

Espectr scopia e Fluorescência

Pedro Rodrigues

Departamento de Física e Astronomia
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal

Turma PL6

Grupo 6

03/11/2021

Resumo

Este trabalho teve como objetivo a medição de espectros contínuos, de riscas e de bandas através de um espectr metro de desvio constante e de um espectr metro digital. Estudou-se a transmitância/absorvância e a reflectância de vários filtros ópticos e mediu-se e caracterizou-se a emissão por decaimento de fluorescência de um cristal (vidro dopado).

A estimativa para a resolução espectral do espectr metro usado foi de ± 4 nm. Estimou-se o tempo característico da fluorescência como sendo $\tau = (0.137 \pm 0.004)$ s com uma incerteza percentual de 2.9%.

1 Introdução

1.1 Objetivos

- Identificar os espectros  ticos de lâmpadas de descarga elétrica, incandescentes e fluorescentes;
- Medir a Transmitância $T(\lambda)$ e a Reflectância $R(\lambda)$ de diversos filtros;
- Manusear e conhecer o funcionamento de espectr metros, tanto analógico como digital;
- Trabalhar com aquisição automática de sinal (*Labview*);

1.2 Introdução Teórica [1]

Designa-se por Luz a parte da radiação electromagnética perceptível ao olho humano. Contudo, olhando para o significado da palavra da perspetiva de um físico, luz   toda a radiação eletromagnética, isto é, não só luz visível mas também raios gama, raios X, ultravioletas, infravermelhos, microondas e ondas de rádio - figura 1. Ao intervalo completo de todas as possíveis frequências da radiação eletromagnética d -se o nome de espectro eletromagnético. No âmbito da ciência, referimo-nos a espectro como a representação da intensidade luminosa em função da frequência óptica ou do comprimento de onda da radiação.   característico da substância que emite/absorve. Existem três categorias principais de espectros:

- **Espectros Contínuos** - Existem numa região contínua do espectro eletromagnético. São normalmente característicos de lâmpadas incandescentes e têm como sua base de formação processos termo-elétricos.
- **Espectros de Riscas** - Característicos de gases mono-at micos, traduzem-se em riscas singulares dispersas sobre um fundo preto se o espectro for de emissão, ou em riscas pretas sobre um fundo contínuo se o espectro for de absorção.

- **Espectros de Bandas** - São normalmente associados aos espectros de espécies moleculares e traduzem-se em muitas riscas muito próximas que podem não ser diferenciadas pelo espectrómetro. Isto acontece pois a molécula possui níveis energéticos provenientes de estados de vibração/rotação para além dos níveis de energia eletrónicos.

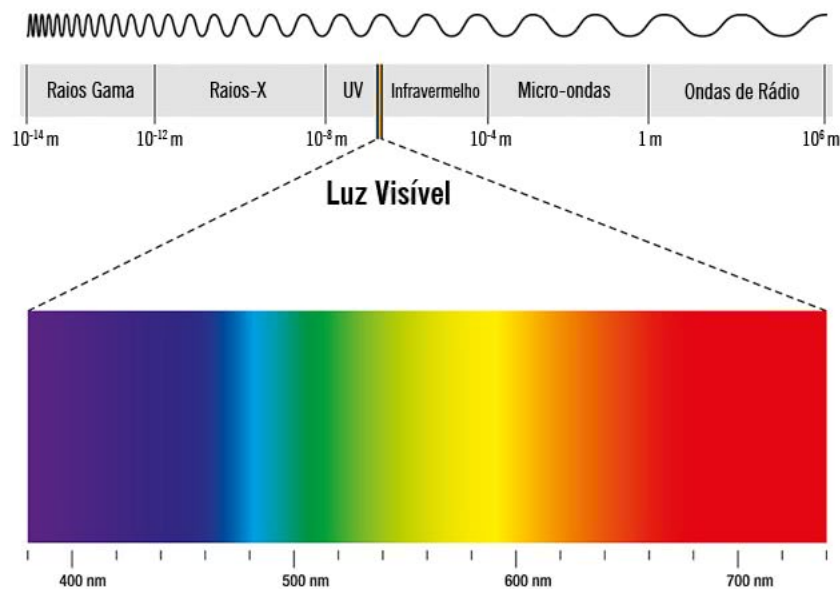


Figura 1: Esquema eletromagnético, com destaque para o espectro da luz visível

1.2.1 Transmitância, Absorvância e Reflectância

Designa-se por Transmitância $T(\lambda)$ a fração da luz incidente com um comprimento de onda específico, que atravessa uma amostra de matéria. É um fenómeno relacionado diretamente com a Absorvância - eq. (2). Absorvância ou Densidade Ótica $O.D.(\lambda)$ é a capacidade intrínseca dos materiais em absorver radiações de frequências específicas. A Reflectância $R(\lambda)$ é a relação entre a intensidade de luz que incide numa superfície e a luminosidade que é por ela refletida.

Para conseguir obter estas medidas espectrais a partir de espectros obtidos experimentalmente é necessário fazer sempre a diferença entre a intensidade pretendida e a intensidade sem iluminação de referência $I_{dark}(\lambda)$ uma vez que o espectro escuro obtido nunca será efetivamente escuro (devido ao zero do espectrómetro ou a fontes de luz ambiente que não conseguimos eliminar).

$$T(\lambda) = \frac{I_T(\lambda) - I_{dark}(\lambda)}{I_{ref}(\lambda) - I_{dark}(\lambda)} \quad (1)$$

$$A(\lambda) = -\log_{10}(T(\lambda)) \quad (2)$$

$$R(\lambda) = \frac{I_R(\lambda) - I_{dark}(\lambda)}{I_{ref}(\lambda) - I_{dark}(\lambda)} \quad (3)$$

1.2.2 Fluorescência

Fotoluminescência é o fenómeno pelo qual uma substância emite luz quando os seus átomos são excitados por fótons. Englobam-se nesta classe de emissão a fluorescência e a fosforescência.

A fluorescência ocorre usualmente em tempos curtos, 10⁻⁹ a 10⁻³ s, com o material fluorescente brilhando apenas enquanto exposto à fonte primária de energia, ao passo que a fosforescência

abarca os casos especiais onde a conversão de energia ocorre lenta e gradualmente por períodos muito posteriores ao término da exposição à fonte primária.

Na fluorescência os espectros de emissão aparecem deslocados para comprimentos de onda maiores comparativamente aos espectros de absorção uma vez que uma parte da energia é dissipada na transição entre estado vibracionais, ou seja, o n^o de fótons emitidos por fluorescência é menor que o n^o de fótons absorvidos.

As moléculas são excitadas por iluminação de comprimento de onda adequado. Uma vez extinta a iluminação de excitação, a intensidade da radiação fluorescente emitida decai exponencialmente com o tempo, segundo a equação (4),

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4)$$

onde τ é o tempo característico de desexcitação e I_0 é a intensidade da luz emitida por fluorescência no instante inicial ($t = 0$).

2 Experiência

2.1 Espectrómetros

1. De desvio constante

Constituído por um prisma de *Pellin-Broca* funciona por dispersão cromática, isto é, utiliza a variação do índice de refração com o comprimento de onda. Este comprimento de onda é selecionado por rotação de um tambor graduado, que faz girar o prisma. Para cada ângulo de incidência de um feixe de luz "branca" no prisma resulta num feixe refractado com um desvio de 90^o relativo à direção inicial no comprimento de onda particular. Uma vez calibrado o espectrómetro, deve-se rodar o tambor sempre no mesmo sentido, de maneira a evitar erros devidos à folga do parafuso.

