDENADAS
daofind.image="@lista_padroes"
daofind.output="default"

datapars.sigma=10            #valores representativos do conjunto
datapars.fwhmpsf=2.4
findpars.thresho=500        #ajuste para limite inferior de 500 contagens

cd home$00set21/padroes
daofind verify- verbose+ >> daofind.log

#DETERMINACAO DAS MAGNITUDES
phot.image="@lista_padroes"
phot.coord="default"
phot.output="padroes_phot"
phot.interac=no
phot.verify=no
phot.verbose=yes

datapars.sigma=3            #resetando valores representativos do conjunto
datapars.fwhmpsf=2.4

centerpars.calgori="none"   #centros calculados por daofind sao precisos
                                # o suficiente
fitskypars.annulus=20      #valor de abertura para o ceu
fitskypars.dannulu=5

photpars.apertur=20        #valor da abertura conseguido na curva de
                                # crescimento

cd home$00set21/padroes
phot >> phot.log

                                #buscando por erros no processo
txdump padroes_phot image,xcenter,ycenter,mag,merr,cier,sier,pier "yes" \
>> phot_erros

```

```

#SOLUCAO DAS ESTRELAS PADRAO

#construcao do catalogo de padroes -> ja pronto no iraf (photcal\$catalogs)

#construcao do arquivo de agrupamento -> construir a partir da lista de imagens
# (lista_padroes) usando o editor.

mknobsfile.photfile="padroes_phot"
mknobsfile.idfilters="B,I,R,V" #usar mesma ordem do arquivo de agrupamento
mknobsfile.imsets="padroes_imgset"
mknobsfile.observat="padroes_obsfile"
mknobsfile.toleran=6 #aumentar se necessário

mknobsfile >> mknobsfile.log #criacao do arquivo de observacoes

mkconfig.config="padroes_config"
mkconfig.observat="padroes_obsfile"
mkconfig.catalog="landolt"
mkconfig.transfor="landolt"
mkconfig.catdir="home$00set21/padroes"

mkconfig #criacao do arquivo de configuracao

#0 ajuste interativo dos parametros das equacoes de transformacao será
#realizado em dois passos. Inicialmente o ajuste será realizado apenas com as
#estrelas de extincao para a determinacao dos coeficientes de extincao. Entao,
#usando o restante das estrelas padrao, os coeficiente de cor serao
#determinados em um segundo ajuste, onde os termos de extincao nao serao
#ajustados, mas mantidos constantes nos valores encontrados no primeiro ajuste.

#Do arquivo de observacoes "padroes_obsfile" criamos o arquivo
#"extincao_obsfile" contendo apenas as padroes de extincao, e o arquivo
#"cor_obsfile" contendo o restante das padroes. Alem disso modificamos o
#arquivo de configuracao "padroes_config" criando duas versoes dele. Na versao
#chamada "extincao_config" as equacoes irao ajustar os termos de extincao
#(primeira e segunda ordem) e o termo de ponto zero, mantendo o termo de cor
#nulo. Na versao chamada "cor_config" as equacoes irao ajustar os termos de
#cor e de ponto zero, mantendo os termos de extincao constantes, com os valores
#encontrados no ajuste de extincao.

fitparams.catalogs="landolt.dat" #parametros gerais para o ajuste
# interativo

fitparams.weighting="photometric"
fitparams.logfile="fitparams.log"
fitparams.catdir="home$00set21/padroes"

fitparams.observat="extincao_obsfile"
fitparams.config="extincao_config"
fitparams.paramete="extincao_params"

fitparams addscatter+ log_fit+ #ajuste interativo dos termos de
#extincao (primeira e segunda ordens):
# b2,v2,r2,i2 b4,v4,r4,i4

fitparams.observat="cor_obsfile"
fitparams.config="cor_config"
fitparams.paramete="cor_params"

fitparams addscatter+ log_fit+ #ajuste interativo dos termos de cor e
#ponto zero:
# b1,v1,r1,i1 b3,v3,r3,i3

