

Observatórios Virtuais

*Medindo o brilho e a cor das estrelas:
fotometria*

*André de Castro Milone, Ana Maria Zodi &
Cláudia Vilega Rodrigues*

2003

Objetivos

- Entender o processo básico de aquisição, tratamento e análise de imagens astronômicas digitais
 - brilhos e cores de estrelas

Roteiro

- Escolhendo o objeto de estudo
 - Aglomerado de estrelas
 - Identificando-o por meio de binóculos, se possível
- Apontando o telescópio & ligando a câmera
- Coletando fótons
- Tratando as imagens digitais registradas
- Identificando as estrelas nas imagens
- Medindo os brilhos e as cores das estrelas
- Analisando os resultados
- Situando 4 estrelas no diagrama cor-magnitude

Escolhendo o objeto de estudo

- Um aglomerado (globular) de estrelas
 - Todas suas estrelas estão a mesma distância de nós
 - ✓ Portanto, as diferenças de brilho aparente entre as estrelas refletem diretamente as diferenças de brilho absoluto (ou de luminosidade)
 - Com estrelas brilhantes e pouco superpostas
- Messier 71 (NGC 6838: objeto 6838 no *New General Catalogue*)
 - na constelação de Sagitta
 - AR = 19h 53min 57s
 - DEC = +18° 47' 41"
 - Diâmetro aparente de 7 arcmin

- Uma estrela inicial para re-calibrar o apontamento da montagem-telescópio
 - ➔ Estabelecendo o “link” com o programa de controle (PC)
 - ➔ Atualizando o relógio do sistema da montagem
- Entrando com as coordenadas do objeto
 - ➔ No programa de controle ou, localmente, no próprio sistema
- Ligando o detector CCD
 - ➔ Estabelecendo o “link” com o PC de controle-aquisição
 - ➔ Fixando a temperatura de trabalho: -10 graus Celsius
 - ➔ Centralizando o objeto no campo do CCD
 - ➔ Refinando a focalização da imagem
 - ➔ Estimando os tempos de exposição nos filtros C, R, G e B
 - ➔ Se necessário, perfazendo a guiagem para as exposições
 - ➔ Fazendo imagens de “bias” e “flat-field”

Estrutura de um CCD

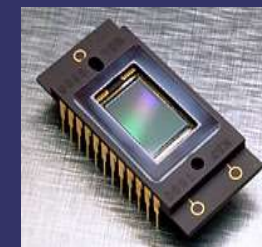
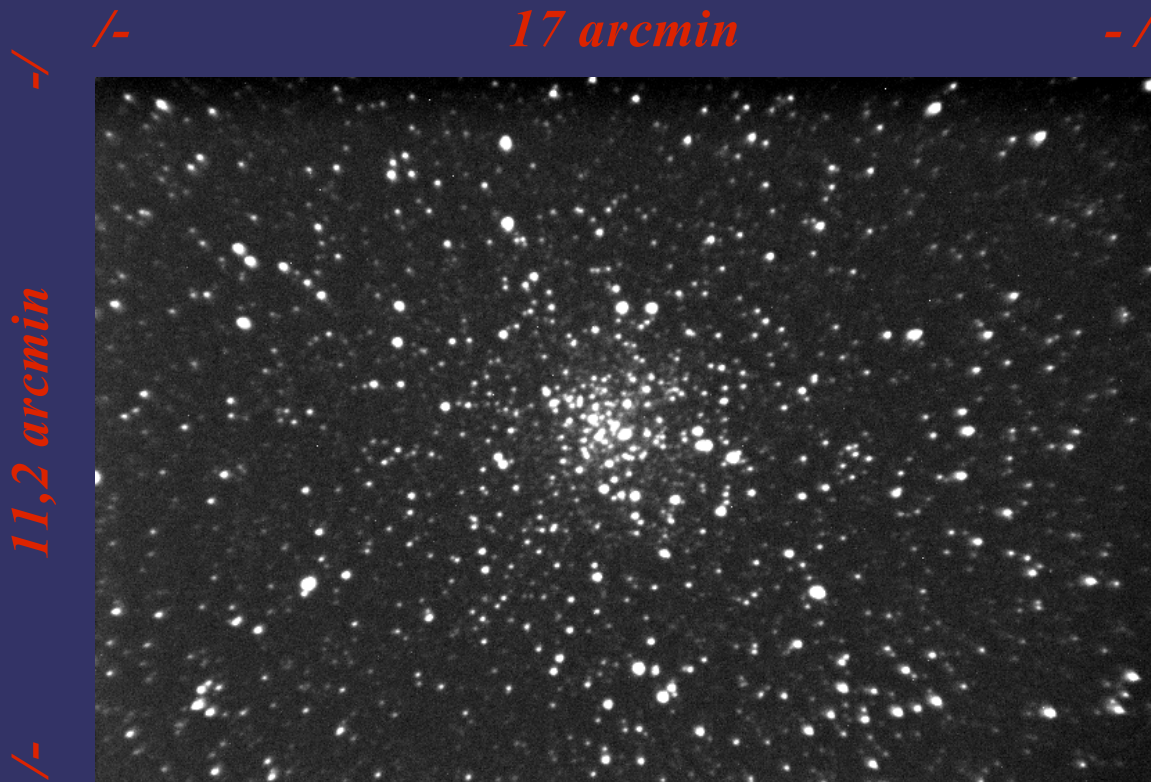
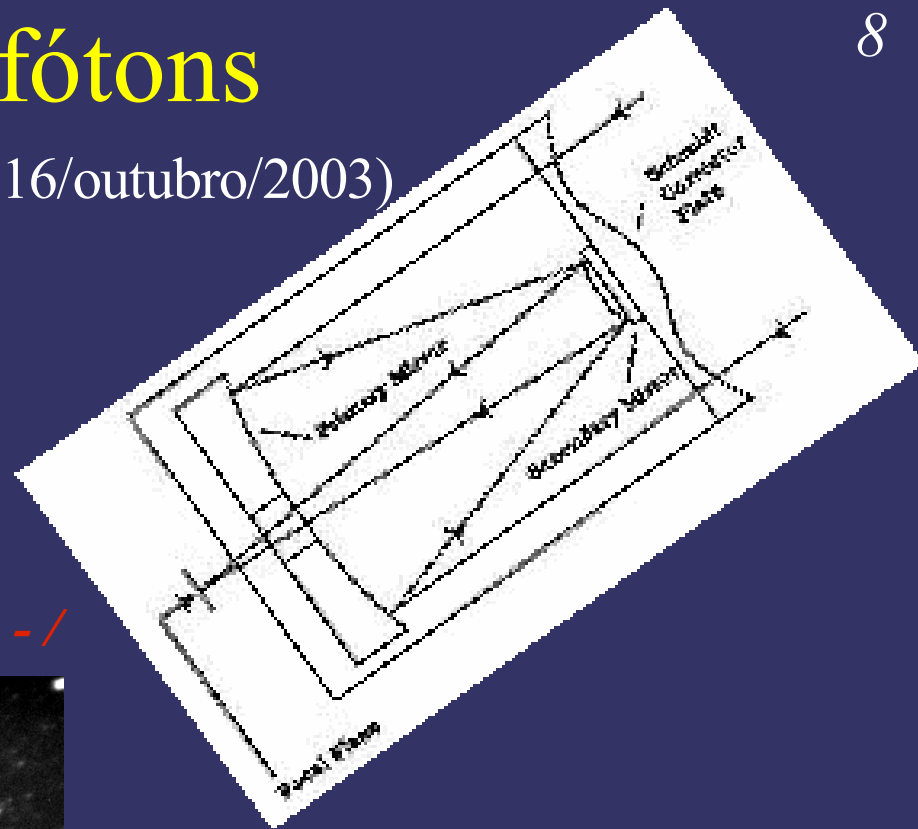
- Podemos dizer de modo aproximado que um CCD é composto por vários detetores dispostos lado a lado
- Cada elemento é chamado de pixel (*picture element*)
- Um CCD possui uma estrutura matricial: seus pixels distribuem-se ao longo de colunas e linhas (*765 colunas e 510 linhas*)
- A imagem final (digital) é representada por valores numéricos associados a cada um dos pixels
- Assim, a representação da imagem por números (matrizes) é simples e conveniente
 - tratamento/processamento de imagens