A observação de um espectro de emissão a partir do espectrómetro de desvio constante dá-se graças à luneta e ao colimador - figura 2. A luneta é constituída por três tubos ajustáveis que permitem a regulação independente da ocular e da objetiva relativamente ao retículo. O colimador é constituído por um tubo de comprimento fixo (pré-ajustado), com uma fenda regulável num extremo e a óptica de colimação no outro. Estando a fenda iluminada pela fonte óptica a analisar, o colimador produz um feixe paralelo incidente no prisma.

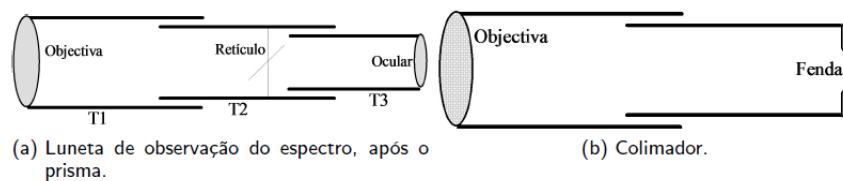


Figura 2: Elementos ópticos constituintes do espectrómetro de desvio contante

Para uma boa observação de riscas espectrais através da fenda do colimador deve-se ajustar a ocular da luneta de forma a ver-se o retículo; ajustar a focagem da luneta de forma a obter uma imagem nítida da fenda, no plano do retículo; e verificar que a fenda está reduzida ao mínimo que permita ainda ver com clareza as riscas espectrais.

2. SpectraScan VIS-NIR e UV-VIS

Estes espectrómetros funcionam por dispersão interferométrica recorrendo a redes de difração. Ao contrário dos espectrómetros de desvio constante, os SpectraScan não têm partes móveis, e baseam-se na conjugação do elemento dispersivo com um detector multi-pixel (uma

matriz linear CCD - charge-coupled device). A figura 3 ilustra um FOS - fiber optic spectrometer. A luz emergente da fibra óptica ligada ao sistema é colimada por um espelho reflector e direcionada para uma rede de difração reflectora. O espectro disperso é então encaminhado para o detector - uma matriz linear de dimensões 1x1024 ou 2x2048 - onde cada pixel da linha de detetores está associado a um comprimento de onda específico disperso angularmente pela rede de difração. O sinal por ele detectado é registado como a intensidade em função do comprimento de onda.

Os espectrómetros baseados em redes de difração têm a vantagem de maior linearidade por comparação com o uso de prismas, e mais simples automatização da operação/detecção. No entanto têm o problema de poder existir sobreposição de ordens de difração quando $\lambda_1 = 2\lambda_2$. Para evitar dualidade da informação, os espectrómetros baseados em rede de difração podem dispor de um conjunto de filtros internos que limitam a utilização a uma gama de comprimentos de onda bem conhecida. O SpectraScan UV-VIS opera na gama 300 - 700 nm, e o SpectraScan VIS-NIR opera na gama 450 - 1000 nm.



Figura 3: Esquema de um espectrómetro semelhante ao usado neste trabalho

2.2 Procedimento Experimental

2.2.1 Espectros óticos de diversas fontes luminosas

Começou-se por ligar a lâmpada de sódio para que fosse aquecendo. Enquanto isso, exploramos o software de controlo do espectrómetro Scansci e ajustamos o espectrómetro de desvio constante para uma boa observação do espectro de emissão do sódio. Colocamos as fibras de captação perto da lâmpada de sódio e guardamos o espectro de emissão com o tempo de integração bem definido, ou seja, verificando sempre que os picos do espectro não estão saturados. Uma vez guardada toda a informação requerida para analisar o espectro do elemento sódio, repetiu-se o procedimento para as lâmpadas de Hélio, Néon, Incandescente, Fluorescente e para o Laser.

2.3 Transmitância, Reflectância e Densidade Ótica de vários filtros

Nesta parte da experiência escolheu-se a lâmpada incandescente como intensidade luminosa de referência, uma vez que se concluiu que o seu espectro era contínuo na primeira parte do trabalho. De seguida escolhemos os filtros apresentados na figura 4 para avaliar as suas curvas de $T(\lambda)$, $O.D.(\lambda)$ e $R(\lambda)$. Para a medição da transmitância $T(\lambda)$ a montagem experimental usada encontra-se na figura 5. Colocou-se em linha reta a fonte, o suporte com o respectivo filtro e as fibras óticas. No caso da montagem da reflectância $R(\lambda)$ - figura 6 - colocou-se uma folha branca por trás do suporte dos filtros (usada como referência) e tentou-se ao máximo que o ângulo de incidência da luz no filtro fosse igual ao ângulo da luz refletida que chega às fibras óticas.

Tanto para a medição da transmitância como para a da reflectância, a medição da intensidade de referência $I_{ref}(\lambda)$ foi registada sem qualquer filtro no suporte. A medição da intensidade do

espectro dito "escuro" $I_{dark}(\lambda)$ foi registada tapando a fonte de luz (sem a desligar para não haverem flutuações de potência entre o registo dos espectros) sem mexer na disposição da montagem experimental. Este último aspecto também foi posto em prática sempre que se trocava um filtro do suporte.

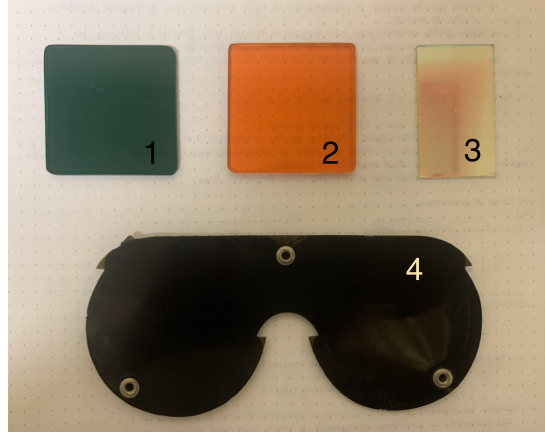


Figura 4: Filtros para os quais medimos $T(\lambda)$, $O.D.(\lambda)$ e $R(\lambda)$: 1 - filtro verde; 2- filtro laranja; 3 - filtro espelhado; 4 - óculos de proteção laser

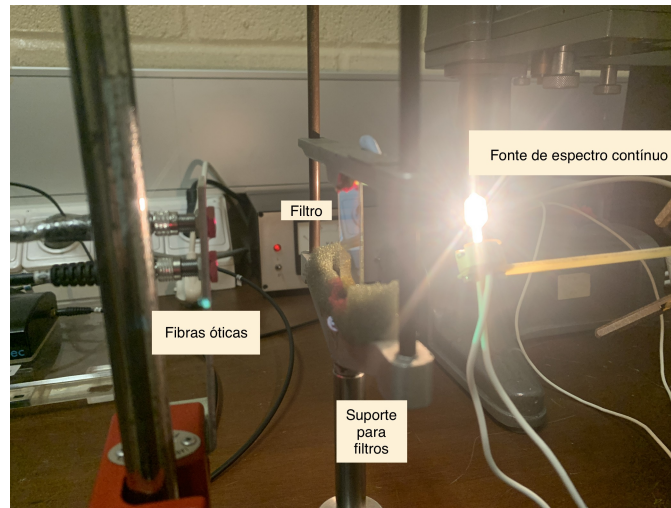


Figura 5: Montagem experimental usada na medição da Transmitância

2.3.1 Determinação do tempo de fluorescência

Para esta parte do trabalho utilizou-se a montagem esquematizada na figura 7. A caixa com a amostra tem dois tubos de inserção do LED violeta de excitação e do fotodetector. Dentro da caixa, em forma de tubo cilíndrico, encontra-se um vidro dopado com iões de crómio e um filtro ótico que evita que a luz de excitação atinga o detetor, mas que deixa passar o espectro de emissão fluorescente. A interface de aquisição e controlo (DAQ NI-USB6009) utilizada na emissão do LED e na aquisição do sinal do fototransístor era controlada por uma aplicação implementada em LabView onde se podia controlar parâmetros como o tempo de excitação do cristal, a frequência de amostragem, o nº de pontos a adquirir e a gravação de dados em ficheiro ASCII.

