

# Relatório 3 - Espectroscopia de Emissão.

## ° Resumo

A evolução da teoria atômica levou a quantização de energia nos átomos. A excitação e transições de elétrons entre esses níveis leva à emissão de luz. Diferentes materiais emitem diferentes espectros, entre eles alguns foram estudados nessa experiência com o objetivo de compreender a instrumentação utilizada e determinar as características de diferentes espectros.


## ° Introdução

Atualmente, estudamos o átomo de forma a perceber que os níveis de energia de um elétron em um átomo são específicos e bem estabelecidos. Quando há a excitação desses elétrons, os mesmos passam para um nível de energia superior. Ao retornar para o estado fundamental há o excesso de energia é emitido na forma de radiação eletromagnética.

Para cada material o espectro emitido é único, o que torna a espectroscopia importante para a determinação de materiais e até mistura de gases. Desta forma estudamos diferentes fontes de luz e seus respectivos espectros, usando os materiais e calibração adequadas.

## ° Metodologia Experimental

- Inicialmente calibramos o espectrômetro usando uma fonte de luz de lâmpada halógena, e seu espectro de irradiância fornecido pelo fabricante.

- Medimos também uma ~~corrente~~ intensidade 



de fundo, em que todas as lâmpadas estão a  
pagadas durante o mesmo tempo de integração  
e calculamos a constante de calibração, a responsi-  
vidade, para cada comprimento de onda seguindo  
a fórmula:

$$R = \frac{I_{\text{lâmpada}} - I_{\text{fundo}}}{\Delta t} \quad (1)$$
$$I_{\text{calibrada}}$$

tal que  $R$  é a responsividade,  $I_{\text{lâmpada}}$  a  
intensidade medida da lâmpada,  $I_{\text{fundo}}$  a inten-  
sidade de fundo,  $\Delta t$  o tempo de integração, e  
 $I_{\text{calibrada}}$  a irradiância fornecida pelo fabricante.

- Calculado o  $R$  do espectrômetro, usamos  
em outras lâmpadas para determinar a ir-  
radiância espectral seguindo a fórmula:

$$I_{\text{calibrada}} = \frac{I_{\text{lâmpada}} - I_{\text{fundo}}}{\Delta t} \quad (2)$$
$$R$$

- Em seguida medimos a transmitância de  
diferentes filtros, usando um LED branco e os  
filtros coloridos. A transmitância segue a fórmula:

$$T = \frac{I_T}{I_0} \quad (3)$$

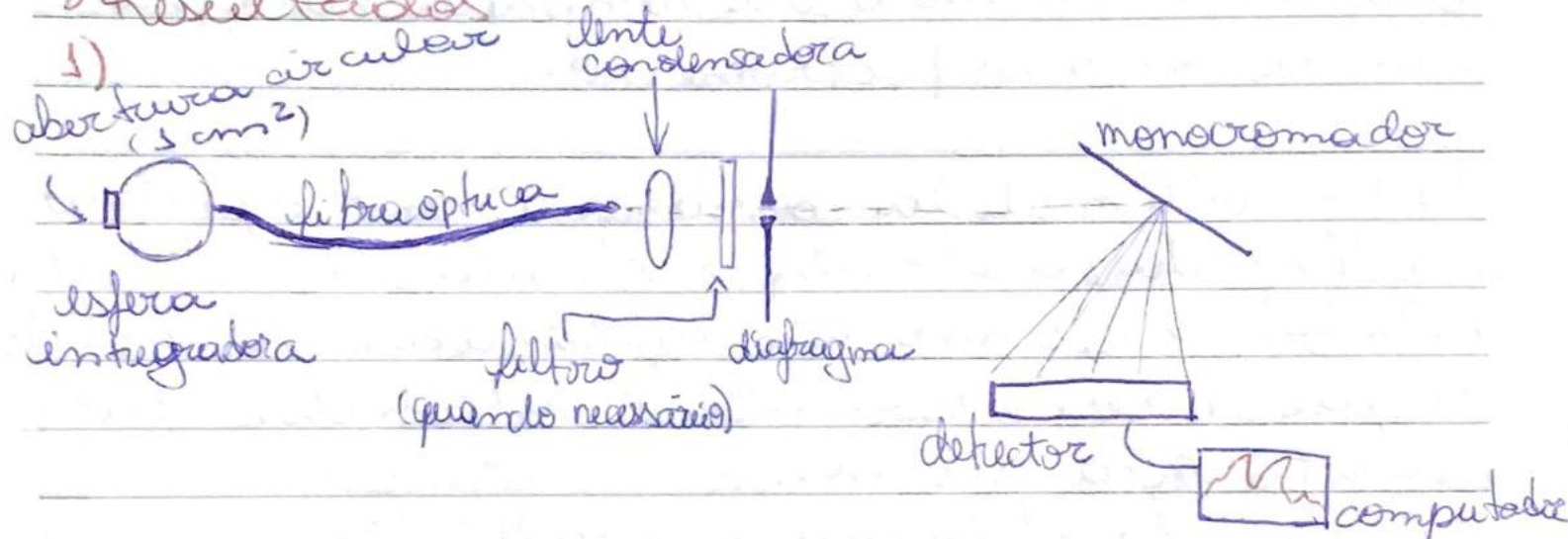
em que  $I_T$  é a intensidade após a luz atravessar  
o filtro e  $I_0$  a intensidade obtida pelo led branco.

