



# ROTEIRO DE AULAS PRÁTICAS

## DIFRAÇÃO E ESPECTROSCOPIA

CLIVER DA ROCHA SILVA

GERMANO PINTO GUEDES

MARILDO GERALDÊTE PEREIRA

Pós-Graduação em **Astronomia**  
MESTRADO PROFISSIONAL  
UEFS



**UEFS**  
UNIVERSIDADE ESTADUAL  
DE FEIRA DE SANTANA



Cliver da Rocha Silva  
Germano Pinto Guedes  
Marildo Geraldête Pereira

# **ROTEIRO DE AULAS PRÁTICAS**

## **Difração e Espectroscopia**

Produto Educacional da Dissertação  
**DIFRAÇÃO E ESPECTROSCOPIA: UM ROTEIRO DE AULAS PRÁTICAS**

### **Créditos da capa**

Adobe Spark: (<https://spark.adobe.com/pt-BR>)

Imagem do mar: (<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-difracao.htm>)

**Feira de Santana**  
**2020**

**Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS**

Silva, Cliver da Rocha

S579r Roteiro de aulas práticas: difração e espectroscopia / Cliver da Rocha Silva, Germano Pinto Guedes, Marildo Geraldête Pereira. – Feira de Santana, 2020.

51f.: il.

Produto educacional da dissertação Difração e Espectroscopia: um roteiro de aulas práticas.

1. Espectroscopia. 2. Difração. 3. Produto educacional. I. Guedes, Germano Pinto. II. Pereira, Marildo Geraldête. III. Título.

CDU: 535.4

Rejane Maria Rosa Ribeiro – Bibliotecária CRB-5/695

## **APRESENTAÇÃO**

Este Roteiro de Aulas Práticas é definido como o Produto Educacional utilizado como requisito parcial para conclusão do Mestrado Profissional em Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, vinculado à dissertação intitulada “Difração e Espectroscopia: Um Roteiro de Aulas Práticas”.

Diante da necessidade de buscar novas metodologias de ensino, visando estimular o interesse do aluno no processo de aprendizagem e apresentar estratégias para realização de aulas práticas, o Roteiro apresenta cinco propostas para realização de aulas práticas, detalhando os procedimentos para realização das aulas que envolvem como tema central a Difração e Espectroscopia, abordando-os também sob uma perspectiva Astronômica, utilizando o Sol e a Lua como ferramentas científicas. No Roteiro são empregados dispositivos de baixo custo e alta potencialidade que envolvem experiências de observações, utilização de mídias de CD e DVD, medição de espessura de fios de cabelo e entre outros. Estas propostas contribuem para que o aluno tenha uma percepção de que os fenômenos físicos presentes no nosso cotidiano podem ser compreendidos de maneiras simples e acessíveis.

O Roteiro tem como público alvo os professores e alunos do ensino médio, apresentando-se como uma ferramenta complementar para o planejamento e execução de aulas práticas, que podem ser realizadas no espaço da sala de aula, em feiras de ciências, oficinas e outros eventos acadêmicos.

# Sumário

<b>AULA 01 – MEDIÇÃO DA ESPESSURA DE UM FIO DE CABELO</b> .....	6
Apresentação da Temática .....	6
Método de Construção do Sistema para Medição da Espessura de Fios de Cabelo .....	10
Materiais Utilizados Para Realização do Experimento .....	10
Procedimento Experimental para Medição de Fios de Cabelo .....	11
Análise dos Procedimentos Experimentais .....	14
Questionário .....	14
<b>AULA 02 – MEDIÇÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE AS FENDAS DE UM CD/DVD</b> .....	16
Apresentação da Temática .....	16
Método de Construção do Sistema Para Medição das Distâncias .....	17
Entre as Fendas de um CD/DVD .....	17
Materiais Utilizados Para Realização do Experimento .....	18
Procedimento Experimental Para Medição das Distâncias Entre as Fendas de um CD/DVD .....	18
Análise dos Procedimentos Experimentais .....	22
Questionário .....	22
<b>AULA 03 – OBSERVAÇÃO DOS ESPECTROS DE FONTES EMISSORAS DE LUZ</b> .....	23
Apresentação da Temática .....	23
Método de Construção do Espectroscópio modelo C .....	25
Análise dos Procedimentos Experimentais .....	30
Questionário .....	30
<b>AULA 04 – OBSERVAÇÕES DO ESPECTRO DO CÉU ENSOLARADO</b> .....	31
Apresentação da Temática .....	31
Método de Construção do Espectroscópio modelo C .....	32
Procedimento Experimental para Observação e Registro dos Espectros do Sol .....	32
Análise dos Procedimentos Experimentais .....	34
Questionário .....	34