Inseridos os parâmetros adequados à visualização do sinal de fluorescência, ativou-se a gravação

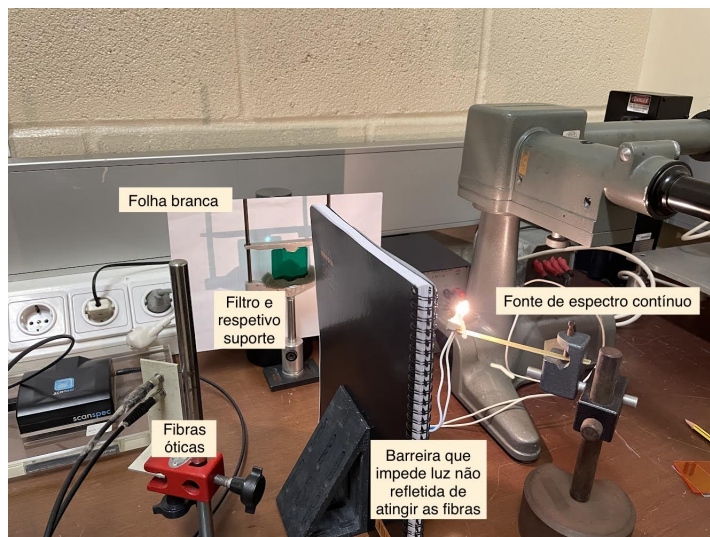


Figura 6: Montagem experimental usada na medição da Reflectância

de dados e repetiu-se este ponto várias vezes para mais tarde fazer a média do sinal de modo a controlar a razão sinal ruído da aquisição.

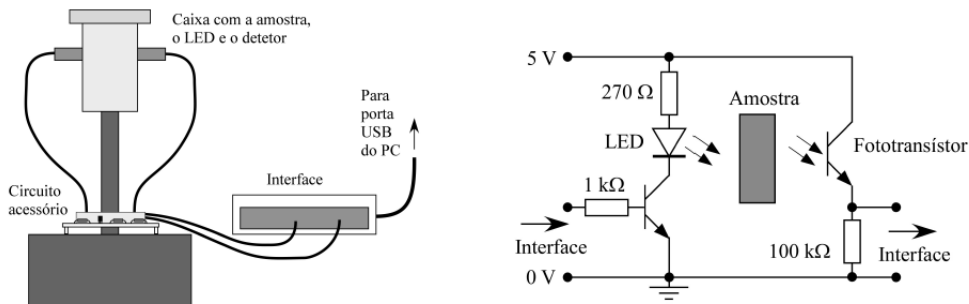


Figura 7: Esquema da montagem experimental para a determinação do tempo de fluorescência

3 Análise de Dados

3.1 Determinação da Resolução Espectral dos espectrômetros digitais UV-VIS e VIS-NIR

Através do espectro obtido para a lâmpada de Sódio - gráfico da figura 8 - e dado que as suas riscas são valores tabelados e conhecidos estimamos a resolução do espectrómetro através do valor da largura a meia altura de um desses picos cujo valor é conhecido.

Para ambos os espectrômetros estimamos esse valor como sendo ± 4 nm.

Após alguma discussão com a professora acerca deste valor, aferimos que este valor estaria sobre-estimado e que uma forma de obtermos uma estimativa melhor seria utilizando ou a mesma lâmpada ou outra lâmpada cujo espectro fosse de riscas mas cujo espectro não estivesse tão saturado e assim a nossa estimativa seria mais "realista".

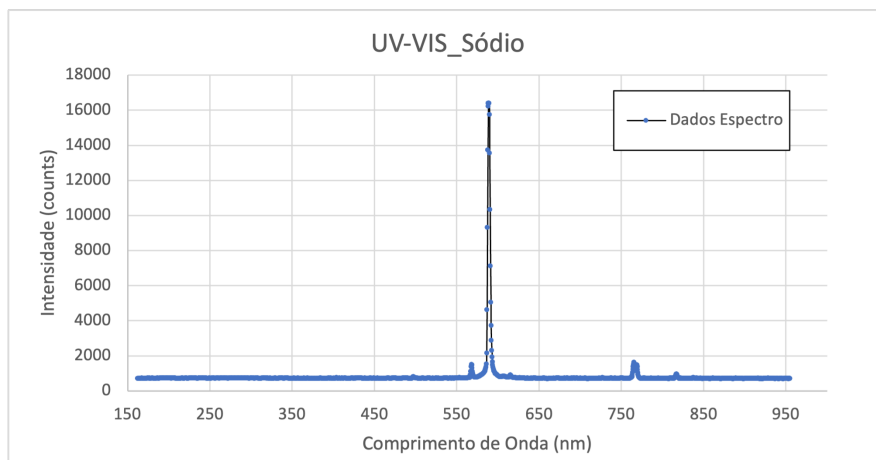


Figura 8: Espectro UV-VIS da lâmpada de Sódio

3.2 Descrição dos espectros de emissão observados através do espectrómetro de desvio constante e do espectrómetro digital

Para as lâmpadas de sódio, hélio e néon observaram-se espectros de riscas. Os comprimentos de onda das riscas observadas no espectrómetro de desvio constante coincidem com os picos observados nos espectrómetros digitais. Por exemplo, o comprimento de onda obtido para a risca amarela do espectro do Sódio foi de (589 ± 4) nm o que coincide com o valor tabelado para o comprimento de onda dessa risca.

No espectro do hélio observaram-se muitas riscas próximas umas das outras na zona do amarelo/laranja e uma outra risca bem definida cor azul. Para a lâmpada incandescente observou-se um espectro contínuo mais visível do verde ao vermelho. Os espectros da lâmpada incandescente, uma vez que são contínuos, permitem tirar conclusões acerca da gama de funcionamento do espectrómetros digitais. No gráfico da figura 10 verificamos que o espectro só nos aparece contínuo até cerca de 800 nm contudo no gráfico da figura 9 o espectro contínuo da lâmpada incandescente prolonga-se até cerca de 1000 nm. Na lâmpada de fluorescência observou-se riscas características e zonas com muitas riscas todas juntas de tal forma que o espectrómetro não as conseguiu distinguir umas das outras e portanto estamos na presença de um espectro de bandas -gráfico da figura 11. Este espectro é característico de lâmpadas Fluorescentes "Brancas Frias" constituídas por fósforos dopados. Para o laser vermelho observamos apenas uma risca na zona do vermelho, com comprimento de onda $\lambda = (676 \pm 4)$ nm - gráfico da figura 12. De realçar que o espectro para o Laser foi obtido desalinhando o feixe do Laser da entrada da fibra ótica uma vez se estes estivessem alinhados observar-se-ia a saturação do pico.

