

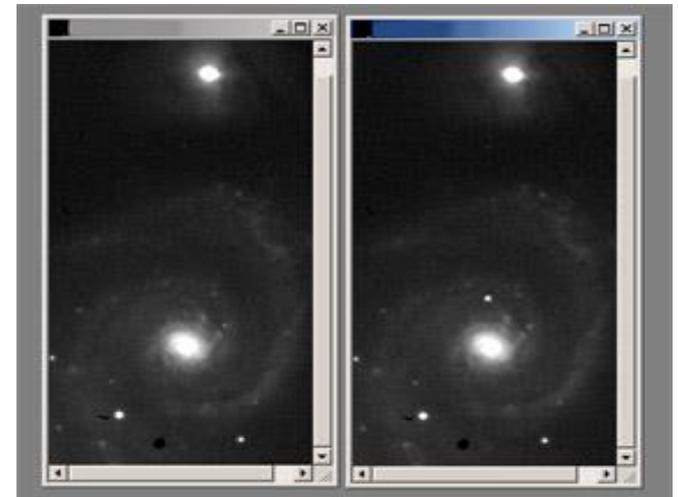


1400110

Laboratório de Física da Terra e do Universo

*Profa. Jane Gregorio-Hetem*

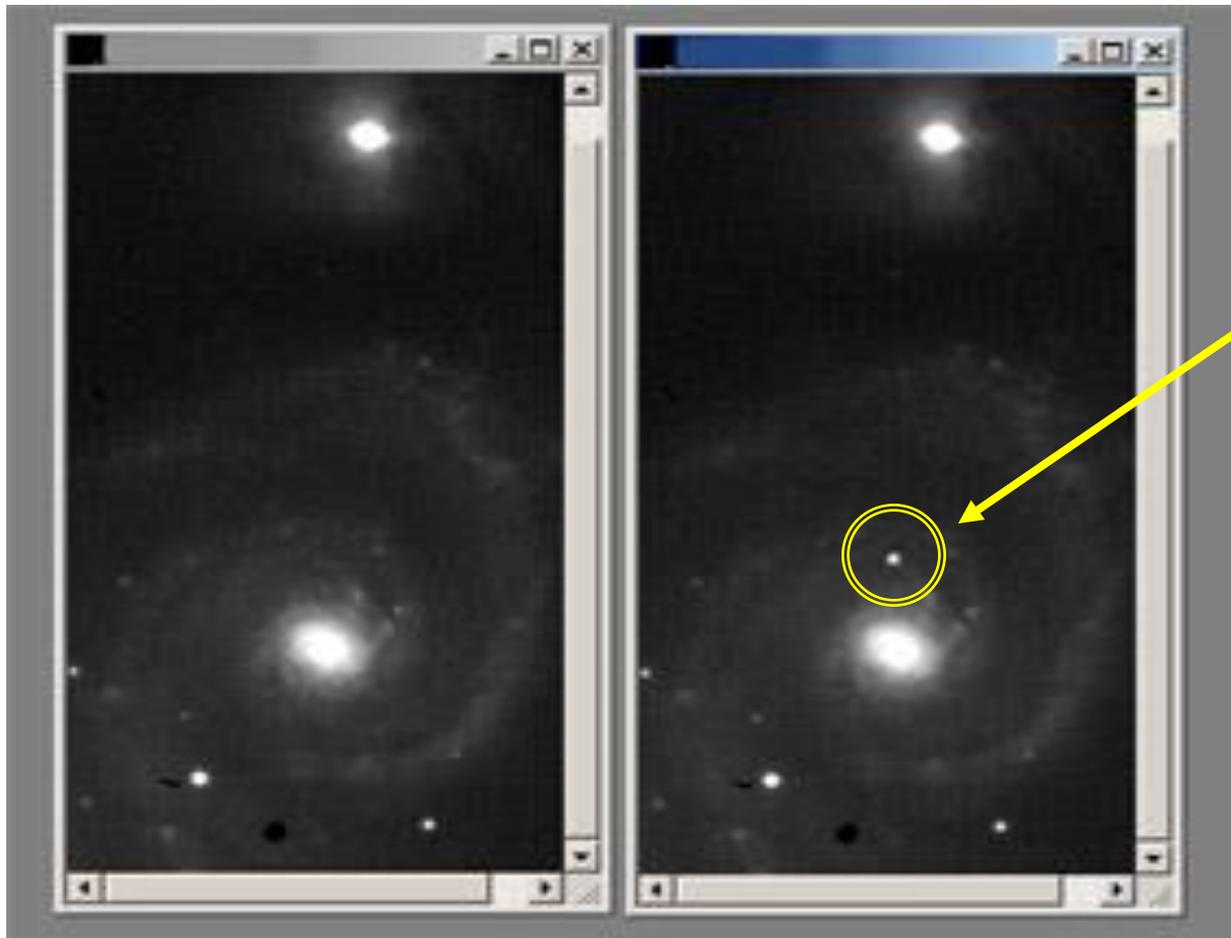
# Técnicas Fotométricas



# RESUMO

- ❖ Detectores e Telescópios
- ❖ Fluxo e Luminosidade
- ❖ Brilho aparente (magnitude)
- ❖ Radiação de corpo-negro

# Imagens astronômicas (.fits\*)

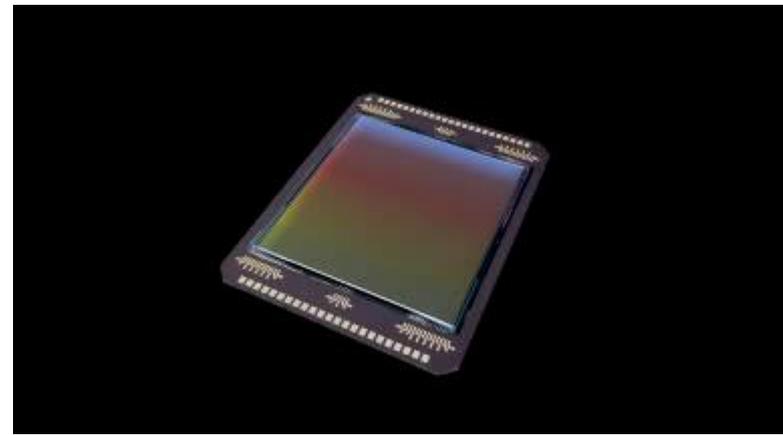


Imagens de uma galáxia observada em épocas diferentes. Uma supernova destaca-se na segunda imagem.

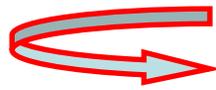
Como se faz o estudo e a comparação de diferentes imagens astronômicas?