Olho x CCD

- Do ponto de vista astronômico a grande vantagem do CCD (e também do filme fotográfico) é a possibilidade de integrarmos o sinal em tempo
 - uma imagem pode ser obtida coletando-se a energia da luz por um intervalo de tempo arbitrário
 - assim podemos aumentar a capacidade de detectar objetos pouco brilhantes

Coletando fótons

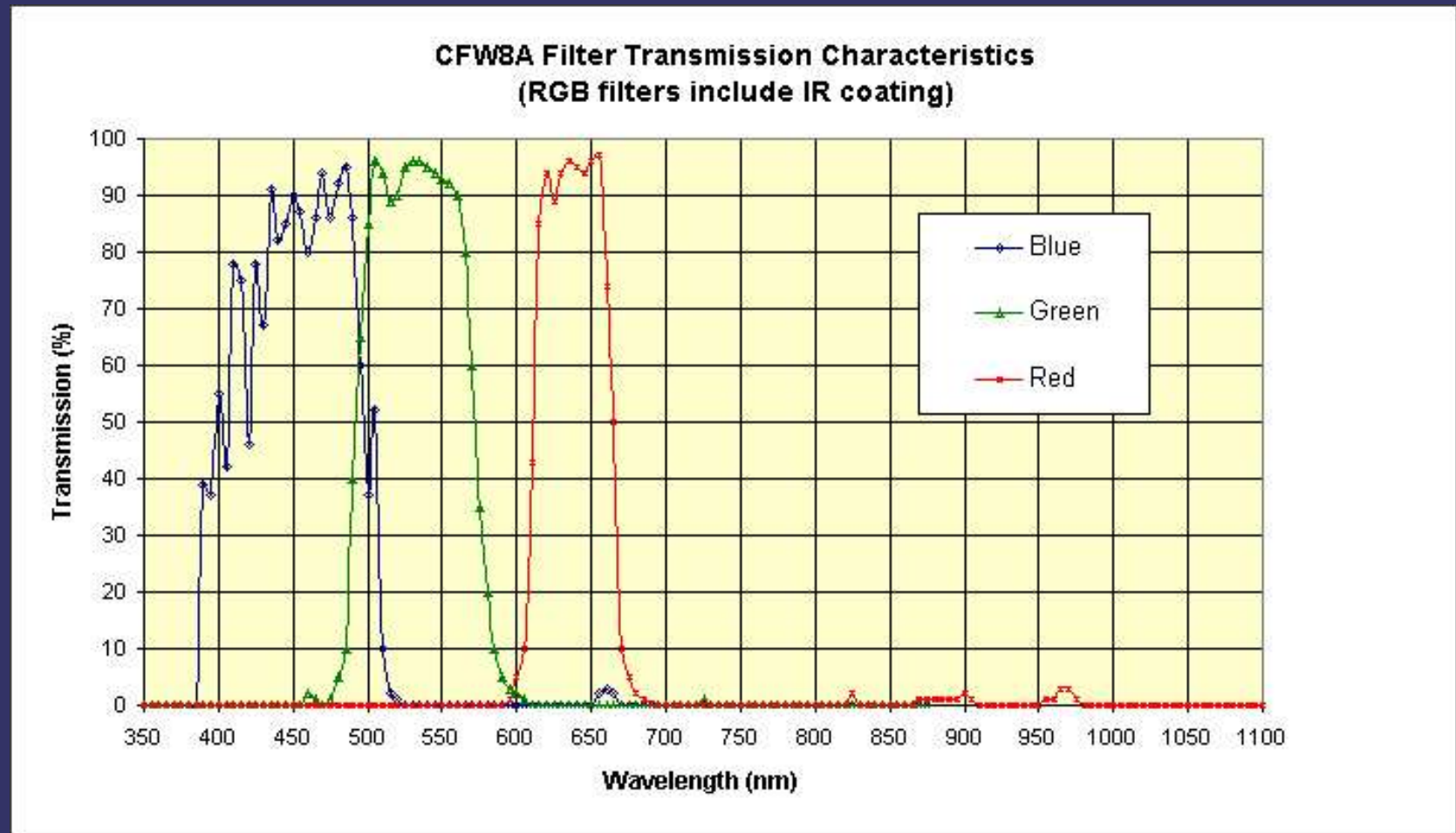
- Exposições curtas sem guiagem (Mini-INPE: 16/outubro/2003)
 - Filtro Clear: 20 s (n. 5)
 - Filtros Red e Green: 10 s (n. 6 e 3)
 - Filtro Blue: 16 s (n. 4)



← Filtro clear

Coletando fótons

Curvas de transmissão dos filtros Red, Green e Blue



- *Imagens brutas* precisam ser tratadas para corrigir das características (“defeitos”) do detector CCD e da iluminação do campo
- ➔ *Bias*: ruído eletrônico de leitura – deve ser subtraído da imagem
- ➔ *Flat*: não-uniformidade da sensibilidade pixel-a-pixel e da iluminação do campo – a imagem deve ser dividida pelo flat

Filtro Vermelho (R)

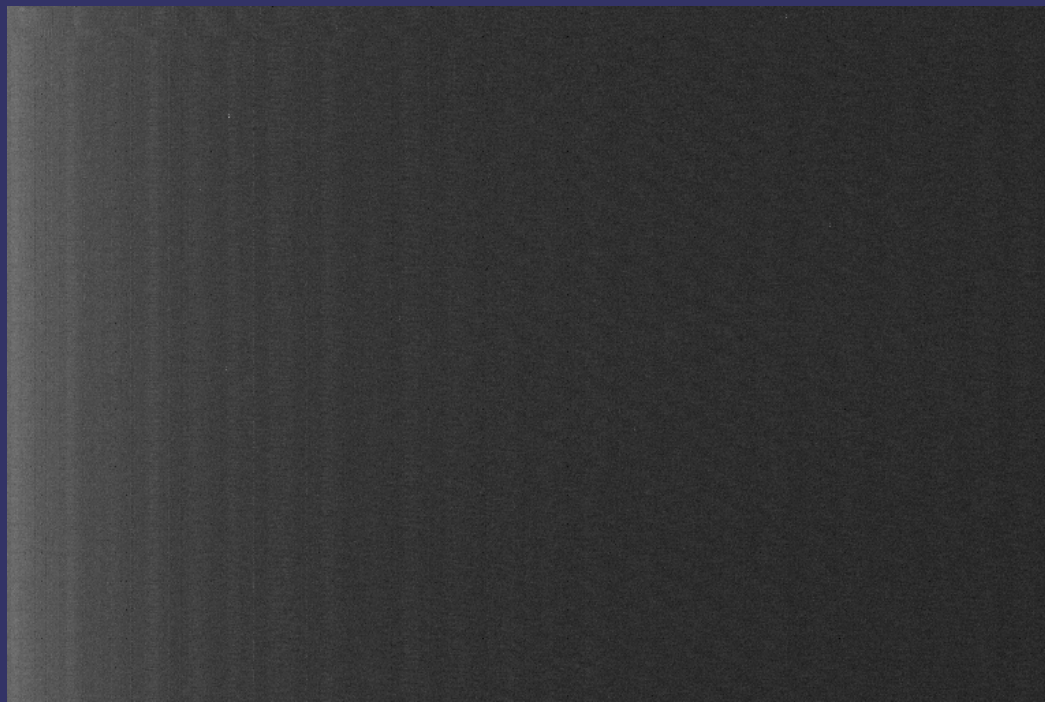


Filtro Azul (B)

