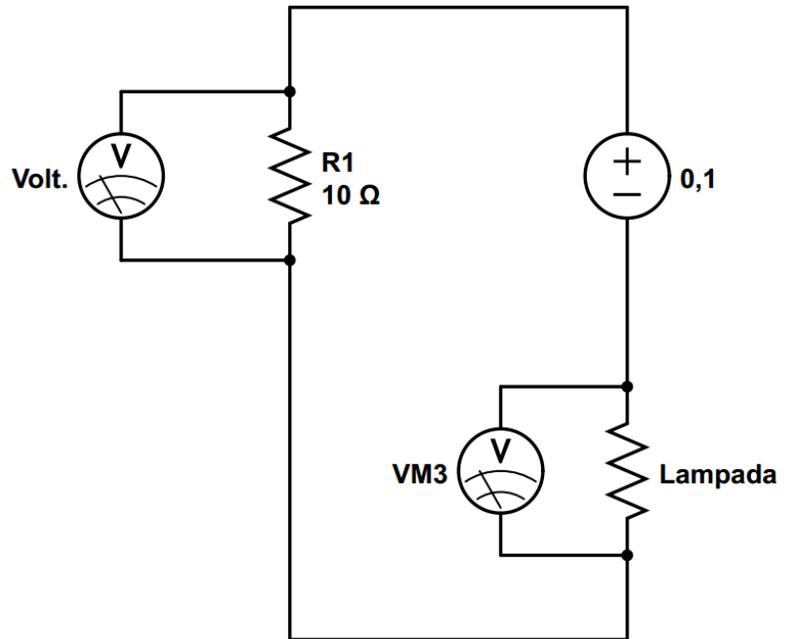


Um *corpo negro* trata-se de um objeto que emite, na forma de radiação eletromagnética, toda energia que lhe é fornecida. Embora tal definição seja uma conveniência teórica, muitos objetos na natureza se comportam de forma semelhante a um corpo negro. O sol, por exemplo, é um corpo negro próximo ao ideal, emitindo, na forma de luz, toda energia produzida em seu interior. Outra aproximação razoável para um corpo negro é uma lâmpada incandescente. Nosso objetivo neste experimento será estudar o espectro de emissão de uma lâmpada, i.e., qual a intensidade de luz emitida em cada comprimento de onda. Para realizar tal estudo, entretanto, será necessário conhecer a temperatura do filamento.

**Material:**

- 1 lâmpada incandescente
- 1 resistor 10 Ω
- 2 multímetros



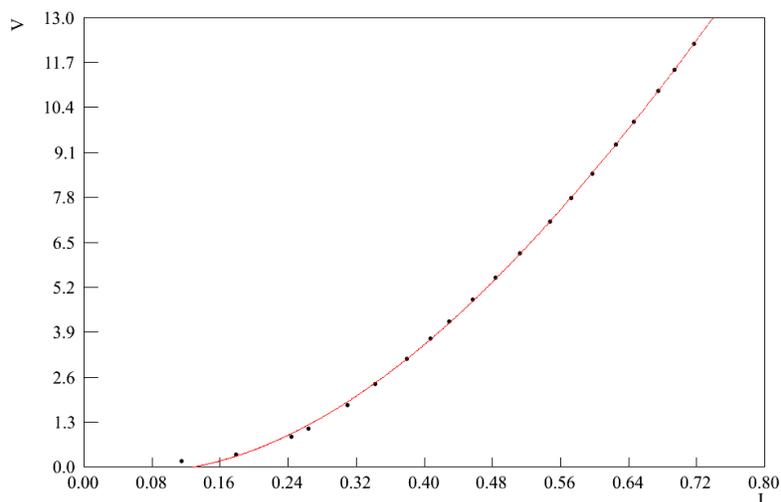
**Obtenção da temperatura do filamento**

