

# Medidas da radiação luminosa

Curso de Introdução à Astronomia e Astrofísica  
Dr. Francisco Jablonski - DAS/INPE  
chico@das.inpe.br

## O que medir?

Vamos medir a quantidade de energia radiante produzida por fontes luminosas (uma lâmpada incandescente e uma lâmpada fluorescente) e verificar como a energia incidente por unidade de área varia com a distância à fonte.

## Como medir?

Utilizaremos um dispositivo que converte o estímulo produzido pela energia radiante num sinal digital de frequência variável. Trata-se de um *circuito integrado* (TSL 235) que é muito utilizado em câmaras fotográficas, equipamentos industriais, brinquedos, etc. A figura abaixo mostra esquematicamente como o dispositivo funciona. A luz incide sobre um fotodetector, o sinal resultante é amplificado e convertido em um sinal de frequência proporcional à quantidade de energia incidente. O sinal digital de saída pode ser facilmente lido por um computador ou por um multímetro que tenha um modo de medir frequências.

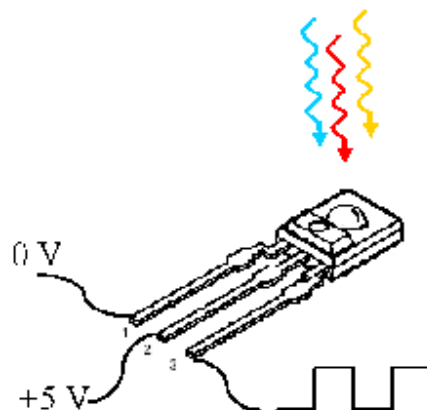


Figura 1: O esquema de funcionamento do detector TSL 235

## Características do detector TSL 235

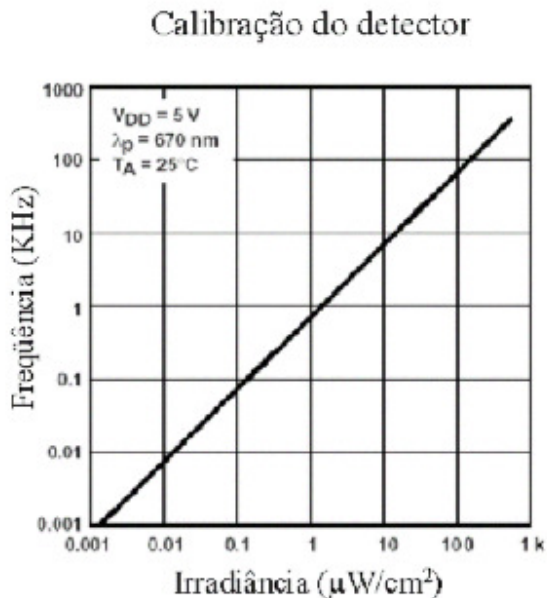


Figura 2

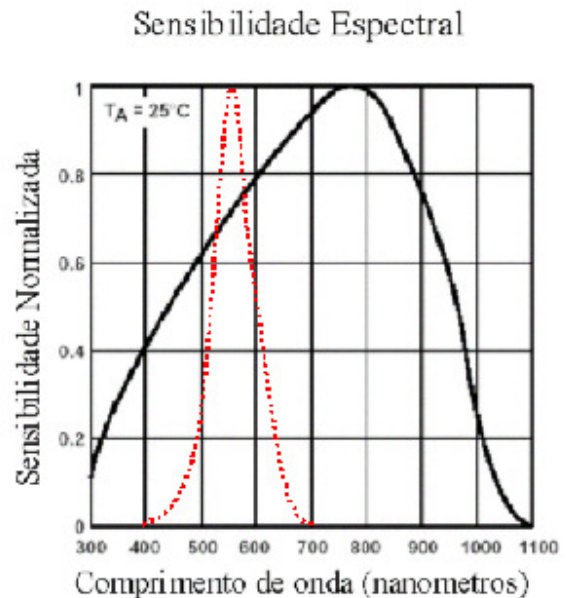


Figura 3

As figuras acima mostram características importantes do funcionamento do detector que utilizaremos.

Na Figura 2 temos a *calibração* do detector, ou seja, dado um valor de frequência medido na saída, qual é a quantidade de energia radiante (denominada de Irradiância) que incidiu sobre ele. Note como o detector responde sempre na mesma proporção ao longo de mais de 5 décadas de estímulo luminoso. Como a nossa medida visa examinar a *variação* da irradiância com a distância à fonte de luz, os valores absolutos da irradiância não são relevantes. Outra coisa que eu devo mencionar é que a calibração da Figura 2 refere-se a luz monocromática de 670 nanômetros de comprimento de onda. Se a fonte de luz tiver um espectro amplo (como é o caso do espectro de uma lâmpada incandescente, muito próximo do espectro de um corpo negro), a calibração da Figura 2 passa a interceptar o eixo vertical em pontos distintos para distintas temperaturas. A inclinação, no entanto, é sempre a mesma. Esse detalhe também não é importante quando queremos examinar somente a variação da irradiância com a distância à fonte.