#Teste da qualidade do ajuste: fazendo o ajuste inverso.
invertfit.observat="padroes_obsfile"
invertfit.config="cor_config"
invertfit.paramete="cor_params"
invertfit.calib="padroes_calib"
invertfit.catalog="landolt.dat"
invertfit.catdir="home$00set21/padroes"

invertfit >> invertfit.log

#PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DO AGLOMERADO

#Alinhando as imagens

xregister.regions="[*,*]"
xregister.interp="linear"
xregister.correla="discrete"
xregister.append=yes

xregister.input="ngc1981ce*.fits"
xregister.reference="ngc1981ceb0001"
xregister.shifts="ce_shifts"
xregister output="ngc1981ce*.fits" #registrando as imagens campo CE

#xregister #verificando a qualidade do alinhamento

xregister output="ngc1981ce*.fits" #melhorando o alinhamento repetindo a
# tarefa

xregister.input="ngc1981cw*.fits"
xregister.reference="ngc1981cwb0004"
xregister.shifts="cw_shifts"
xregister output="ngc1981cw*.fits" #registrando as imagens campo CW

```

```

#xregister                                #verificando a qualidade do alinhamento

xregister output="ngc1981cw*.fits"         #melhorando o alinhamento

xregister.input="@ngc1981n"
xregister.reference="ngc1981nb0001"
xregister.shifts="n_shifts"
xregister output="@ngc1981n"              #registrando as imagens campo N

#xregister                                #verificando a qualidade do alinhamento

xregister output="@ngc1981n"              #melhorando o alinhamento repetindo

xregister.input="ngc1981ne*.fits"
xregister.reference="ngc1981neb0003"
xregister.shifts="ne_shifts"
xregister output="ngc1981ne*.fits"       #registrando as imagens campo NE

#xregister                                #verificando a qualidade do alinhamento

xregister ngc1981neb0003 ngc1981neb0002 output=ngc1981neb0003
#melhorando o alinhamento com outra
# imagem referencia

xregister.input="ngc1981ne*.fits"
xregister.reference="ngc1981neb0003"
xregister output="ngc1981ne*.fits"       #melhorando o alinhamento repetindo

xregister.input="ngc1981nw*.fits"
xregister.reference="ngc1981nwb0001"
xregister.shifts="nw_shifts"
xregister output="ngc1981nw*.fits"       #registrando as imagens campo NW

#xregister                                #verificando a qualidade do alinhamento

xregister ngc1981nwb0001 ngc1981nwb0002 output=ngc1981nwb0001
#melhorando o alinhamento mudando a
# referencia

xregister.input="ngc1981s*.fits"
xregister.reference="ngc1981sb0003"
xregister.shifts="s_shifts"
xregister output="ngc1981s*.fits"        #registrando as imagens campo S

#xregister                                #verificando a qualidade do alinhamento

xregister output="ngc1981s*.fits"        #melhorando o alinhamento repetindo

#Somando as imagens

cd home$00set21/ngc1981
imarith.hparams="exptime,darktime,iraf-max,iraf-min"

imarith ngc1981ceb0001 + ngc1981ceb0002 ngc1981ceb0012
hedit ngc1981ceb0012 rdnoise '(real((rdnoise)*sqrt(2)))' ver- show+ upd+

imarith ngc1981cwb0003 + ngc1981cwb0004 ngc1981cwb0034
hedit ngc1981cwb0034 rdnoise '(real((rdnoise)*sqrt(2)))' ver- show+ upd+

imarith ngc1981nb0001 + ngc1981nb0002 ngc1981nb0012
hedit ngc1981nb0012 rdnoise '(real((rdnoise)*sqrt(2)))' ver- show+ upd+

imarith ngc1981neb0002 + ngc1981neb0003 ngc1981neb0023
hedit ngc1981neb0023 rdnoise '(real((rdnoise)*sqrt(2)))' ver- show+ upd+

imarith ngc1981nwb0001 + ngc1981nwb0002 ngc1981nwb0012
hedit ngc1981nwb0012 rdnoise '(real((rdnoise)*sqrt(2)))' ver- show+ upd+

imarith ngc1981sb0002 + ngc1981sb0003 ngc1981sb0023
hedit ngc1981sb0023 rdnoise '(real((rdnoise)*sqrt(2)))' ver- show+ upd+

#Criacao do arquivo de coordenadas

datapars.datamin=-75
datapars.datamax=64000
datapars.fwhm=3.0
datapars.sigma=2.5
findpars.threshold=30
daofind.interac=no

tvmark.deletio="del"
tvmark.mark="circle"
tvmark.radii=15
tvmark.nxoffse=5
tvmark.nyoffse=5
tvmark.label=yes
tvmark.toleran=5