A temperatura do filamento da lâmpada pode ser obtida através da fórmula empírica

$$T = T_0(R/R_0)^{1/1.24}$$

onde  $T_0$  é a temperatura da sala,  $R_0$  a resistência do filamento à temperatura  $T_0$  e  $R$  a resistência do filamento à temperatura  $T$ . Como o filamento não é um resistor ôhmico, a resistência  $R=V/I$  deve ser obtida ponto-a-ponto a partir da curva característica da lâmpada (tensão vs. corrente). A curva característica de uma lâmpada de 12 V é mostrada abaixo. Obtenha a temperatura de sua lâmpada a partir desta curva e dos valores medidos de  $V$  e  $I$ .

Curva característica da lâmpada



Uma vez preparado o circuito para determinação da temperatura da lâmpada a ser estudada, iremos obter seu espectro de emissão utilizando uma rede de difração. As redes de difração separam os diversos comprimentos de onda de uma luz composta, espalhando-os de acordo com a fórmula  $d \sin(\theta) = m\lambda$ . A luz de uma lâmpada incandescente espalhada por uma rede de difração de 300 fendas por milímetro, como no arranjo a ser montado nesta experiência, pode ser vista na figura ao lado.

**Material:**

- 1 lâmpada incandescente
- 2 lentes focalizadoras
- 2 fendas colimadoras
- 1 rede de difração 300 fendas/mm
- 1 sensor infravermelho

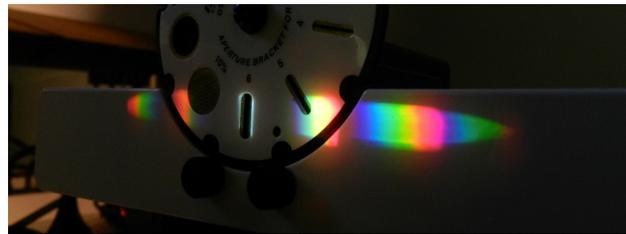
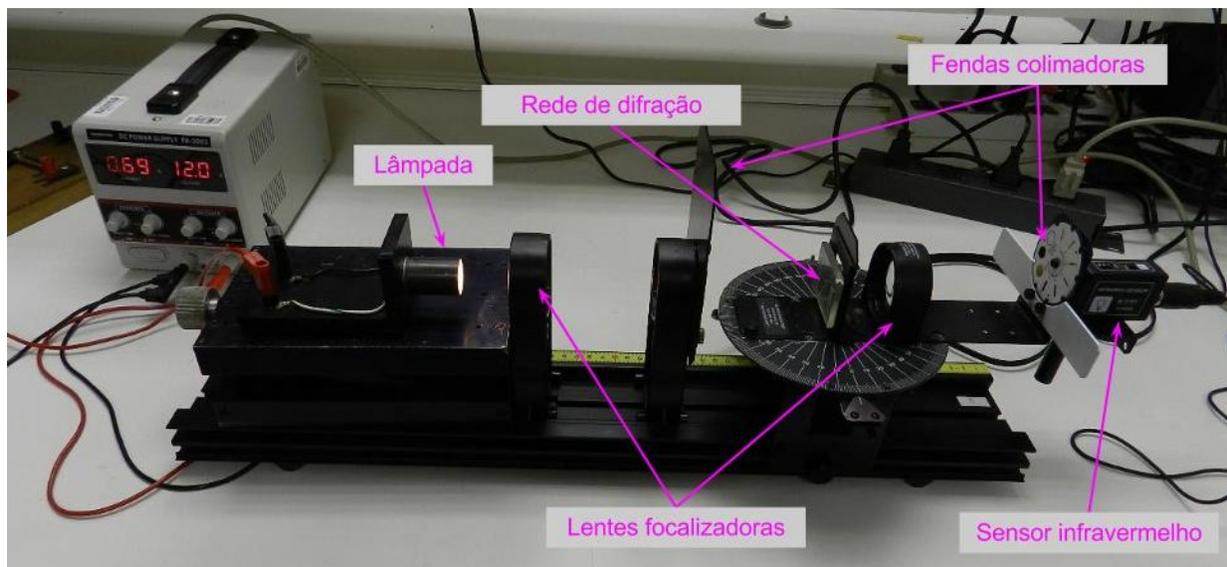


Fig. 1: Espectro visível da lâmpada incandescente.