<b>AULA 05 – OBSERVAÇÕES DO ESPECTRO DA LUA</b> .....	35
Apresentação da Temática .....	35
Método de Construção do Espectroscópio modelo A .....	36
Procedimento Experimental para Observação e Registro dos Espectro da Lua .....	36
Análise dos Procedimentos Experimentais.....	38
Questionário .....	38
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	40
<b>APÊNDICE A - Método de Construção do Sistema Para Medição da Espessura de Fios de Cabelo</b> .....	41
<b>APÊNDICE B - Método de Construção do Sistema Para Medição das Distâncias Entre as Fendas de um CD/DVD</b> .....	43
<b>APÊNDICE C - Método de Construção do Espectroscópio Modelo C</b> .....	44
<b>APÊNDICE D - Método de Construção do Espectroscópio Modelo A</b> .....	47

# AULA 01 – MEDIÇÃO DA ESPESSURA DE UM FIO DE CABELO

## Apresentação da Temática

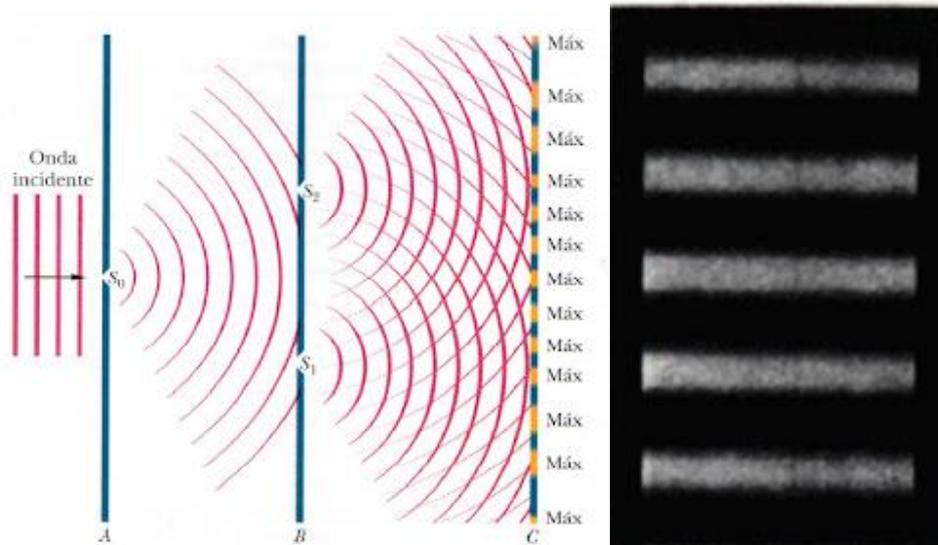
Pode parecer uma tarefa extremamente difícil medir a espessura de um fio de cabelo com uma régua ou fita métrica, mas graças ao fenômeno físico da Difração, esta tarefa torna-se simples.

A princípio, a difração é uma propriedade ondulatória definida pela formação de frentes de ondas, como consequência do encontro de uma onda com um obstáculo. Estes obstáculos possuem fendas de grandezas comparáveis aos comprimentos de ondas, a parte da onda que ultrapassa a fenda expande-se (é difratada) na região posterior à fenda. A difração não é um fenômeno decorrente apenas em ondas eletromagnéticas, mas também em ondas mecânicas (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p.77).

O fenômeno da difração é explicado por meio do experimento de Young. No início do século XIX, Thomas Young conseguiu provar experimentalmente que a luz é uma onda e sofre interferências, definindo também o comprimento médio da luz solar.