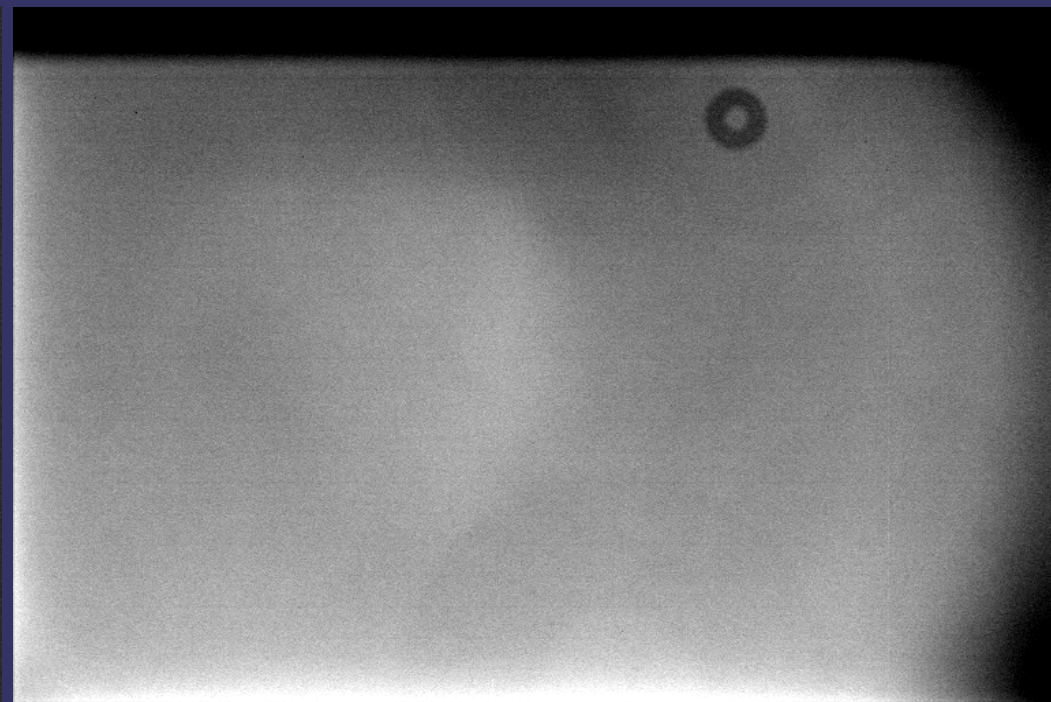


$$\text{Imagem corrigida} = \frac{\text{imagem bruta} - \text{bias}}{\text{flat}}$$

Bias médio



Flat médio p/o filtro Vermelho (R)



$$\text{Imagem corrigida} = \frac{\text{imagem bruta} - \text{bias}}{\text{flat}}$$

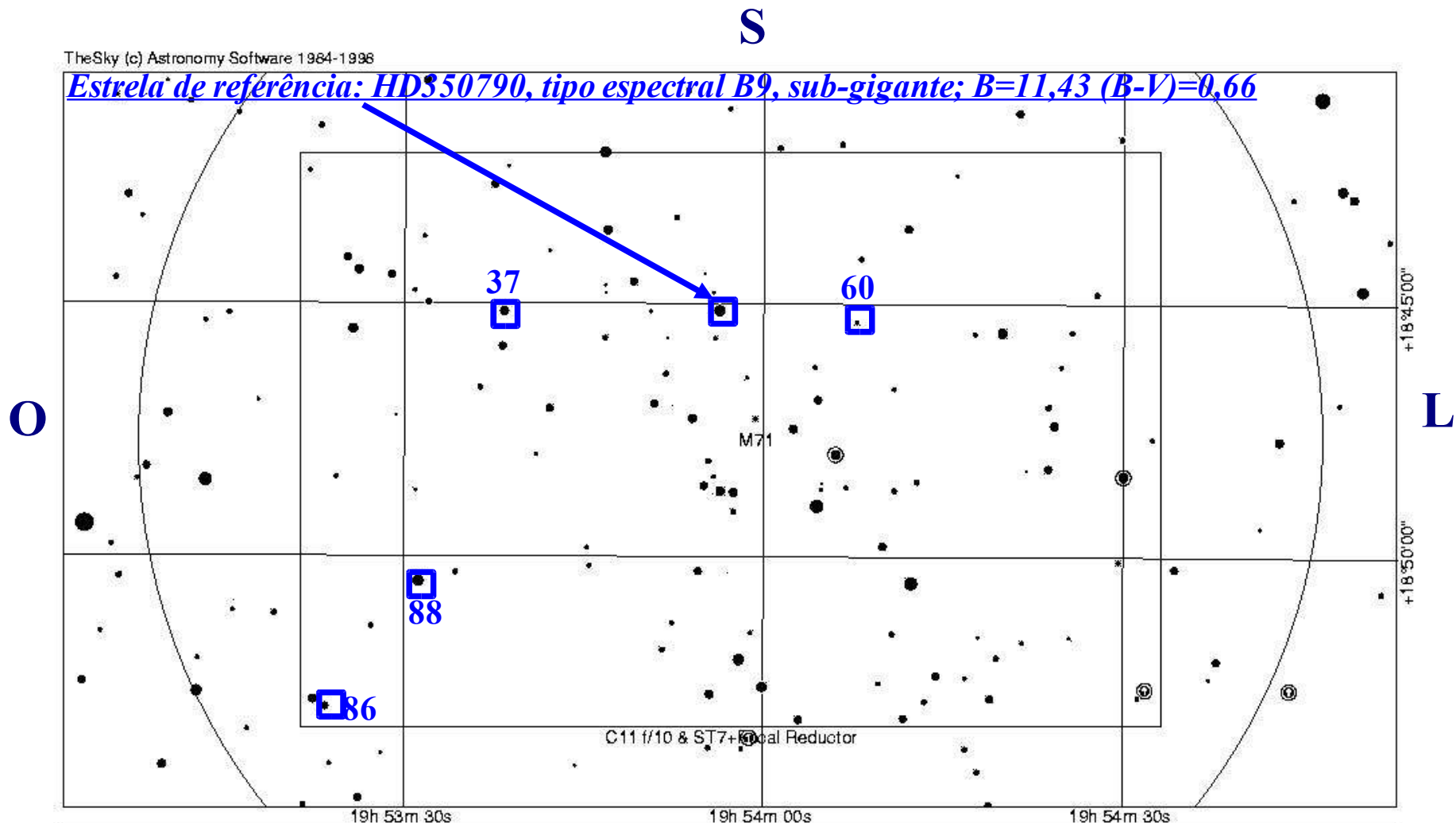
Filtro Vermelho (R)



Filtro Azul (B)