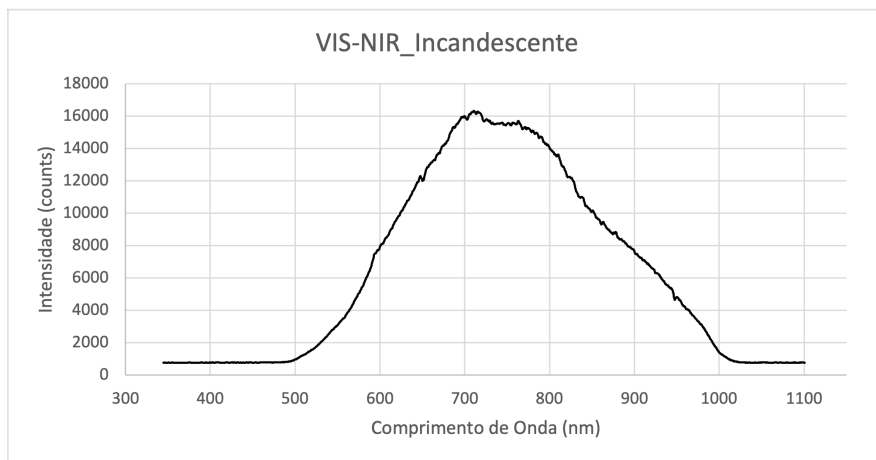


Figura 9: Espectro VIS-NIR da lâmpada Incandescente

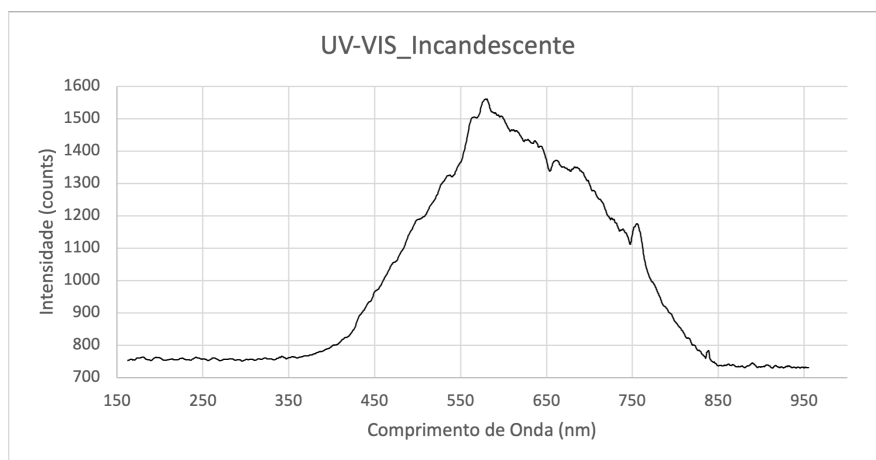


Figura 10: Espectro UV-VIS da lâmpada Incandescente

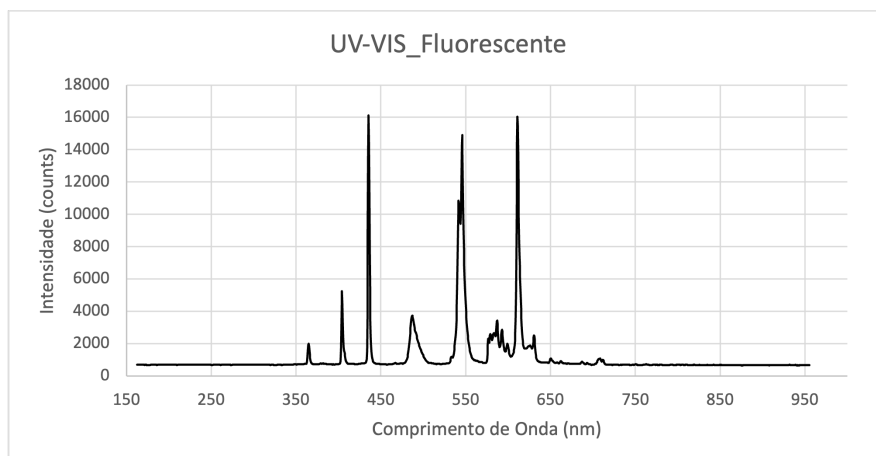


Figura 11: Espectro UV-VIS da lâmpada Fluorescente

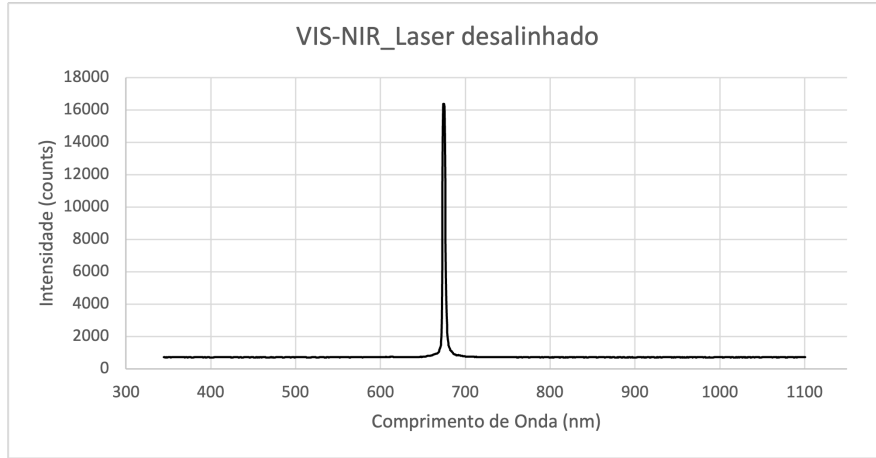


Figura 12: Espectro VIS-NIR do Laser Vermelho

3.3 Medição da Transmitância de amostras escolhidas

Escolheu-se para fonte de luz a lâmpada Incandescente uma vez que o seu espectro era contínuo, como já verificamos na primeira parte do trabalho. Os gráficos das figuras 13 e 14 correspondem aos espectros de referência, isto é, à medição da intensidade luminosa captada pelas fibras óticas quando não se coloca nenhum filtro entre a lâmpada Incandescente e as fibras. A partir destes gráficos podemos escolher as gamas de comprimentos de onda que iremos utilizar no cálculo da Transmitância e da Absorvância. Deste modo,

$$\lambda_{UV-VIS} = [400, 800] \text{ nm} \quad (5)$$

$$\lambda_{VIS-NIR} = [500, 950] \text{ nm} \quad (6)$$

Na medição dos vários espectros usou-se no espectrómetro UV-VIS os parâmetros *integration time* = 150 ms, *average* = 5 e *boxcar* = 1. No espectrómetro VIS-NIR os parâmetros foram *integration time* = 30 ms, *average* = 5 e *boxcar* = 1.