Na Figura 3 nós podemos ver a *sensibilidade espectral* do detector. Para fins de comparação, coloquei no mesmo gráfico a curva de sensibilidade do olho humano. Esta curva é importante de ser lembrada quando você for interpretar as diferenças entre as medidas de irradiância de uma lâmpada incandescente e de uma lâmpada fluorescente para uma mesma distância.

## Os resultados das medidas

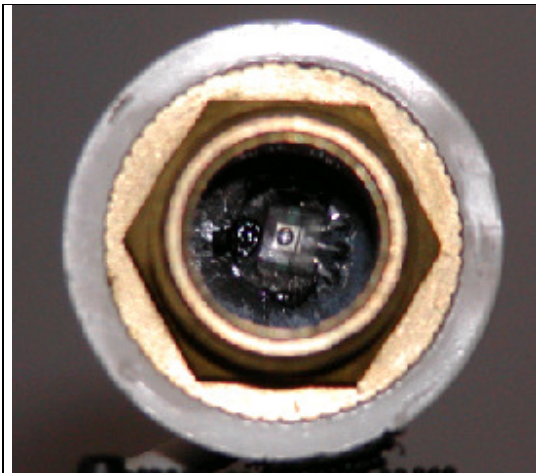


Figura 4 - Vista frontal do detector

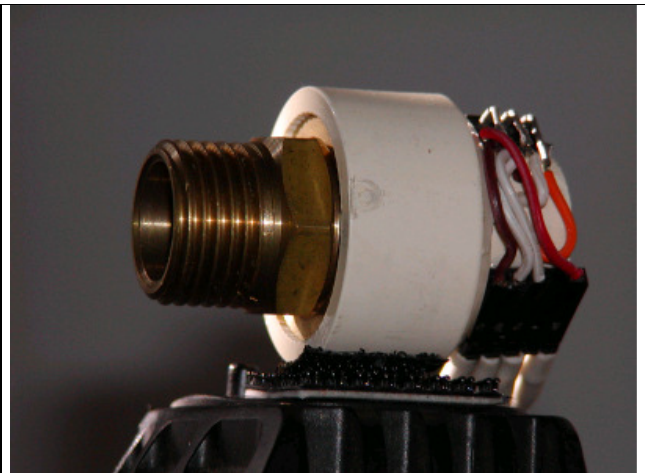


Figura 5 - Vista lateral do detector sobre o tripé

As medidas foram realizadas posicionando o detector montado sobre um tripé (Figura 5) a diferentes distâncias da fonte. As distâncias foram marcadas com ajuda de uma régua. A tabela abaixo contém os resultados das medidas. A primeira coluna é a distância à fonte (em cm), a segunda e terceira colunas referem-se às medidas (frequência de saída, em Hz) com uma lâmpada incandescente. A quarta coluna corresponde à lâmpada fluorescente. As medidas para a lâmpada incandescente foram repetidas (ida e volta ao longo da régua) para que pudéssemos verificar quão bem elas se repetem.

Tabela 1 - As medidas de irradiância

Distância (cm)	Incandescente (Ida)	Incandescente (Volta)	Fluorescente
30	646000	646000	75450
50	336000	234000	27600
100	76400	68800	6570
150	32200	33700	2840
200	20300	16230	1526
250	12500	11850	967
300	9160	8900	711
350	6300	6300	495

## Interpretação dos resultados

Olhando os resultados da Tabela 1, podemos concluir sem dúvida alguma que a irradiância decresce rapidamente com a distância até a fonte. As medidas de volta são sistematicamente mais baixas que as medidas de ida, e nós discutiremos as possíveis razões para isso.

A maneira mais interessante de visualizar os resultados desta experiência é fazer um gráfico como o da Figura 6.

