

Experimento 9 - Espectroscopia de emissão

Resumo

A espectroscopia de emissão nos permite caracterizar diferentes fontes de radiação óptica, pois cada composto produz um espectro característico, além de calcular a densidade de fótons emitidos por uma fonte, a partir do cálculo da irradiância da fonte. Dessa forma, esse experimento teve por objetivo compreender o funcionamento de um espectroradiômetro, determinando o espectro de diversas fontes, como lâmpadas, LEDs e filtros.

Introdução

Pela teoria quântica, sabe-se que os elétrons ocupam níveis discretos de energia. Quando esses elétrons são excitados, eles passam do seu estado fundamental para um nível mais elevado, e ao decaírem novamente eles emitem radiação eletromagnética. Diferentes fontes e compostos emitem espectros diferentes de radiação, o que nos permite caracterizá-las a partir de seus espectros de emissão e inferir na composição do gás das lâmpadas, como também mensurar a densidade de fótons emitidos.

Uma das grandezas importantes na espectroscopia é a irradiância ^{espectral}, que é definida como o produto do fluxo de fótons pela energia de cada fóton, dividido por cada comprimento de onda:

$$I_E = \frac{\Phi E}{\lambda} \quad (1)$$

sendo:

I_E = irradiância espectral;

Φ = fluxo de fótons em $[\text{n}^\circ \text{ de fótons} / \text{m} \cdot \text{s}]$;

E = energia do fóton em eV.

A irradiância espectral é definida para cada comprimento de onda e a somatória em todos os comprimentos é definida pela irradiância:

$$I = \int_0^{\infty} I_E d\lambda \quad (2)$$

I = irradiância;

λ = comprimento de onda.

Outra variável útil na análise espectral é a intensidade, que é definida como a potência irradiada dividida pela área, sendo a potência calculada como:

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad (3)$$

sendo E = energia irradiada
e Δt = tempo.

Esses conceitos foram utilizados na análise dos espectros das diversas fontes utilizadas.

Objetivo

Este experimento teve por objetivo compreender a instrumentação e funcionamento de um espectrorradiômetro, determinando o espectro de emissão de diversas fontes e avaliando o comportamento de cada uma delas.

Metodologia

Para este experimento foram utilizados o espectroradiômetro, uma lâmpada halógena, um LED Branco, LEDs coloridos, Filtros coloridos, lâmpadas de plasma e uma lâmpada de tungstênio.

1. O espectroradiômetro foi diagramado abaixo:

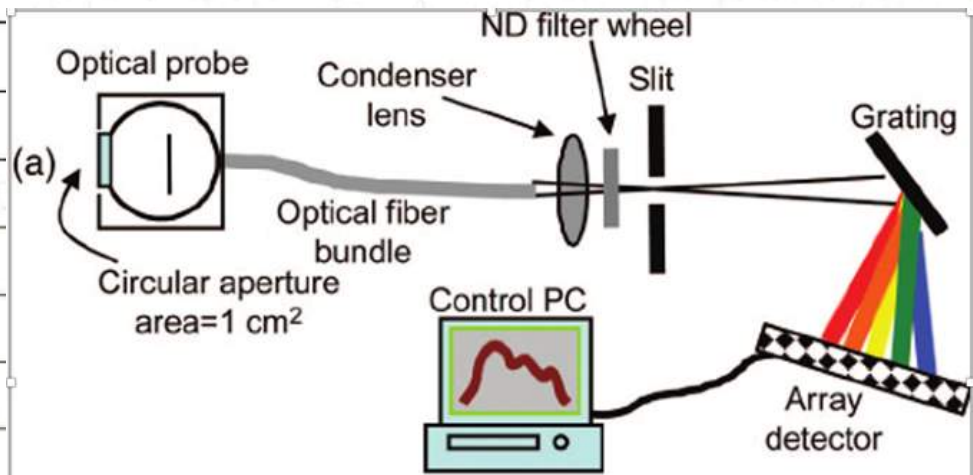


Figura 1: Diagrama

dos componentes internos de um espectroradiômetro.

2. Primeiramente, calibra-se o espectroradiômetro. Para isso, mediu-se a intensidade de fundo, que é a registrada pelo espectroradiômetro quando não há nenhuma luz ligada a ele. Foi coletada a intensidade de fundo para coletas de 0,1s, 0,2s e 0,5s.

3. Em seguida, obteve-se a intensidade da lâmpada halógena, que é a fonte utilizada para a calibração. O espectro calibrado dessa fonte é fornecido pelo fabricante e com esses dados podemos calcular a **responsividade espectral** do espectroradiômetro a partir da equação:

$$R_s = \frac{I_{\text{lâmpada}} - I_{\text{fundo}}}{\Delta t \cdot I_{\text{calibra}}} \quad (4)$$

sendo $I_{\text{lâmpada}}$ a intensidade da lâmpada halógena, I_{fundo} a intensidade de fundo e I_{calibra} a intensidade

calibrada fornecida pelo fabricante.

