

## ATIVIDADE DE LABORATÓRIO

Nome: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

### Medir distâncias no Universo

#### INTRODUÇÃO

Medir distâncias a objetos astronômicos é um problema fundamental em Astronomia e um grande desafio aos astrônomos. Ao longo do tempo, vários métodos foram surgindo. As primeiras medições pelo método da paralaxe realizaram-se no século XIX e constituíram as primeiras determinações de distâncias a estrelas, provando que estas são sóis distantes. Mas o método da paralaxe só é útil para estrelas próximas, até cerca de 150 pc ~ 500 anos-luz.

No início do século XX, Henrietta Leavitt levou a cabo um estudo detalhado de uma classe especial de estrelas variáveis, as cefeidas, e descobriu que estas estrelas possuem características únicas que nos permitem determinar a distância a que se encontram. O método descoberto por Henrietta Leavitt foi essencial para se determinar, pela primeira vez, a distância à Grande Nuvem de Magalhães e a Andrômeda, o que provou que estas eram galáxias separadas da nossa Via Láctea. Os astrônomos utilizam as cefeidas para determinar a distância a sistemas estelares na nossa galáxia e a galáxias próximas (até ~ 20 Mpc ~ 60 milhões anos-luz).

Neste exercício, vamos determinar a distância à Grande Nuvem de Magalhães com base nas observações de uma cefeida desta galáxia nossa vizinha. Os alunos terão que efetuar fotometria da estrela, construir a curva de luz, ajustar uma função de onda aos dados observacionais, aplicar a conhecida relação Período-Luminosidade das cefeidas, relações entre magnitudes para obter a magnitude absoluta<sup>1</sup> ( $M$ ) e a magnitude aparente<sup>2</sup> ( $m$ ) da cefeida para então usar o módulo de distância que relaciona as magnitudes (absoluta e aparente) de uma estrela com a sua distância em parsecs.

1. *Magnitude Absoluta ( $M$ )*: é a magnitude aparente que um objeto teria se estivesse a uma distância padronizada (10 parsecs). A magnitude absoluta nos permite comparar o brilho de objetos astronômicos sem levar em consideração as distâncias em que eles se encontram.
2. *Magnitude Aparente ( $m$ )*: é uma escala para comparação do brilho das estrelas desenvolvida pelo astrônomo grego Hiparco há mais de 2000 anos. A magnitude aparente fornece uma forma de comparar quão brilhante um objeto parece em relação a outro, mas não quão brilhante ele realmente é. Isto porque a magnitude aparente depende da distância em que o objeto se encontra.

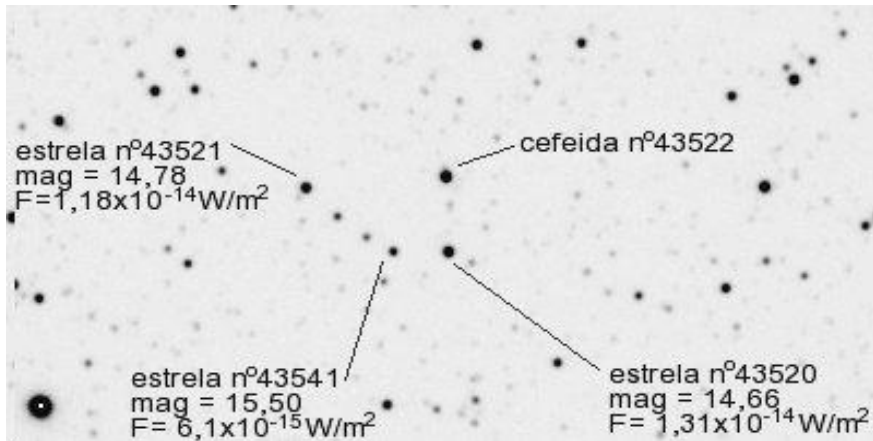


Fig.2. A localização da cefeida em estudo e das estrelas de referência usadas para comparação.