Montar o arranjo de forma semelhante à ilustrada na figura abaixo, fazendo com que a luz de uma lâmpada, após colimada, incida sobre uma rede de difração. A luz espalhada em determinado ângulo é medida pelo sensor infravermelho. Atenção com o alinhamento e foco das lentes. Ajustar o ganho do sensor infravermelho para 10x.



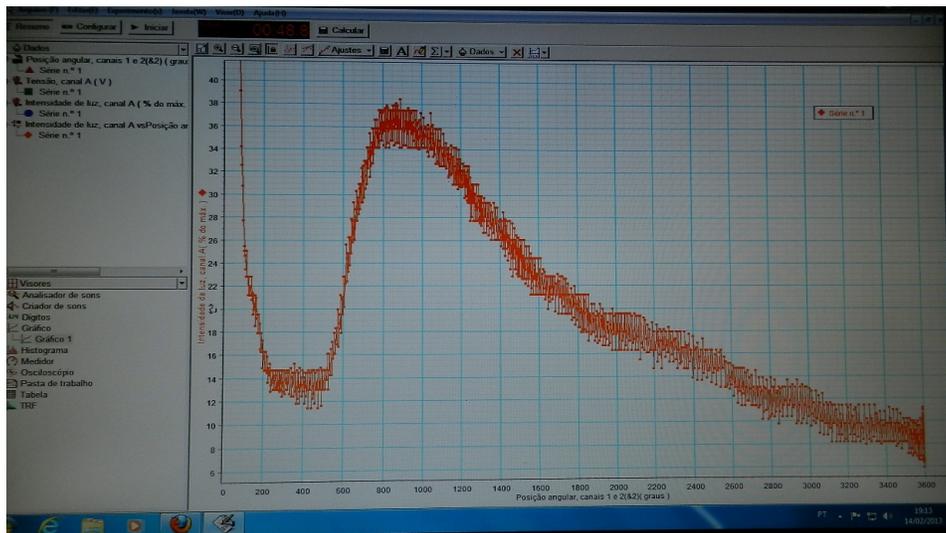
Ao final, deve-se observar o espectro da lâmpada incandescente, gerado pela rede de difração, semelhante ao da Fig. 1. Note as várias ordens de difração visíveis ( $m=1,2,3$ ).

Para a coleta de dados com o sensor infravermelho, configure o módulo do DataStudio como descrito nos passos a seguir.

- Abrir o Data Studio e clicar em “Criar experimento”.
- Adicionar “Sensor de movimento rotativo” nas entradas digitais 1 e 2.
- Adicionar “Sensor infravermelho” na entrada analógica A.



- Ajustar “Taxa de amostras” entre 25 e 50 Hz e Média (10x).
  - Em “Sensor de movimento rotativo”, ajustar a resolução para “Alta” (Divisões/Rotação 1440)
  - No ícone “Calibrar sensores” ajustar “Calibração ponto 2” para 0,3 volts em 100% do máx.
  - Duplo clique em “Gráficos” e em seguida selecionar “Intensidade da luz (% do máx)”
  - No gráfico, trocar eixo-X de “Tempo” para “Posição angular”
  - Clicar em “Iniciar” (no topo) para começar tomada de dados. Girar lentamente a placa giratória, partindo de 0 graus até 50 graus.
  - Repetir a medida para 5 diferentes voltagens na lâmpada, entre 8 e 12 volts.
- O gráfico obtido a partir dos passos descritos acima deve ser similar a este.



Exportar o conjunto de dados em formato .txt para futura manipulação dos dados.