Identificando as estrelas do aglomerado



M71	
NGC 6838	Magnitude: 8.3
Other description: Globular cluster highly resolved.	RA: 19h 53m 57.2s Dec: +18°47'41"
Constellation: Sge	RA: 19h 53m 48.0s Dec: +18°47'00" (Epoch 2000)

N

- magnitude = -2,5 log(Fluxo Líquido) + cte.
 - ✓ Fluxo = Energia por unidades de Área e de Tempo (integrada por toda banda espectral de passagem do conjunto filtro+óptica+CCD+céu)
- Fluxo Líquido = (Fluxo Bruto) – (Fluxo do Céu)
 - ➔ Fluxo Bruto é proporcional à Contagem Total da Imagem Estelar projetada numa dada área do detector (Estrela+Céu!)
 - ➔ Fluxo do Céu é proporcional à Contagem Média devida ao brilho do fundo de céu na mesma área fixa do detector
 - ➔ Fluxo Líquido = Contagem(Estrela+Céu) – Contagem (Céu)
- $\text{mag}(\ast) - \text{mag}(\text{Ref.}) = -2,5 \log[(\ast + \text{Céu} - \text{Céu}) \div (\text{Ref.} + \text{Céu} - \text{Céu})] @ \text{ filtro qq}$
- Estrela de referência – caixa de 9 pixels (*seeing* excelente!):
 - ➔ Filtro Blue: Céu (um pixel)=125 e Referência=10.391 contagens
 - ➔ Filtro Red: Céu (um pixel)=135 e Referência=12.805 contagens
 - ➔ *Impõe-se mag(B)=0,00 e mag(R)=0,00 tal que (B-R)=0,00*

Diagrama (B-R) vs. R: cor-magnitude

- $\text{mag}(B) = +2,5 \log(\text{Referência} \div \text{Estrela})$ @ filtro B
- $\text{mag}(R) = +2,5 \log(\text{Referência} \div \text{Estrela})$ @ filtro R
- $\text{Cor}(B-R) = +2,5 \log((\text{Estr.}@filtroR) \div (\text{Estr.}@filtroB) / (\text{Ref.}@filtroR) \div (\text{Ref.}@filtroB))$

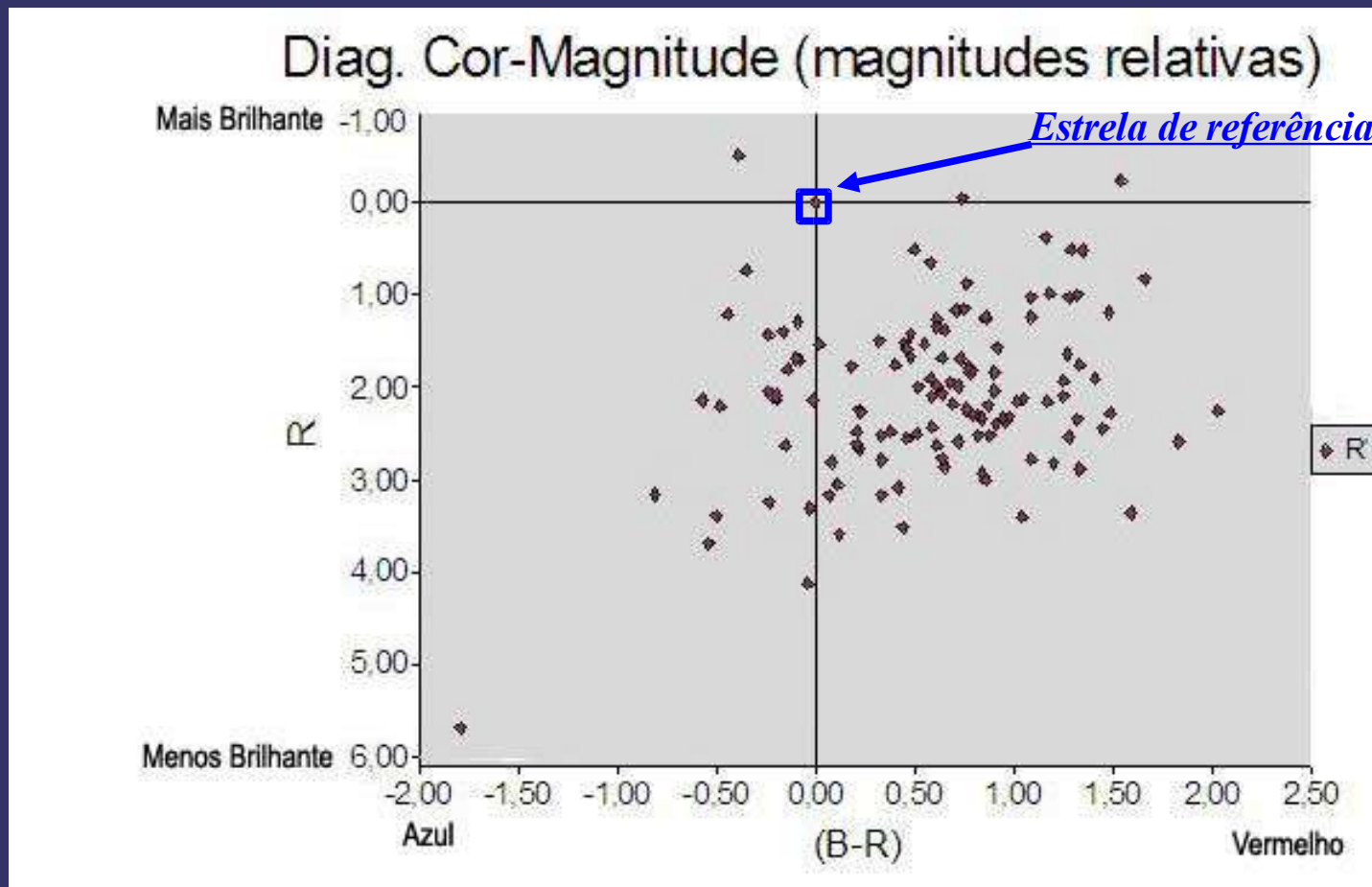
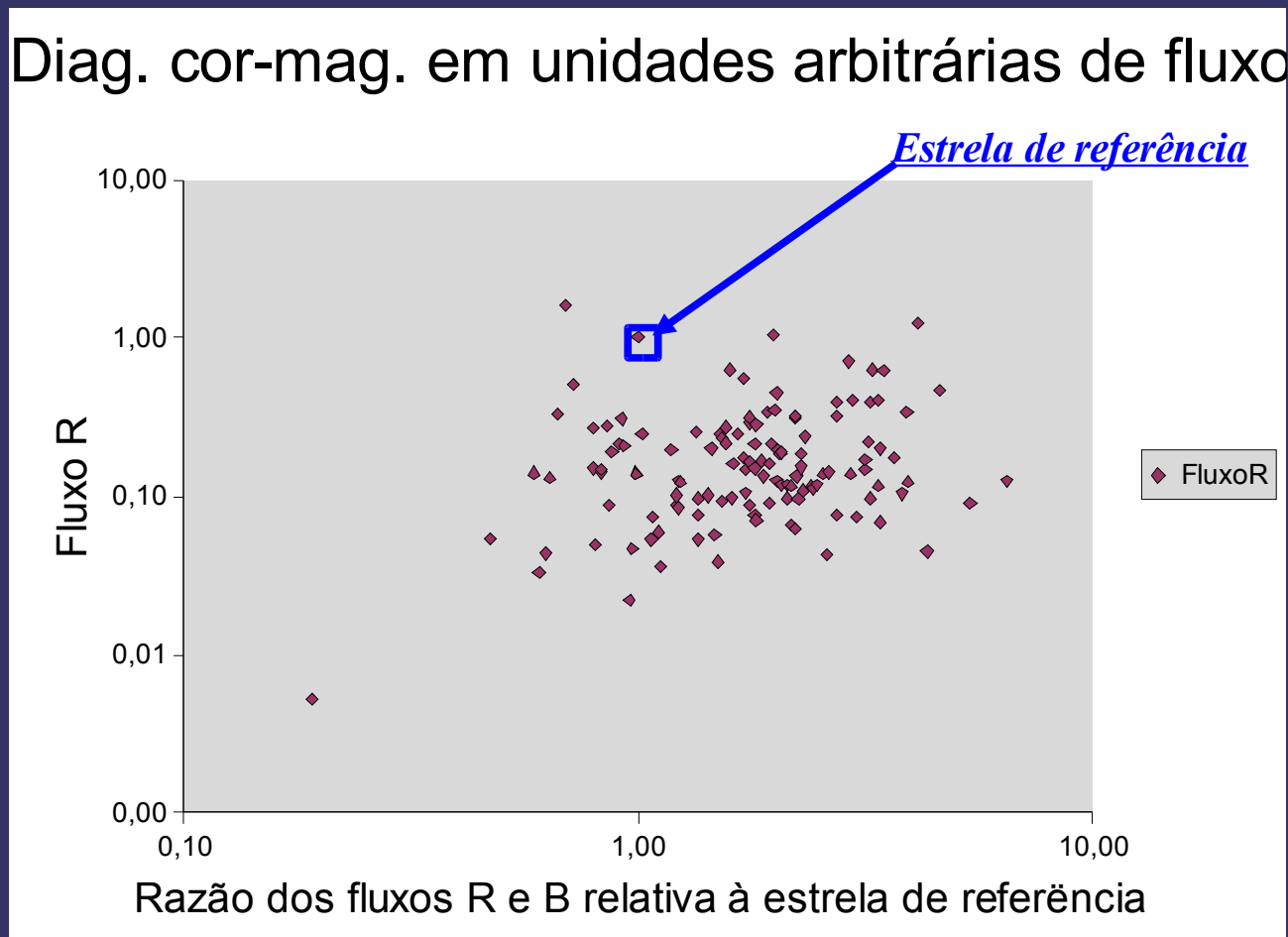