3. Conhecendo a responsividade espectral, é possível calcular a irradiância espectral como sendo:

$$\text{Irrad. Espect.} = \frac{I_{\text{lâmpada}} - I_{\text{fundo}}}{\text{st. R}} \quad (5)$$

em que $I_{\text{lâmpada}}$ é a intensidade de uma fonte qualquer.

4. Sabendo disso, foi obtido o espectro de todos os LEDs disponíveis e da lâmpada de tungstênio e calculou-se a irradiância dessas fontes. Também obteve-se o espectro das lâmpadas de plasma, mas não foi calculada a irradiância dessas fontes.

5. Com os filtros e o led branco, obteve-se a intensidade transmitida por cada filtro e calculou-se a transmitância do feixe, ou seja, obteve-se o espectro de transmissão de cada filtro a partir da equação:

$$T = \frac{I_T}{I_0} \quad (6)$$

sendo I_T a intensidade espectral transmitida e I_0 é a intensidade espectral incidente no filtro, ou seja, do LED Branco.

6. Por fim, foi avaliado o espectro de uma suposta lâmpada fluorescente e calculou-se a sua irradiância espectral.

Resultados e Discussão

Para a primeira parte, em que calibrar-se o aparelho a partir da lâmpada halógena, foi colocado abaixo o espectro de intensidade da lâmpada:

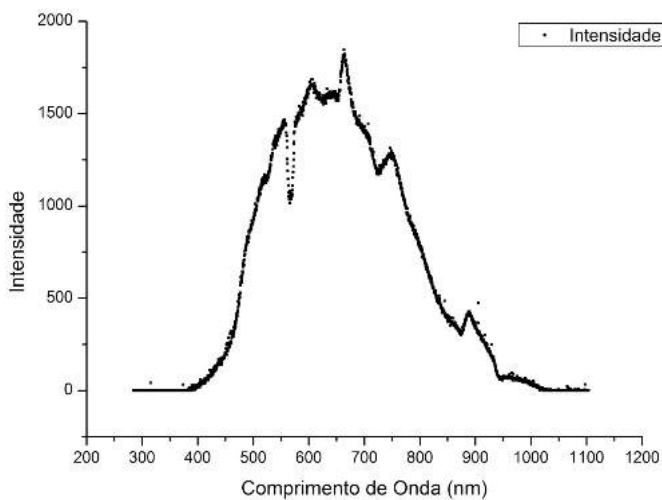


Gráfico 1: Intensidade do espectro obtido da lâmpada halógena.

O espectro da irradiância calibrada dessa fonte possuía apenas poucos pontos (Gráfico 2), por isso esse gráfico foi interpolado em 2048 pontos entre os comprimentos de onda de 284,37 e 1104,01 nm (Gráfico 3) para facilitar o cálculo da responsividade espectral:

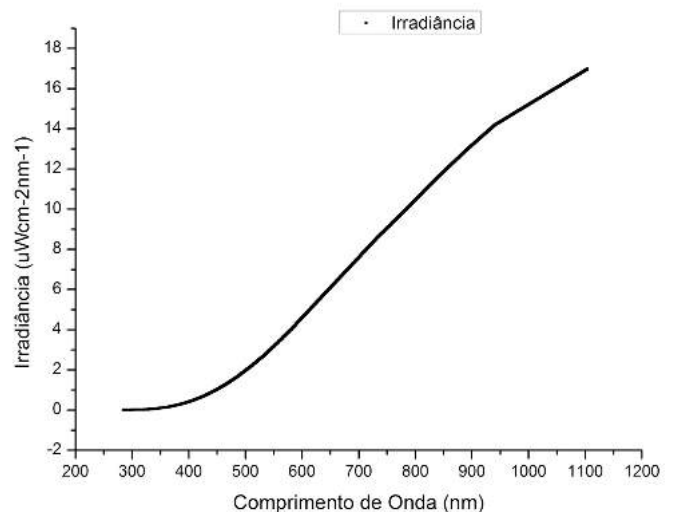
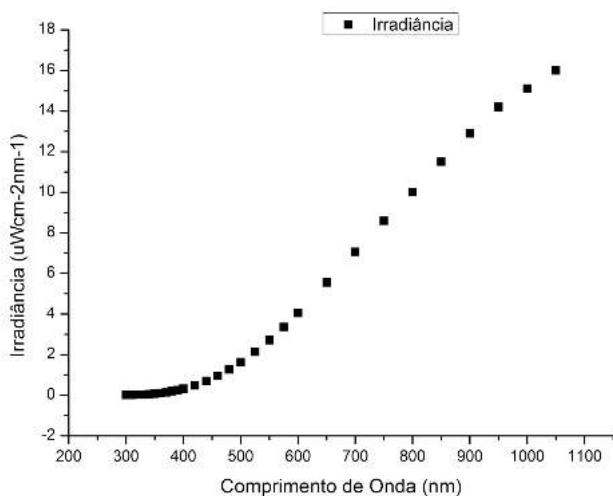


Gráfico 2: irradiância calibrada da lâmpada halógena, fornecida pelo fabricante.

Gráfico 3: espectro da irradiância calibrada com os pontos interpolados.