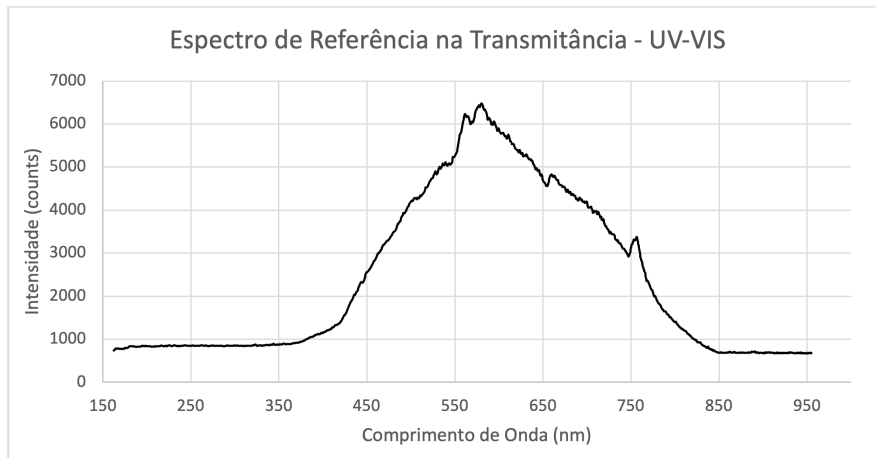


Figura 13: Espectro de referência na Transmitância - UV-VIS - da lâmpada Incandescente

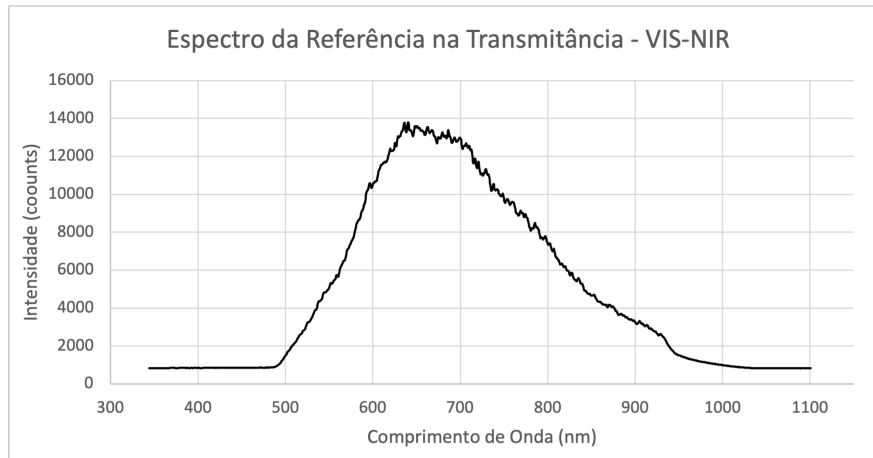


Figura 14: Espectro de referência na Transmitância - VIS-NIR - da lâmpada Incandescente

Analisando os gráficos da figura 15 e 16 podemos dizer que estes apresentam praticamente as mesmas curvas na gama comum a ambos os espectrómetros. O mesmo se verifica na absorvância (gráficos 17 e 18) uma vez que estes são "opostos" aos gráficos da transmitância. Por outras palavras os comprimentos de onda que apresentam transmitância máxima têm absorvância mínima e vice-versa. Para além disso, notamos que quando a transmitância é mínima esta praticamente não apresenta flutuações no entanto nessas mesmas gamas nos gráficos da absorvância esta apresenta flutuações significativas. Isto acontece porque no cálculo da absorvância estamos a aplicar uma escala logarítmica invertida da transmitância, ou seja, valores pequenos passam a ter relevância.

Diferentes filtros apresentam diferentes curvas de transmitância/absorvância. Assim iremos fazer uma análise com mais detalhe para cada filtro:

- No caso do filtro **laranja** para comprimentos de onda a partir de 600 nm podemos observar uma transmitância superior a 0.8, ou seja, este filtro transmite da zona do laranja para cima. Próximo dos 525 nm a transmitância é mínima (cor verde no espectro visível).
- O filtro **verde** apresenta transmitância máxima a partir de 800 nm, que já corresponde a luz infravermelha. Na gama entre [575, 725] nm que corresponde as zonas amarela, laranja e vermelho do espectro visível, o filtro verde não apresenta transmitância. No gráfico 15 também se observa uma transmitância máxima local em $\lambda \approx 525$ nm (cor verde).
- Para o filtro **Espelhado** temos que a sua transmitância é máxima a partir dos 625 nm, ou seja, este filtro deixa passar luz laranja, vermelha e infravermelhos. Não transmite na gama entre [475, 600] nm (do azul ao amarelo do espectro visível). Entre os [400, 475] nm observámos no gráfico 15 um fenómeno que aparenta ser periódico. Este possivelmente é característico do filtro em questão, uma vez que este é composto por várias camadas de diferentes materiais e portanto ocorrem reflexões entre as interfaces desses diferentes materiais originando um padrão de interferência construtiva/destrutiva. Além disso, o ângulo de incidência do feixe de luz também é um fator importante no padrão de interferência observado, isto é, variar o ângulo de incidência do feixe de luz implicaria uma alteração do padrão que se observa.

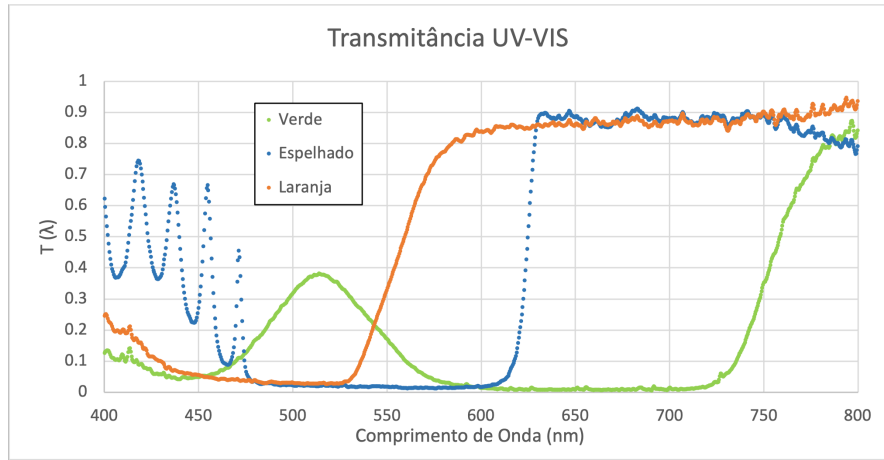


Figura 15: Transmitância UV-VIS

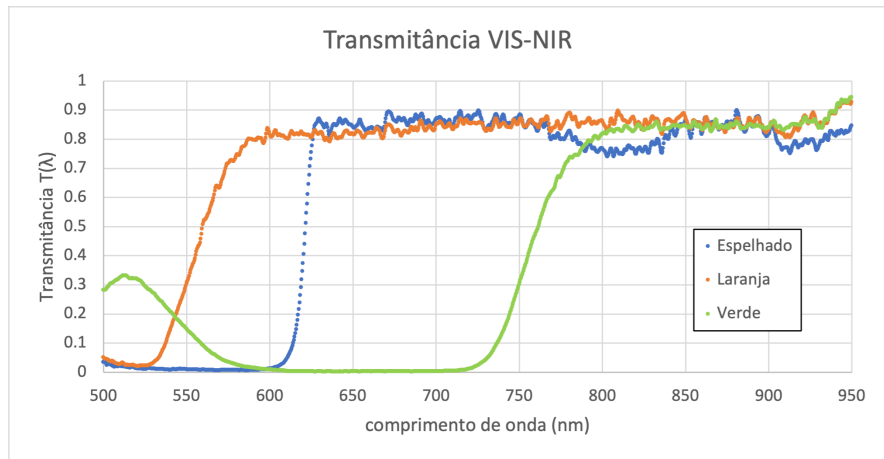


Figura 16: Transmitância VIS-NIR

No caso da absorvância a informação a retirar dos gráficos para cada filtro está diretamente relacionada com a transmitância, assim sendo:

- No caso do filtro **laranja** a absorvância máxima é aproximadamente 1.5 e corresponde à zona verde do espectro visível. Desse comprimento de onda para baixo decresce ligeiramente; desse comprimento de onda para cima decresce exponencialmente atingindo um mínimo a partir dos 600 nm.
- No filtro **verde** a absorvância máxima é de 2.5 e situa-se entre os [575, 725] nm. Para comprimentos de onda inferiores a ≈ 600 nm a absorvância desce até atingir o seu mínimo em 525 nm.
- Para o filtro **Espelhado** verifica-se também um fenómeno periódico até aos 475 nm. A partir desse valor para cima a absorvância é máxima de ≈ 1.7 e volta a cair para perto de zero a partir dos 600 nm.