(\*) Arquivos .fits = *Flexible Image Transfer System*

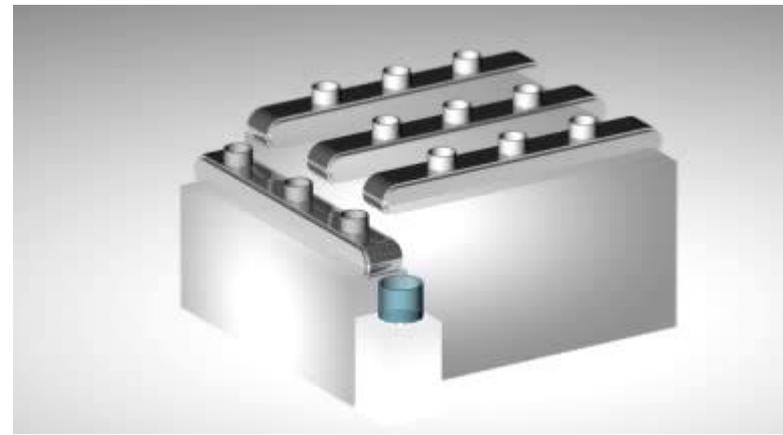
# Detectores CCD



- CCD (*Charge-Coupled Devices*)  $\Rightarrow$  pastilha de silício (*chip*)  $\Rightarrow$  dividida em vários elementos  $\Rightarrow$  **pixels** (*picture elements*)  $\Rightarrow$  arranjo bidimensional.
- Luz atinge um pixel  $\Rightarrow$  carga elétrica é liberada no CCD.
- A quantidade de carga é diretamente proporcional ao número de fótons incidentes naquele pixel.

 "intensidade" de luz recebida naquele ponto.

# Detectores CCD

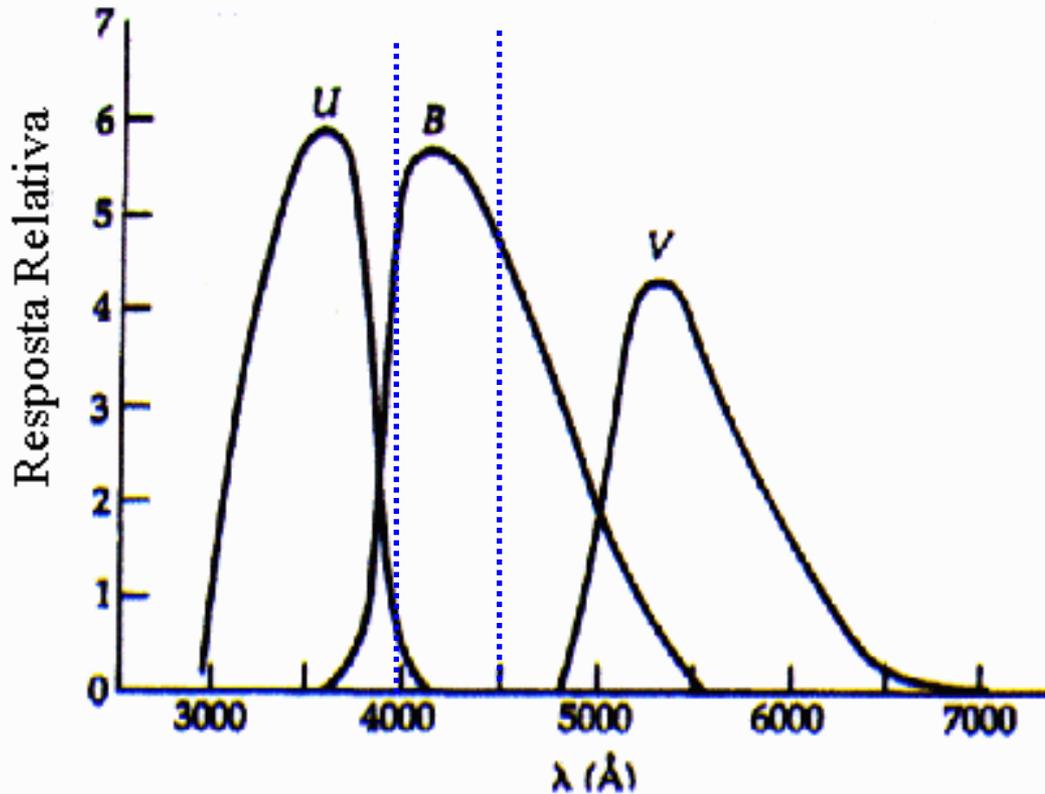


Um arquivo de dados é representado por uma matriz de números:

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	80	90	75	0	0	0
0	0	50	108	132	100	66	0	0
0	64	112	109	130	166	120	50	0
0	0	106	113	52	112	116	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cada número corresponde ao brilho de uma parte do céu na imagem.

# Fotometria: Sistemas de Filtros



Cada filtro permite a passagem apenas dos fótons em uma dada faixa de comprimentos de onda.

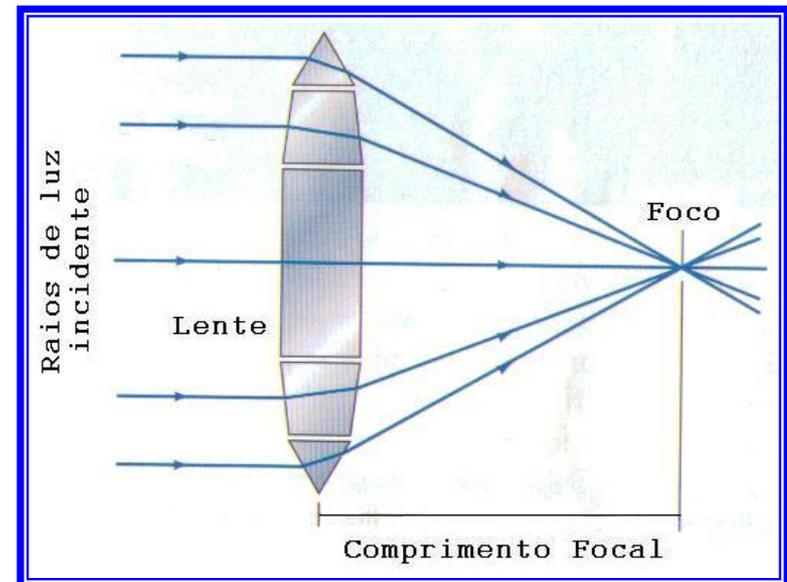
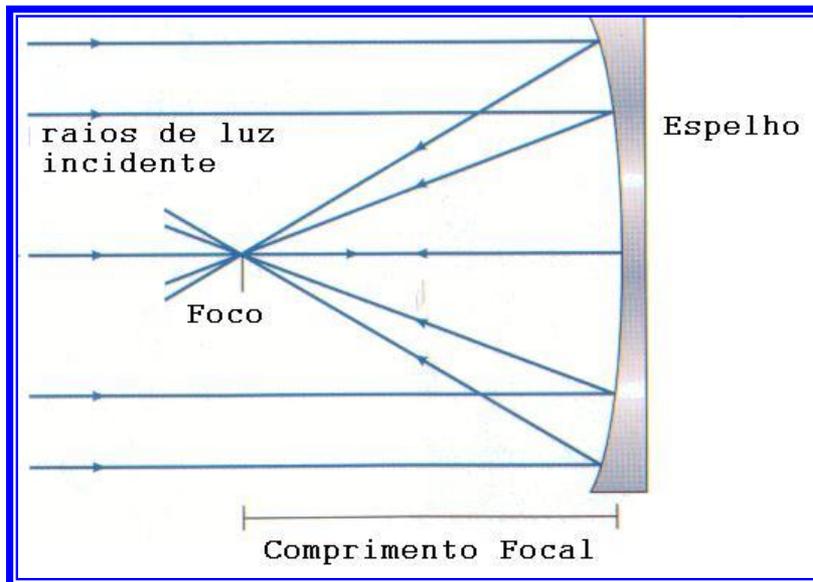
Ex: com o filtro B(azul) o máximo está entre 4000 a 4500Å

(1Å = 10<sup>-8</sup> cm)