#campo CE

daofind ngc1981ceb0012.fits output="ce_1.coo" >> daofind_ce.log
display ngc1981ceb0001.fits 1
display ngc1981cer0001.fits 2

```

```

tvmark 2 ce_l.coo interac+ label+

txsort ce_l.coo YCENTER
txrenumber ce_l.coo id="ID"

txsort ce_c.coo YCENTER
txrenumber ce_c.coo id="ID"

#campo CW

daofind ngc1981cwb0034 output="cw_l.coo" >> daofind_cw.log
display ngc1981cwb0004 1
display ngc1981cwi0002 2

tvmark 1 cw_l.coo interac+

txsort cw_l.coo YCENTER
txrenumber cw_l.coo id="ID"

txsort cw_c.coo YCENTER
txrenumber cw_c.coo id="ID"

#campo N

datapars.sigma=14.0
findpars.threshold=50
daofind ngc1981nb0012 output="n_l.coo" >> daofind_n.log
display ngc1981nb0001 1
display ngc1981ni0002 2

tvmark 1 n_l.coo interac+

txsort n_l.coo YCENTER
txrenumber n_l.coo id="ID"

txsort n_c.coo YCENTER
txrenumber n_c.coo id="ID"

#campo NE

datapars.sigma=3.0
findpars.threshold=50
daofind ngc1981neb0023 output="ne_l.coo" >> daofind_ne.log
display ngc1981neb0003 1
display ngc1981nei0002 2

tvmark 1 ne_l.coo interac+

txsort ne_l.coo YCENTER
txrenumber ne_l.coo id="ID"

txsort ne_c.coo YCENTER
txrenumber ne_c.coo id="ID"

#campo NW

datapars.sigma=3.3
findpars.threshold=50
daofind ngc1981nwb0012 output="nw_l.coo" >> daofind_nw.log
display ngc1981nwb0001 1
display ngc1981nwi0001 2

tvmark 1 nw_l.coo interac+

txsort nw_l.coo YCENTER
txrenumber nw_l.coo id="ID"

txsort nw_c.coo YCENTER
txrenumber nw_c.coo id="ID"

#campo S

datapars.sigma=3.3
findpars.threshold=50
daofind ngc1981sb0023 output="s_l.coo" >> daofind_s.log
display ngc1981sb0003 1
display ngc1981si0002 2

tvmark 1 s_l.coo interac+

txsort s_l.coo YCENTER
txrenumber s_l.coo id="ID"

txsort s_c.coo YCENTER
txrenumber s_c.coo id="ID"

#Obtendo as magnitudes

datapars.sigma=4
datapars.fwhmpsf=3
datapars.datamax=64000
datapars.datamin=-75
datapars.noise="poisson"

centerpars.calgori="none"

```

```

fitskypars.salgori="centroid"
fitskypars.annulus=15
fitskypars.dannulu=5

photpars.apertur=15

#Campo CE

cd home$00set21/ngc1981
!rm -f *.c
!rm -f *.l
!rm -f *.mag
!rm -f phot*.log

hselect ngc1981ce*.fits $I "exptime==1" >> ngc1981ce.c

phot.image="@ngc1981ce.c"
phot.coords="ce_c.coo"
phot.output="ce_c.mag"

phot >> phot_ce.log

hselect ngc1981ce*.fits $I "exptime=20 | exptime=65" >> ngc1981ce.l

phot.image="@ngc1981ce.l"
phot.coords="ce_l.coo"
phot.output="ce_l.mag"

phot >> phot_ce.log

#Campo CW

hselect ngc1981cw*.fits $I "exptime==1" >> ngc1981cw.c

phot.image="@ngc1981cw.c"
phot.coords="cw_c.coo"
phot.output="cw_c.mag"

phot >> phot_cw.log

hselect ngc1981cw*.fits $I "exptime=20 | exptime=65" >> ngc1981cw.l

phot.image="@ngc1981cw.l"
phot.coords="cw_l.coo"
phot.output="cw_l.mag"

phot >> phot_cw.log

#Campo N

hselect ngc1981n700?.fits $I "exptime==1" >> ngc1981n.c

phot.image="@ngc1981n.c"
phot.coords="n_c.coo"
phot.output="n_c.mag"