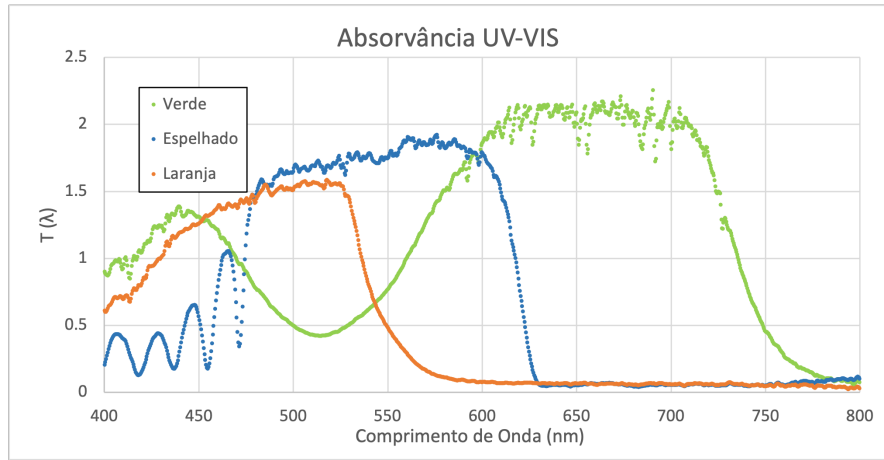


Figura 17: Absorvância UV-VIS

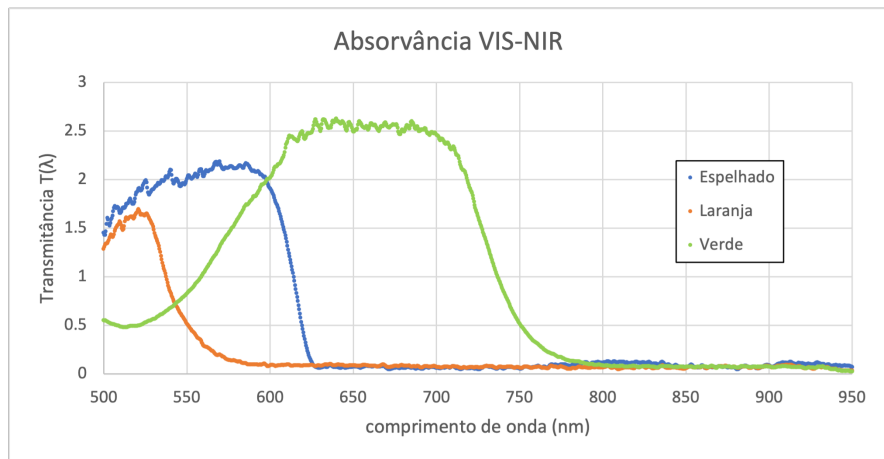


Figura 18: Absorvância VIS-NIR

No caso da amostra dos óculos de proteção laser a transmitância está uma ordem de grandeza a baixo da transmitância dos outros filtros. Esta é mínima entre $[450, 650]$ nm, correspondendo aos azuis e verdes de espectro visível. Os óculos apresentam transmitância máxima em ≈ 700 nm. No espectro VIS-NIR (gráfico da figura 19) verificamos que perto dos limites (a 500 nm e a 900 nm) a transmitância é praticamente zero, estes valores escalam para absorvâncias de ≈ 3 no gráfico 21. Estes valores podem ser ignorados uma vez que estamos no limite da gama escolhida.

Segundo os dados que se encontravam inscritos nos óculos de proteção laser, estes deveriam de ter uma O.D. de 14 em 840 nm e 1060 nm no entanto nós não verificamos isso. Valores máximos de O.D. registados rondam os 4.5 na zona dos 900 nm. Por este motivo esta parte da experiência deveria de ser repetida em condições mais rigorosas tais como:

- A luz proveniente da fonte deveria de sair de um género de uma caixa fechada por onde a única saída fosse um orifício onde pudessemos colocar a amostra que pretendemos estudar.
- Aproximar os sensores à amostra mas a uma distância que permite ao cone de aceitação das fibras captar o máximo de luz proveniente da amostra.
- Uma lâmpada de espectro contínuo com mais intensidade próximo dos 840 nm.

- Espectro que tivesse um alcance que abrangesse comprimentos de onda superiores de modo a verificar melhor se há realmente uma O.D. de 14 em 840 nm e 1060 nm.
- Sala completamente escura.