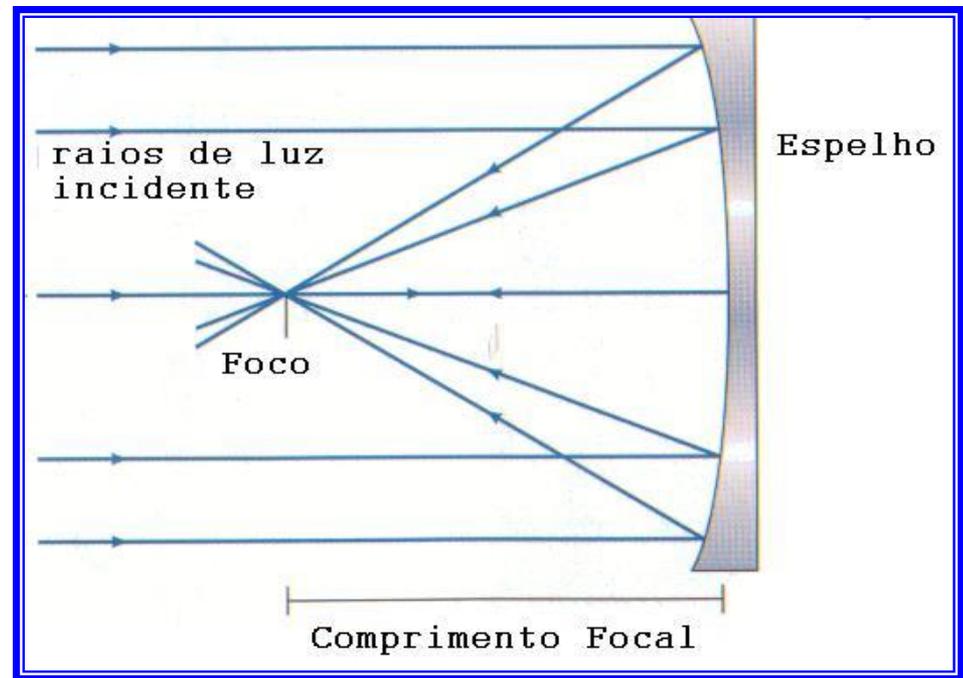
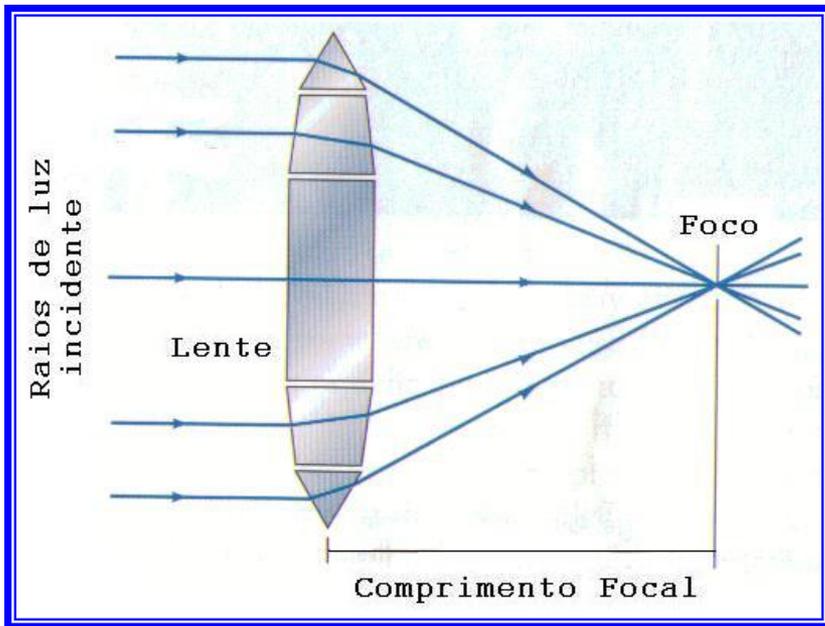
Perfil padrão dos filtros UBV, indicando a resposta o máxima nos diferentes comprimentos de onda.

# TELESCÓPIOS ÓPTICOS

- Função: coletar e concentrar a radiação proveniente de um astro  $\Rightarrow$  feixe localizado.
- A concentração de luz em um foco pode ser obtida por um espelho (= telescópio **refletor**) ou por uma lente (= telescópio **refrator**).



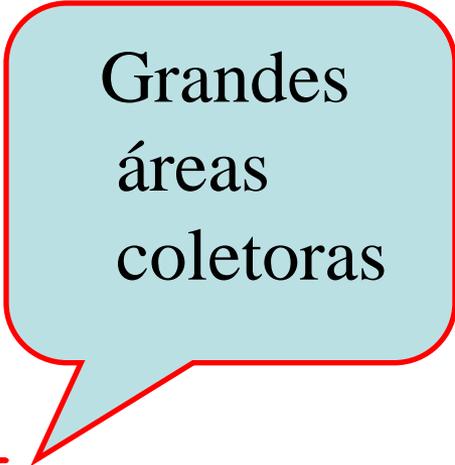
# Refração e Reflexão da Luz



# O que define a qualidade das observações?

Objetos distantes e pouco luminosos requerem:

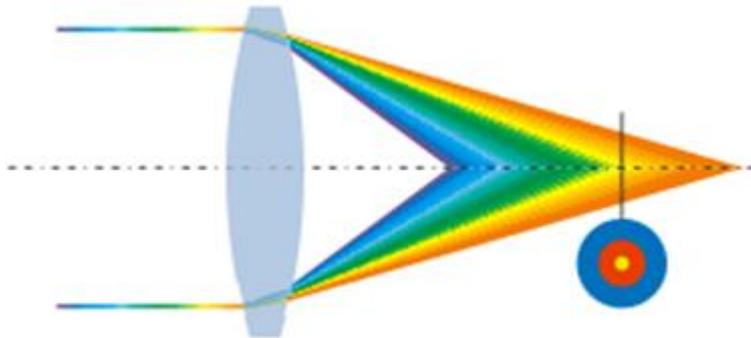
- **poder de resolução** (melhor nível de detalhamento) e
- **sensibilidade** (maior quantidade de radiação coletada num menor tempo de exposição)



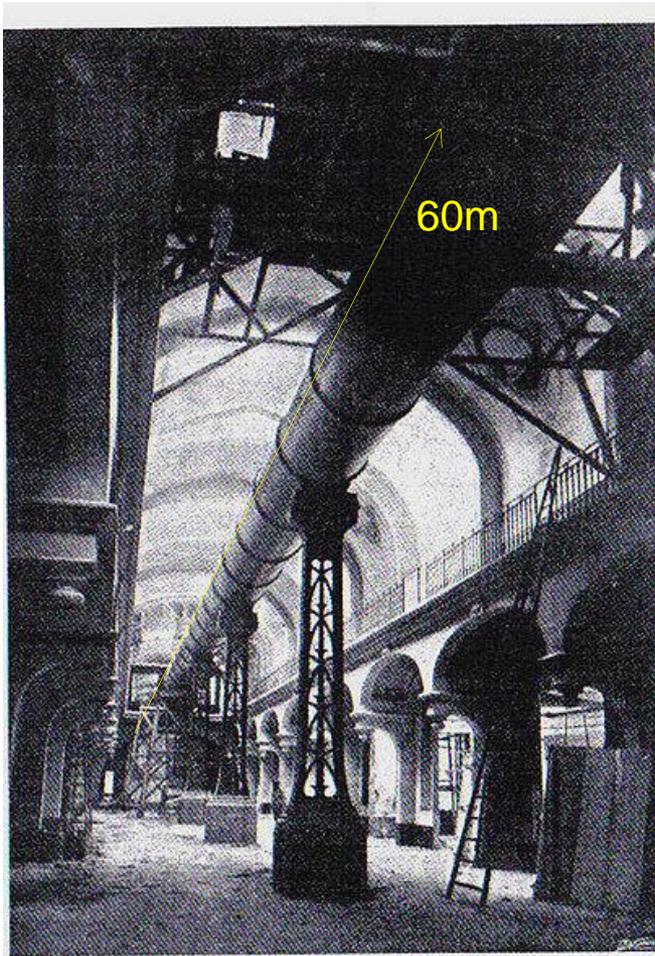
Grandes  
áreas  
coletoras

# Refrator X Refletor

- Desvantagens das lentes: peso, polimento (duas faces), aberração cromática.