- Fito isso estudamos os espectros emitidos pelas  
lâmpadas de plasma de Hidrogênio, Hélio, Neônio  
e Oxigênio (não usamos a calibração  $R$  nesse caso pois  
as linhas de emissão já são estreitas).

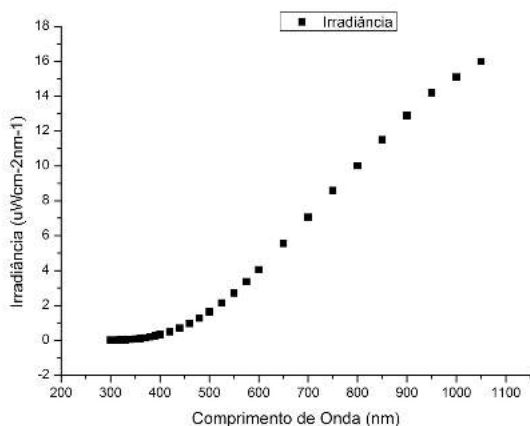


- Em seguida medimos a intensidade da lâmpada fluorescente da sala para tentar identificar os gases que compõem essa lâmpada
- Avaliamos também a irradiância espectral de LEDs coloridos, transparentes, os quais emitem a cor desejada, e os encapsulados, que na verdade são uma fonte branca encapsulada.
- Ainda avaliamos a irradiância espectral de uma lâmpada de tungstênio (lâmpada de filamento), utilizada nos experimentos de Radiação Térmica e Efeito Fotoemissionico.

### Resultados



2) Para calibrar o espectrômetro, usamos os valores de irradiância espectral fornecidos pelo fabricante, que foram dispostos no gráfico a seguir:



gráficos: irradiância espectral calibrada de uma lâmpada halógena fornecida pelo fabricante

Usaremos o gráfico 1 como referência. Ao medir a intensidade da mesma lâmpada halógena no espectrômetro de laboratório, obtemos:

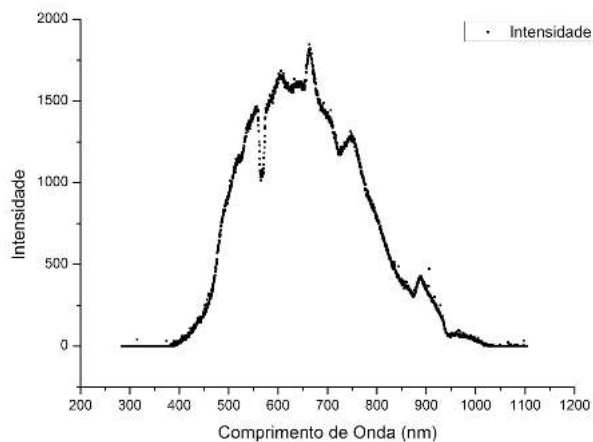
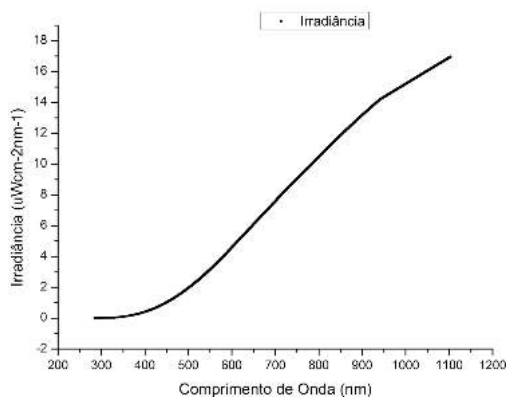


gráfico 2: intensidade da lâmpada halógena medida com o espectrômetro.

A intensidade medida abrange o mesmo espectro da lâmpada calibrada e é dada em unidades arbitrárias, o que não influencia no resultado, já que a responsividade é calculada especificamente para este caso.

Notamos também que a irradiância fornecida pelo fabricante possui muito menos dados (menos pontos no gráfico), então interpolamos os valores do gráfico 1 e obtemos o gráfico 3:



tilibra gráfico 3: valores de irradiância espectral do gráfico 1 interpolados.



Propositadamente, usamos terpolamos de forma a ter exatamente o mesmo número de dados para ambos os casos. Também medimos a intensidade de fundo para o tempo de integração desta e de todas as outras fontes de luz utilizadas, para que fosse possível usar a relação (1) e obter a responsividade no seguinte gráfico.

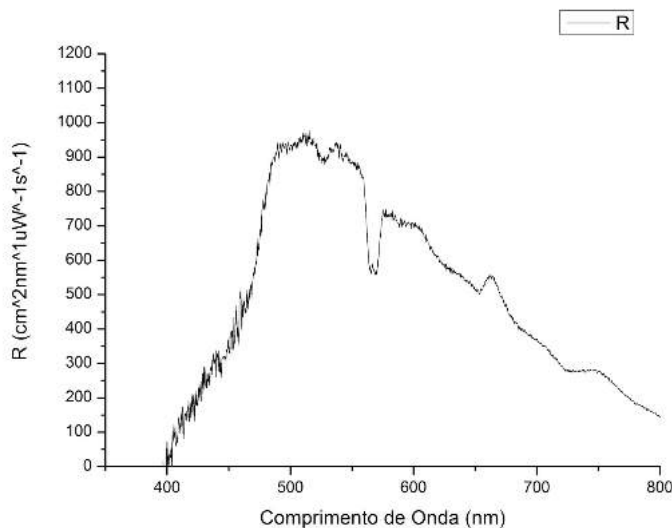


gráfico 1: Responsividade espectral do espectrômetro utilizado

Vemos que a região apresentada é de 350 nm a 800 nm que é a região melhor calibrada deste aparelho. Observamos um problema para comprimentos de onda menores que 400 nm, em que a constante de calibração assume valor negativo. Isso acontece por um erro no espectrômetro, ao medir intensidade de fundo maior que a intensidade da lâmpada para essa região, pois há uma grande flutuação de valores nas extremidades e fora dessa região calibrada. Essa imprecisão grande trouxe algumas consequências para passos futuros da experiência.