Diagrama (B-R) vs. R em outra escala

- $\text{fluxo(B)}^* / \text{fluxo(B)}^{\text{ref.}} = 10^{-(0,4 \times \text{mag(B)})}$
- $\text{fluxo(R)}^* / \text{fluxo(R)}^{\text{ref.}} = 10^{-(0,4 \times \text{mag(R)})}$
- $(\text{fluxo(R)} / \text{fluxo(B)})^* / (\text{fluxo(R)} / \text{fluxo(B)})^{\text{ref.}} = 10^{(0,4 \times \text{cor(B-R)})}$



➤ Estrela de Referência (não pertencente ao aglomerado!):

→ $B = 0,00$, $R = 0,00$ (impostos!) & $(B-R) = 0,00$

→ Ou $B = 11,43$ (de um filtro astronômico), $R = 11,20$ (calculado a partir) & $(B-R) = 0,23$

➤ Estrelas 37, 60, 86 e 88 (se todas pertencerem ao aglomerado!):

→ Ref.: $\text{fluxo}(B)=10.391$, $\text{mag}(B)=0$; $\text{fluxo}(R)=12.805$, $\text{mag}(R)=0$; $\text{cor}(B-R)=0$

→ 37: $\text{fluxo}(B)= 5.110$, $\text{mag}(B)=0,77$; $\text{fluxo}(R)= 4.196$, $\text{mag}(R)= 1,21$; $\text{cor}(B-R)=-0,44$

→ 60: $\text{fluxo}(B)= 729$, $\text{mag}(B)=2,89$; $\text{fluxo}(R)= 565$, $\text{mag}(R)= 3,39$; $\text{cor}(B-R)=-0,50$

→ 86: $\text{fluxo}(B)= 287$, $\text{mag}(B)=3,90$; $\text{fluxo}(R)= 1.336$, $\text{mag}(R)= 2,45$; $\text{cor}(B-R)=+1,45$

→ 88: $\text{fluxo}(B)= 3.150$, $\text{mag}(B)=1,30$; $\text{fluxo}(R)=16.012$, $\text{mag}(R)=-0,24$; $\text{cor}(B-R)=+1,54$

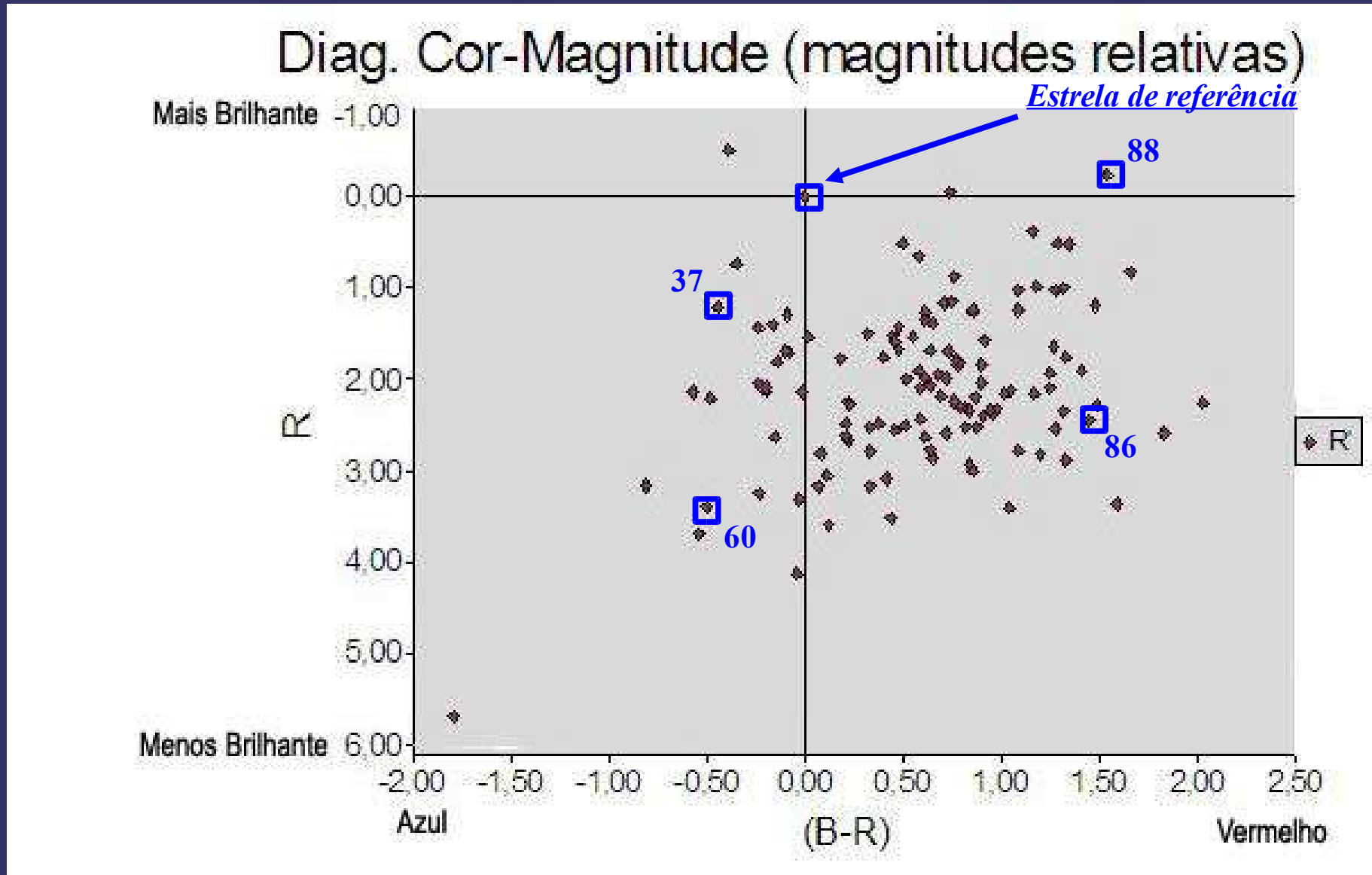
✓ Em ordem crescente de fluxo aparente (ou absoluto) em B: 86-60-88-37(-Ref.)