phot >> phot_n.log

hselect ngc1981n700?.fits $I "exptime=20 | exptime=65" >> ngc1981n.l

phot.image="@ngc1981n.l"
phot.coords="n_l.coo"
phot.output="n_l.mag"

phot >> phot_n.log

#Campo NE

hselect ngc1981ne*.fits $I "exptime==1" >> ngc1981ne.c

phot.image="@ngc1981ne.c"
phot.coords="ne_c.coo"
phot.output="ne_c.mag"

phot >> phot_ne.log

hselect ngc1981ne*.fits $I "exptime=20 | exptime=65" >> ngc1981ne.l

phot.image="@ngc1981ne.l"
phot.coords="ne_l.coo"
phot.output="ne_l.mag"

phot >> phot_ne.log

#Campo NW

hselect ngc1981nw*.fits $I "exptime==1" >> ngc1981nw.c

phot.image="@ngc1981nw.c"
phot.coords="nw_c.coo"
phot.output="nw_c.mag"

phot >> phot_nw.log

hselect ngc1981nw*.fits $I "exptime=20 | exptime=65" >> ngc1981nw.l

```

```

phot.image="@ngc1981nw.l"
phot.coords="nw_l.coo"
phot.output="nw_l.mag"

phot >> phot_nw.log

#Campo S

hselect ngc1981s*.fits $I "exptime==1" >> ngc1981s.c

phot.image="@ngc1981s.c"
phot.coords="s_c.coo"
phot.output="s_c.mag"

phot >> phot_s.log

hselect ngc1981s*.fits $I "exptime=20 | exptime=65" >> ngc1981s.l

phot.image="@ngc1981s.l"
phot.coords="s_l.coo"
phot.output="s_l.mag"

phot >> phot_s.log

#Procurando por erros

txdump ce_l.mag image,lid,pier,sier "pier!=0 || sier!=0"
txdump ce_c.mag image,lid,pier,sier "pier!=0 || sier!=0"

txdump cw_l.mag image,lid,pier,sier "pier!=0 || sier!=0"
txdump cw_c.mag image,lid,pier,sier "pier!=0 || sier!=0"

txdump n_l.mag image,lid,pier,sier "pier!=0 || sier!=0"
txdump n_c.mag image,lid,pier,sier "pier!=0 || sier!=0"

txdump ne_l.mag image,lid,pier,sier "pier!=0 || sier!=0"
txdump ne_c.mag image,lid,pier,sier "pier!=0 || sier!=0"

txdump nw_l.mag image,lid,pier,sier "pier!=0 || sier!=0"
txdump nw_c.mag image,lid,pier,sier "pier!=0 || sier!=0"

txdump s_l.mag image,lid,pier,sier "pier!=0 || sier!=0"
txdump s_c.mag image,lid,pier,sier "pier!=0 || sier!=0"

txconcat c*.mag,n*.mag,s*.mag ngc1981.mag
hselect ngc1981c*.fits $I,filters "exptime==1" >> temp
hselect ngc1981n?00?.fits $I,filters "exptime==1" >> temp
hselect ngc1981ne*.fits $I,filters "exptime==1" >> temp
hselect ngc1981nw*.fits $I,filters "exptime==1" >> temp
hselect ngc1981s*.fits $I,filters "exptime==1" >> temp

hselect ngc1981c*.fits $I,filters "exptime=20 | exptime=65" >> temp
hselect ngc1981n?000?.fits $I,filters "exptime=20 | exptime=65" >> temp
hselect ngc1981ne*.fits $I,filters "exptime=20 | exptime=65" >> temp
hselect ngc1981nw*.fits $I,filters "exptime=20 | exptime=65" >> temp
hselect ngc1981s*.fits $I,filters "exptime=20 | exptime=65" >> temp

mkimsets.imlist="temp"
mkimsets.idfilter="B I R V"
mkimsets.imsets="ngc1981_imset"
mkimsets.input="user"
mkimsets.filter=2

mkimsets edit- rename+ review-

mkobsfile.photfile="ngc1981.mag"
mkobsfile.idfilter="B I R V"
mkobsfile.observat="ngc1981_obsfile"
mkobsfile.imsets="ngc1981_imset"
mkobsfile.allfilt=yes