3) Para o LED branco obtivemos o seguinte espectro de intensidade emitida:

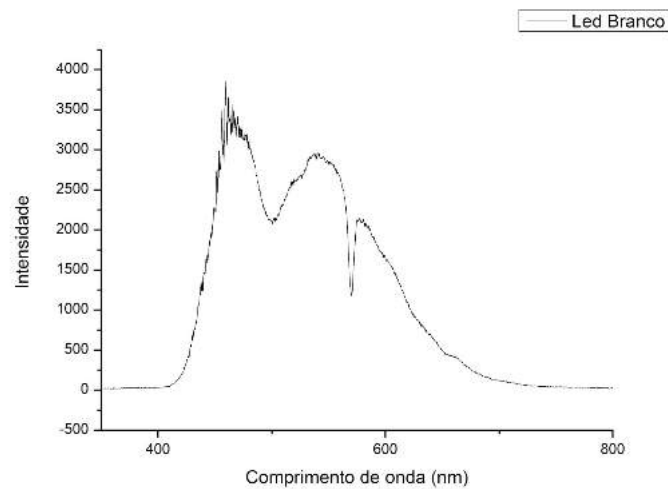


Gráfico 5: espectro de emissão do LED branco

Usando a relação 2 e a intensidade de fundo dessa medida, obtivemos a irradiância espectral desse LED:

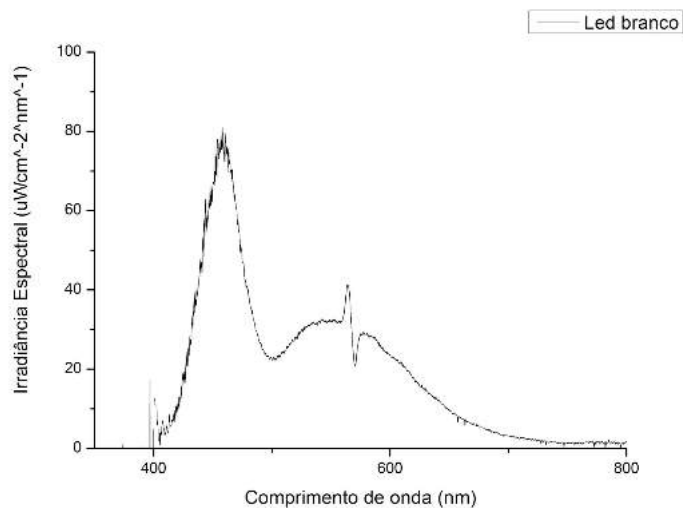


Gráfico 6: Irradiância espectral do LED branco.

Vemos que há uma grande diferença, causada pela diferente sensibilidade do espectrômetro para cada comprimento de onda, o que leva a uma irradiância bastante característica dessa fonte de luz.

4) O espectro de transmissão para a intensidade de cada filtro e do LED branco estão dispostos simultaneamente no gráfico a seguir:



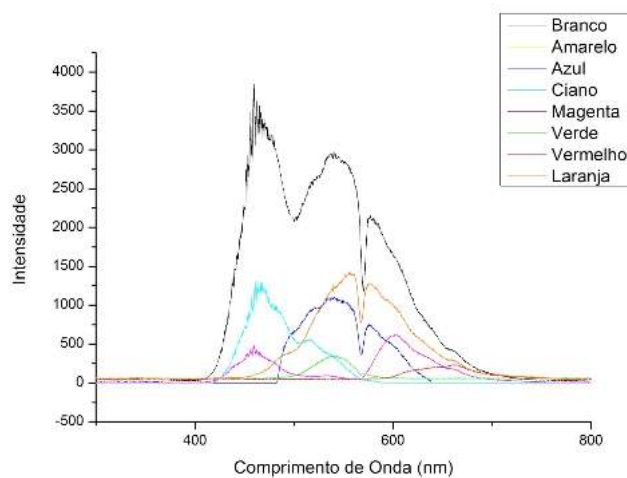


Gráfico 7: espectro de transmissão para intensidade de um LED branco e com o uso de cada filtro.

Como esperado, o LED branco possui a maior intensidade pois não há nenhum tipo de obstrução. Os demais 7 filtros possuem intensidades menores pois ao passar pelo filtro, apenas a intensidade de determinada faixa de comprimentos de onda, proveniente sempre do LED branco.

5) Ao calcular a transmitância, seguindo a relação 3, obtemos o gráfico para cada filtro a seguir:

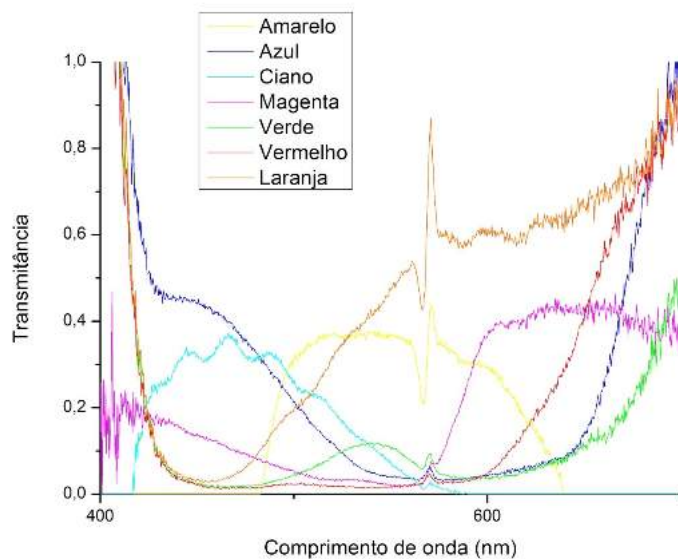



Gráfico 8: valor da transmitância para cada filtro colorido.