O experimento de Young (vide Fig. 1.1) consistiu na utilização de uma luz monocromática propagando-se em direção à fenda  $S_0$  do anteparo  $A$ . A luz que é difratada por  $S_0$  expande-se e propaga-se em direção às fendas  $S_1$  e  $S_2$  do anteparo  $B$ . Ocorre uma nova difração no momento em que a luz atravessa as respectivas fendas e duas ondas esféricas propagam-se simultaneamente no espaço posterior ao anteparo  $B$ , promovendo a interferência entre ambas. No anteparo  $C$  observa-se a interferência das ondas, nos pontos onde há interferência construtiva são formadas listras iluminadas (ponto máximo ou franja clara), nos pontos onde há interferência destrutiva são formadas listras escuras (ponto mínimo ou franja escura) (YOUNG, 1807, p. 464-466) (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p.77-78). Estes pontos de máximos e mínimo são descritos como as linhas de ordem ( $m$ ), que representam as regiões de interferências construtivas e destrutivas.

Figura 1.1 - Esquema de funcionamento do experimento de Young



Fonte:

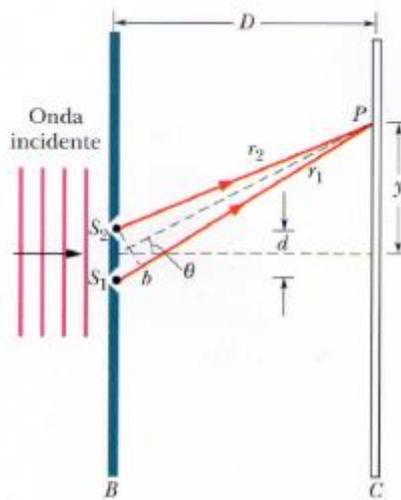
<https://sites.google.com/a/superensino.com/appondulatoriamnpef/home/materialdidatico/interferencia/>

06

O experimento da dupla fenda de Young pode ser definido matematicamente através do esquema descrito na Fig. 1.2, onde um feixe de luz monocromático incide em suas fendas  $S_1$  e  $S_2$  a partir de  $B$ , ao passar pelas fendas a luz é difratada, gerando uma figura de interferência na tela  $C$ . É definido como referência um eixo central perpendicular à tela, direcionado ao ponto médio entre as duas fendas.

Posteriormente é definido um ponto arbitrário  $P$  da tela; o ângulo entre o eixo central e a reta que liga o ponto  $P$  ao ponto médio das duas fendas é chamado  $\theta$ . O ponto  $P$  é o ponto de encontro da onda descrita pelo raio  $r_1$ , que parte da fenda  $S_1$ , com a onda descrita pelo raio  $r_2$ , que parte da fenda  $S_2$  (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p. 79).

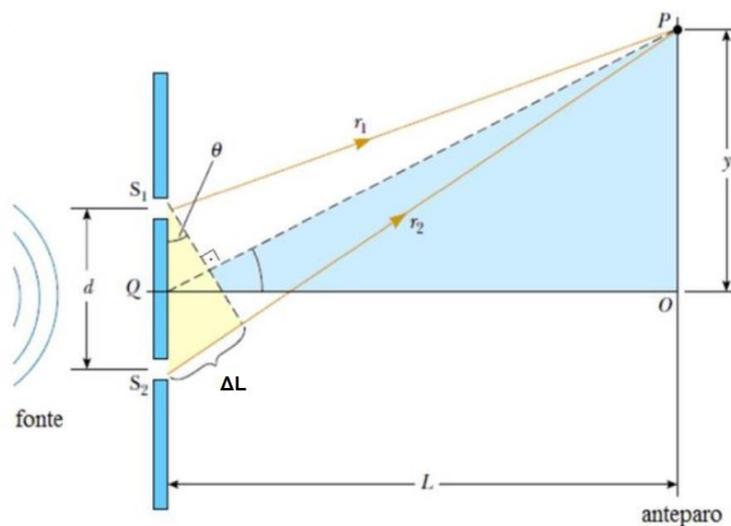
Figura 1.2 – Comportamento da onda incidente em um sistema de suas fendas



Fonte: (HALLIDAY; RESNICK, 2009)

Uma característica relevante é que as ondas estão em fase ao chegarem às duas fendas, já que elas são propagadas pela mesma fonte de onda, mas ao passarem pelas fendas, ambas ondas percorrem distâncias diferentes até chegarem ao ponto  $P$ , ocasionando uma mudança de fase, definido como diferença de percurso ( $\Delta L$ ), vide a Fig. 1.3. Nota-se que a variação do ângulo  $\theta$  irá ocasionar variações nas posições de interferências de ondas no anteparo.