# Refrator X Refletor



The Great Paris Exhibition  
Telescope of 1900 - 1,25m

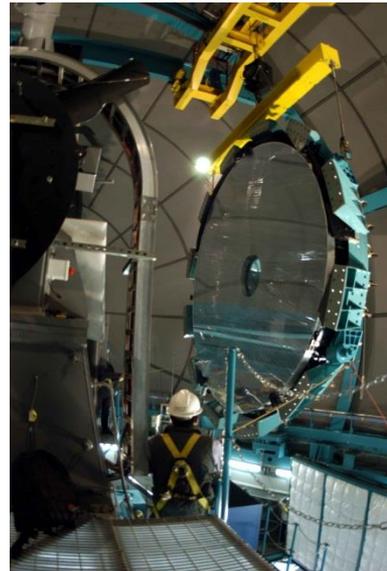
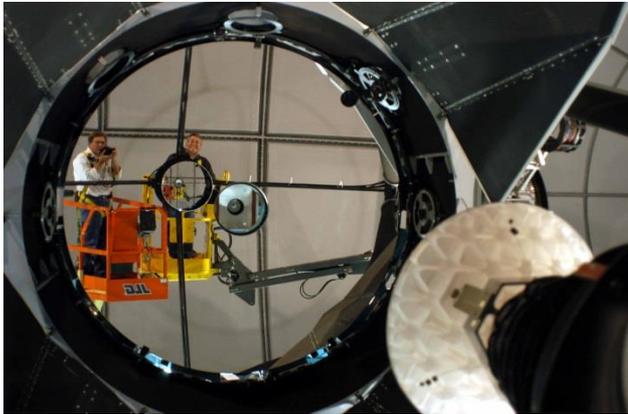
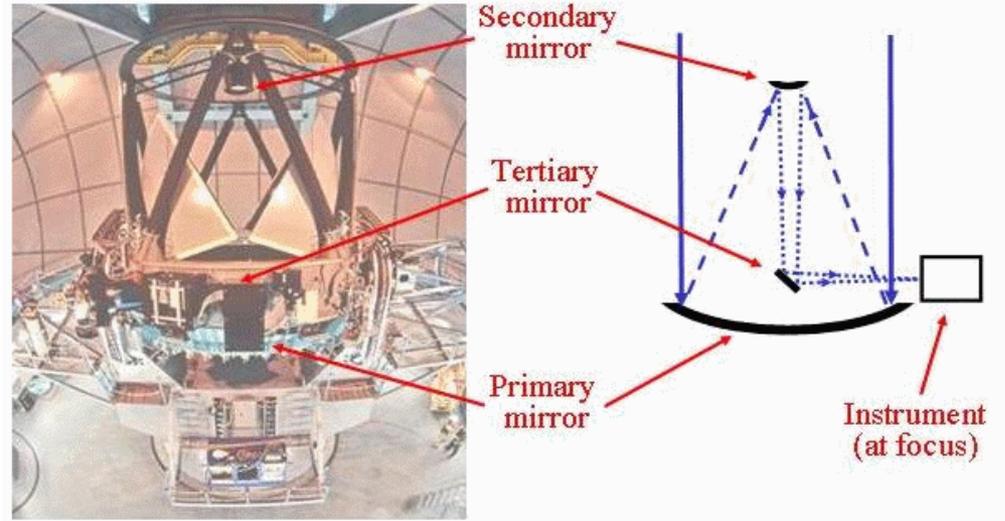


Yerkes Observatory 1893 - 1,02m

# Refrator X Refletor



# Telescópio SOAR

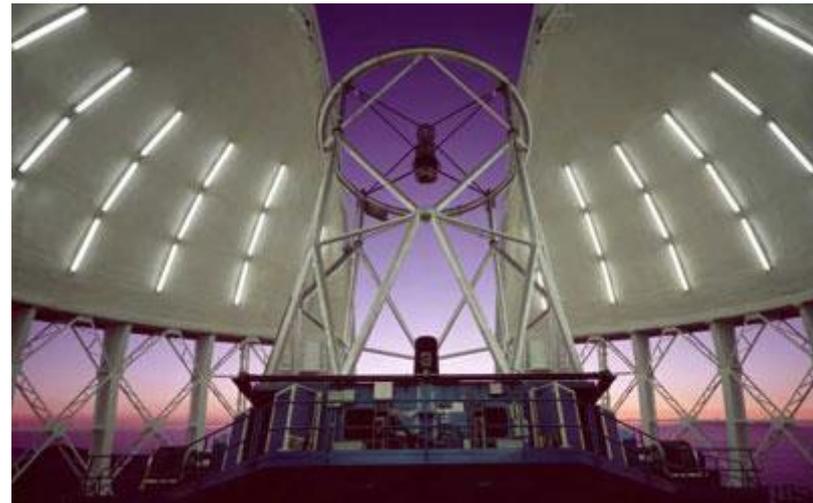


$D = 4\text{m,}$   
Cerro  
Pachon  
(Chile)

# Telescópio Gemini



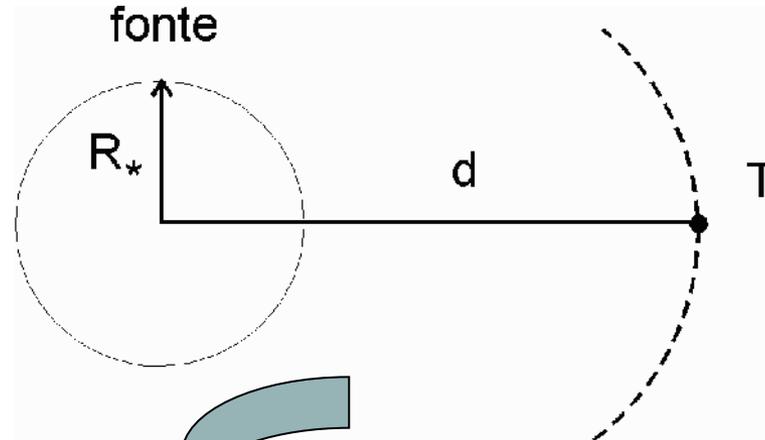
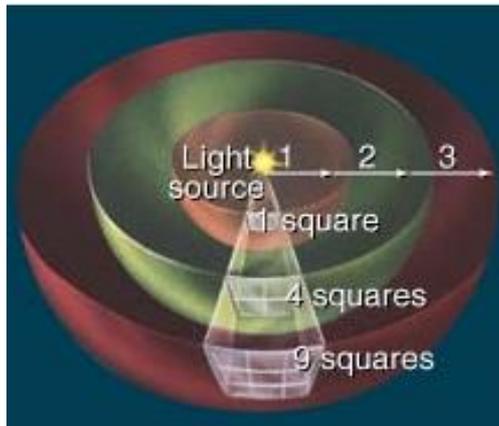
Gemini Sul – Cerro  
Pachon (Chile)



$D = 8\text{m}$ , espessura = 20 cm

**Luminosidade:** variação de energia em função do tempo

- Estrela de raio  $R_{\star}$ , localizada a uma distância  $d$  do observador.