Com ~~essa~~ exceção das extremidades da região visível, que ~~seja~~ sofrem com um enorme erro do espectrômetro e da calibração, percebemos que mesmo os picos de transmissão de cada filtro não ultrapassam 



passa o valor 1, como esperado, por serem de intensidade sempre menor que a fonte.

6) Dispondo os valores de comprimento de onda de corte (menor comprimento de onda transmitido), comprimento de onda máximo (em que ocorre a maior transmissão) e a transmitância máxima para cada cor, obtemos a tabela a seguir:

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

Tabela 1: valores de comprimento de onda mínimo e máximo e transmitância máxima de cada filtro. Alguns filtros como Amarelo, Ciano e Verde possuem dois comprimentos de onda de corte, pois podemos encará-los como filtros passa-banda, em que há o menor e maior comprimento de onda transmitido. Já o comprimento de onda de corte do filtro azul está em destaque que pois é maior que o de pico de transmissão, pois é uma cor que transmite muito próximo a 400 nm, o valor mínimo analisado.

7) A máxima transmitância do filtro verde foi de 0,11, o que nos levou a determinar o valor do comprimento de onda mínimo como aqueles que transmitem menos de 50%, escolhemos que os comprimentos de onda de corte seria aquele que transmite de 3 a 4%, ou seja, de transmitância entre 0,03 e 0,04.



8) Os picos de emissão foram determinados pelo espectrômetro e estão dispostos a seguir para todas as lâmpadas de plasma, sem calcular a irradiação pois os espectros já possuem linhas muito finas:

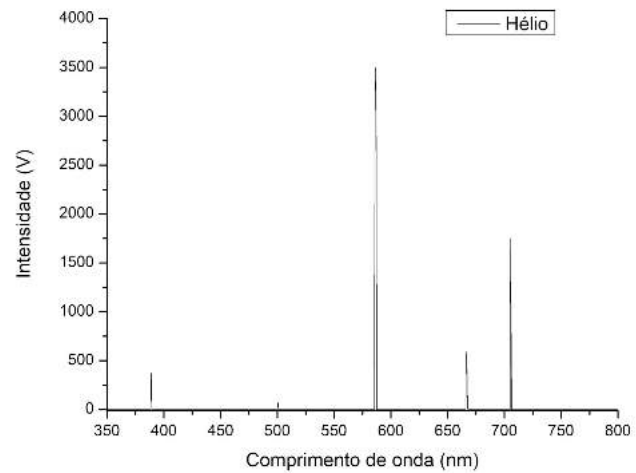
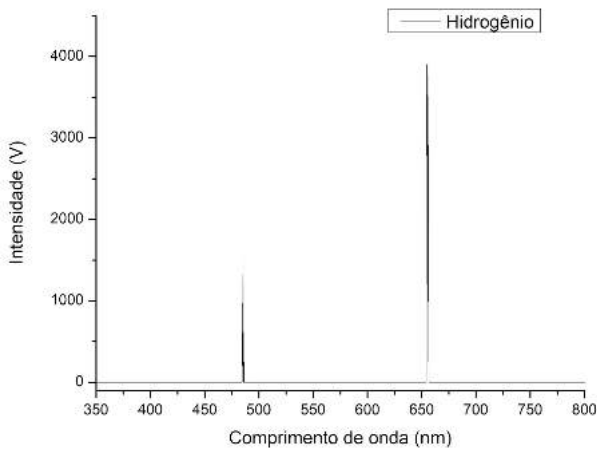


gráfico 9: espectro do Hidrogênio

gráfico 10: espectro do Hélio

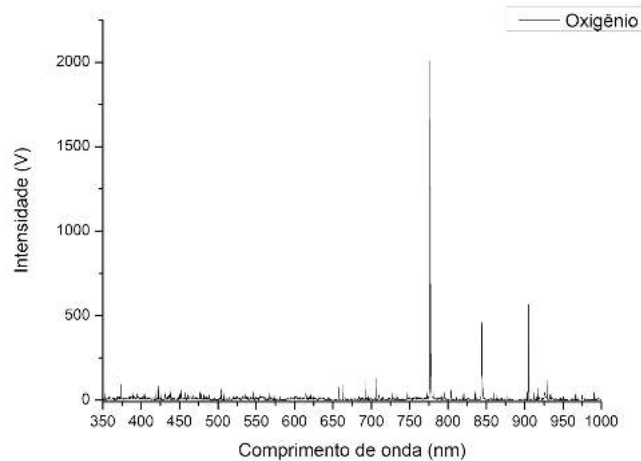
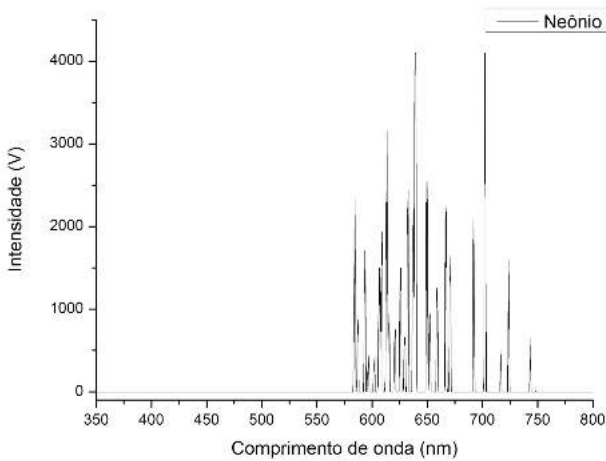


