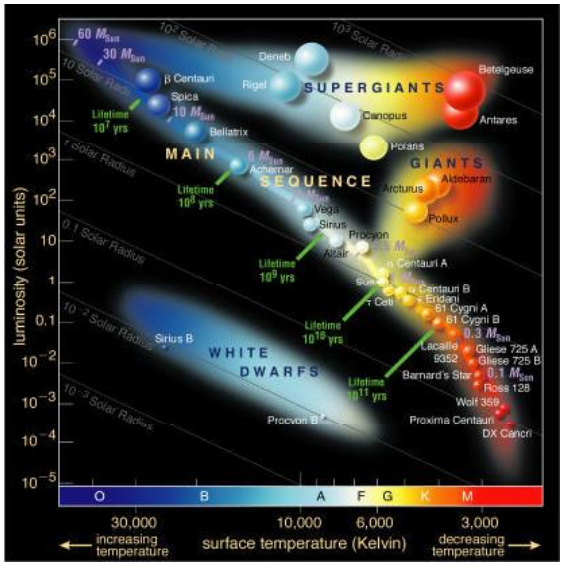
1400110

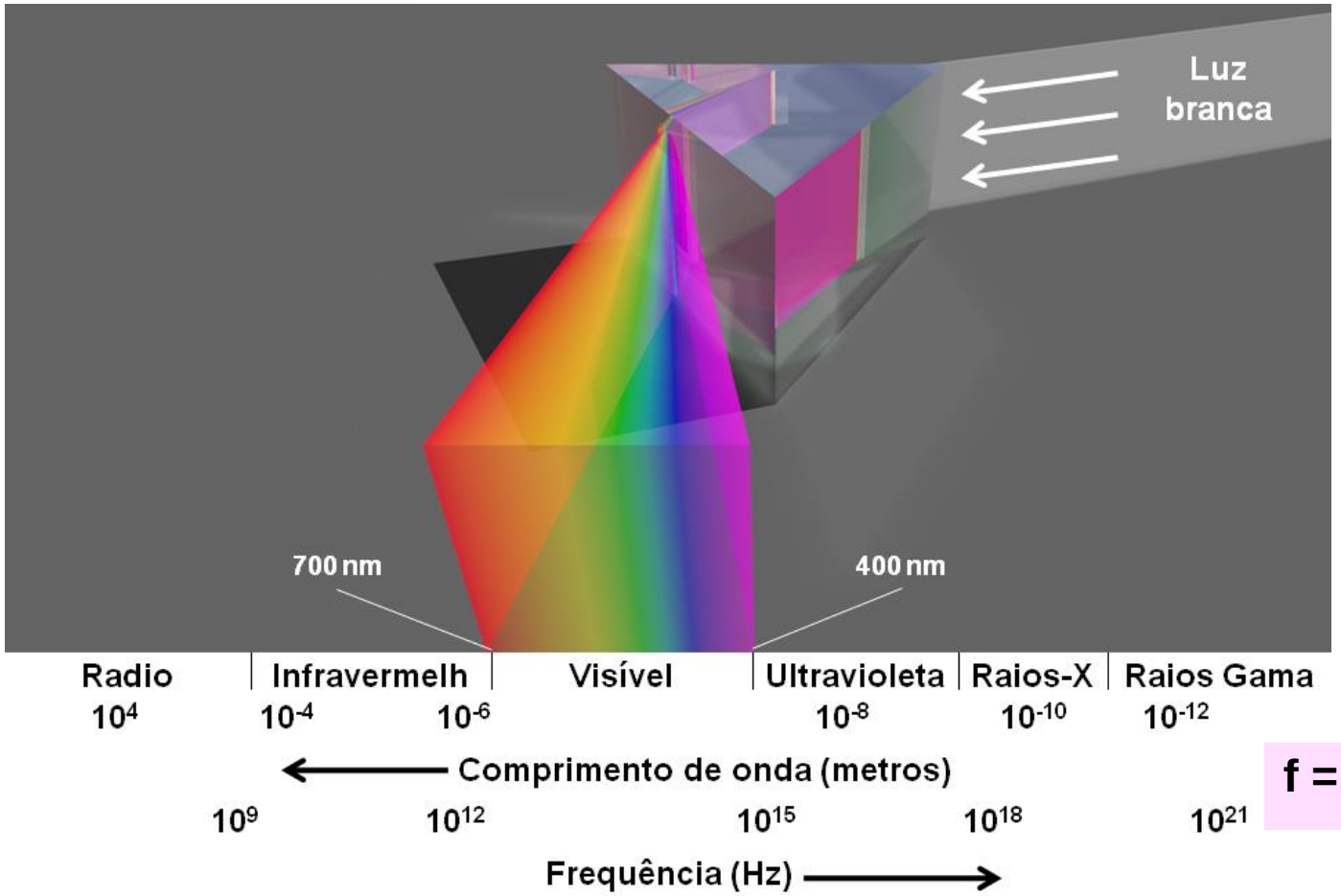
Laboratório de Física da Terra e do Universo

Profa. Jane Gregorio-Hetem

Diagrama H-R: Cores das Estrelas



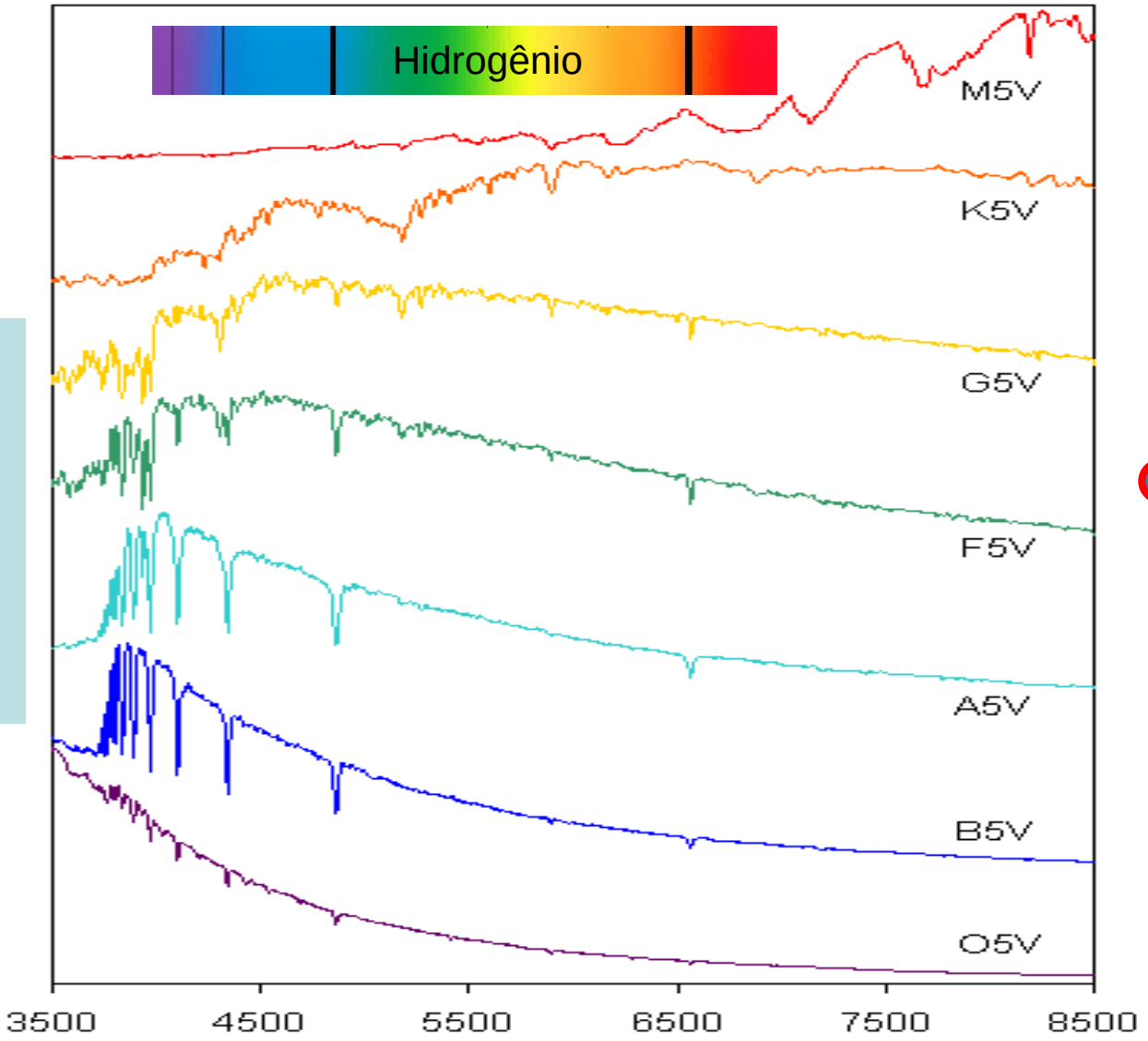
O Espectro Eletromagnético



$f = c / \lambda$

A luz branca, quando atravessa um prisma, é decomposta em diferentes cores (vermelho, laranja, amarelo, verde, azul e violeta) da faixa visível.