As intensidades de fundo obtidas também foram apresentadas no gráfico 4 abaixo. Observa-se que, com exceção de alguns picos, essa intensidade foi menor que 30V:

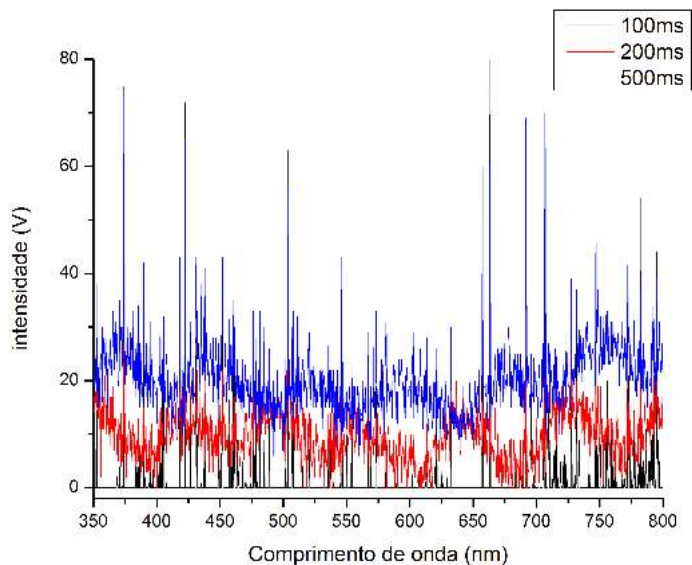


Gráfico 4: Intensidade de fundo obtida para os 3 períodos de amostragem.

Com esses dados foi calculada a responsividade espectral, que foi apresentada no gráfico 5. Observa-se que nos comprimentos de onda abaixo dos 400nm esse valor é negativo e não foi representado no gráfico:

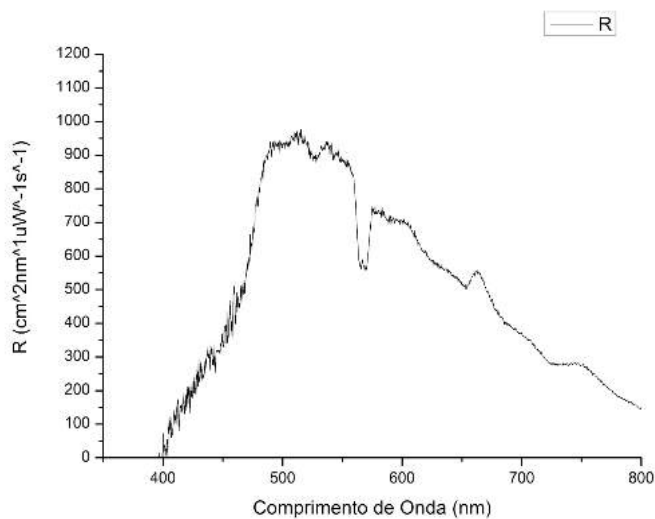


Gráfico 5: Valor obtido da responsividade espectral para os comprimentos de onda entre 400 e 800nm.

Em seguida, a primeira fonte cujo espectro foi obtido foi o LED Branco, do qual obteve-se o espectro da intensidade em função do comprimento de onda e, em seguida, foi feito o espectro da irradiação dessa fonte.

ambos os espectros foram registrados abaixo:

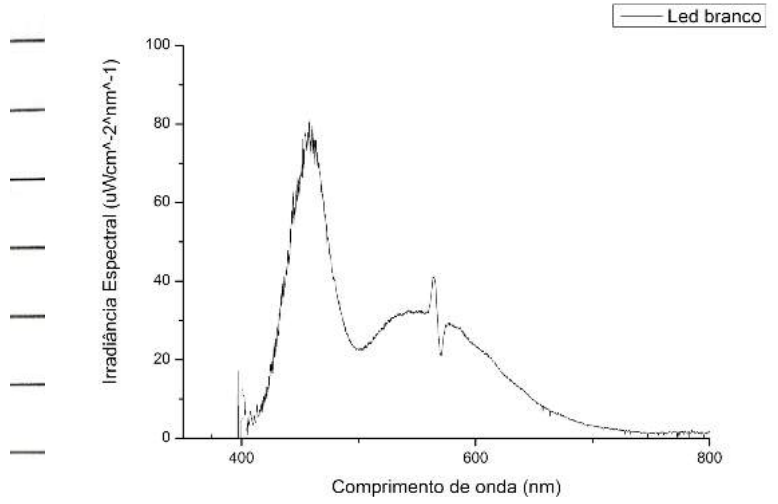
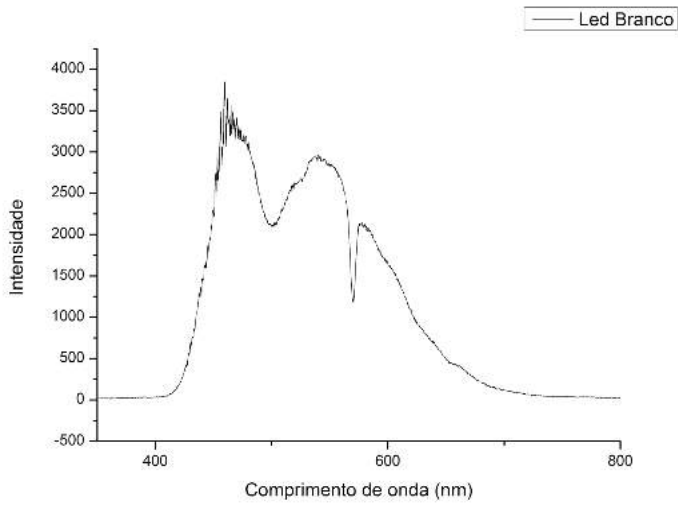