gráfico 11: espectro do Neônio

gráfico 12: espectro do Oxigênio

Como podemos ver, as lâmpadas emitem espectros bastante finos, discretos, e com um número finito de linhas dentro da região próxima ao visível.





9) Observando todos os picos, dispusemos o espectro de todas as lâmpadas em um único gráfico mostrado a seguir:

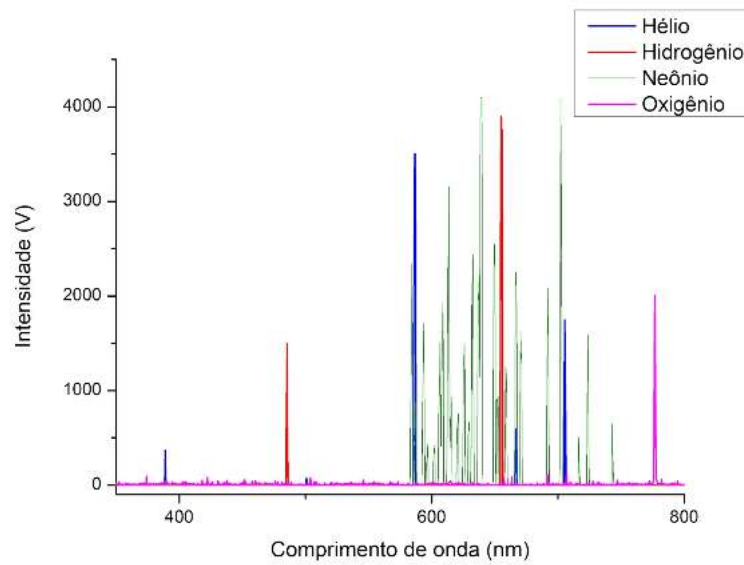


gráfico 13: espectro de emissão de todas as lâmpadas de plasma estudadas.

Comparando com o experimento "Séries de Balmer" e com a literatura, temos:

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	5,68	
		618	

Tabela 2: comparação dos picos de emissão das lâmpadas de plasma com diferentes experimentos e com a literatura.



Vemos que a experiência da Espectroscopia de Emissão não identifica tantos picos quanto a experiência de Séries de Balmer. O motivo da redução de picos identificados é o tema de discussão a ser realizada posteriormente.

10) Ao medir o espectro de emissão da lâmpada que ilumina a sala, obtivemos o seguinte gráfico:

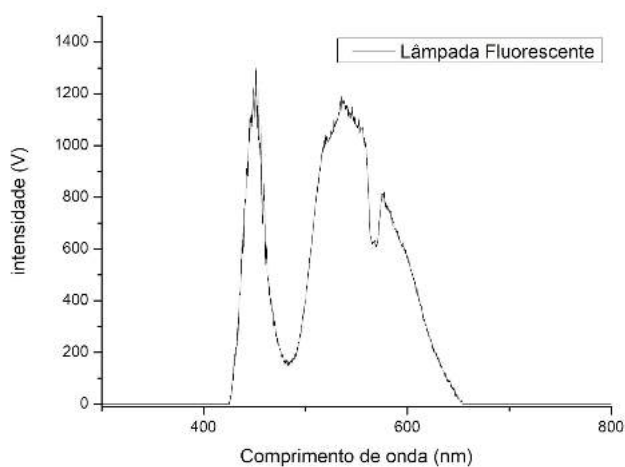


Gráfico 14: Intensidade da lâmpada que ilumina a sala de laboratório por comprimento de onda. Ao usar a relação 2 com os valores de R obtidos do gráfico 4, obtemos a irradiância:

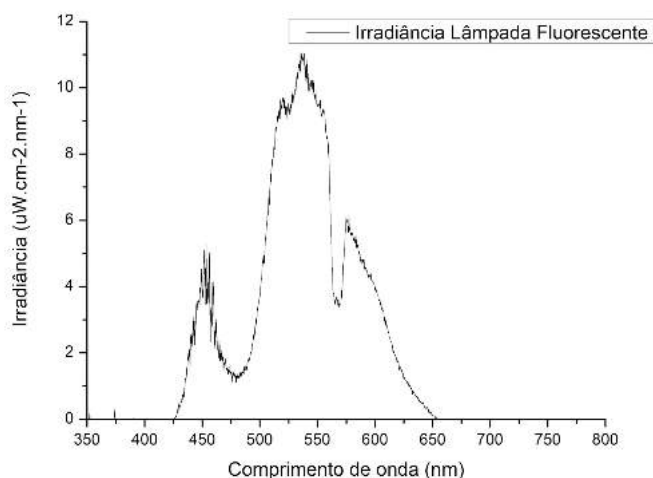


Gráfico 15: Irradiância espectral da lâmpada fluorescente

Sabemos da literatura que o espectro de irradiância de uma lâmpada fluorescente





apresenta diversos picos bem definidos, o que não acontece no espectro apresentado pelo gráfico 5. Comparando ao gráfico 6, vemos que o formato e as regiões de picos de irradiação se assemelham muito, com a intensidade muito reduzida, o que pode ser justificada pela distância entre as fontes e o detector. Concluímos então que a luz que ilumina a sala de laboratório não é mais uma lâmpada fluorescente, sendo então impossível calcular a composição química de seu gás, mas sim uma lâmpada de LED, muito comum por conta da economia de energia deste sistema.