Espectros de estrelas de diferentes temperaturas



Essas 7 estrelas têm composição química semelhante.

$1\ \text{Å} = 10\ \text{nm} = 10^{-10}\ \text{m}$

Modelo do átomo de Bohr

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2}\right)$$

- Balmer notou que o valor $1/4 = 1/2^2$

poderia ser substituído na formula para escreve-la de forma genérica:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

onde n=3,4,5... e m < n

$R_H = 1{,}09677583 \times 10^7\ m^{-1}$

Os comprimentos de onda do Hidrogênio:

Diferentes linhas espectrais, em função dos diferentes níveis **a partir do qual se dá a transição**:

m = 1: série de **Lyman**: Lyα, Lyβ, Lyγ (linhas do UV);

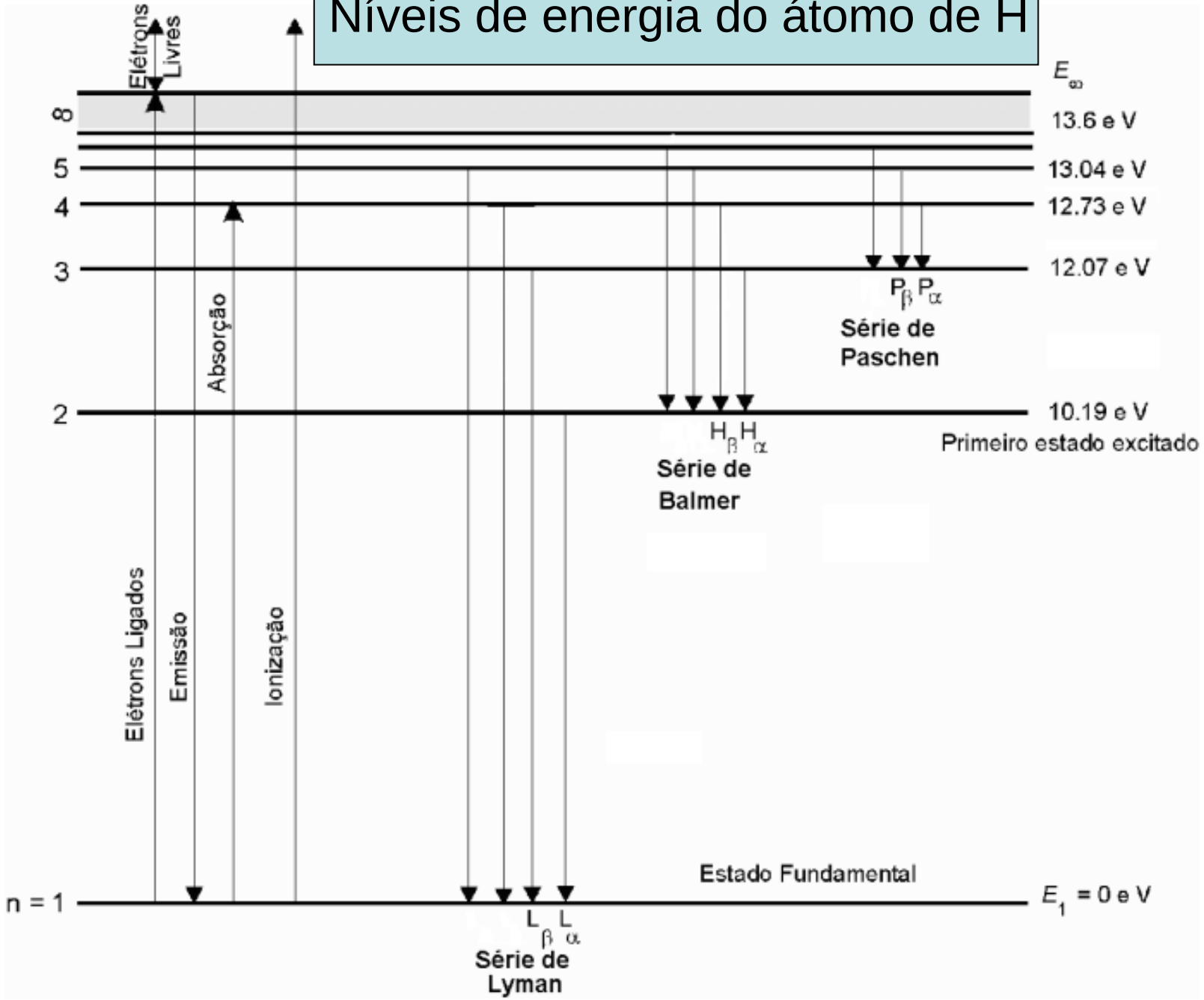
m = 2: série de **Balmer**: Hα, Hβ,… (espectro visível);

m = 3: série de **Paschen**: Pα, Pβ,... (infravermelho).