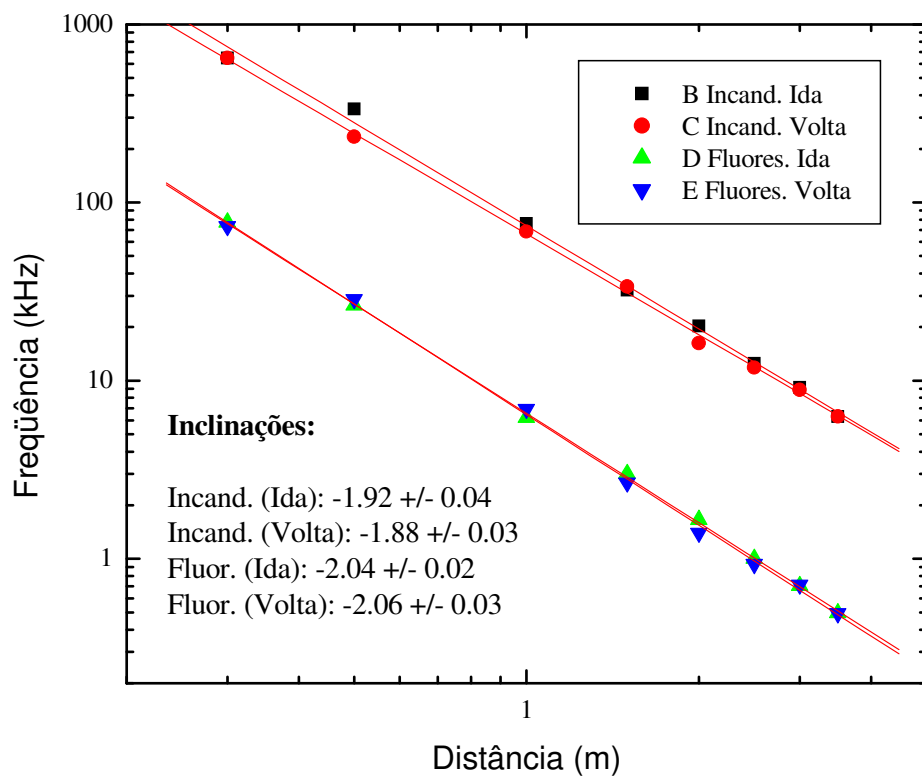


Figura 6: A irradiância em função da distância, num gráfico em escala logarítmica, para os três conjuntos de dados coletados.

A razão para montarmos o gráfico da Figura 6 em escala logarítmica é explicada a seguir. Nós temos razões teóricas para acreditar que a irradiância caia com o quadrado da distância. Em termos matemáticos isso pode ser escrito como

$$I \propto \frac{1}{D^2}.$$

Se tomarmos o logaritmo de ambos os lados da equação acima podemos reescreve-la como

$$\log I = \alpha \log D + const$$

que é a equação de uma reta onde o coeficiente angular é  $\alpha = -2$ . Na Figura 6 estão mostrados os valores de  $\alpha$  ( $\pm$  a incerteza nesses valores) obtidos a partir do ajuste de retas aos três conjuntos de dados. Pode-se notar que os valores são um pouco diferentes da nossa expectativa teórica, principalmente para a lâmpada incandescente. Quais seriam as principais razões para não obtermos exatamente o valor esperado de  $-2$ ? Vamos listar algumas:

- As especificações do fabricante do dispositivo TSL 235 indicam que a partir de 500 kHz há significativa não-linearidade no detector. Isto contribui para fazer com que a medida a 0.3 m apresente valor menor do que deveria influenciando na inclinação das retas que graficamos na Figura 6. O efeito vai no sentido de a inclinação não ser tão negativa quanto  $-2$ .
- Nós estamos supondo que a fonte de luz seja pontual. Isso certamente não é verdade, principalmente para as pequenas distâncias. Quando a fonte é extensa, espera-se que para distâncias muito pequenas, o valor da irradiância atinja um patamar e não varie mais. Isto tende a provocar inclinações das curvas na Figura 6 que vão na direção dos valores observados.
- Quantificamos a presença de contaminação nas medidas pela presença de luz proveniente de outras fontes (frestas nas cortinas, por exemplo). Verificamos que a contribuição é desprezível, mesmo quando comparada às medidas na maior distância.

Qual é a potência radiante da lâmpada incandescente que utilizamos? A calibração da Figura 2 mostra que uma frequência de 1 kHz corresponde a  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  de irradiância. Para 100 cm de distância, temos um valor de  $73 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Isto quer dizer que em todas as direções são emitidos  $4\pi \times 100^2 \times 73 = 9.17 \times 10^6 \mu\text{W} = 9.17 \text{ W}$ . Caso a temperatura da lâmpada seja 2500 K, o fator de correção que temos que utilizar para levar em conta a fração de radiação que cai fora da faixa em que o detector é sensível é de 7.7. Isto daria 70 W para a potência radiante da lâmpada, o que pode ser considerado uma estimativa razoável para o valor real. Note que como a potência irradiada por um corpo negro é proporcional a  $T^4$ , é necessário saber com boa precisão a temperatura do filamento para poder estimar a potência radiante corretamente.

Um outro ponto interessante surgido durante a discussão foi a respeito da eficiência luminosa (para o olho humano) das lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Embora a sensação ao olho fosse de que a lâmpada fluorescente emitia quase a mesma quantidade de luz, a potência irradiada (conforme Tabela 1 ou Figura 6) é muito maior para a lâmpada incandescente!

É por isso que essas lâmpadas fluorescentes compactas, como a que utilizamos, são chamadas de econômicas: não desperdiçam energia radiante como as lâmpadas incandescentes, que emitem muito no infravermelho, invisível aos nossos olhos.

## Conclusão

Realizamos um experimento simples, medindo a irradiância de fontes de luz à várias distâncias. O experimento demonstra o princípio utilizado para a determinação da quantidade de energia emitida pelas estrelas, ou de outra forma, demonstra o princípio da determinação de distâncias para estrelas que tenham a mesma luminosidade (por exemplo, estrelas do tipo solar). Na experiência, cobrimos todas as fases do método científico: isolamos uma hipótese a ser testada, realizamos as medidas necessárias para testar a hipótese, analisamos e discutimos os resultados e suas incertezas e produzimos um relatório que permite a repetição do experimento em outras circunstâncias.