Gráfico 6: espectro de Intensidade do LED Branco.

Gráfico 7: Espectro de Irradiância do LED Branco.

① LED Branco também foi utilizado com os diversos filtros coloridos, e por isso seu espectro é necessário no cálculo da transmitância desses filtros pela equação (6). Dessa forma, foi representado abaixo o gráfico com os espectros de intensidade dos filtros e o espectro de transmitância calculado para cada um deles:

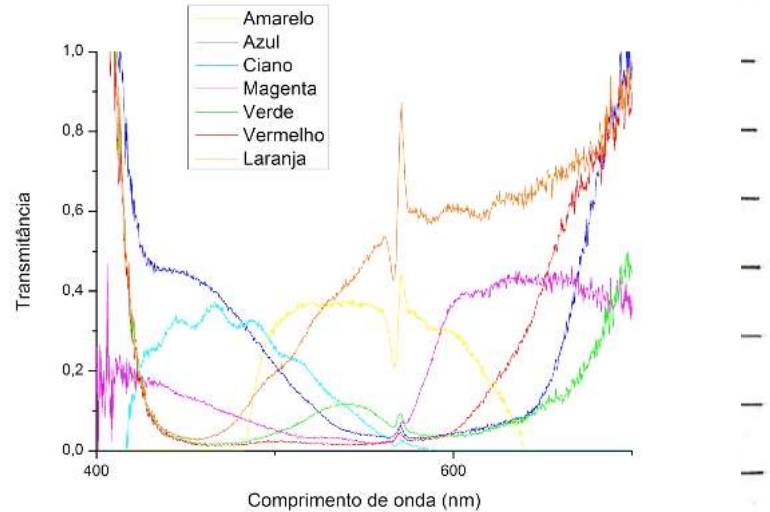
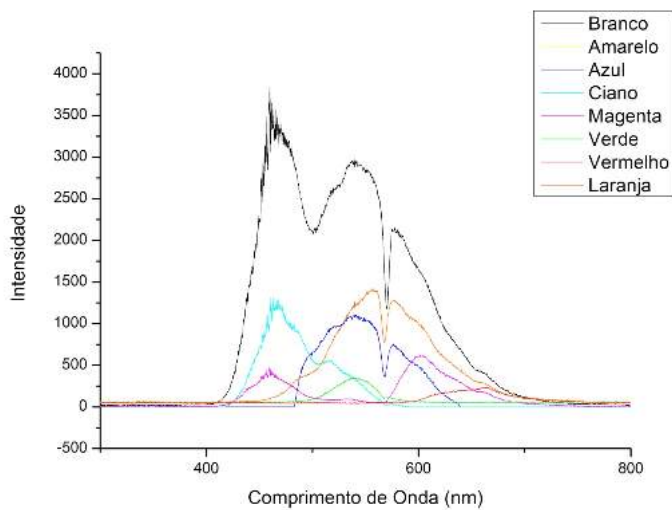


Gráfico 8: Intensidade dos filtros utilizados e do LED Branco.

Gráfico 9: Espectro de transmitância dos filtros.

Pelo gráfico 9 percebe-se valores muito divergentes de transmitância para comprimentos de onda abaixo de aproximadamente 420 nm. Isso acontece devido a um possível erro na medição das intensidades de fundo ou na intensidade da lâmpada halógena, que implicou em um erro no cálculo da responsividade nessa faixa. Desconsiderando esse desvio, foram coletados os comprimentos de onda de corte e o comprimento de onda do pico de transmissão de cada filtro, como também sua transmitância máxima. Esses valores foram apresentados na Tabela 1 abaixo, ao lado da Tabela 2, que contém os valores de comprimento de onda de pico dos filtros quando foram utilizados no experimento do Efeito Fotoelétrico:

Cor	Comprimento de onda de corte (nm)	Comprimento de onda máximo (nm)	Transmitância máxima
Amarelo	485 a 638	570	0,43
Azul	560	439	0,45
Ciano	417 a 560	466	0,37
Magenta	567	636	0,43
Verde	492 a 599	542	0,11
Vermelho	593	668	0,65
Laranja	454	570	0,85

Cor do filtro	Comprimento de onda máximo (nm)
Amarelo	541
Azul	460
Ciano	460
Magenta	460
Verde	537
Vermelho	663
Laranja	556

Tabela 1: Medidas relativas aos picos de transmissão dos filtros neste experimento.