1º estado excitado

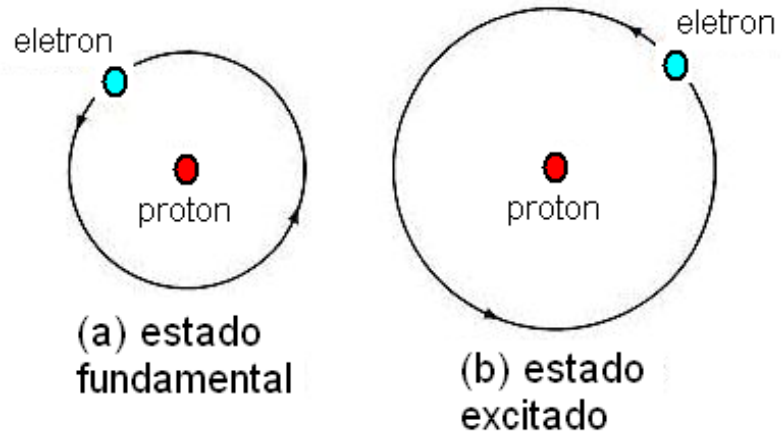
PAUSA PARA MEDITAÇÃO

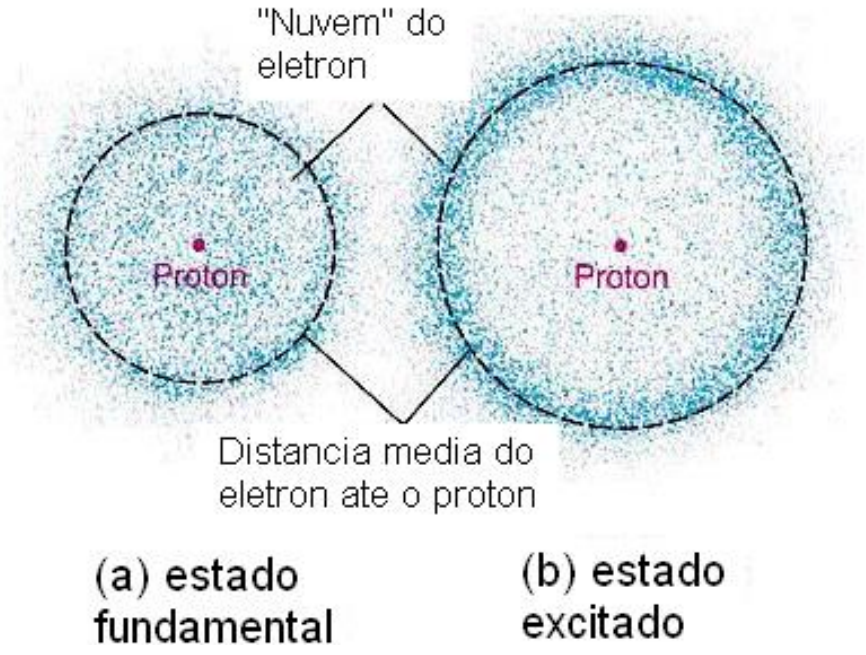
Níveis de energia do átomo de H



PAUSA PARA MEDITAÇÃO

A visão moderna do átomo de hidrogênio





PAUSA PARA MEDITAÇÃO

A sequência de tipos espectrais

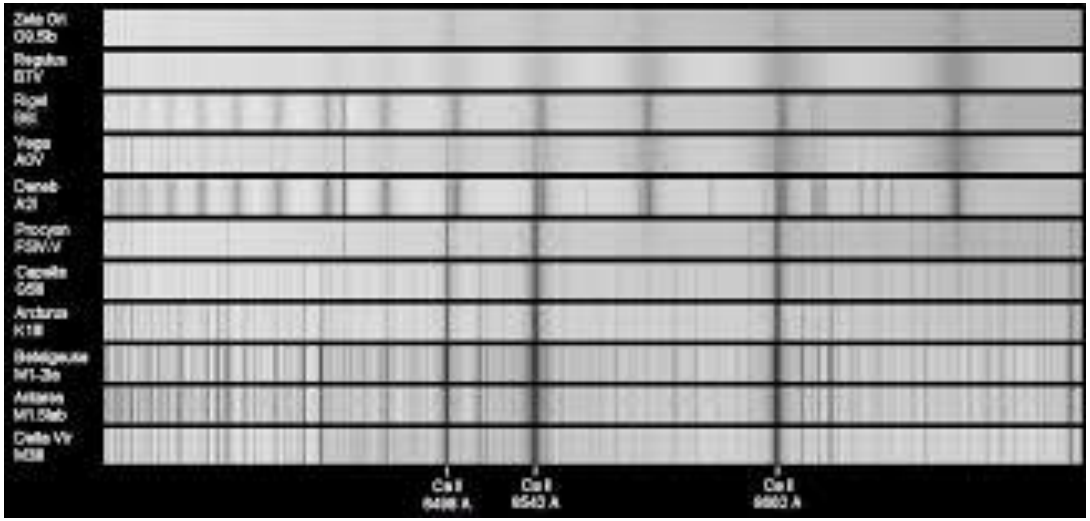
- Primeira classificação das estrelas: desenvolvida no Observatório de Harvard, em 1910, por Annie J. Cannon e colaboradores




Annie Jump Cannon
(1863-1941)

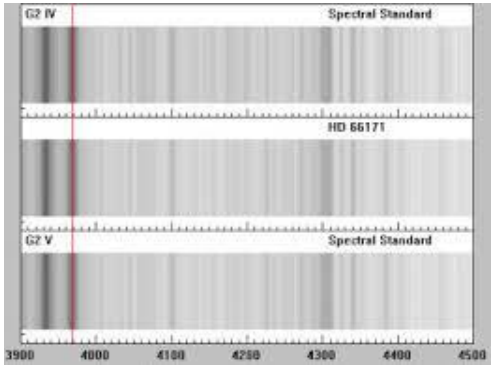





Zeta Ori
O9.5Ib
Regulus
B7V
Rigel
B8I
Vega
A0V
Deneb
A2I
Procyon
F5IV-V
Capella
G5III
Arcturus
K1III
Betelgeuse
M1-2Ia
Antares
M1.5Iab
Delta Vir
M3III
Ca II
8498 A
Ca II
8542 A
Ca II
8662 A

A sequência de tipos espectrais

- Primeira classificação das estrelas: desenvolvida no Observatório de Harvard, em 1910, por Annie J. Cannon e colaboradores





- Nomenclatura original adotada com base nas intensidades das linhas de hidrogênio: estrelas tipo “A” têm linhas mais fortes, nas “B” intensidade menor, diminuindo até o último tipo (O).

- 1920 melhor entendimento dos sub-níveis da estrutura atômica ⇨ distribuição mais significativa em função da temperatura superficial da estrela ($T_* = T_{efetiva}$).

Algumas letras foram suprimidas e a ordem foi alterada:

O, B, A, F, G, K, M

primeiros tipos (*early type*) **mais quentes**

tipos tardios (*late type*) **mais frias**

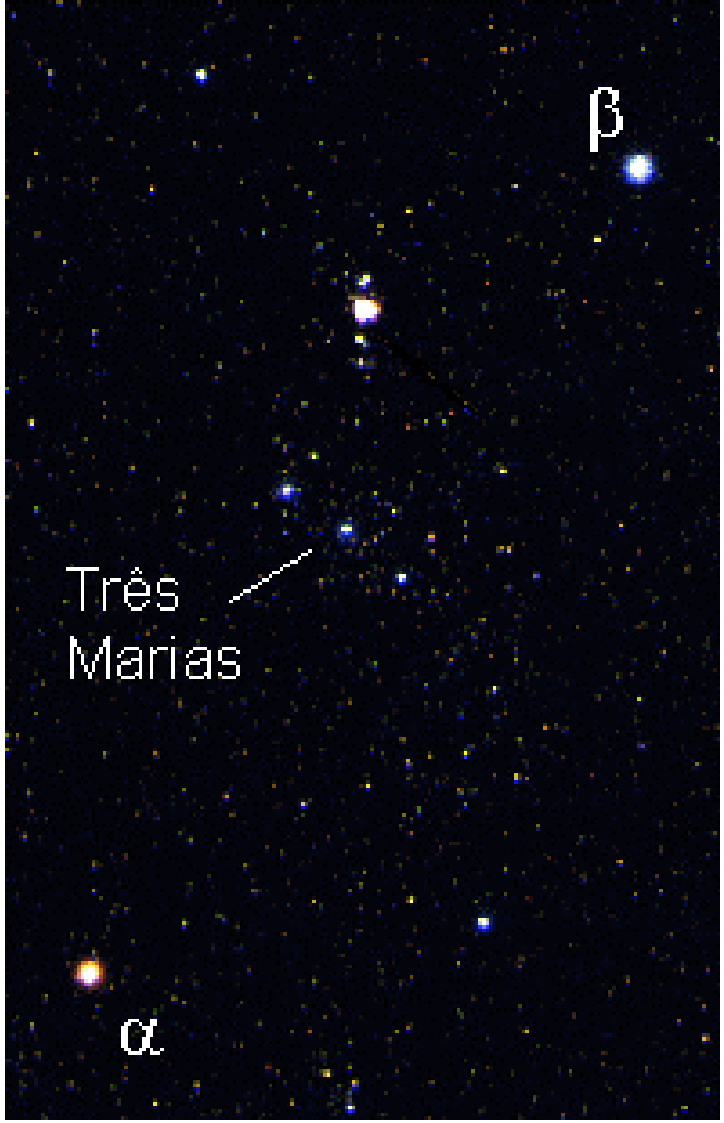
- Cada tipo é dividido em 10 grupos: de 0 (para o primeiro) a 9 (último): ...F8, F9, G0, G1, G2, ...G9, K0...

O Sol é uma estrela de tipo G2



Cores das Estrelas

Orion (c/ binóculo) identifica-se a estrela fria avermelhada (Betelgeuse – alfa Ori) e a estrela quente azulada (Rigel – beta Ori).

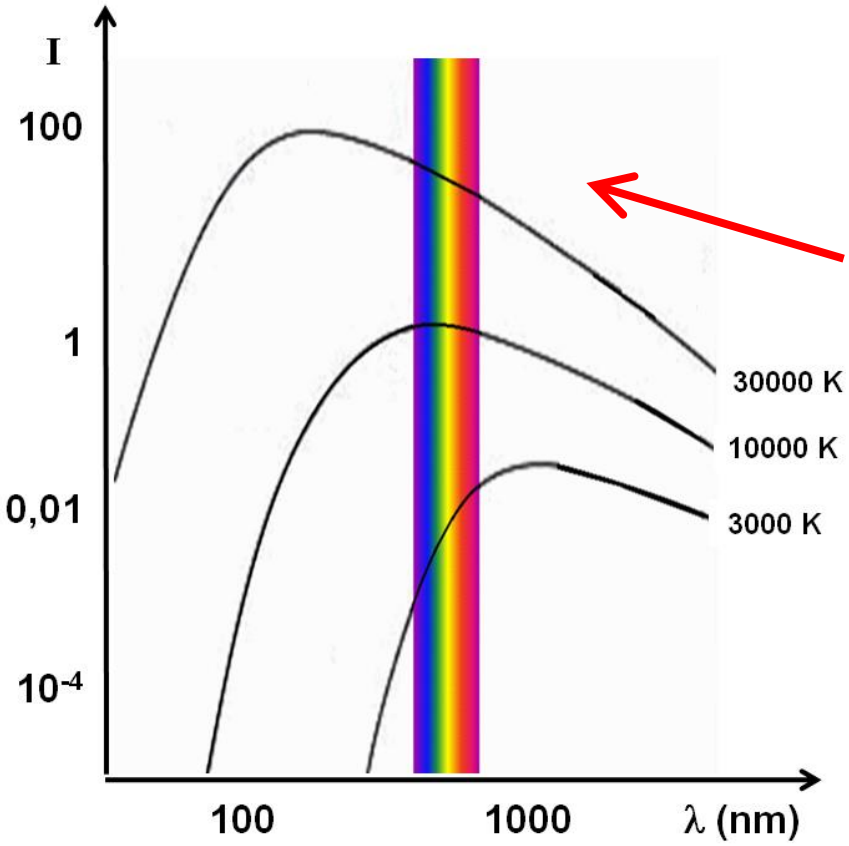


A cor depende da temperatura superficial da estrela

Observações mais detalhadas

Betelgeuse ($T_* \sim 3.000K$) e Rigel ($T_* \sim 15.000K$)