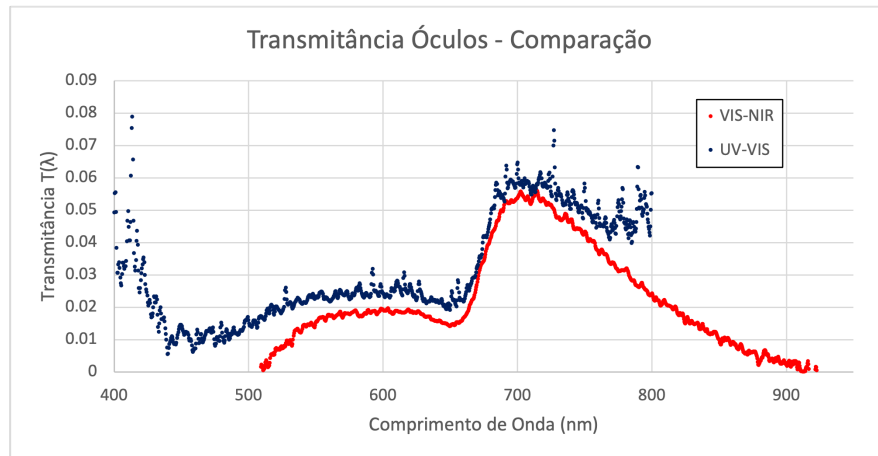


Figura 19: Transmitância UV-VIS e VIS-NIR para os óculos de proteção

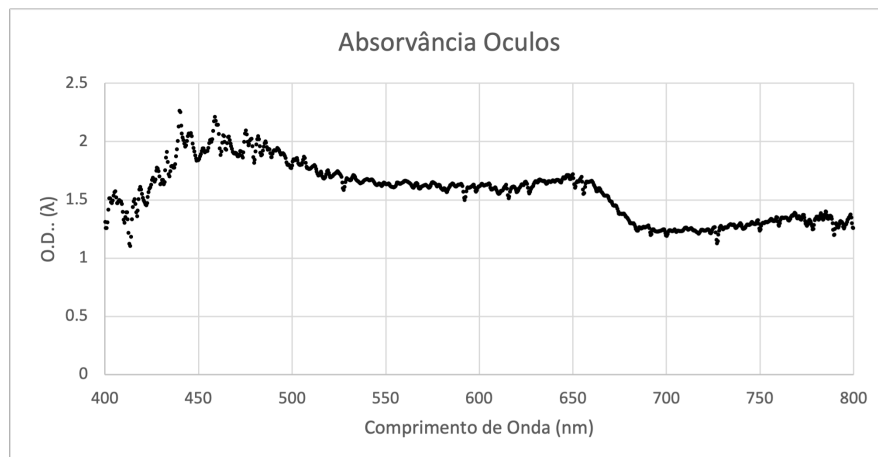


Figura 20: Absorvância dos óculos de proteção - UV-VIS



Figura 21: Absorvância dos óculos de proteção - VIS-NIR

3.4 Medição da Reflectância de amostras escolhidas

Nos espectros obtidos na medição da Reflectância notamos que havia ruído que estava a ofuscar o sinal que pretendíamos analisar deste modo decidimos realizar um *boxcar* em todos os dados obtidos uma vez que assim suavizávamos o sinal.

A experiência não foi realizada numa sala escura, isto é, a luz das lâmpadas do teto (fluorescentes) apareceu no espectro de referência bem como em todos os outros.

A reflectância calculada com médias móveis igual a 20 está representada nos gráficos 22 e 23 para os espectrômetros UV-VIS e VIS-NIR respectivamente.

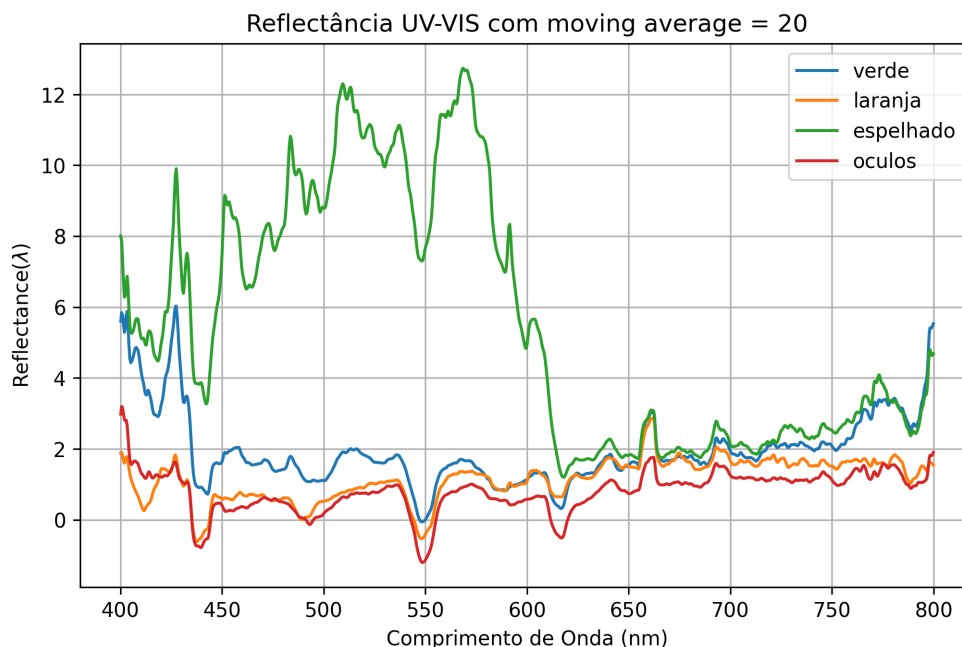


Figura 22: Reflectância obtida para o UV-VIS com medias móveis de 20

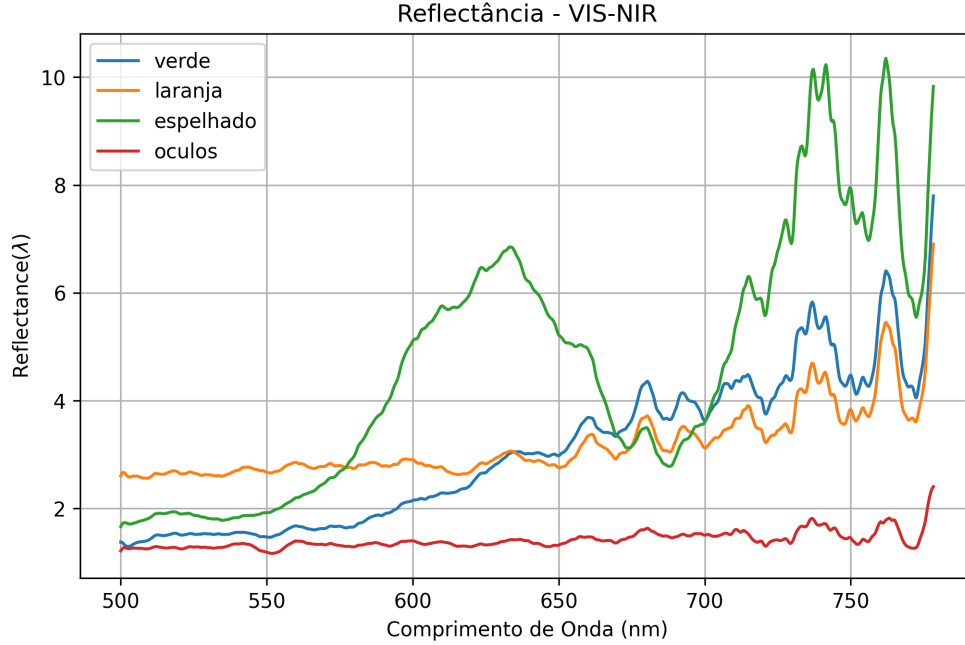


Figura 23: Reflectância obtida para o VIS-NIR com médias móveis de 20

Da análise dos gráficos das figuras 22 e 23 conseguimos retirar várias conclusões. A reflectância relativa é superior para o filtro espelhado atingindo valores máximos nas gamas de $[400, 620]$ nm no caso do UV-VIS e gamas de $[580, 660]$ nm e $[700, 780]$ nm no caso do VIS-NIR.

Os óculos de proteção laser são a amostra cuja reflectância relativa é a mais baixa, o que faz sentido uma vez que a função dos óculos é proteger e não refletir, por exemplo laser, para o resto do espaço.

Também podemos referir que a reflectância do filtro laranja na gama de $[500, 630]$ nm é superior à do verde e que para comprimentos de onda superiores o filtro verde passa a ter uma maior reflectância em relação ao laranja.

3.5 Determinação do tempo característico e cálculo da razão sinal/ruído

Retiramos cinco amostras do sinal e cinco amostras do zero do aparelho. Calculando a média das 5 amostras de sinal obtemos um sinal médio representado na figura 25. Como este sinal ainda apresentava muito ruído decidimos aplicar médias móveis de $N = 20$.

A diferença percentual relativa entre o sinal médio e o sinal obtido pelas médias móveis não era superior a 0.6%. em módulo. Deste modo, aceitamos a curva resultante das médias móveis e será essa que iremos usar no cálculo do tempo característico de fluorescência.