11) Trabalhamos com 2 tipos de LEDs: os transparentes, cuja capsula envolvente é transparente e o material emite a cor desejada, e os encapsulados, em que o material emite luz branca e a capsula é colorida. O espectro de emissão de intensidade para os dois casos ~~for~~ estão dispostos nos gráficos a seguir:

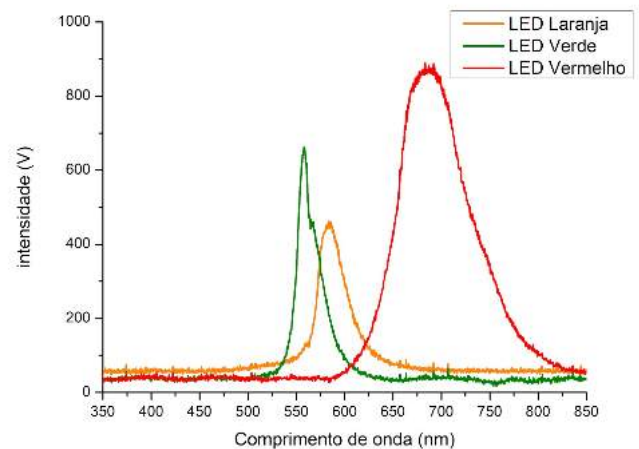
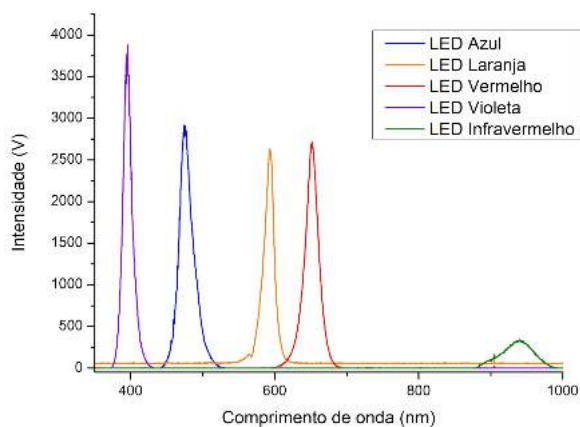


gráfico 5: intensidade espectral dos LEDs transparentes

gráfico 7: intensidade espectral dos LEDs encapsulados



12) Ao calcular a irradiância pela equação 2, temos:

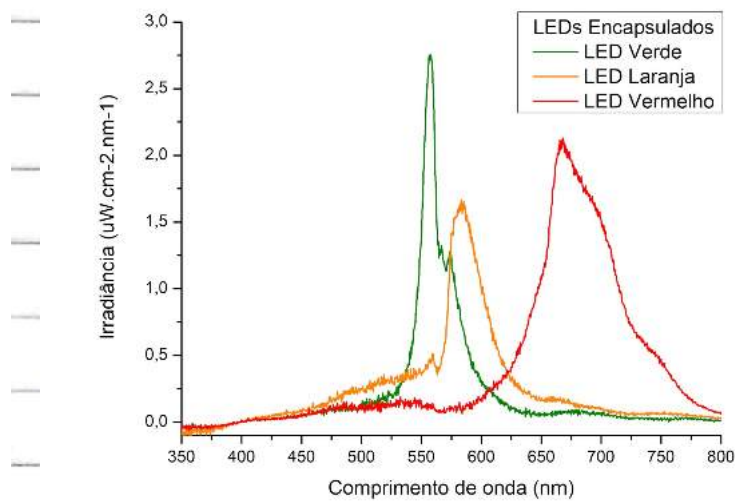
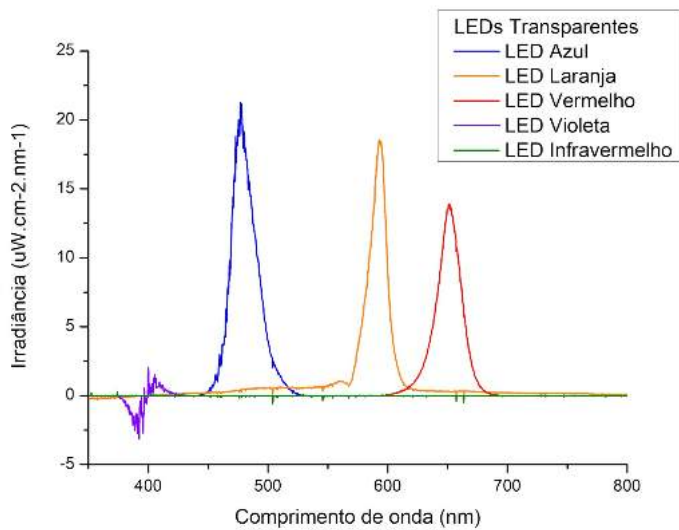


gráfico 18: irradiância espectral dos LEDs transparentes      gráfico 19: irradiância espectral dos LEDs encapsulados

Vemos que há um estreitamento das peças das bandas de emissão ao calibrar os espectros de emissão. Percebemos em ambos os casos (tanto de intensidade e de irradiância) que os LEDs transparentes possuem bandas mais estreitas e específicas que os LEDs encapsulados.