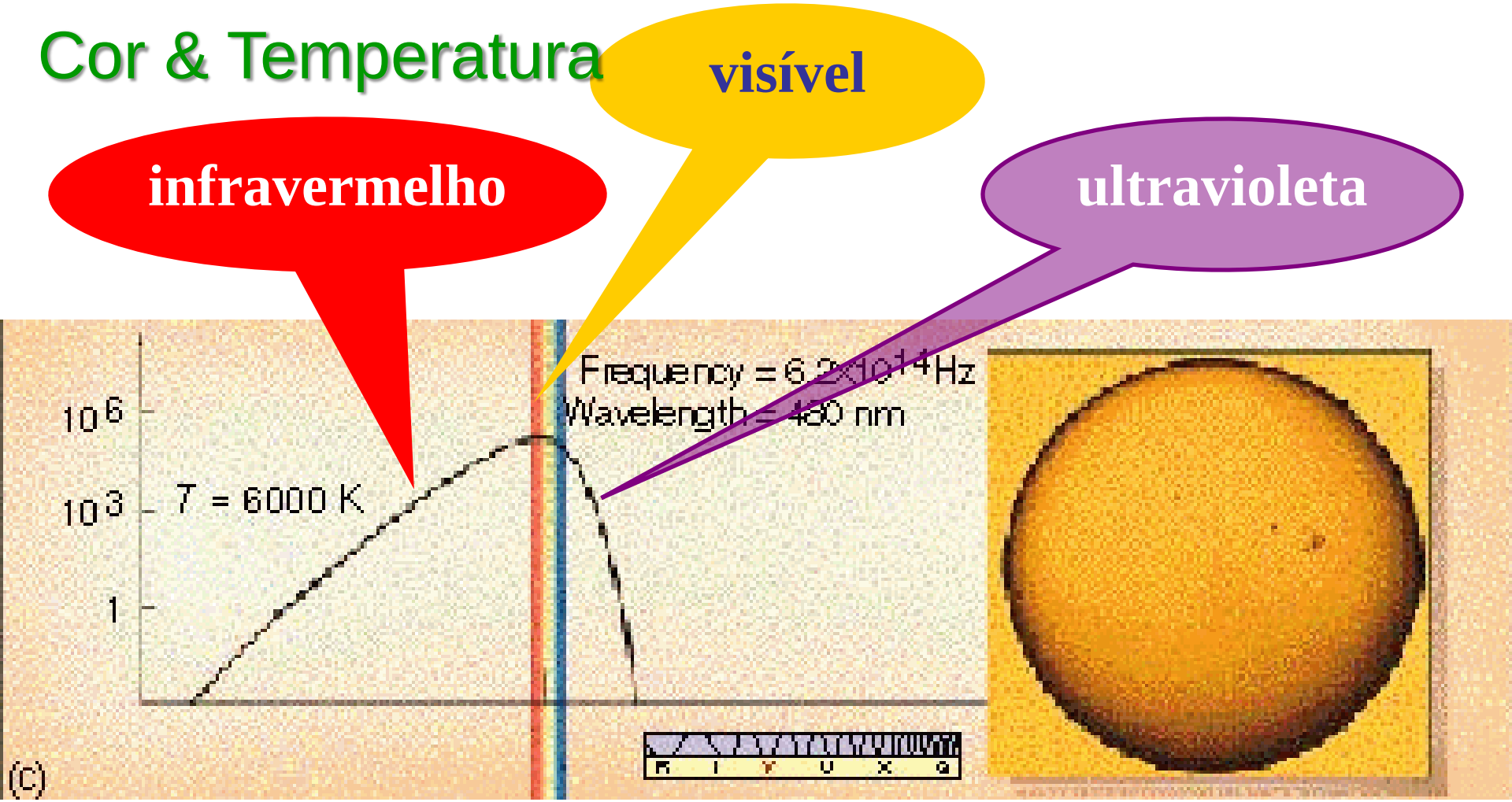
Temperatura Superficial (T_*)



Intensidade de Radiação ⇨ representada por uma função que depende de frequência (c/λ) e temperatura da estrela.

Fluxo total (emitido na superficie da estrela) ~ $F_* \propto (T_*)^4$

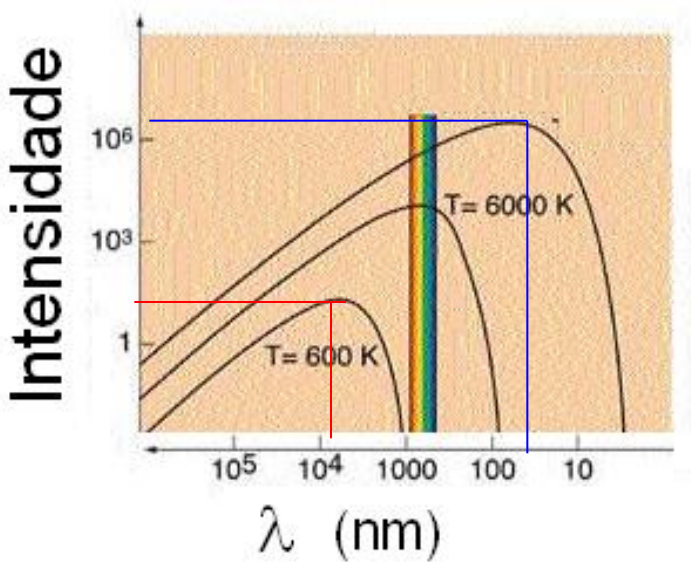
Cor & Temperatura



Observando a radiação do Sol em muitas frequências notamos que o pico se encontra na parte visível do espectro e que ele emite muito mais no infravermelho do que no ultravioleta.

Deslocamento do pico de máxima intensidade: variação de λ_{max} em função de T

- Onde ocorre o máximo de intensidade?



(I_{max}) ⇨ λ_{max} obtido pela

$$\frac{d\,I_\lambda}{d\lambda} = 0$$

Lei de Wien

$$\lambda_{max}(cm) = \frac{0{,}2897755}{T(K)}$$

Categorias de estrelas

Classes e tipos de estrelas dependem de

Luminosidade (L) & Temperatura (T_*)