### - Conversão dos eixos

Converter o eixo-X para graus:  $\theta = (x/60) * (\pi/180)$

Converter de graus para comprimento de onda (em  $\mu\text{m}$ ):  $\lambda = 3.333 * \sin(\theta)$

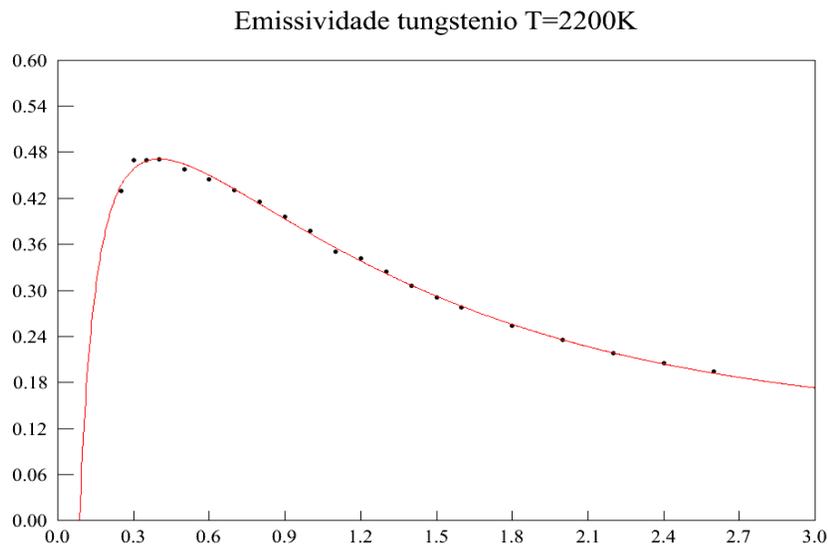
O número 3.333 é característico da rede de difração.

### - Shift das curvas

Discussão sobre o fundo. Coincidir o zero de intensidade das curvas.

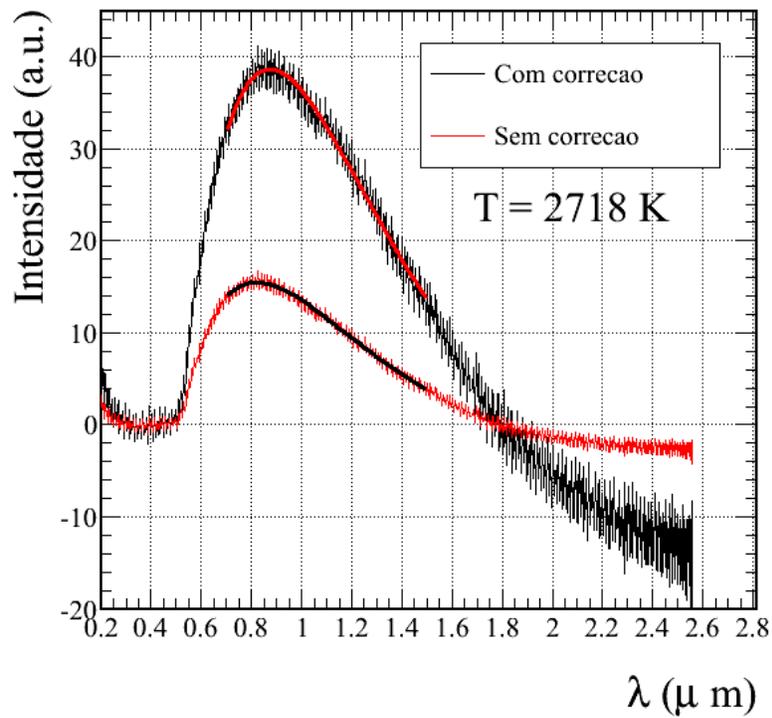
### - Correção da emissividade

A lâmpada incandescente não é um corpo negro ideal. Isso quer dizer que parte da potência emitida no filamento não chega até o “mundo externo” na forma de radiação eletromagnética. Uma possível perda de emissividade pode ser devido a absorção de radiação pelo bulbo de vidro, ou na deformação da estrutura interna do tungstênio no filamento. Tais perdas devem ser corrigidas através de uma curva de emissividade, que representa a fração de radiação líquida emitida em relação à radiação total produzida, para cada comprimento de onda. A curva de emissividade do tungstênio ( $T = 2200 \text{ K}$ ) é mostrada abaixo.