## PROCEDIMENTO

1. Realizar fotometria da cefeida e de uma estrela de referência nas diferentes imagens, escrevendo o resultado na folha excel Cefeidas.xls:
  - a. Abrir o arquivo Cefeidas.xls.
  - b. Abrir o SalsaJ.
  - c. No SalsaJ, abrir a primeira imagem da pasta "Cefeidas" [menu "Arquivo:Abrir"].
  - d. No arquivo excel registrar a data e hora da observação, que são dados no nome do arquivo da imagem aberta. (Ex.: 43522-1999-10-26-01-41-23 onde 43522 é o número da estrela (cefeida), 1999 é o ano, 10 é o mês (Outubro, mas registrar como "out", novembro como "nov" e etc) e 26 é o dia, ficando 26/out/1999, às 01h 41min e 23seg, onde os segundos não precisam ser registrados, ficando apenas 01:41).
  - e. No SalsaJ, ajustar a imagem de forma a distinguir perfeitamente as estrelas [menu "Imagem:Ajustar Brilho/Contraste"; escolher Auto]. Encontrar a cefeida e a estrela de referência (escolher uma das três possíveis e não se esquecer qual é, escrevendo o número de referência no campo da folha excel "?REF?").
  - f. Realizar a fotometria [menu "Análise:Fotometria"] clicando sobre a cefeida e sobre a estrela de referência - os resultados aparecem numa janela (é conveniente limpar primeiro os dados anteriores fazendo "selecionar-editar-limpar" de forma a facilitar a leitura).
  - g. Registrar os resultados da fotometria das duas estrelas na folha excel nos campos **I<sub>c</sub>** (intensidade da cefeida) e **I<sub>r</sub>** (intensidade da estrela de referência).
  - h. Repetir o procedimento para todas as imagens da pasta "Cefeidas".
2. Na folha de excel, a coluna **Tempo** foi calculada automaticamente de forma a corresponder ao tempo, em dias, que passam desde a primeira observação.
3. Na folha de excel, à medida que se preenchem os campos das colunas **I<sub>c</sub>** e **I<sub>r</sub>**, a coluna **F<sub>c</sub>/F<sub>r</sub>** é calculada automaticamente como a razão entre a intensidade da cefeida e a intensidade da estrela de referência, ou seja, o fluxo relativo **F<sub>c</sub>/F<sub>r</sub>** é igual à intensidade relativa **I<sub>c</sub>/I<sub>r</sub>**.
4. Construir o gráfico **Tempo vs Intensidade Relativa** com as observações - o gráfico é construído automaticamente na folha excel. Estes pontos definem a curva de luz da cefeida.
5. Tentar encontrar uma função senoidal que corresponda ao gráfico

$$\frac{F_c}{F_r} = B + A \sin(2\pi \frac{t}{P} + \Delta\varphi).$$

Isto significa ter de encontrar quatro parâmetros: a intensidade relativa média da cefeida  $B$ , amplitude da variação  $A$ , período  $P$ , e fase  $\Delta\varphi$ . É conveniente determinar primeiro alguns valores aproximados dos seguintes parâmetros:

$B$  - a intensidade média da cefeida pode estimar-se como o valor médio de  $F_c/F_r$   $t$ ;

$A$  - pode estimar-se como metade da amplitude do gráfico  $F_c/F_r$   $t$ ;

$\Delta\varphi$  - a fase da função senoidal; se os primeiros pontos estão abaixo do valor médio, a fase é negativa, i.e.  $-\pi/2$  (-1.57), se estiverem acima, a fase é positiva, etc;

$P$  - o Período pode avaliar-se "a olho" como o tempo decorrido entre dois máximos.

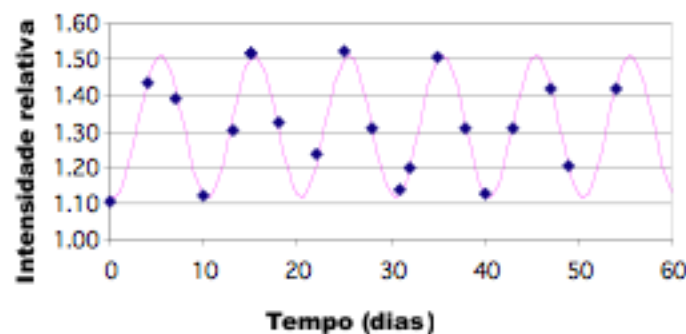


Fig.3 Exemplo de uma curva de luz de uma estrela tipo cefeid

6. Na folha excel, introduzir nos campos ao lado de  $B$ ,  $A$ , fase ( $\Delta\varphi$ ) e  $P$  os respectivos valores estimados.
7. Na coluna **Modelo** aparece automaticamente a função teórica calculada com essa estimativa de parâmetros. No gráfico, aparece a linha com a curva teórica.
8. Na coluna **erro** é calculado automaticamente o desvio da função teórica relativamente ao dado observacional. No fim da coluna, aparece a soma de todos os erros. Este é o valor que vamos querer que seja o menor possível.
9. Ajustar a função teórica: escolher do menu "Ferramentas: Solver"
  - a. Colocar na célula alvo o campo com a soma de todos os erros;
  - b. Escolher Min;
  - c. Colocar os campos com as variáveis da função (os valores de  $B$ ,  $A$ , fase e  $P$ ) em "Alterando as células";
  - d. Resolver.
  - e. Automaticamente os valores de  $B$ ,  $A$ , fase e  $P$  foram ajustados, a coluna **Modelo** foi recalculada e o gráfico atualizado.