✓ Em ordem crescente de fluxo aparente (ou absoluto) em R: 60-86-37(-Ref.)-88

✓ Em ordem crescente da razão $\text{fluxo}(R)/\text{fluxo}(B)$: 60-37(-Ref.)-86-88 (relativa à razão da estrela de referência!); ou decrescente de temperatura superficial T (excluindo a estrela de referência!)

✓ Em ordem crescente de tamanho (ou raio R): 60-37 & 86-88 ($L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$)

Resultados: situando as estrelas no diagrama cor-magnitude



Resultados: situando as estrelas no diagrama cor-magnitude

Diag. cor-mag. em unidades arbitrárias de fluxo

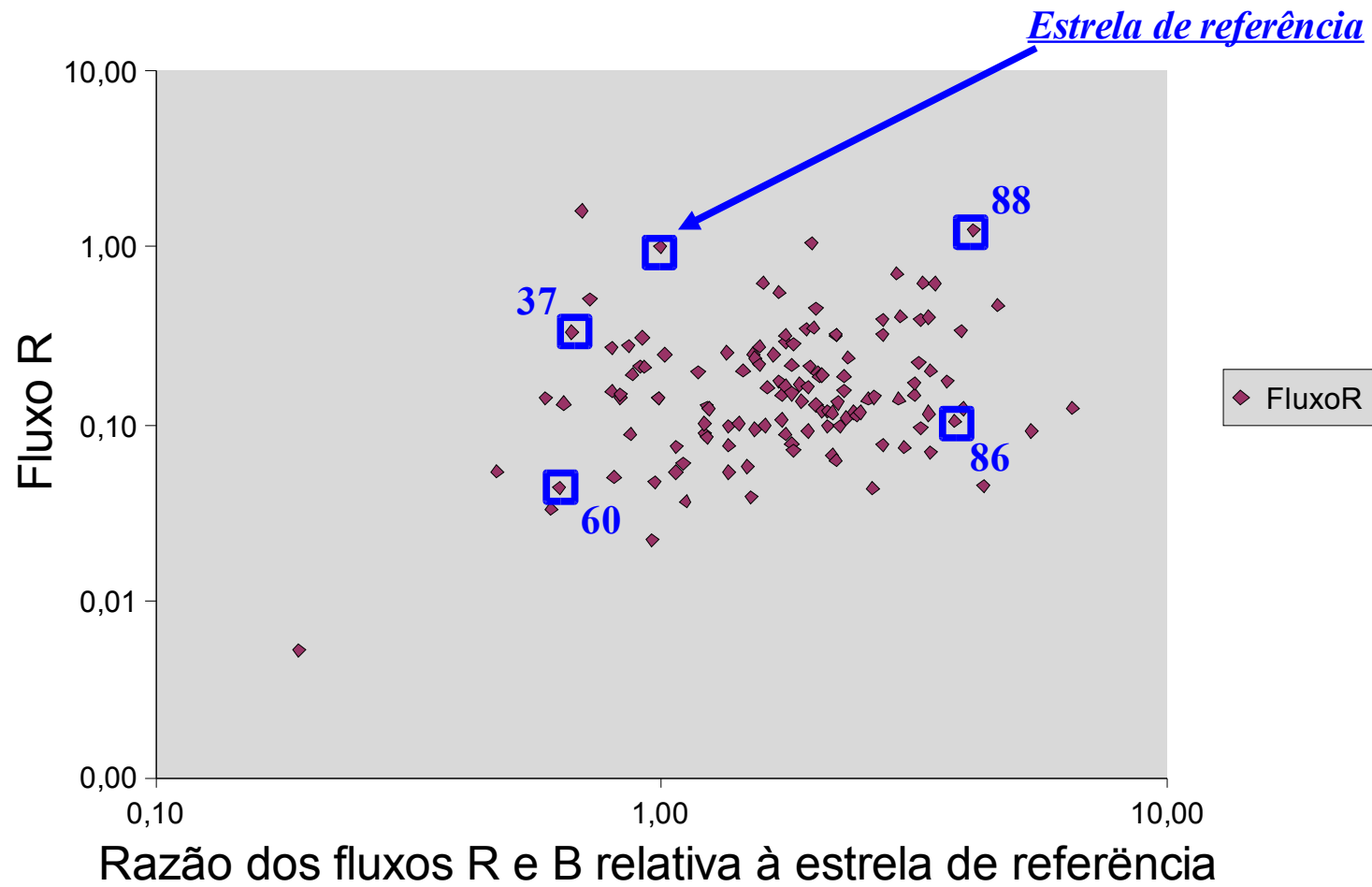


Imagem de M71 com composição de cores RGB: *conferindo os brilhos e as cores das estrelas!*