mkobsfile >> mkobsfile.log

#Obtendo as magnitudes no sistema padrao

invertfit.observat="ngc1981_obsfile"
invertfit.config="ngc1981_config"
invertfit.catalog=" "
invertfit.errors="obserrors"

invertfit.paramete="home$/00set21/padroes/cor_params"
invertfit.calib="ngc1981_calib"

invertfit >> invertfit.log

#Construcao do mosaico a partir dos shifts determinados
# o mosaico será criado a partir das imagens de curta exposicao (exptime=1)

hselect ngc1981*.fits $I "exptime==1 & filters=='R'" >> mosaico_lista
combine '@mosaico_lista' mosaico.fits combine=median offsets=moffset scale=mode

#conteúdo do arquivo moffset e do arquivo mosaico_lista
#0 0 ngc1981cer0002.fits

```

#178 -708	ngc1981cwr0001.fits
#-778 -16	ngc1981ner0001.fits
#424 -858	ngc1981nr0002.fits
#-197.5 -978	ngc1981nr0002.fits
#-589 -730	ngc1981sr0001.fits

Apêndice B

Rotinas IDL utilizadas

As rotinas IDL utilizados neste trabalho encontram-se disponíveis no endereço eletrônico: www.fisica.ufmg.br/~wag/transf/SOFTWARE/OPENCLU.

B.1 Seleção e exclusão de estrelas repetidas

```
pro mosaico_1

nce=43
ncw=54
nne=65
nnw=60
nn=46
ns=86

datace=fltarr(3,nce)
datacw=fltarr(3,ncw)
datane=fltarr(3,nne)
datanw=fltarr(3,nnw)
datan=fltarr(3,nn)
datas=fltarr(3,ns)

openr,1,'datace'
readf,1,datace
close,1

openr,1,'datacw'
readf,1,datacw
close,1

openr,1,'datane'
readf,1,datane
close,1

openr,1,'datanw'
readf,1,datanw
close,1

openr,1,'datan'
readf,1,datan
close,1

openr,1,'datas'
readf,1,datas
close,1

shiftcw=fltarr(3,ncw)
shiftne=fltarr(3,nne)
shiftnw=fltarr(3,nnw)
shiftn=fltarr(3,nn)
shifts=fltarr(3,ns)

ceid=string(round(datace(0,*)))

strput,ceid,'ce'
ceid=strcompress(ceid, /remove_all)

neid=string(round(datane(0,*)))
strput,neid,'ne'
neid=strcompress(neid, /remove_all)

sid=string(round(datas(0,*)))
strput,sid,'s'
sid=strcompress(sid, /remove_all)

nwid=string(round(datanw(0,*)))
strput,nwid,'nw'
nwid=strcompress(nwid, /remove_all)

cwid=string(round(datacw(0,*)))
strput,cwid,'cw'
cwid=strcompress(cwid, /remove_all)

nid=string(round(datan(0,*)))
strput,nid,'n'
nid=strcompress(nid, /remove_all)

neXoff=-774. & neYoff=-16.

shiftne(0,*)=datane(0,*)
shiftne(1,*)=datane(1,*)+neXoff
shiftne(2,*)=datane(2,*)+neYoff

sXoff=-590. & sYoff=-732.

shifts(0,*)=datas(0,*)
shifts(1,*)=datas(1,*)+sXoff
shifts(2,*)=datas(2,*)+sYoff

nwXoff=-197. & nwYoff=-975.

shiftnw(0,*)=datanw(0,*)
shiftnw(1,*)=datanw(1,*)+nwXoff
shiftnw(2,*)=datanw(2,*)+nwYoff

cwXoff=177. & cwYoff=-707.

shiftcw(0,*)=datacw(0,*)
shiftcw(1,*)=datacw(1,*)+cwXoff
shiftcw(2,*)=datacw(2,*)+cwYoff
```



```

nXoff=421. & nYoff=-856.