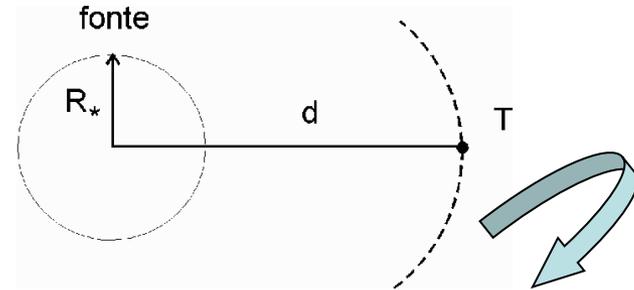
- **Luminosidade  $L_{\star}$**   $\Rightarrow$  energia total emitida em todas as direções  $\Rightarrow$  representada pela potência irradiada (**intrínseca, não depende de  $d$** ).

$$L_{\star} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

# O fluxo emitido na superfície da estrela

- $F(R_*)$  é expresso em termos de energia total por unidade tempo, por unidade de superfície:

$$F(R_*) = \frac{L_*}{4\pi R_*^2}$$



A uma distância  $d$



$$F(d) = \frac{L_*}{4\pi d^2}$$

- fluxo observado

$$F(d) = \left(\frac{R_*}{d}\right)^2 F(R_*)$$

# Fluxo de Radiação Estelar

À medida que nos distanciamos de uma fonte de luz, sua radiação é diluída, de forma que a radiação recebida em um detector diminui com o quadrado da distância.

$$F(d) = \left( \frac{R_*}{d} \right)^2 F(R_*)$$



Créditos: Chaisson & McMillan (Cap. 10)



# Magnitude Aparente (m)



- Definida por Hiparcos, refinada por Ptolomeu.
- Estrelas mais brilhantes  $\Rightarrow$  1<sup>a</sup> magnitude, magnitude aparente  $m_1 \Rightarrow F_1$ .
- Estrelas de menor brilho 6<sup>a</sup> magnitude,  $m_6 \Rightarrow F_6$ .
- Por convenção  $\Rightarrow F_1 = 100 F_6$ .

# Olho humano $\Rightarrow$ detector logarítmico

- $\Delta m = m_6 - m_1 = 5 \Rightarrow F_1 / F_6 = 100$
- $\Delta m = m_5 - m_1 = 4 \Rightarrow F_1 / F_5 = 100^{4/5}$
- $\Delta m = m_4 - m_1 = 3 \Rightarrow F_1 / F_4 = 100^{3/5}$
- $\Delta m = m_3 - m_1 = 2 \Rightarrow F_1 / F_3 = 100^{2/5}$
- $\Delta m = m_2 - m_1 = 1 \Rightarrow F_1 / F_2 = 100^{1/5}$

## Convenção para a razão de fluxos em função das diferenças de magnitudes:

- $\Delta m = m_j - m_i \Rightarrow F_i / F_j = 100^{\Delta m / 5}$

$$\log \frac{F_i}{F_j} = \left( \frac{m_j - m_i}{5} \right) \log 100 \quad \Rightarrow \quad \log \frac{F_i}{F_j} = 0,4 (m_j - m_i)$$

$$m_j - m_i = 2,5 \log \frac{F_i}{F_j}$$

Expressão genérica

magnitude zero  $\Rightarrow$  fluxo de calibração



Admite-se que:  $m_i = 0 \Rightarrow F_i = F_0 = \text{constante}$ .

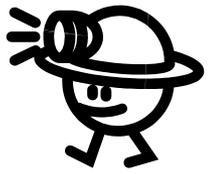
Para estabelecermos a magnitude  $m_j = m$  de uma estrela, vamos supor que seu fluxo seja  $F_j = F$ :

$$m_j - m_i = 2,5 \log \frac{F_i}{F_j} \quad \longrightarrow \quad m - 0 = 2,5 \log \frac{F_0}{F}$$

$$m = 2,5 \log F_0 - 2,5 \log F$$

$C = \text{cte.}$

$$m = C - 2,5 \log F$$

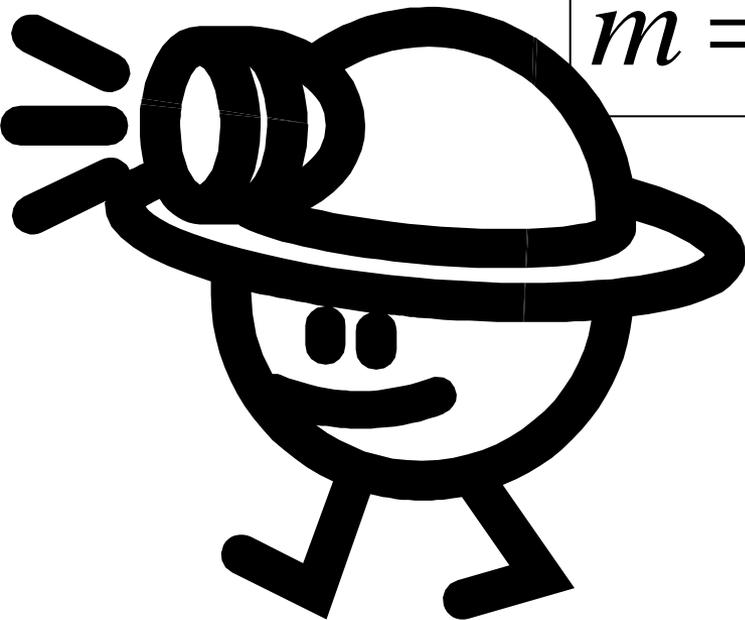


Lembrando que o fluxo observado depende da distância:

$$m = C - 2,5 \log F$$
$$F(d) = \frac{L}{4\pi d^2}$$
A light blue curved arrow originates from the flux equation  $F(d) = \frac{L}{4\pi d^2}$  and points towards the magnitude equation  $m = C - 2,5 \log F$ , indicating the substitution of flux with luminosity and distance.