Houve também um problema com a irradiância espectral do LED violeta, que se mostrou negativo para a região menor que 400 nm. Esse problema é consequência do problema apresentado no item 2 dos resultados, em que a responsividade foi negativa para esta região devido a um erro no espectrômetro, já que há alta flutuação de medidas nessa região, que não é tão bem calibrada.

A irradiância espectral da "lâmpada fluorescente" foi calculada e apresentada no item 10.





13) Apresentando todos os LEDs juntos, temos para o espectro de intensidade e irradiância:

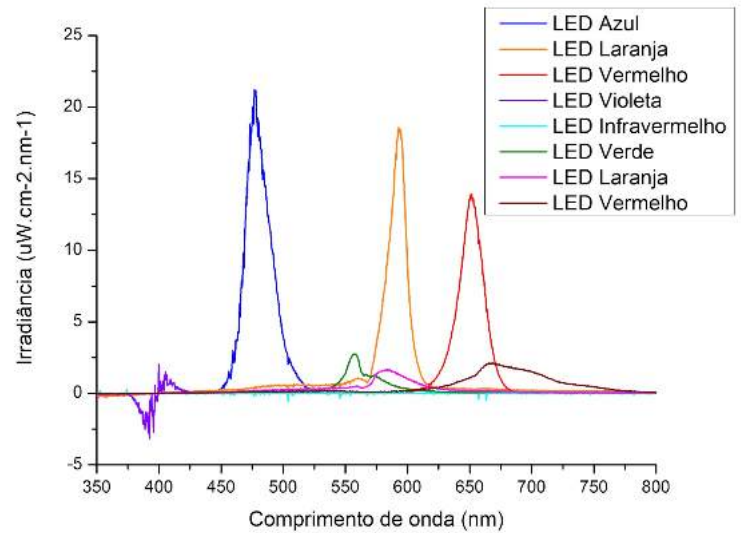
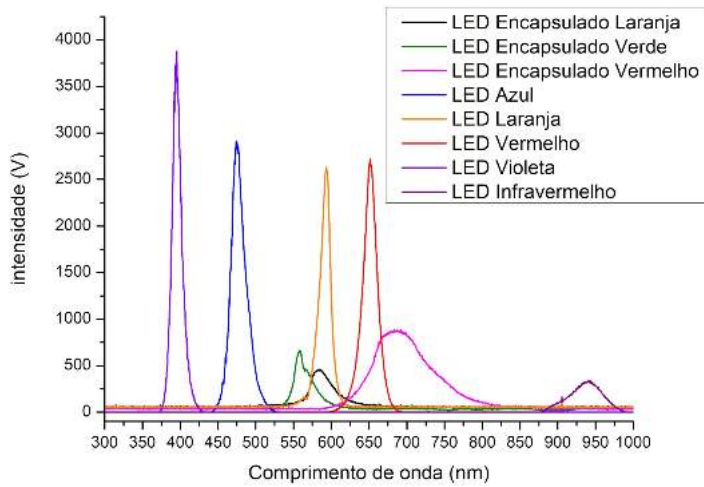


gráfico 20: espectro de intensidade para todos os LEDs

gráfico 21: espectro de irradiância para todos os LEDs

Percebemos na comparação que os LEDs encapsulados possuem intensidades muito menores que os LEDs transparentes. Isso ocorre pelo mesmo motivo da diminuição de intensidade da luz ao atravessar os filtros do item 4. O encapsulamento atua exatamente como um filtro, diminuindo drasticamente a intensidade da luz interna.

14) Para cada LED, o comprimento de onda em que ocorre o pico de emissão está disposto na tabela a seguir:

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

tabela 3: comprimento de onda do pico de emissão para cada LED estudado

15) Para a lâmpada de tungstênio, obtivemos o seguinte espectro de emissão:





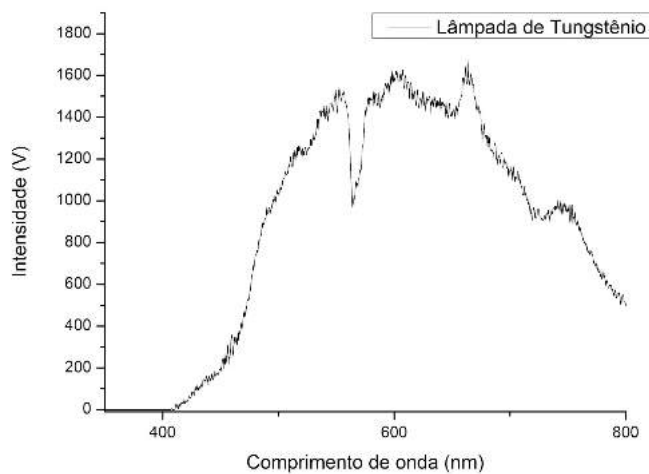


gráfico 22: espectro de intensidade detectado pelo espectrômetro para uma lâmpada de tungstênio  
 16) Ao calcular a irradiância espectral dessa lâmpada, obtemos:

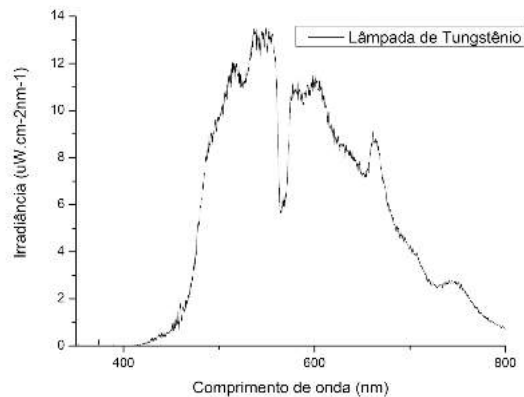


gráfico 23: irradiância espectral da lâmpada de tungstênio.