\*Se não tiver adicionado a função Solver no menu Ferramentas:

Os valores de  $B$ ,  $A$ ,  $\Delta\varphi$  e  $P$  podem ser ajustados "a olho" por tentativas, visto que o gráfico é alterado

automaticamente quando se altera um valor na célula. Altere, cuidadosamente, não variando muito os valores das quatro variáveis, uma de cada vez, de maneira que o gráfico desenhado pela planilha se encaixe da maneira mais aproximada possível dos pontos plotados, como na Fig.3.

<p>10. Tomar nota do Período e da intensidade relativa média da cefeida, o número e a magnitude aparente da estrela de referência (Fig. 2).</p>	<p>Período (P) =            dias</p> <p>Intensidade relativa média (<math>F_{cef}/F_{ref}</math>) =</p> <p>Nº Estrela Ref=</p> <p><math>m_{ref}</math> =</p>
<p>11. Com o valor do Período, utilizar a famosa relação entre o período e a luminosidade média das cefeidas, que se mostra na Fig.4, para determinar a luminosidade da <b>cefeida 43522</b> em relação à luminosidade solar (<math>L_{cef}/L_{sol}</math>).</p>	<p><math>L_{cef}/L_{sol}</math>=</p>
<p>12. Calcular a magnitude absoluta (<math>M</math>) da cefeida utilizando a relação (1).</p>	<p><math>M_{cef}</math> =</p>
<p>13. Calcular a magnitude aparente (<math>m</math>) da cefeida utilizando a relação (2).</p>	<p><math>m_{cef}</math> =</p>
<p>14. Utilizando o módulo de distância (3) calcular a distância até a cefeida (em parsecs). Em seguida converter o resultado para anos-luz e para metros.</p>	<p>d =                    pc</p> <p>d =                    a.l.</p> <p>d =                    m</p>

Constantes, relações e gráfico para consultar:

**Constantes**

$M_{sol}$	1 pc	1 a.l.
4,79	$3,086 \times 10^{16}$ (m)	$9,461 \times 10^{15}$ (m)

Relações	
(1)	$M_{cef} - M_{sol} = -2.5 \log(L_{cef} / L_{sol})$
(2)	$m_{cef} - m_{ref} = -2,5 \log F_{cef} / F_{ref}$
(3)	$m - M = 5 \log d - 5 \rightarrow d_{pc} = 10^{m-M+5/5}$

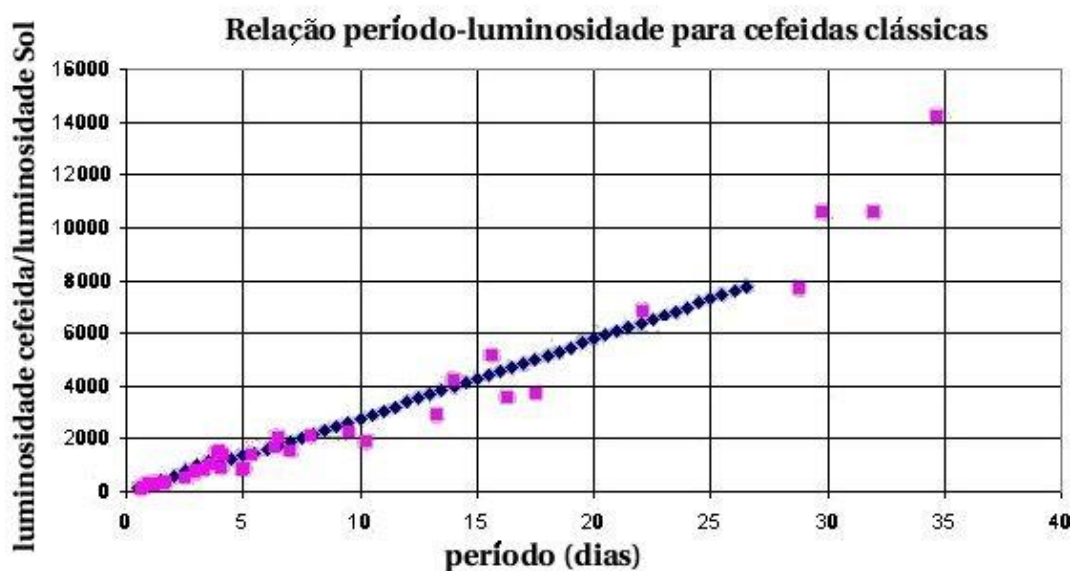


Fig.4 Luminosidade da cefeida (em unidades solares) como função do período de variação.

15. Problema: Qual será a incerteza associada ao resultado?

---



---



---



---



---



---



---



---