$$m = C - 2,5 \log L + 2,5 \log(4\pi d^2)$$

$$m = C' - 2,5 \log L + 5 \log d$$

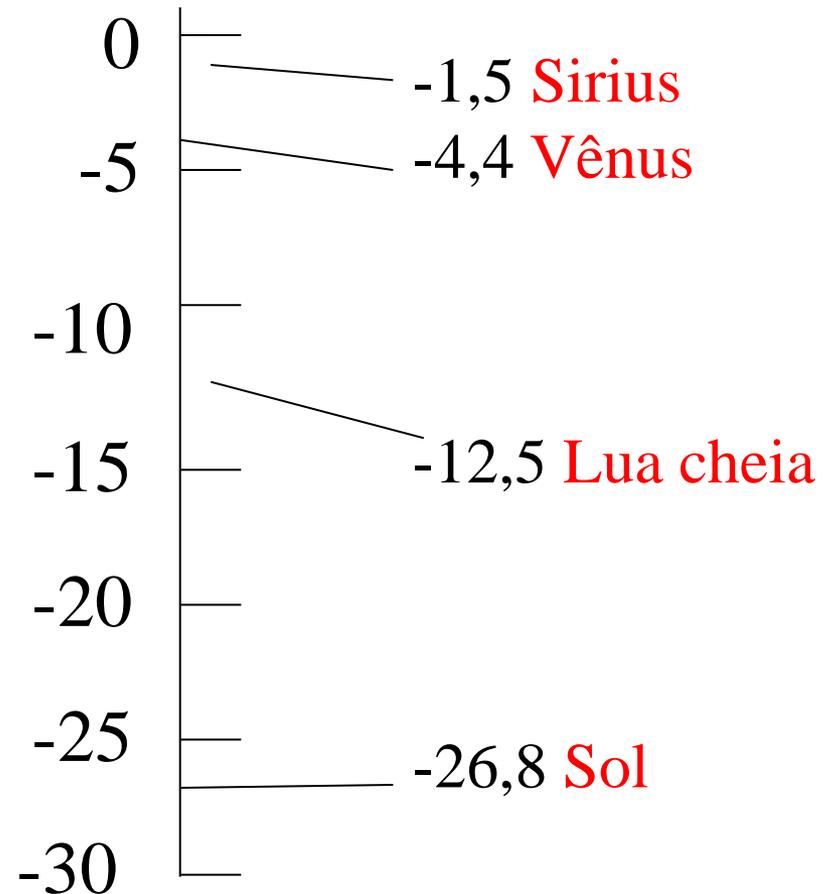
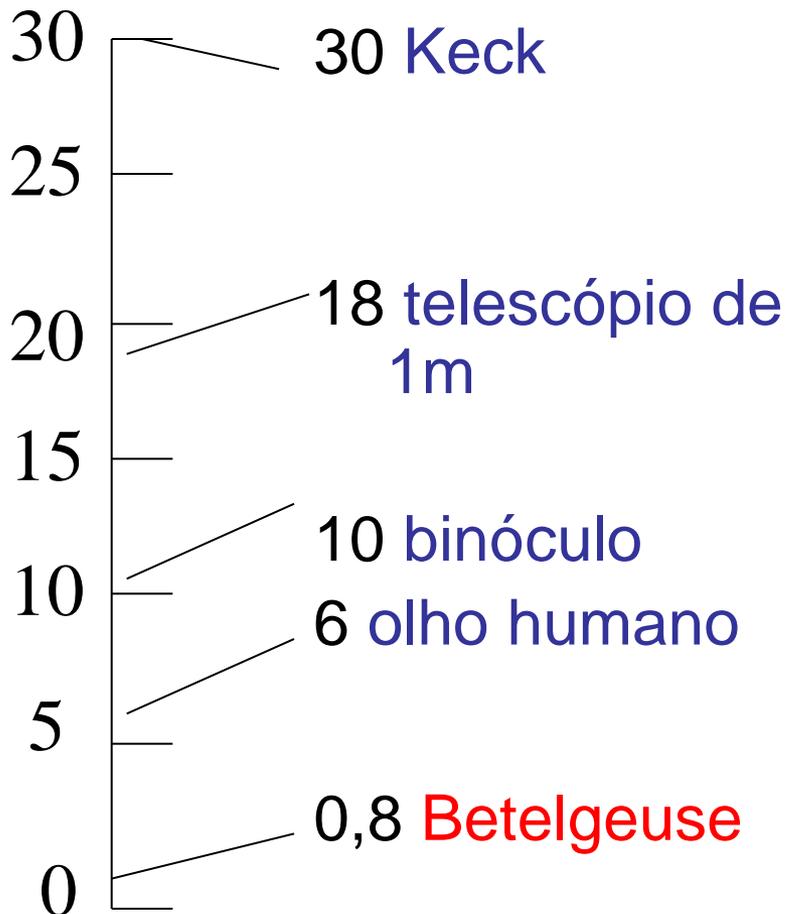


onde  $C' = C + (2,5 \log 4\pi)$  e  $m$  é a **magnitude aparente** da estrela.

# Escala de Magnitudes

$$m \propto -2,5 \log F$$

Limite de detecção de alguns telescópios e  
magnitude aparente de alguns astros



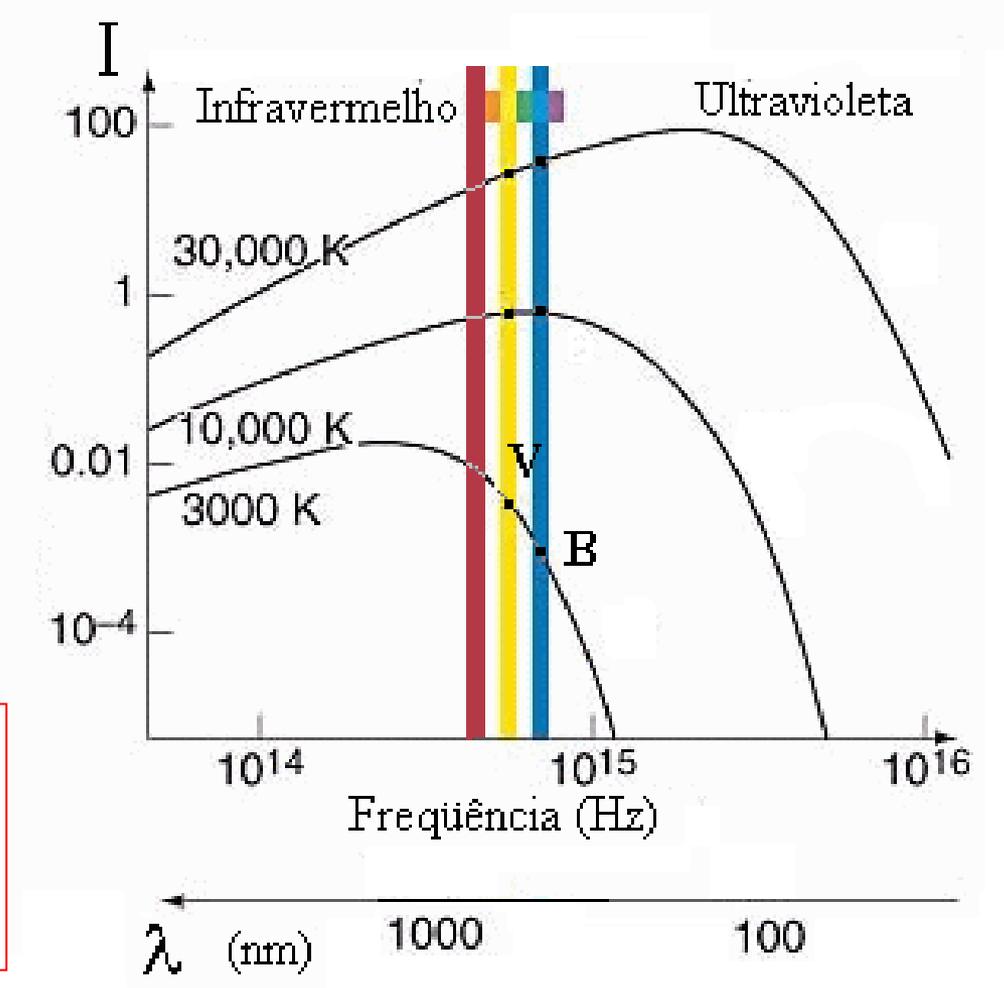
# Radiação de Corpo Negro (Função de Planck)