Procura-se correlacionar os parâmetros ⇨

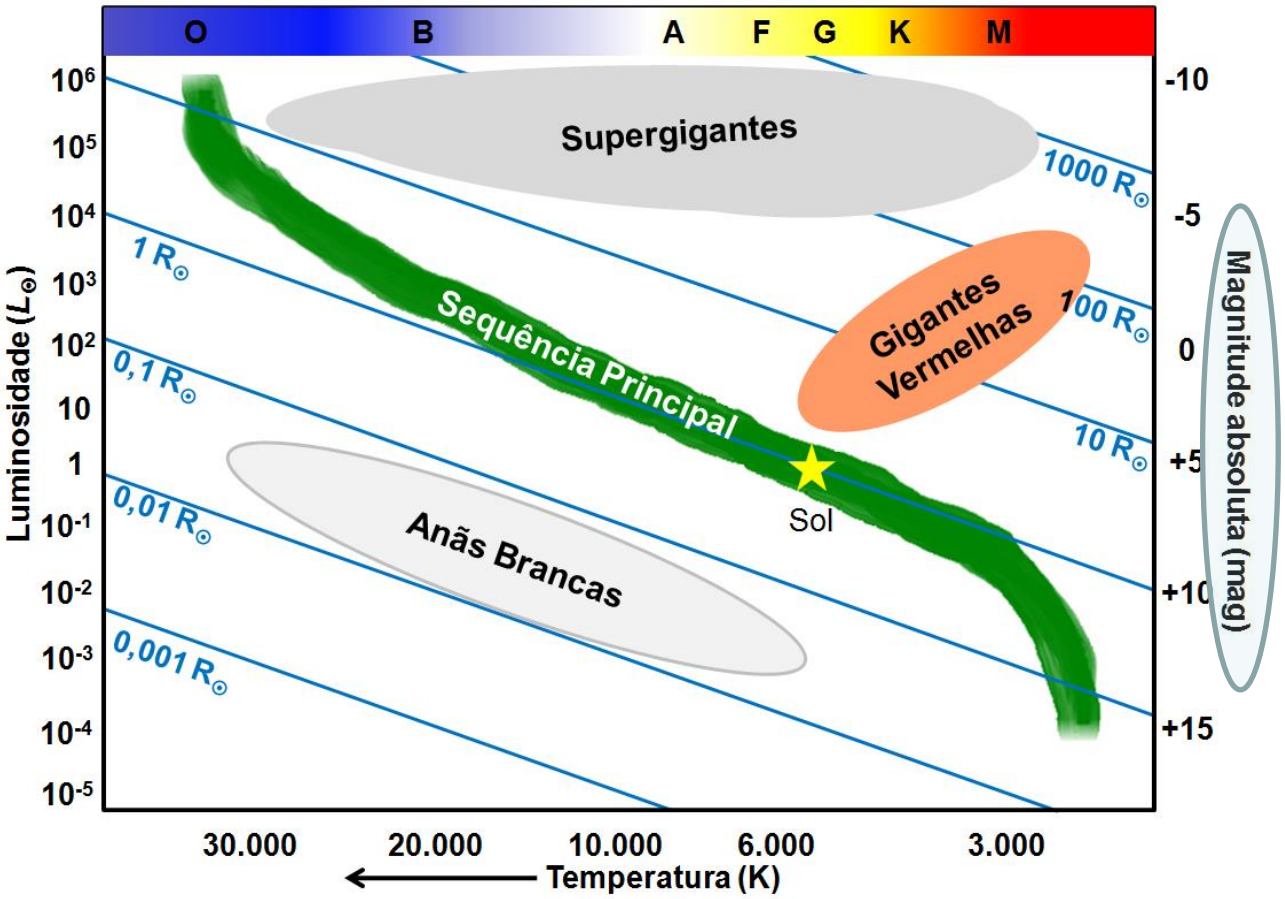
compararação entre as estrelas de diferentes tipos espectrais (ou temperaturas) e classes de luminosidade (gigantes, anãs etc).

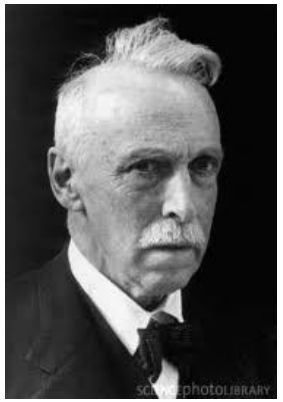
cor

tamanho

Como comparar as diversas categorias de estrelas?

Utiliza-se o diagrama H-R





Hertzprung



Russel

Cor (temperatura) *vs.* Brilho (energia emitida, raio)

Definição da Magnitude Aparente (m): depende do fluxo de radiação detectado a uma distância d

$$m = C - 2{,}5 \log F \qquad F(d) = \frac{L}{4\pi\, d^2}$$

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

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

REVISÃO

onde C'=C+(2,5log 4 π)

Definição da Magnitude Absoluta: está relacionada com o brilho intrínseco da estrela (Luminosidade).

Para comparação adota-se d=10pc

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

onde C'=C+(2,5log 4 π)

m é a magnitude aparente da estrela

$$M = C' - 2{,}5 \log L + 5 \log 10$$

M é a magnitude absoluta da estrela

d é dada em parsec

$$m - M = 5 log \frac{d(pc)}{10}$$

m-M é o módulo de distância

(*supondo ausência de extinção visual – poeira interestelar*)

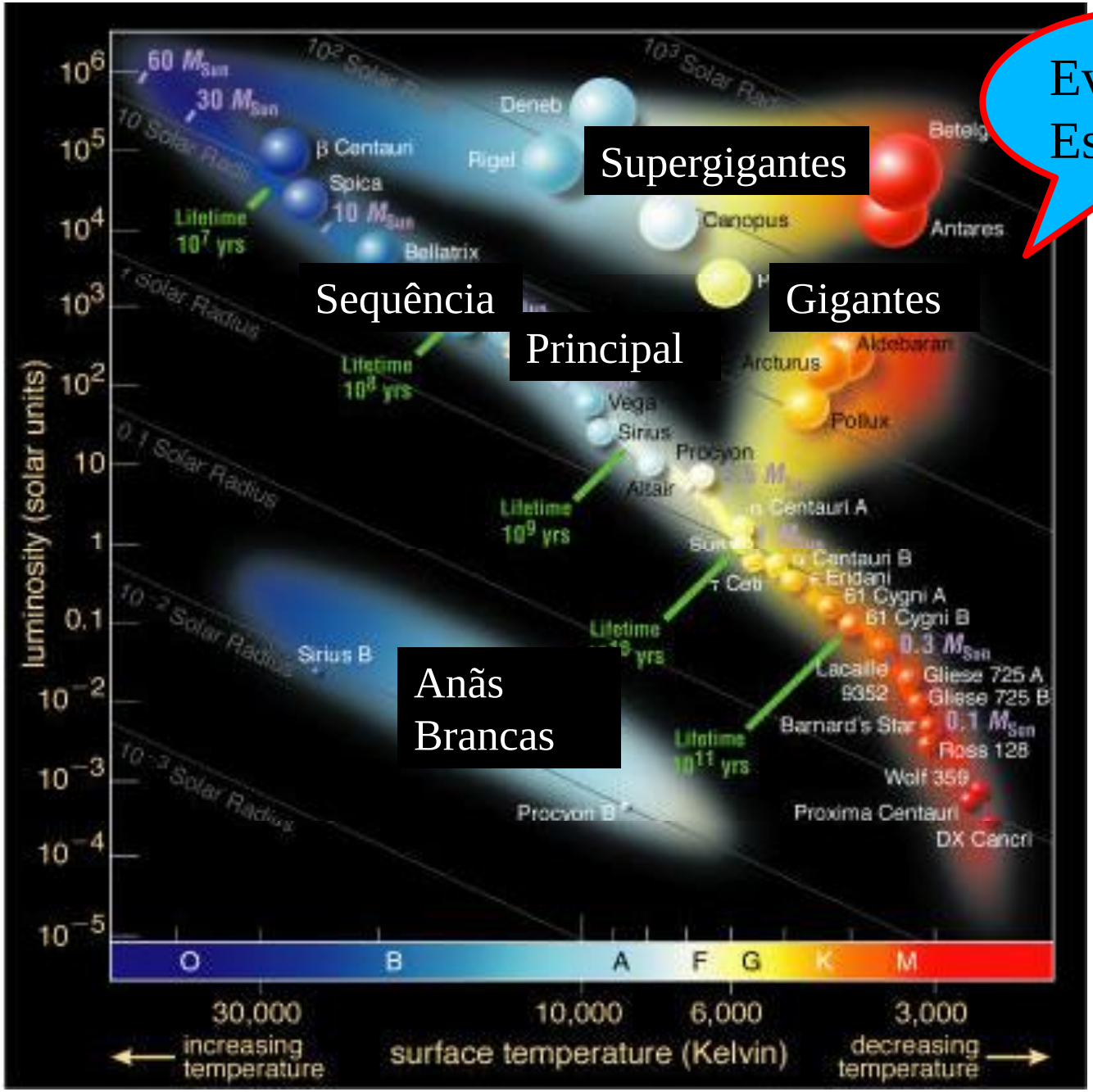
A magnitude absoluta do Sol na banda V é M_V=+4,83 mag

Diferentes categorias no diagrama H-R

As estrelas podem ser separadas no diagrama H-R de acordo com sua categoria. Exemplos:

- Sol é considerado uma estrela anã.
- Betelgeuse é uma super-gigante.
- Anãs Brancas são estrelas muito quentes, mas muito menores que o Sol.