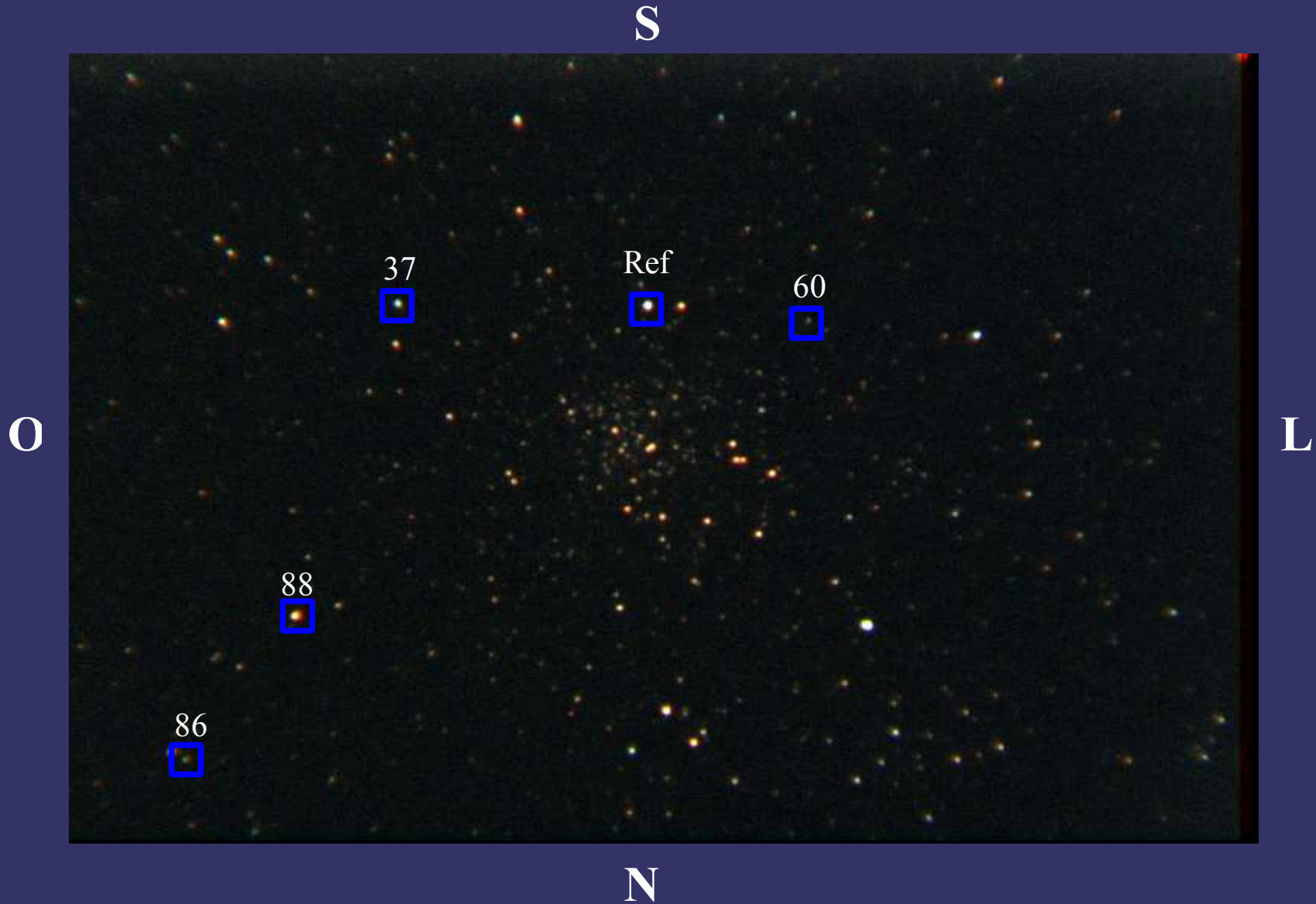
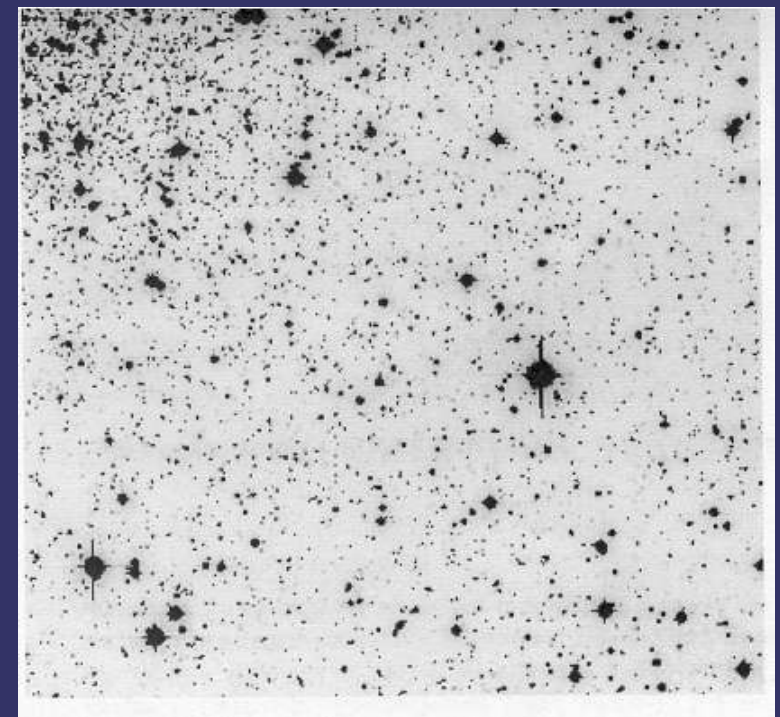
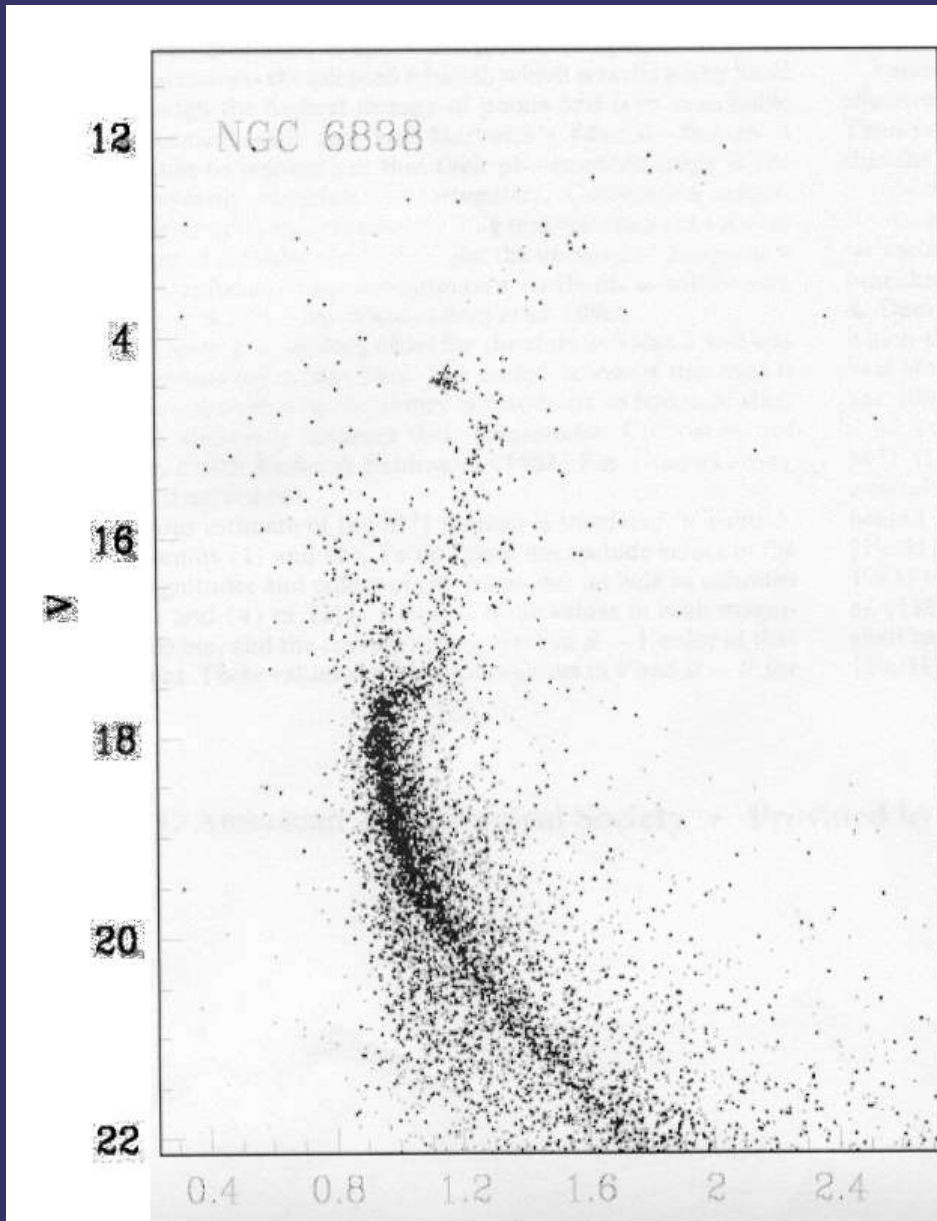
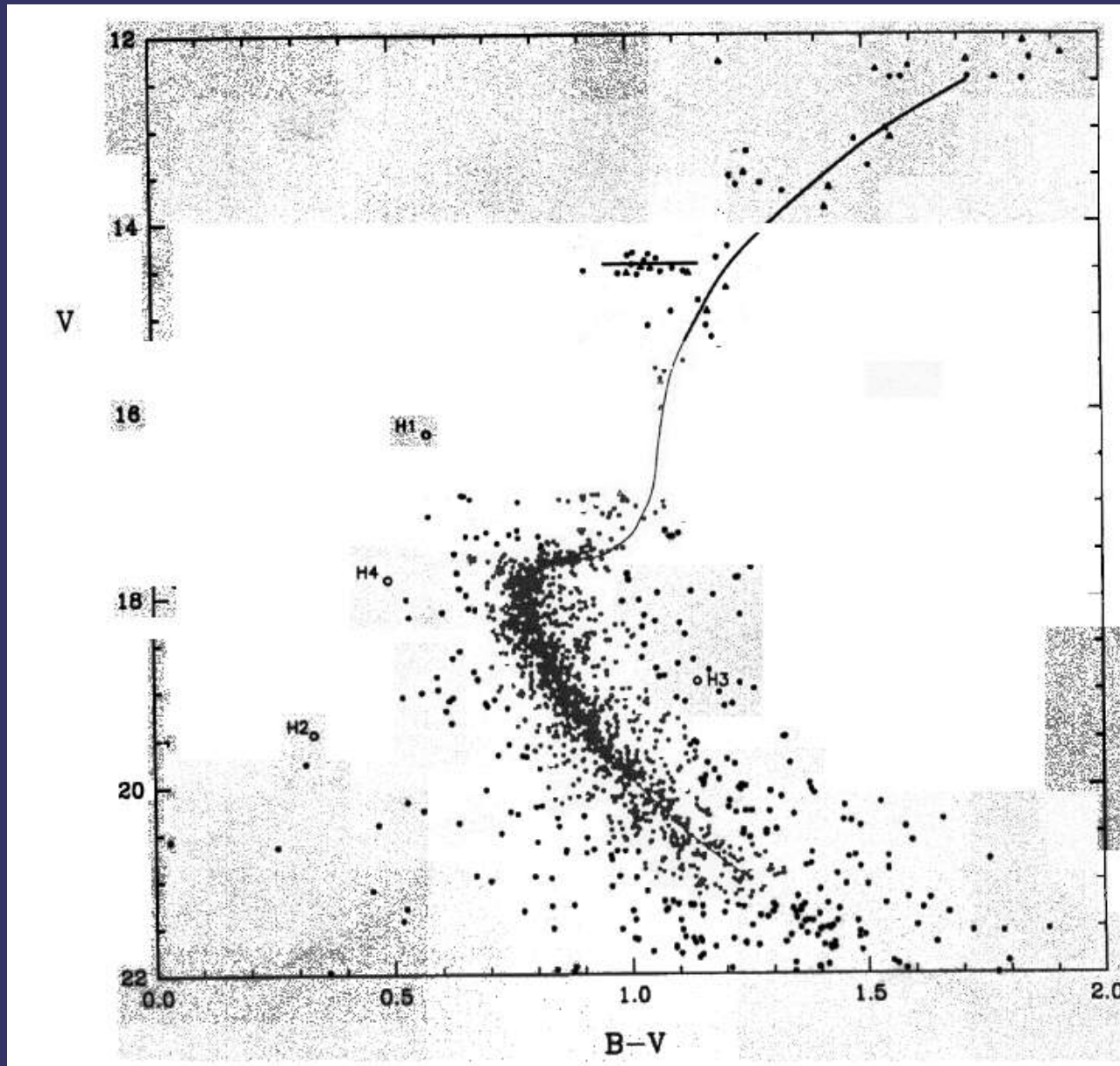