- Estrela caracterizada por sua temperatura superficial **T**

$$B_{\nu}(T) = \frac{2 h \nu^3}{c^2} \frac{1}{\left[ e^{h\nu/kT} - 1 \right]}$$

$k = 1,38 \times 10^{-16}$  erg K<sup>-1</sup> cte. de Boltzmann.  
 $h = 6,6262 \times 10^{-27}$  erg s<sup>-1</sup> cte. de Planck

**Fluxo** emitido numa dada direção  $\theta \rightarrow F_{\nu} = B_{\nu}(T) \cos \theta$  [erg s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> Hz<sup>-1</sup>]



# Lei de Stefan – Boltzmann

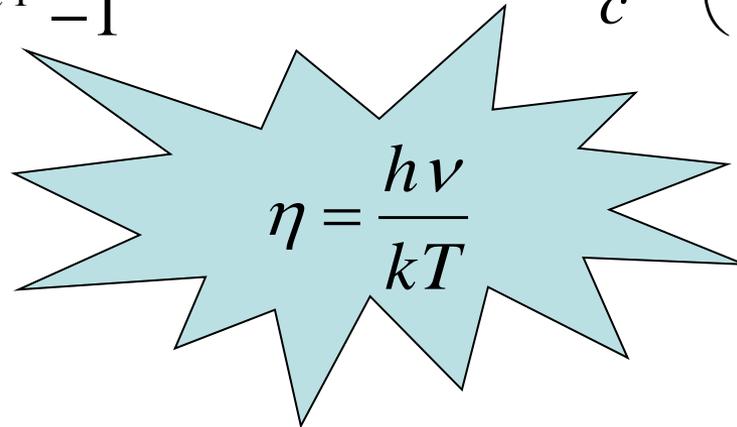
- A **integral da função  $F_\nu$**  sobre todas as frequências  $\nu$ , determina a **energia total emitida**

$$F = \int F_\nu d\nu = \sigma T^4$$

onde  $F_\nu = \pi B_\nu(T)$

$\sigma = 5,67 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$  (cte de Stefan – Boltzmann)

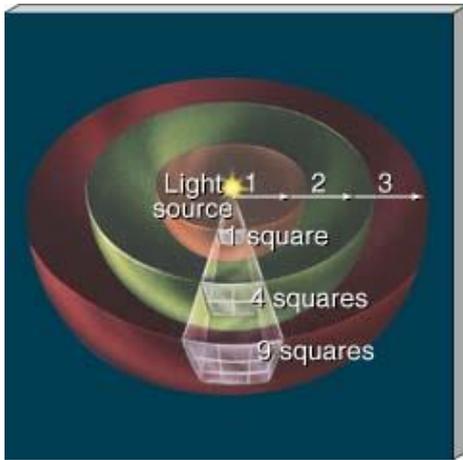
$$F = \frac{2\pi h}{c^2} \int \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu \Rightarrow F = \frac{2\pi h}{c^2} \left(\frac{kT}{h}\right)^4 \int_0^\infty \frac{\eta^3}{e^\eta - 1} d\eta$$


$$\eta = \frac{h\nu}{kT}$$

$$F = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} T^4$$

# Brilho Aparente, Luminosidade, Raio e Temperatura da estrela

$$F(d) = \frac{L_*}{4\pi d^2}$$



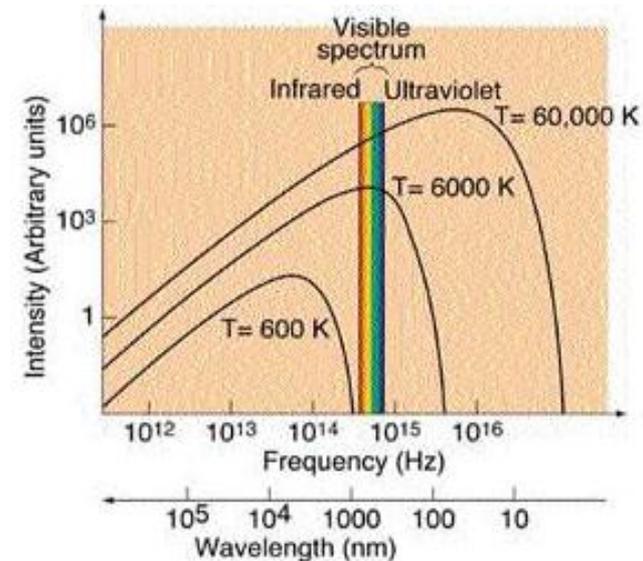
$$L_* = 4\pi R_*^2 \sigma T_*^4$$

$$R_* = \left( \frac{L_*}{4\pi\sigma T_*^4} \right)^{\frac{1}{2}}$$

**Stefan-Boltzman**

**Wien**

$$\lambda_{\max} (cm) = \frac{0,29}{T(K)}$$



# BIBLIOGRAFIA (AGA0215)

Telescópios (Cap.06)

Distância e Magnitude (Cap. 8)

# Medição de Brilho das Estrelas

## Técnicas fotométricas

*Nota importante: As imagens usadas nesse procedimento foram obtidas através do filtro vermelho (R). Esse filtro bloqueia a maior parte da luz, exceto a luz vermelha da parte visível do espectro. Quando nós calculamos o brilho aparente de uma estrela-alvo nós devemos lembrar que isso apenas se refere à quantidade de luz que está sendo emitida no filtro vermelho.*

Vamos nomear as seguintes quantidades:

- $C_a$  = medida das contagens para a estrela alvo
- $C_p$  = medida das contagens para a estrela padrão
- $B_a$  = brilho aparente ( $\text{Watt/m}^2$ ) da estrela alvo
- $B_p$  = brilho aparente ( $\text{Watt/m}^2$ ) da estrela padrão

medidas

Dado em tabela

Com condições idênticas de observações para uma estrela alvo e uma estrela padrão, a razão de suas contagens é igual à razão de seus brilhos aparentes. Desta forma:

$$C_a / C_p = B_a / B_p \quad \text{ou} \quad C_a / B_a = C_p / B_p$$

Reescrevendo as expressões acima de forma a encontrar o brilho aparente da estrela alvo em termos do brilho aparente da estrela padrão e das medidas das contagens para as estrelas padrão e

O Anexo 1 fornece a tabela que relaciona brilho aparente ( $\text{Watt/m}^2$ ) e magnitude na banda R. Conhecendo-se a magnitude da estrela padrão (veja abaixo a questão 4.5) verifica-se o brilho correspondente na tabela. Uma vez determinado o brilho aparente das estrelas alvo (a partir da relação  $B_a / B_p$  acima), retorna-se à tabela para encontrar a magnitude correspondente.