shiftn(0,*)=datan(0,*)
shiftn(1,*)=datan(1,*)+nXoff
shiftn(2,*)=datan(2,*)+nYoff

dataXY=fltarr(3,nce+nne+ns+nnw+ncw+nn)
sortX=fltarr(nce+nne+ns+nnw+ncw+nn)
sortY=fltarr(nce+nne+ns+nnw+ncw+nn)
id=strarr(nce+nne+ns+nnw+ncw+nn)

for i=0,(nce-1) do begin
dataXY(*,i)=datane(*,i)
sortX(i)=datane(1,i)
sortY(i)=datane(2,i)
id(i)=ceid(i)
endfor

for i=0,(nne-1) do begin
dataXY(*,nce+i)=datane(*,i)
sortX(nce+i)=shiftne(1,i)
sortY(nce+i)=shiftne(2,i)
id(nce+i)=neid(i)
endfor

for i=0,(ns-1) do begin
dataXY(*,nce+nne+i)=datas(*,i)
sortX(nce+nne+i)=shifts(1,i)
sortY(nce+nne+i)=shifts(2,i)
id(nce+nne+i)=sid(i)
endfor

for i=0,(nnw-1) do begin
dataXY(*,nce+nne+ns+i)=datanw(*,i)
sortX(nce+nne+ns+i)=shiftnw(1,i)
sortY(nce+nne+ns+i)=shiftnw(2,i)
id(nce+nne+ns+i)=nwid(i)
endfor

for i=0,(ncw-1) do begin
dataXY(*,nce+nne+ns+nnw+i)=datacw(*,i)
sortX(nce+nne+ns+nnw+i)=shiftcw(1,i)
sortY(nce+nne+ns+nnw+i)=shiftcw(2,i)
id(nce+nne+ns+nnw+i)=cwid(i)
endfor

for i=0,(nn-1) do begin
dataXY(*,nce+nne+ns+nnw+ncw+i)=datan(*,i)
sortX(nce+nne+ns+nnw+ncw+i)=shiftn(1,i)
sortY(nce+nne+ns+nnw+ncw+i)=shiftn(2,i)
id(nce+nne+ns+nnw+ncw+i)=nid(i)
endfor

sortid=id[sort(sortY)]
sortX=sortX[sort(sortY)]
sortY=sortY[sort(sortY)]

repete=bytarr(n_elements(id))
flag=intarr(n_elements(id))
repete(*)=0
flag(*)=0
cont=0

for i=0,(n_elements(sortid)-2) do begin
if (abs(sortX(i)-sortX(i+1)) lt 10.)$

and (abs(sortY(i)-sortY(i+1)) lt 10.) then begin
repete(i)=1
repete(i+1)=1
flag(i)=cont & flag(i+1)=cont
endif else begin
repete(i)=repete(i)
flag(i)=cont
cont=cont+1
endif
endifor

repid=sortid[where(repete eq 1)]
flagrep=flag[where(repete eq 1)]
repX=fltarr(n_elements(repid))
repY=fltarr(n_elements(repid))
dataX=dataXY(1,*)
dataY=dataXY(2,*)

;print,cont

for i=0,(n_elements(repid)-1) do begin
repX(i)=dataX[where(strmatch(id,repid(i), /fold_case) eq 1)]
repY(i)=dataY[where(strmatch(id,repid(i), /fold_case) eq 1)]
endifor

;for i=0,(n_elements(repid)-1) do print,repid(i),repX(i),repY(i),$
flagrep(i)

xc=508
yc=508

dist=sqrt((repX-xc)^2+(repY-yc)^2)
nomerep=strarr(n_elements(flagrep))

openw,2,'repetidas_1'

tabrep=strarr(n_elements(flagrep))
best=strarr(n_elements(flagrep))

i=0
repeat begin
min=min(dist[where(flagrep eq flagrep(i))])
temp=dist[where(flagrep eq flagrep(i))]
tempid=repid[where(flagrep eq flagrep(i))]
tabrep(i)=strjoin(tempid[where(temp ne min)], ' ', /single)
best(i)=(tempid[where(temp eq min)])
i=i+1
while ((flagrep(i-1) eq flagrep(i)) and$
(i lt (n_elements(flagrep)-1))) do i=i+1
endrep until (i eq (n_elements(flagrep)-1))

tabrep=tabrep[where(tabrep ne '')]
best=best[where(best ne '')]

ordem=[sort(tabrep)]
best=best(ordem)
tabrep=tabrep(ordem)

for i=0,(n_elements(tabrep)-1) do printf,2,'(',best(i),')',$
'',tabrep(i)

close,2

exit
end

```