Obtivemos os seguintes valores para o ajuste de uma equação de fit proporcional à equação 4: $\tau = (0.137 \pm 0.004)$ s e $A = (2.4 \pm 0.1)$ V. (desvios percentuais de $S_\tau = 2.9\%$ e $S_A = 4.2\%$)

Para o cálculo da razão sinal/ruído usamos apenas um sinal, gráfico 24, e a média dos sinais, o gráfico 25.

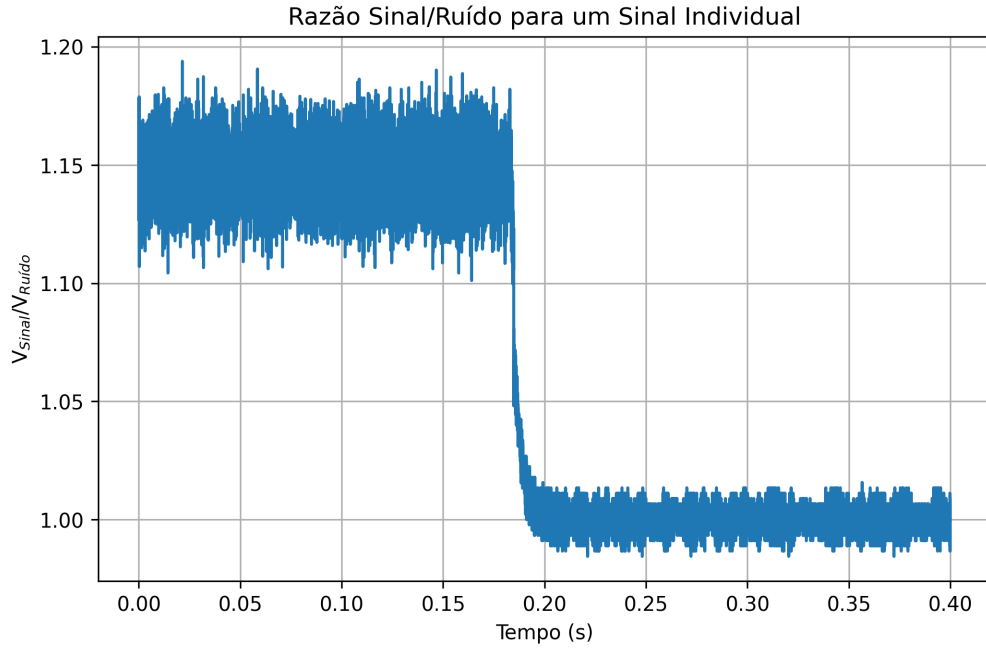


Figura 24: Razão Sinal/Ruído de um sinal individual

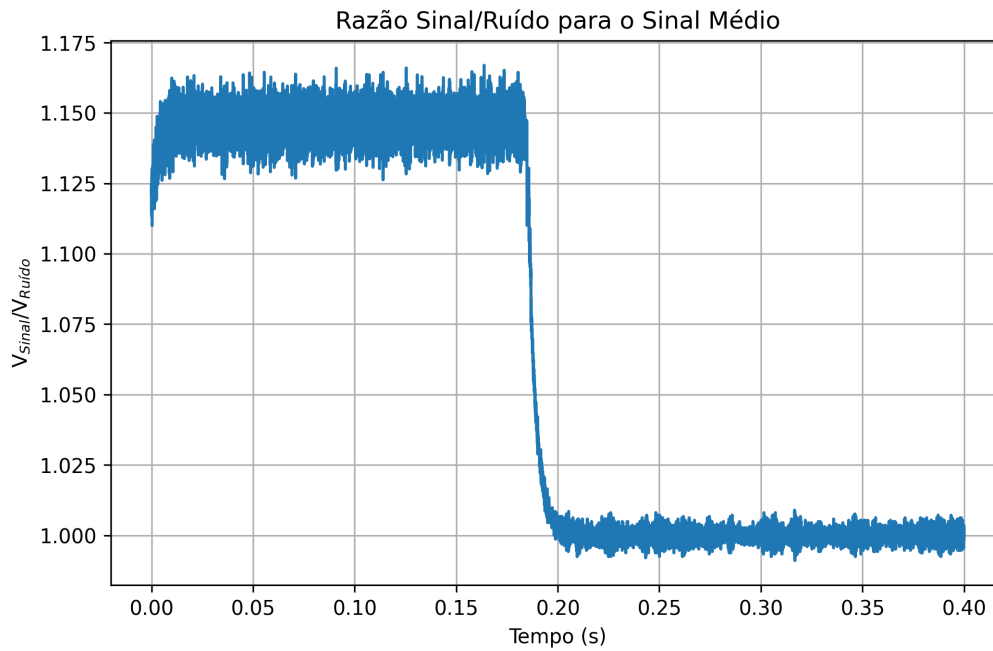


Figura 25: Razão Sinal/Ruído da média dos sinais

Notamos que com o cálculo das médias a nossa razão sinal/ruído desce, ou seja, a aplicação das médias diminuiu um pouco o impacto do ruído na nossa análise.

Podemos notar que por exemplo a partir dos 0.20 s a razão sinal/ruído é praticamente 1, ou seja, os valores que estamos a obter são praticamente os valores devido ao ruído do nosso sistema de medida.

4 Discussão de Resultados e Conclusão

No cálculo da resolução espectral estimamos tanto para o espectrómetro UV-VIS como para o espectrómetro VIS-NIR que a incerteza de leitura dos espectros era de ± 4 nm, no entanto, este valor foi um pouco sobre-estimado, uma vez que uma diferença de 4 nm entre comprimentos de onda já é observável pelo olho humano se estes comprimentos de onda estiverem no espectro visível. Assim, deveria-se repetir a análise para um pico menos saturado.

A medição da transmitância/absorvância foi elaborada de maneira correta tendo-se obtido resultados concordantes com a realidade dos filtros. Isto é o filtro laranja transmite luz com comprimentos de onda acima dessa cor e o filtro verde só transmite para comprimentos de onda que rondam os verdes do espectro visível. No caso do filtro espelhado observamos transmitância na zona dos vermelhos e observamos um fenómeno periódico na zona da luz violeta. Este fenómeno deve-se às características do filtro e pode variar alterando o ângulo de incidência da fonte luminosa.

Na medição da reflectância os dados obtidos não tinham um aspeto agradável e portanto procedeu-se à realização de médias móveis na tentativa de fazer diminuir o ruído nos espectros. Foi possível retirar algumas conclusões a partir do gráfico da reflectância no entanto nenhuma certeza à exceção de que o filtro com maior reflectância é o espelhado como seria de esperar. Existem vários aspetos que podem ser melhorados aquando da realização de uma nova medição espectral da reflectância. A luz ambiente deverá ser reduzida ao máximo (sala escura), as fibras devem tentar estar alinhadas com o feixe de luz refletido, para tal podemos reduzir a distância entre estas e a amostra. Além disso, a realização da medição de intensidades teve como referência uma folha de papel branca. Ora, esta superfície reflete a luz de forma difusa, ou seja, uma grande porção da energia emitida para a amostra vai ser refletida para o ambiente e apenas uma pequena parte será captada pelas fibras.

Na última parte do trabalho aquando da determinação do tempo característico de fluorescência procedeu-se à realização de médias móveis de modo a reduzir o ruído e a facilitar a análise da exponencial decrescente do sinal.

Referências

- [1] *Docentes da Disciplina*, Espectroscopia e fluorescência, Laboratórios de Física III