Tabela 2: Comprimento de onda do pico dos filtros. Experimento de Efeito Fotoelétrico.

Pode-se avaliar que os picos obtidos no experimento de efeito fotoelétrico são menos exatos que aqueles obtidos com o espectroradiômetro neste experimento, visto que neste os picos dos filtros azul, ciano e magenta são diferentes

entre si, como deveria ser.

As fontes utilizadas a seguir foram as lâmpadas de plasma (hidrogênio, hélio, neônio, oxigênio), das quais não foi necessário obter a irradiâncias, pois seus picos de emissão são bastante estreitos e intensos, cancelando a possibilidade de serem confundidos com intensidade de fundo.

Assim, o espectro de intensidade dessas lâmpadas foi registrado abaixo:

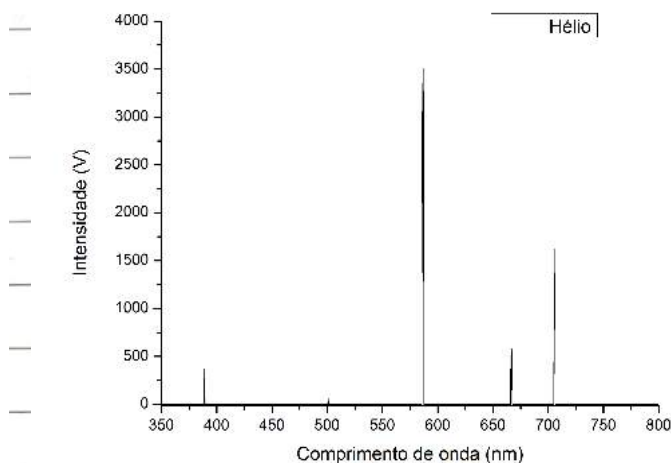
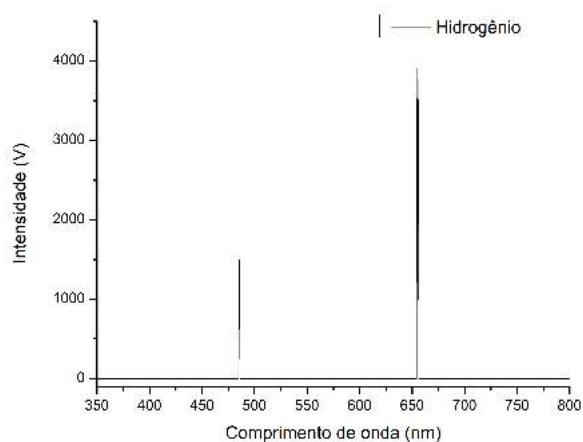


Gráfico 10: Espectro de intensidade da lâmpada de Hidrogênio.

Gráfico 11: Espectro de intensidade da lâmpada de Hélio.

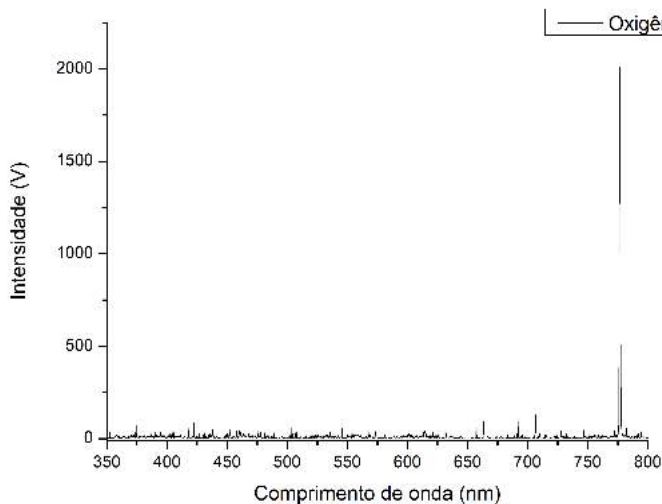
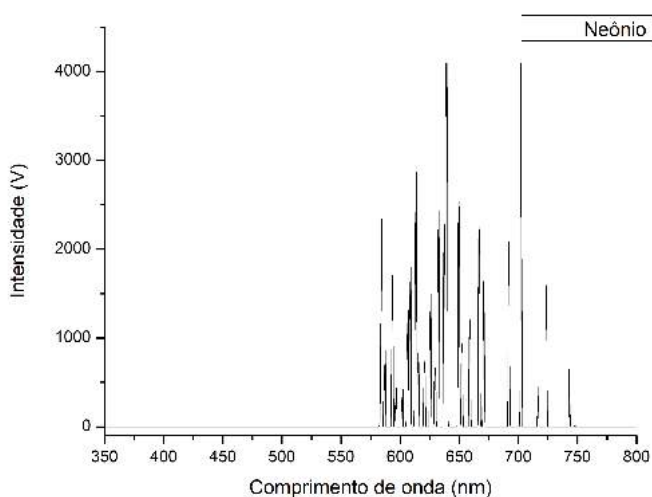


Gráfico 12: Espectro de intensidade da lâmpada de Neônio.