17, 18 e 19) Não foi possível realizar devido a falta de dados por problemas e limitações do laboratório

20) A lei de Wien é dada por:

$$\lambda_{\text{máx}} \cdot T = 2,898 \text{ m K}$$

O que significa que a temperatura de um corpo é inversamente proporcional ao comprimento de onda de pico (máxima irradiância). Essa lei tem efeito na lei de Stefan-Boltzmann:

$$R = \sigma T^4$$

em que  $R$  é a irradiância e  $\sigma$  uma constante

Essas relações são válidas para corpos negros, ou seja que emitam espectros contínuos quando aquecidos. Sendo assim, as lâmpadas em que poderíamos







aplicar essas relações são as halógenas e de tungstênio, como mostra o espectro a seguir:

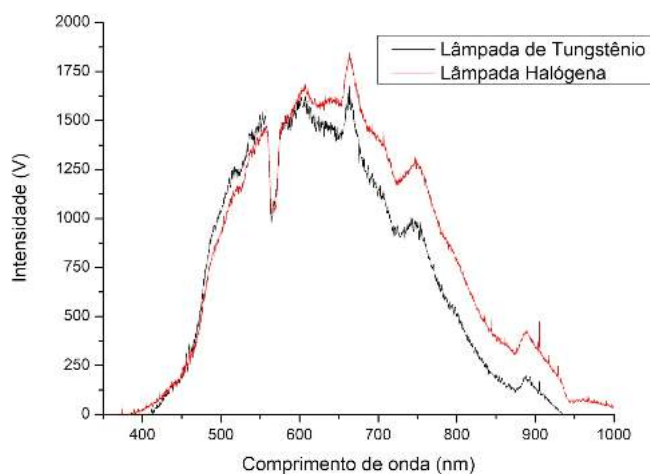


gráfico 24: intensidade espectral das lâmpadas halógena e tungstênio.

Como apenas as duas lâmpadas apresentam espectros contínuos e as demais mostram espectros com picos discretos, todas as outras as leis não se aplicam.

2.1) A irradiância é definida como:

$I = \int I_E d\lambda$ , em que  $I_E$  é a irradiância espectral e  $\lambda$  o comprimento de onda. Pode ser entendida como fluxo total radiantes por unidade de área, associada a densidade de fótons.

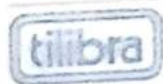
Se a irradiância espectral apresenta o valor do fluxo de fótons por comprimento de onda:

$$I_E = \frac{\Phi E}{\lambda}, \quad \Phi \text{ é o fluxo de fótons, } E \text{ é a energia}$$

do fóton em eV.

Podemos entender o conceito de potência como a quantidade de energia por unidade de tempo:

$$P = \frac{E}{\Delta t}, \quad \text{tal que } [P] = \frac{J}{s} = W$$



No contexto das ondas eletromagnéticas, as



// //

intensidades observadas durante a experiência é dada por potência / área ~~potência / área~~  
~~potência / área~~

Da mesma forma que a irradiância, potência espectral é dada pela potência de cada comprimento de onda:  $P = \frac{E}{\Delta t \cdot \lambda}$

22) Quando medimos a intensidade ~~espectral~~ das linhas da lâmpada de plasma com o espectrômetro, o monocromador e o detector estão muito próximos, não permitindo grandes ângulos para variar o espectro, o que resulta em uma perda de resolução, e as linhas mais próximas umas das outras são registradas como uma linha única.

23) A distância entre os componentes do espectrômetro é invariável, portanto, apesar da eficiência para identificar comprimentos de onda emitidos, a resolução não permite variar ângulos e diferenciar linhas próximas. Com a luneta, o goniômetro e o olho humano, podemos aumentar a distância até o monocromador, de forma que permita uma maior variação angular para identificar linhas próximas. Logo o método usado na experiência Séries ~~de~~ de Balmer é melhor para identificar esses picos, apesar do inconveniente da diminuição da intensidade das linhas com o aumento da distância, o que pode ser resolvido ~~se~~ com um olho muito bem treinado a enxergar baixas intensidades de luz.



## Conclusão:

Após a experiência é possível concluir que atingimos o objetivo de compreender toda a instrumentação utilizada da espectroscopia e também observar as características de diferentes espectros. Apesar do problema com a responsividade devido a flutuações da incerteza do espectrômetro, os resultados foram muito satisfatórios, permitindo o aprofundamento de conceitos e comportamento desta ciência.

## Referências

- Zuberg, Robert, Resnick, Robert. Física Quântica: Átomos, Moléculas, e Sólidos, Núcleos e Partículas. (1978).

- PRESTO, Michall. "A closer look at the spectrum of Helium - The physics teacher". Vol 36 (march, 1998)

- REZAI, Satehah. & SHOKRI, Babat. "Investigation of antibacterial and wettability behaviors of plasma-modified PMMA films for application in ophthalmology. (Journal of Physics D Applied Physics)

- USACHEV, A.D.; LIPAIEV, A.M. Influence of dust particles on the neon spectral line intensities at the uniform positive column of DC discharge at the space apparatus "Plasma Kristall-4".