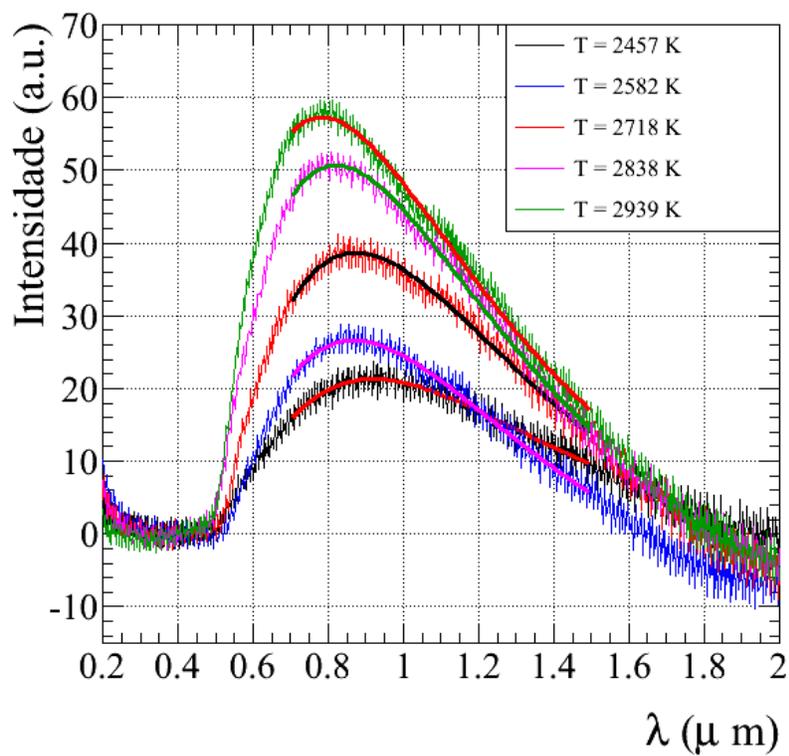


Curva de emissividade ajustada:  $e(x) = 0.1402 + 0.703 * \exp(-0.8457 * x) - 0.0683/x$

A correção de emissividade consiste em dividir o espectro de corpo negro pela curva de emissividade, ponto-a-ponto. O resultado de tal correção pode ser visto abaixo.



Após corrigidos os dados, ajuste a fórmula de Planck sobre a curva obtida, fixando a temperatura e deixando como parâmetro livre a constante de Planck. Qual o valor de  $h$  obtido?



## **Perguntas**

- Por que o filamento de tungstênio possui um espectro de emissão contínuo?
- Quais efeitos físicos poderiam tornar o filamento de tungstênio um corpo negro não-ideal?
- Quais as principais diferenças entre lâmpadas a gás e a filamento?
- Qual a influência da temperatura no espectro de emissão da lâmpada?
- Quais efeitos físicos poderiam tornar o sensor infravermelho um detector não-ideal?
- Foi possível observar mais de um espectro projetado no detector infravermelho? Por quê?
- Qual a diferença entre as redes de difração de 300 e 600 fendas/mm?

## **Cronologia**

- ~1860 primeiras medidas experimentais da radiação de corpo negro
- 1896 lei de Wien (baixo  $\lambda$ )
- 1900 fórmula de Rayleigh (alto  $\lambda$ )
- 1900 fórmula de Planck
- 1905 Einstein propõe quanta de luz livre