Gráfico 13: Espectro de intensidade da lâmpada de Oxigênio.

Os picos obtidos foram comparados com os obtidos com as Séries de Balmer e com os picos teóricos encontrados na literatura, como pode ser visto na Tabela 3 abaixo:

Lâmpadas	Picos de emissão (nm)		
	Espectroscopia	Séries de Balmer	Teórico
Hidrogênio	486	433	389
	656	484	397
		585	410
		651	434
			486
			656
Hélio	389	450	416
	501	484	427
	586	501	441
	667	518	469
	705	585	502
		651	589
		733	668
Neônio	vários picos...	450	614
	639	534	585
	702	568	640
		618	703
		651	
Oxigênio	777	450	777
	844	551	845
	906	568	
		618	

Tabela 3: Comprimento de onda dos picos de emissão das lâmpadas de plasma coletados de 3 formas distintas.

Observa-se que com o espectrômetro foram coletados menos picos do que no experimento das Séries de Balmer e, em geral, do que é descrito na literatura. Isso nos leva ao item 3 da **Discussão**: o motivo de não ser possível observar tantos picos está relacionado com o tamanho do espectrômetro e a distância entre seu monocromador e seu detector, que é muito pequena e dificulta a observação de picos próximos e muito estreitos. É por isso que

podem ser vistos

somente alguns picos com o espectrômetro. Por outro lado, esse sistema nos permite identificar picos de emissão com maior precisão, ou seja, mais estreitos.

Para os LEDs coloridos, coletou-se o espectro de intensidade e depois foi feito o espectro de irradiância. Ambos foram colocados abaixo:

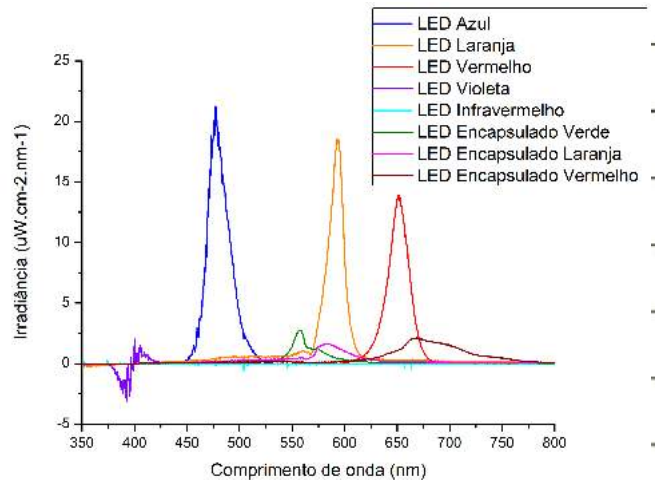
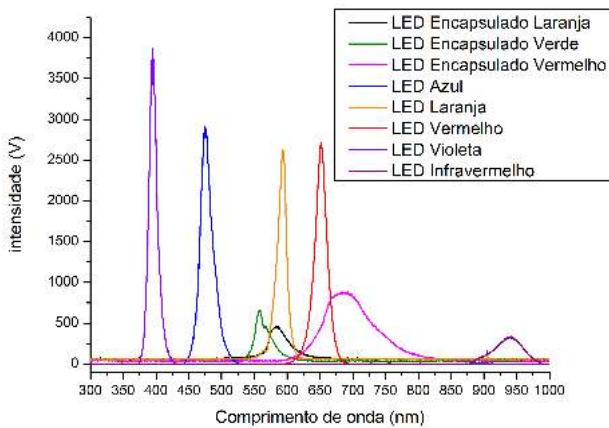


Gráfico 14: Espectro de Intensidade de todos os LEDs coloridos.

Gráfico 15: Espectro de Irradiância de todos os LEDs coloridos.

Podemos ressaltar algumas observações quanto a esses espectros: em primeiro lugar, nota-se que não foi colocado o espectro de irradiância do led infravermelho, pois ele está na faixa de comprimento de onda acima de 850 nm, e nesse espectrorradiômetro foi calibrado até os 800 nm apenas. A segunda observação está relacionada ao espectro de irradiância do led violeta; que ficou muito diferente do esperado, considerando que era o pico de maior intensidade. Esse problema está muito provavelmente relacionado à responsividade espectral nessa faixa, que conforme discutido nos filtros, provavelmente possui algum erro.

Foi coletado o valor de comprimento de onda dos picos de emissão e registrado na Tabela 4 abaixo:

Comprimento de onda do pico (nm)	
LEDs Transparentes	
Azul	476
Laranja	593
Violeta	394
Vermelho	652
Infravermelho	-
LEDs Encapsulados	
Laranja	583
Verde	558
Vermelho	667

Tabela 4: Comprimento de onda dos picos de emissão de cada led, coletados do Gráfico 15.

Nota-se que os valores da Tabela 4 são coerentes com a faixa de comprimentos de onda de cada cor. Uma observação interessante é que os leds encapsulados emitem espectros consideravelmente menos intensos. Isso acontece pois eles funcionam como filtros, o que também explica seus picos mais extensos.