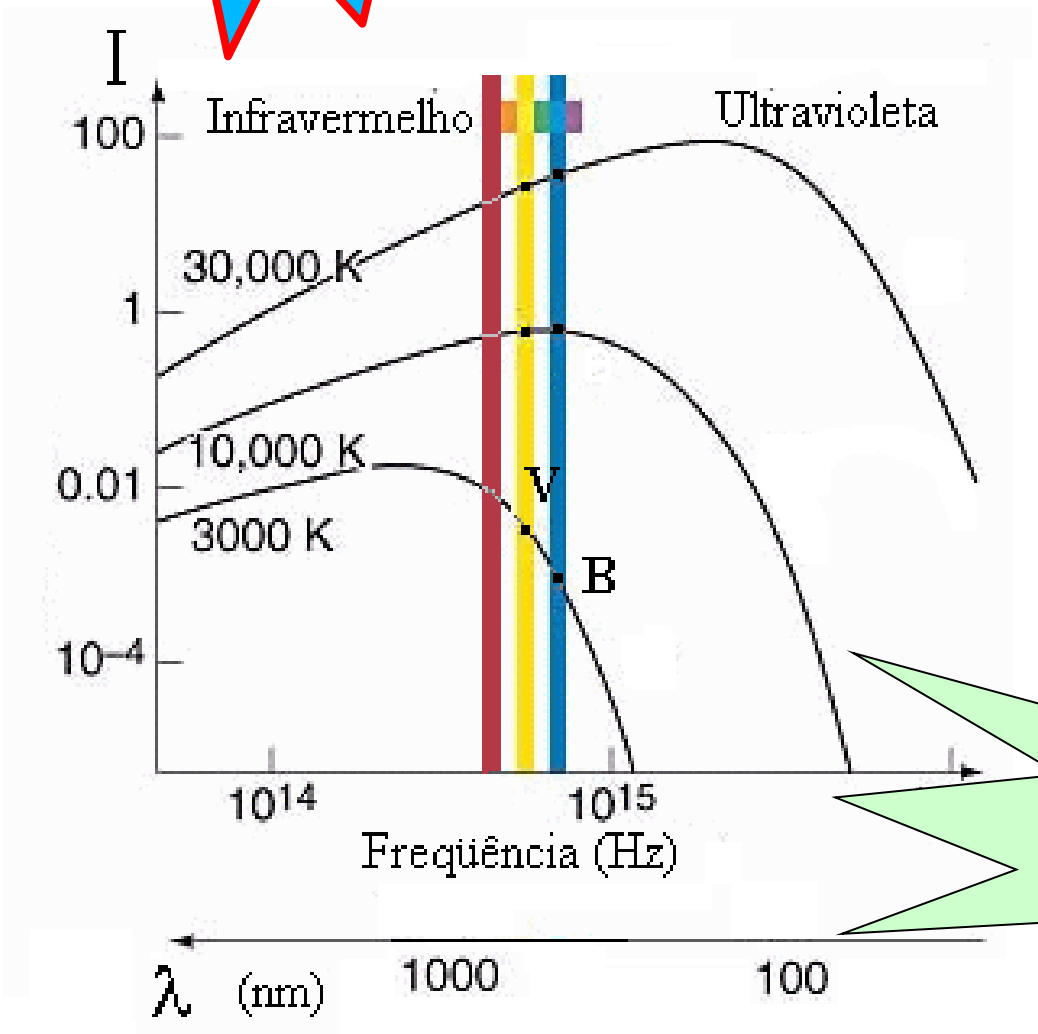
- Com um grande número de estrelas no Diagrama H-R ⇨ definem-se claramente as regiões onde se encontram as diferentes categorias de estrelas.


Evolução Estelar
Supergigantes
Sequência Principal
Gigantes
Anãs Brancas
luminosity (solar units)
surface temperature (Kelvin)
increasing temperature
decreasing temperature
O
B
A
F
G
K
M
30,000
10,000
6,000
3,000
Deneb
Rigel
Canopus
Antares
Betelgeuse
β Centauri
Spica
Bellatrix
Aldebaran
Arcturus
Pollux
Vega
Sirius
Procyon
Altair
α Centauri A
α Centauri B
τ Ceti
ε Eridani
61 Cygni A
61 Cygni B
Sirius B
Lacaille 9352
Gliese 725 A
Gliese 725 B
Barnard's Star
Ross 128
Wolf 359
Proxima Centauri
DX Cancri
Procyon B
60 M☉
30 M☉
10 M☉
0.3 M☉
0.1 M☉
Lifetime 10^7 yrs
Lifetime 10^8 yrs
Lifetime 10^9 yrs
Lifetime 10^11 yrs
10^2 Solar Radii
10^3 Solar Radii
10 Solar Radii
1 Solar Radius
0.1 Solar Radius
10^-2 Solar Radius
10^-3 Solar Radius

Atividade Prática

$$B\text{-}V = m_B - m_V = -2{,}5 \log (F_B / F_V)$$

Índice de Cor



$B << V \Rightarrow F_B >> F_V$

$[B\text{-}V] < 0$

Estrela quente, azulada

$B >> V \Rightarrow F_B << F_V$

$[B\text{-}V] > 0$

Estrela fria, avermelhada

Lembrar que fluxos mais intensos são representados por magnitudes menores.

As Cores das Estrelas

Jane Gregorio-Hetem, Eduardo Brescansin de Amôres, Raquel Yumi Shida (IAG-USP)

1.INTRODUÇÃO

O que aprenderei nesta atividade?

Você aprenderá como os astrônomos calculam a temperatura da superfície, o tamanho e a idade aproximada das estrelas. Através de imagens obtidas com um dos telescópios do projeto, você também será capaz de descobrir a história da vida de uma estrela.

Como posso fazer isso?

Leia atentamente a teoria a seguir e as dicas de como proceder para observar um objeto astronômico.

Ao olharmos o céu estrelado, podemos notar que nem todas as estrelas são da mesma cor. Algumas parecem brancas, outras são alaranjadas ou mesmo azuladas. Veja por exemplo o aglomerado aberto NGC 4755, conhecido como "caixinha de jóias" e que fica na constelação do Cruzeiro do Sul:



Fig.1 - NGC 4755 "Caixinha de Jóias"

DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

ANEXO 2
Tabelas de Conversão Entre Magnitudes e Watt/m²

Mag.	I	R	V	B	U	Bolometric
5.0	2.40×10^{-11}	1.65×10^{-11}	3.61×10^{-11}	9.24×10^{-11}	1.83×10^{-11}	2.40×10^{-10}
5.1	2.19×10^{-11}	1.51×10^{-11}	3.29×10^{-11}	8.43×10^{-11}	1.67×10^{-11}	2.19×10^{-10}
5.2	2.00×10^{-11}	1.37×10^{-11}	3.01×10^{-11}	7.69×10^{-11}	1.52×10^{-11}	2.00×10^{-10}
5.3	1.82×10^{-11}	1.25×10^{-11}	2.74×10^{-11}	7.02×10^{-11}	1.39×10^{-11}	1.82×10^{-10}
5.4	1.66×10^{-11}	1.14×10^{-11}	2.50×10^{-11}	6.40×10^{-11}	1.27×10^{-11}	1.66×10^{-10}
5.5	1.52×10^{-11}	1.04×10^{-11}	2.28×10^{-11}	5.84×10^{-11}	1.16×10^{-11}	1.52×10^{-10}
5.6	1.38×10^{-11}	9.52×10^{-12}	2.08×10^{-11}	5.33×10^{-11}	1.06×10^{-11}	1.38×10^{-10}
5.7	1.26×10^{-11}	8.69×10^{-12}	1.90×10^{-11}	4.86×10^{-11}	9.63×10^{-12}	1.26×10^{-10}
5.8	1.15×10^{-11}	7.92×10^{-12}	1.73×10^{-11}	4.44×10^{-11}	8.79×10^{-12}	1.15×10^{-10}
5.9	1.05×10^{-11}	7.23×10^{-12}	1.58×10^{-11}	4.05×10^{-11}	8.02×10^{-12}	1.05×10^{-10}
6.0	9.57×10^{-12}	6.60×10^{-12}	1.44×10^{-11}	3.69×10^{-11}	7.32×10^{-12}	9.57×10^{-11}
6.1	8.76×10^{-12}	6.02×10^{-12}	1.32×10^{-11}	3.37×10^{-11}	6.68×10^{-12}	8.76×10^{-11}
6.2	7.99×10^{-12}	5.49×10^{-12}	1.20×10^{-11}	3.07×10^{-11}	6.09×10^{-12}	7.99×10^{-11}
6.3	7.29×10^{-12}	5.01×10^{-12}	1.10×10^{-11}	2.80×10^{-11}	5.56×10^{-12}	7.29×10^{-11}
6.4	6.65×10^{-12}	4.57×10^{-12}	1.00×10^{-11}	2.56×10^{-11}	5.07×10^{-12}	6.65×10^{-11}
6.5	6.07×10^{-12}	4.17×10^{-12}	9.13×10^{-12}	2.33×10^{-11}	4.63×10^{-12}	6.07×10^{-11}
6.6	5.54×10^{-12}	3.81×10^{-12}	8.33×10^{-12}	2.13×10^{-11}	4.22×10^{-12}	5.54×10^{-11}
6.7	5.05×10^{-12}	3.47×10^{-12}	7.60×10^{-12}	1.94×10^{-11}	3.85×10^{-12}	5.05×10^{-11}
6.8	4.61×10^{-12}	3.17×10^{-12}	6.93×10^{-12}	1.77×10^{-11}	3.51×10^{-12}	4.61×10^{-11}

Conversão Contagens → Brilho (W m^{-2}) → magnitude

2. Use a tabela de conversão de brilho no Anexo 2 para obter o brilho aparente de cada estrela padrão e anote os dados na tabela acima.