Tabela de conversão entre Magnitude e Brilho Aparente na banda R ( $\text{Watt/m}^2$ )

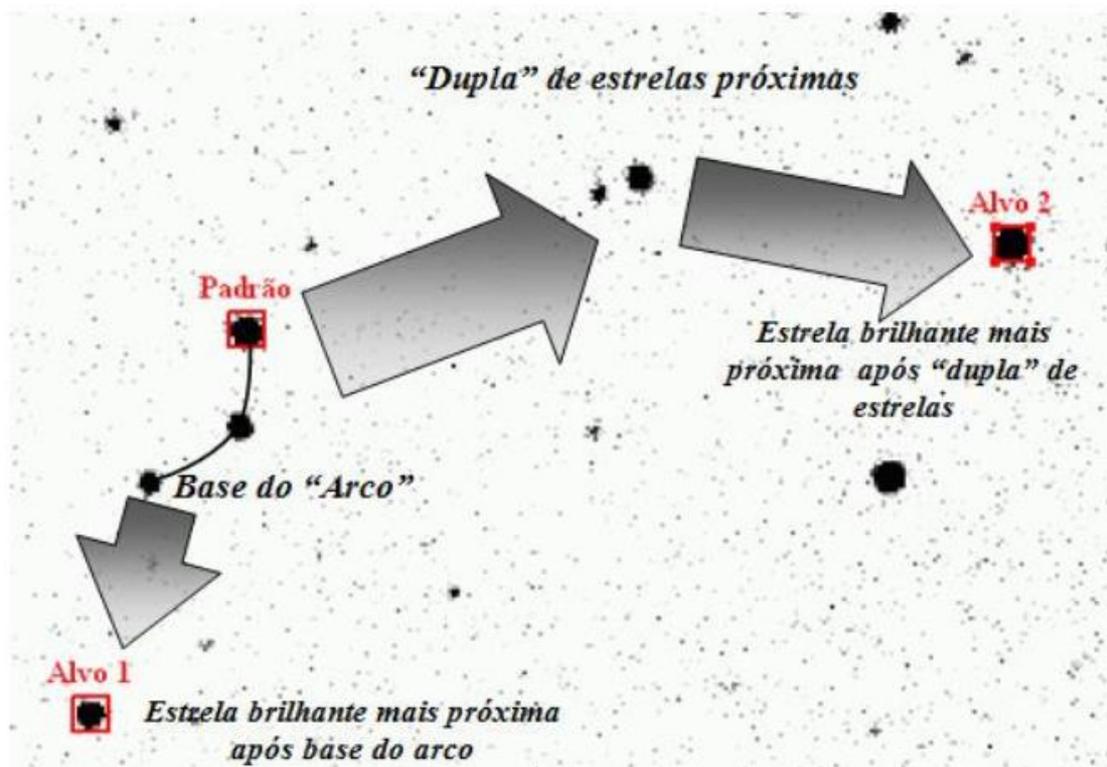
Mag.	R	Mag.	R
10,1	$1,59 \times 10^{-13}$	12,1	$2,52 \times 10^{-14}$
10,2	$1,45 \times 10^{-13}$	12,2	$2,29 \times 10^{-14}$
10,3	$1,32 \times 10^{-13}$	12,3	$2,09 \times 10^{-14}$
10,4	$1,20 \times 10^{-13}$	12,4	$1,91 \times 10^{-14}$
10,5	$1,10 \times 10^{-13}$	12,5	$1,74 \times 10^{-14}$
10,6	$1,00 \times 10^{-13}$	12,6	$1,59 \times 10^{-14}$

#### 4. QUESTÕES A SEREM RESPONDIDAS

- 4.1. Qual é o brilho da estrela alvo 1 em contagens na primeira e na segunda imagem ?
- 4.2. Qual é o brilho da estrela alvo 2 em contagens na primeira e na segunda imagem ?
- 4.3. Liste alguma das razões de porque as contagens podem variar para essas estrelas nas duas imagens.
- 4.4. Meça as contagens para a estrela padrão da mesma maneira que procedeu com as estrelas alvo.
- 4.5. A magnitude aparente da estrela padrão medida em um filtro R é de 12.4. Utilize a tabela de conversão de brilho (no Anexo 1) para encontrar o brilho aparente no filtro vermelho dessa estrela.

$$B_a / B_p = C_a / C_p \text{ de modo que: } B_a = (C_a / C_p) B_p$$

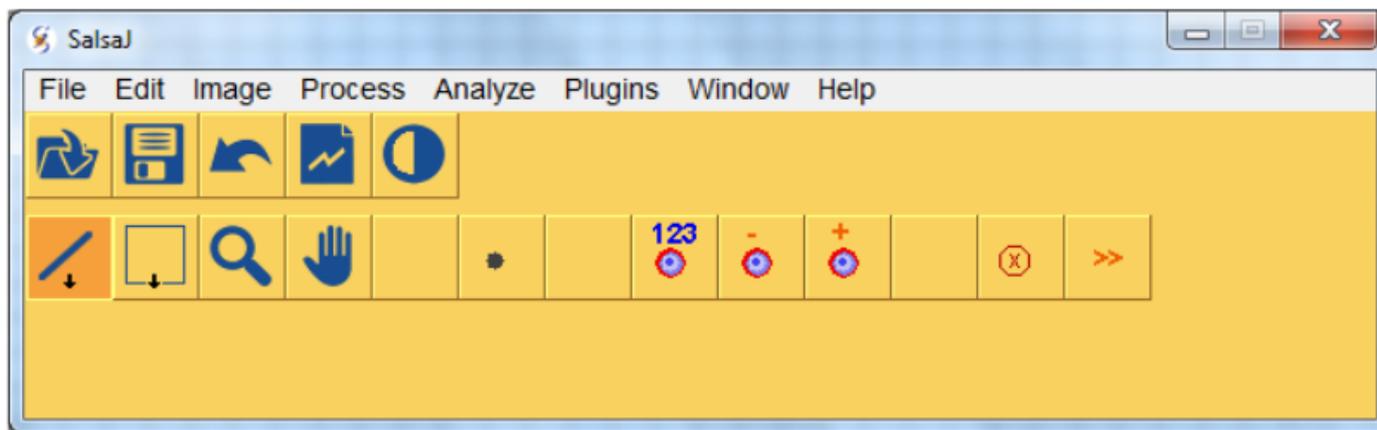
A Seção 4 indica as etapas e procedimentos a serem realizados nessa Atividade. A Seção 5 fornece um tutorial de uso do *software* SalsaJ para obter as contagens sobre três estrelas (padrão, alvo1 e alvo2) observadas em duas noites diferentes. A imagem obtida na primeira noite é fornecida pelo arquivo **fotometria1.fits** (formato FITS<sup>1</sup>). A segunda imagem (segunda noite) corresponde ao arquivo **fotometria2.fits**. Dessa forma, serão realizadas 6 medidas de contagens necessárias para calcular a magnitude aparente das estrelas alvo nas diferentes noites.



## 5. ATIVIDADES DE TÉCNICAS FOTOMÉTRICAS UTILIZANDO O SALSAJ

### Recursos do SalsaJ utilizados

O principal recurso utilizado para esta tarefa é aquele que permite a visualização direta e as medidas de intensidades em um arquivo (*Photometry*), feita a partir de um local indicado numa imagem. Esse tutorial foi preparado com base no software disponibilizado em inglês. No caso de uso da versão em português, note que deve ser levada em conta a tradução para termos usados em Portugal, como por exemplo: *File* = Ficheiro = Arquivo.



**Figura 1.** Interface do programa SalsaJ. Para abrir uma imagem clicar na opção *File > Open an Image* encontrada na barra de ferramentas e procurar no diretório (pasta) que contém os arquivos de interesse.