O procedimento seguinte foi coletar o espectro de intensidade das lâmpadas do laboratório, que se supunha serem lâmpadas fluorescentes. Para essa fonte, também foi feito o espectro da irradiância, e ambos foram colocados a seguir. No entanto, ao compararmos esses espectros com o espectro teórico de uma lâmpada fluorescente e um LED branco, percebemos claramente que a luz do laboratório se trata de um LED branco. Os espectros

teóricos foram representados na Figura 2 abaixo dos gráficos:

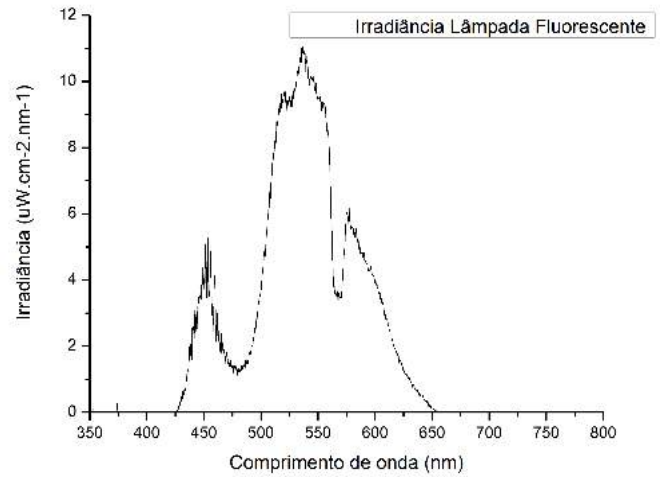
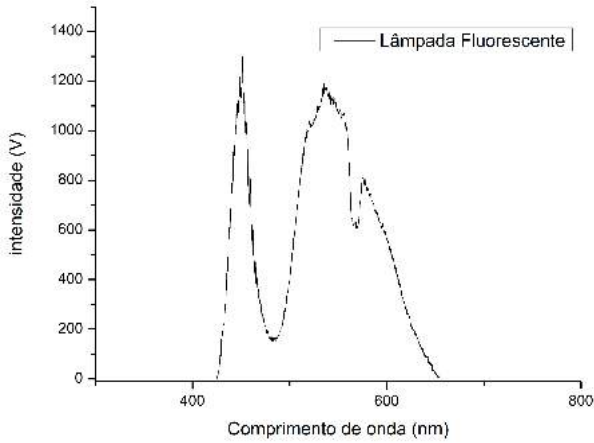


Gráfico 16: Espectro de intensidade da fonte do laboratório

Gráfico 17: Espectro de irradiação da lâmpada do laboratório.

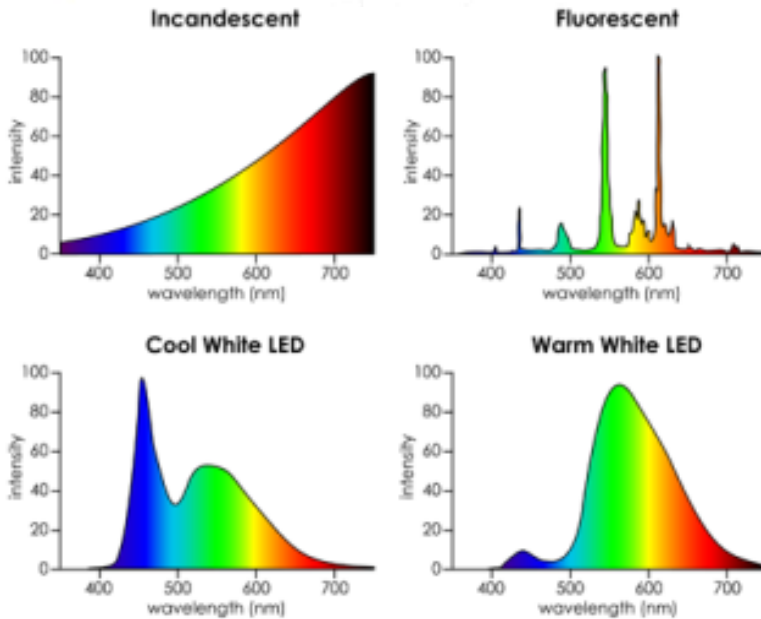


Figura 2: Espectros teóricos de algumas fontes, que nos permite caracterizar a lâmpada do laboratório como um LED branco.

Comparando o Gráfico 17 com o Gráfico 7, referente ao LED branco, vemos que ambas possuem o mesmo formato e são contínuas, porém o LED do Gráfico 7 estava mais próximo do espectroradiômetro, e visto que a intensidade decai com o quadrado da distância, a irradiação foi maior para essa fonte.