3. Utilize a tabela de conversão de brilho para obter a magnitude aparente da estrela, ou seja, você deverá utilizar a seguinte expressão:

$B_a / B_p = C_a / C_p$ de modo que: $B_a = (C_a / C_p) B_p$

Preencha a tabela acima com as suas respostas.

Exemplo: Estrela 1 (filtro B)

Padrão (padraob1): $m_B = B = 8$ mag (vide pg.4)

Brilho aparente: 5,83 x 10^{-12} W m^{-2} (vide pg.14)

$$\frac{Brilho_{alvo}}{Brilho_{padrao}} = \frac{Contagens_{alvo}}{Contagens_{padrao}} = \frac{C_a}{C_p}$$

$$\left(Brilho_{alvo}\right)_{B1} = \frac{C_a}{C_p} \times 5{,}83\,10^{-12}\ Wm^{-2}$$

Cores das Estrelas

medidas

	Estrela 1	Estrela 2	Estrela 3	Estrela 4
Contagens da estrela alvo em B	6930570	8675233	5945523	4745196
Contagens da estrela padrão em B	5472310	3970622	5640134	5332053
Contagens da estrela alvo em V	8986322	9080875	8048143	4908187
Contagens da estrela padrão em V	7309176	6401129	7979362	7505573
Magnitude da estrela padrão B	8	9,2	7,8	7
Magnitude da estrela padrão V	7	7,2	7,5	7
Brilho aparente da estrela padrão em B	5,84E-12	1,94E-12	7,03E-12	1,47E-11
Brilho aparente da estrela padrão em V	5,75E-12	4,78E-12	3,63E-12	5,75E-12
Brilho aparente da estrela alvo em B	7,40E-12	4,23E-12	7,41E-12	1,31E-11
Brilho ap. da estrela alvo em V	7,06E-12	6,78E-12	3,66E-12	7,12
Magnitude aparente da estrela alvo em B	7,7	8,35	7,7	7,1
Magnitude aparente da estrela alvo em V	6,8	6,8	7,5	7,55
Índice B-V da estrela alvo	0,9	1,55	0,2	-0,45
Temperatura da estrela alvo	4900	3000	8000	40000
Cor da estrela alvo	Laranja	Vermelha	Amarela/Branca	Azul