Diagrama cor-magnitude astronômico: *todas as estrelas do campo*

21



Outro diagrama cor-magnitude astronômico: *somente as estrelas do aglomerado*



Outros objetos interessantes

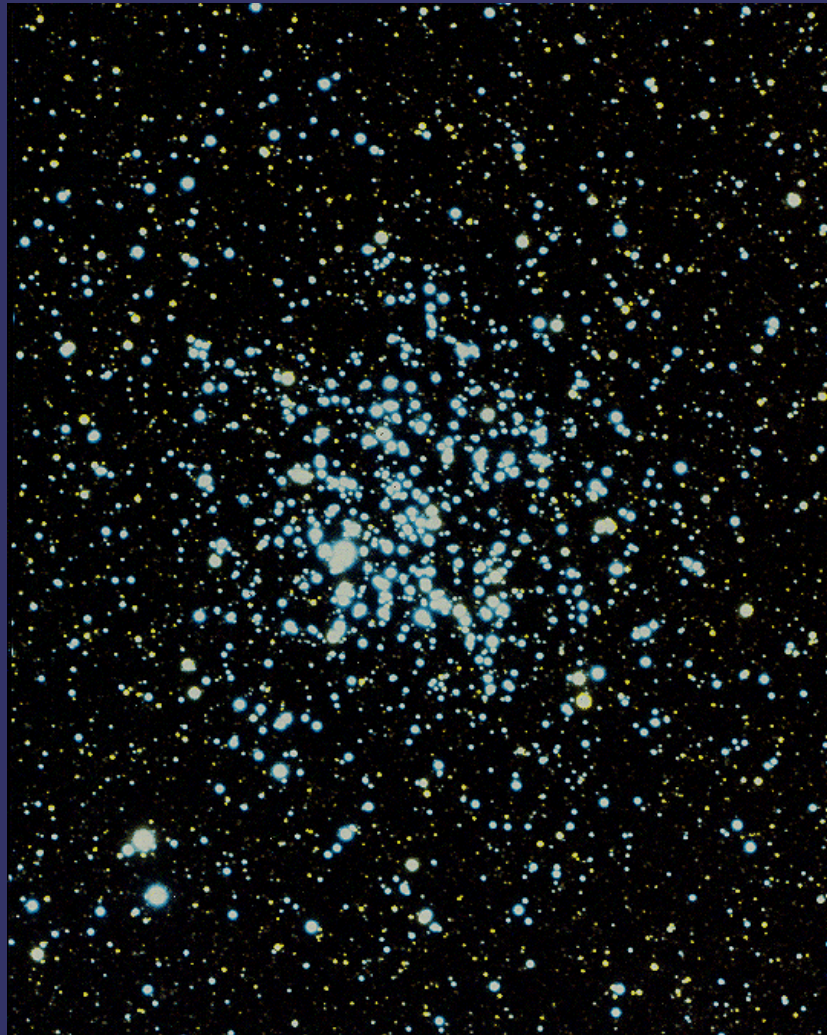
*Messier 4 (NGC 6121): aglomerado globular vermelho
imagem do Miniobservatório do INPE
diâmetro aparente = 26 arcmin
constelação do Escorpião*



Outros objetos interessantes

24

*Messier 11 (NGC 6705): aglomerado galáctico (jovem c/estrelas azuis)
imagem do Anglo Australian Observatory
diâmetro aparente = 14 arcmin
constelação do Escudo*



Outros objetos interessantes

25

*Caixinha de jóias (NGC 4755): aglomerado galáctico jovem
imagem do Anglo Australian Observatory
diâmetro aparente = 10 arcmin
constelação do Cruzeiro do Sul*