A última fonte a ser analisada foi uma lâmpada de tungstênio, da qual coletou-se o espectro de intensidade e de irradiância, que foram apresentados abaixo:

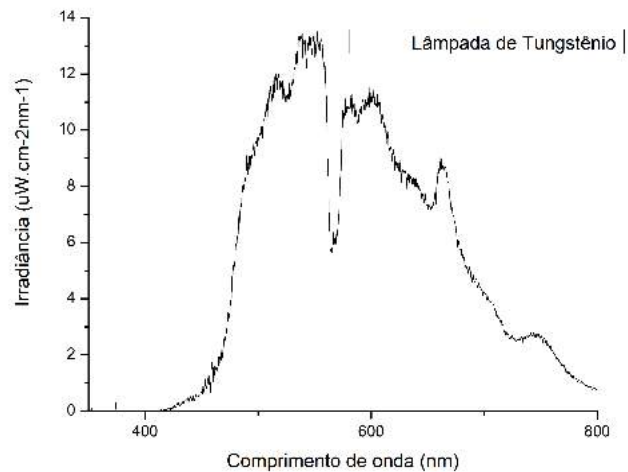
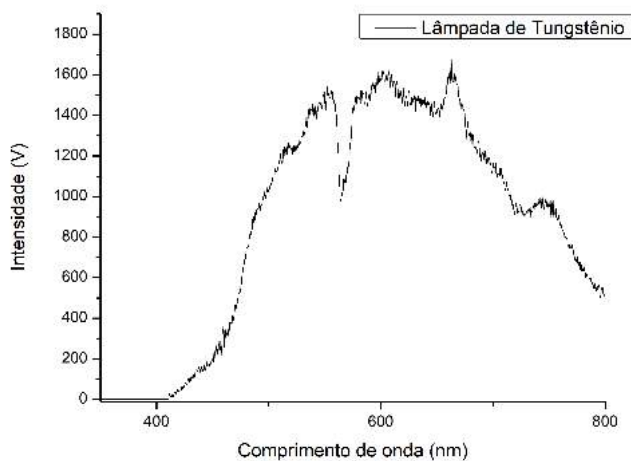


Gráfico 18: Espectro de intensidade da lâmpada de tungstênio.

Gráfico 19: Espectro de irradiância da lâmpada de tungstênio.

Podemos ver a importância da calibração do sistema, que deixa o espectro de irradiância mais estreito, excluindo os ruídos de fundo.

Discussão

1. A Lei de Wien é válida para corpos negros, e está relacionada a espectros contínuos de irradiância. Das lâmpadas empregadas aqui, apenas as lâmpadas de filamento podem ser estudadas pela Lei de Wien, ou seja, as lâmpadas halógena e de tungstênio. Isso porque o funcionamento dessas lâmpadas pode ser comparado a corpos negros, pois elas emitem luz ao serem aquecidas e a Lei de Wien estabelece uma constante entre o produto da temperatura do corpo pelo comprimento de onda emi-

tido, como sendo: $\lambda T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$

Abaixo foi colocado o gráfico com o espectro dessas duas lâmpadas, onde podemos observar a semelhança entre os espectros e também sua característica de ser contínuo.

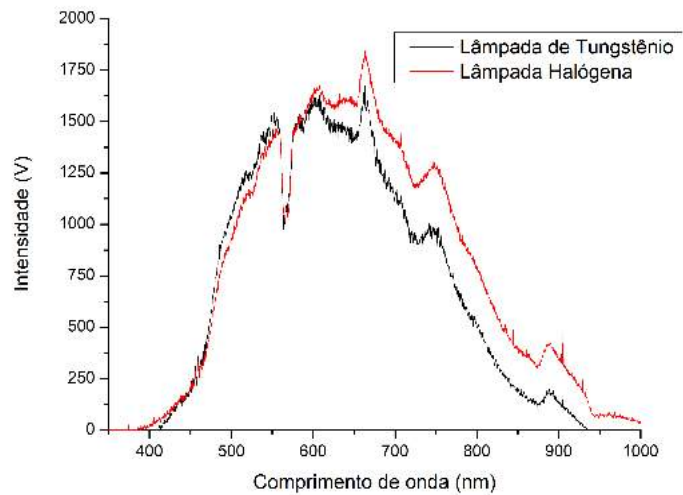


Gráfico 20: Espectros das lâmpadas de halogênio e tungstênio.

2. Respondido na Introdução.

3. Comentado na discussão presente nos resultados dos leds coloridos.

4. Para identificar picos de emissão muito próximos seria melhor utilizar o método da luneta com o olho, pois assim podemos estabelecer uma distância maior entre a rede de difração e o detector, que no caso do espectrorradiômetro é curta e fixa.

Conclusão

O experimento nos permitiu compreender o funcionamento de um espectrômetro e como fazer sua calibração, além de nos possibilitar a visualização e análise de espectros de diferentes tipos de fontes.

Referências

- [1] EISEBERG, R.; RESNICK, R. Física Quântica; Atômos, moléculas, Sólidos, núcleos e Partículas (1979).
- [2] PRESTO, Michael. A Closer Look at the Spectrum of Helium - THE PHYSICS TEACHER Vol. 30, March 1998
- [3] REZAEI, Fatemeh. SHOKRI, Babak. Investigation of antibacterial and wettability behaviours of plasma-modified PMMA films for application in ophthalmology. (Journal of Physics D Applied Physics).
- [4] Swinburne University of Technology. Blackbody Radiation.