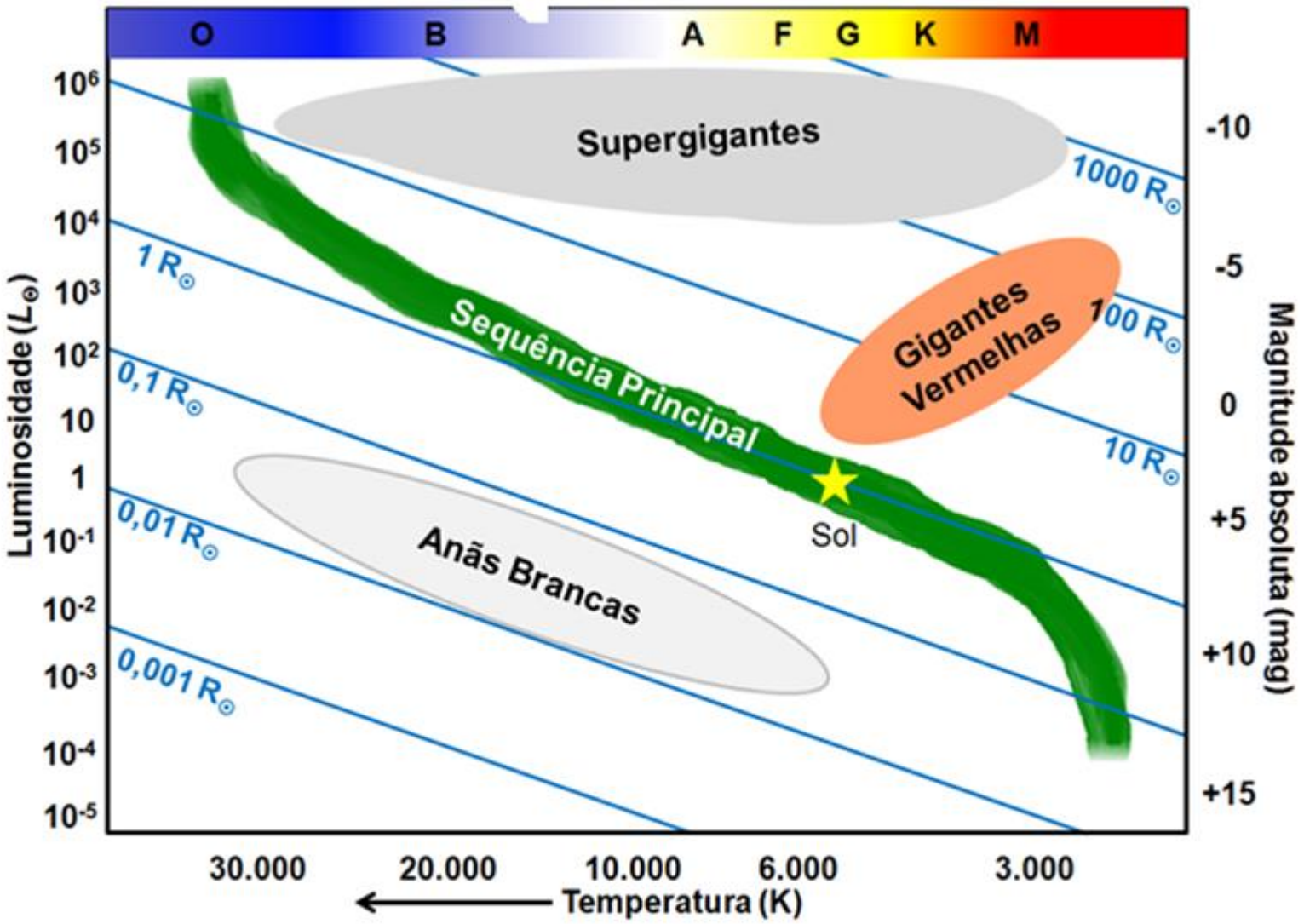
dados

tabela

cálculo

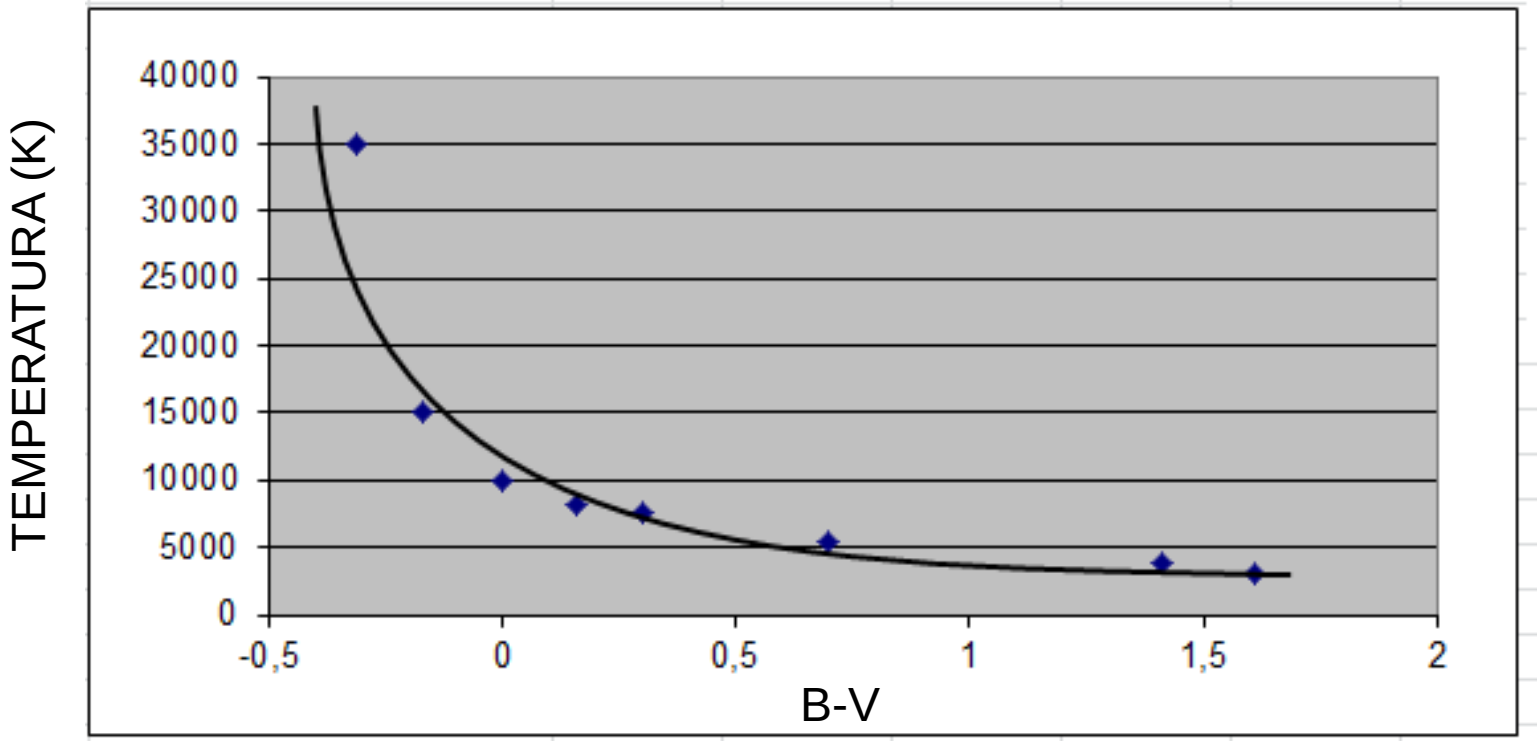
RESULTADO

Atividade I



O8	B	A0	F	G0	K	M0	
35800	20000	9800		5940		3840	T(K)
-0,32		-0,02		+0,58		+1,40	[B-V]

Indice B-V	Temp. Superf (K)	Cor
-0,31	35000	Azul
-0,17	15000	Azul - Branca
0	10000	Branca
0,16	8100	Amarela - Branca
0,3	7600	Amarela
0,7	5500	Amarela
1,41	3800	Laranja
1,61	3000	Vermelha



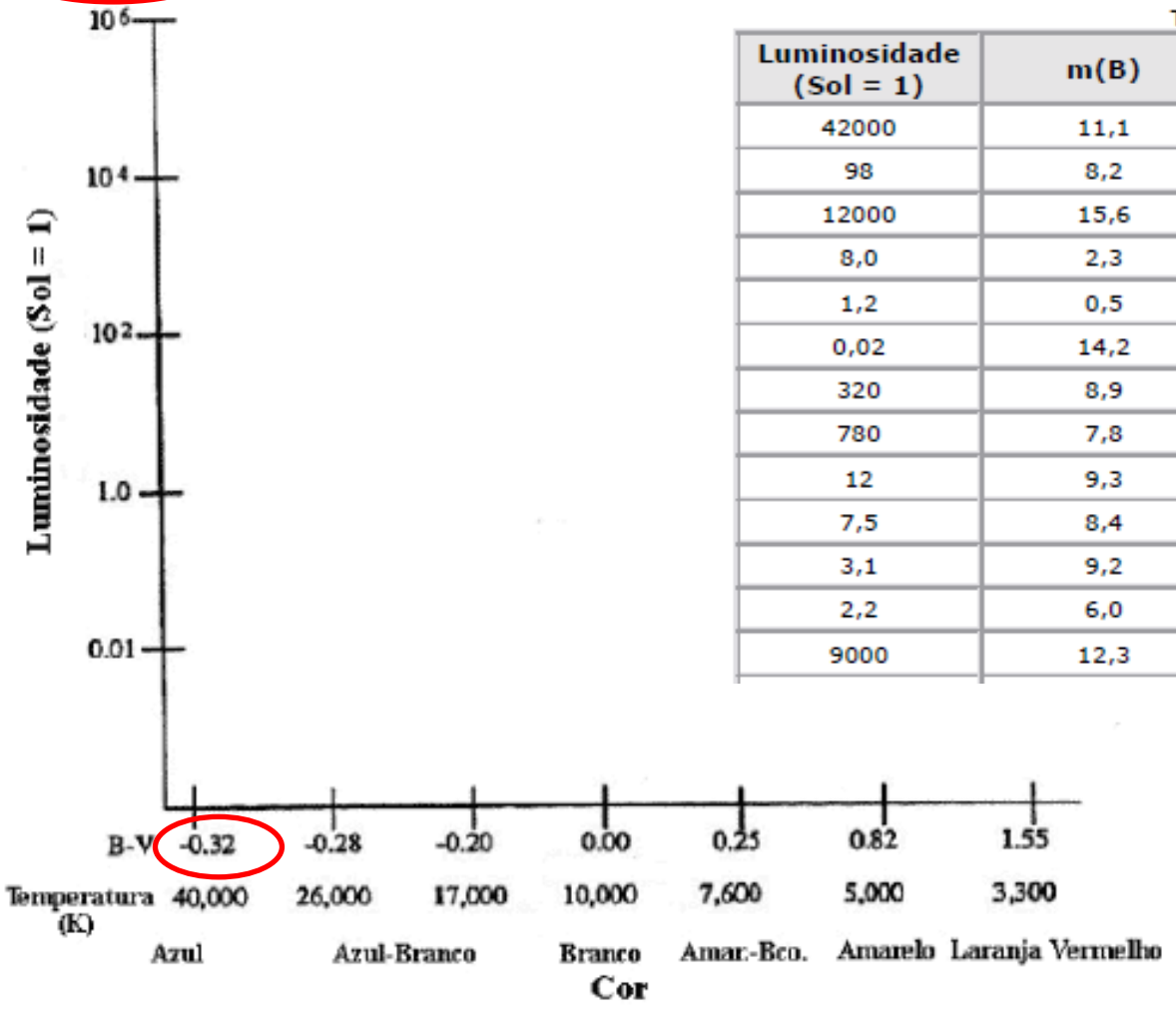
Atividade II Parte 1

Atividade II - Elaborando um Diagrama H-R

Primeiro vamos elaborar um diagrama H-R utilizando dados previamente obtidos por astrônomos. A tabela 4 contém os dados de luminosidade e cor já medidos para 45 estrelas. Utilize o diagrama em branco fornecido abaixo para graficar os dados e criar seu próprio diagrama H-R. Primeiramente você deverá calcular os índices de cor para cada estrela.

Tabela 4:

Luminosidade (Sol = 1)	m(B)	m(V)	Índice (B-V)
42000	11,1	11,5	
98	8,2	8,2	
12000	15,6	15,8	
8,0	2,3	2,0	
1,2	0,5	-0,1	
0,02	14,2	12,7	
320	8,9	9,0	
780	7,8	8,0	
12	9,3	9,2	
7,5	8,4	8,2	
3,1	9,2	8,6	
2,2	6,0	5,3	
9000	12,3	12,6	



Atividade II - Parte 2

Agora utilizaremos os dados obtidos na Atividade I, que você provavelmente anotou na Tabela 2.

1. Quais são as possíveis posições no diagrama H-R de cada estrela alvo ?

Estrela 1:

Estrela 2:

Estrela 3:

Estrela 4:

2. Supondo que as estrelas alvo, **1** e **2**, estão aproximadamente à mesma distância da Terra, faça uma hipótese da posição de cada estrela no diagrama H-R.

Estrela 1:

Estrela 2:

Dica: Use medidas para o filtro V

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

$$m - M = 5 log \frac{d(pc)}{10}$$

BIBLIOGRAFIA (AGA0215)

“Estrelas: Distância e Magnitude” (Cap. 8)