Figura 1.3 – Diferença entre as distâncias das ondas representadas por  $r_1$  e  $r_2$



FONTE: <https://slideplayer.com.br/slide/15059779/>

Onde:

$\Delta L$  – diferença de percurso entre duas ondas.

$r_1$  – deslocamento da onda a partir  $S_1$  até o ponto  $P$

$r_2$  – deslocamento da onda a partir  $S_2$  até o ponto  $P$

$d$  – distância entre os centros de duas fendas consecutivas (espaçamento da rede)

$\theta$  – ângulo de deslocamento dos raios até o ponto  $P$

$L$  – distância da fenda até o anteparo

$y$  – distância do ponto  $P$  à linha de ordem zero

A interferência é o resultado da diferença  $\Delta L$  entre  $r_1$  e  $r_2$ , ou seja, se  $\Delta L$  for igual a zero ou a um número inteiro de comprimentos de onda, as ondas chegam ao ponto comum em concordância de fase, coincidindo os seus vales ou picos, o que caracteriza neste ponto uma interferência construtiva, estando  $P$  no centro da franja clara, tem-se o ponto máximo.

A diferença de percurso ( $\Delta L$ ) é dada por:

$$\Delta L = r_1 - r_2 = d \cdot \text{sen}\theta \dots \text{Eq. (1)}$$

A diferença de percurso ( $\Delta L$ ) é uma relação direta do comprimento de onda ( $\lambda$ ) da fonte e da característica de interferência desta onda no anteparo, que é definido pelo número de ordem ( $m$ ). A Eq.(1) torna-se:

$$d \cdot \text{sen}\theta = m \cdot \lambda \dots \text{Eq. (2)} \quad \text{para } (m = 0, \pm 1, \pm 2; \dots; n)$$

(interferência construtiva) – (franjas claras)

Em contrapartida, quando  $\Delta L$  é um múltiplo ímpar de metade do comprimento de onda, as ondas encontram-se no ponto comum com uma diferença de fase de meio comprimento de onda, caracterizando uma interferência destrutiva.

Para este caso o ponto  $P$  encontra-se no centro da franja escura e tem-se o ponto mínimo.

Novamente utiliza-se da Eq. (1) que define a diferença de percurso entre duas ondas, tem-se:

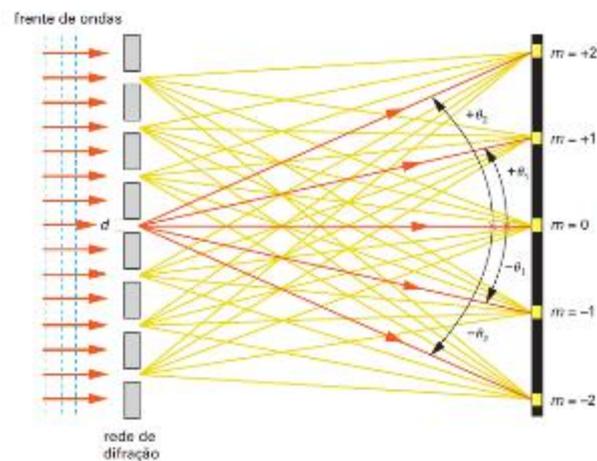
$$d \cdot \text{sen}(\theta) = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \dots \text{Eq. (3)} \quad \text{para } (m = 0, \pm 1, \pm 2; \dots; n)$$

(interferência destrutiva) – (franjas escuras)

Há os casos em que as interferências são mistas ou intermediárias, em que o ponto  $P$  possui uma iluminação menos intensa do que no caso das interferências construtivas, mas não chega a ser nula (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p. 79-81).

A Figura 1.4 exibe um experimento em que uma frente de onda é submetida à várias fendas. No anteparo estão descritas as linhas de ordem, sendo  $m=0$  a linha central;  $m=\pm 1$  sendo o número de ordem um para uma franja clara, simétrico à linha central, e assim sucessivamente.

**Figura 1.4 – Experimento de difração com várias fendas e definição dos números de ordem na tela.**



Fonte: (GASPAR, 2013)

## Método de Construção do Sistema para Medição da Espessura de Fios de Cabelo

O método de construção do sistema para medição da espessura de fios de cabelo está descrito no APENDICE A.

## Materiais Utilizados Para Realização do Experimento

- Itens do Sistema para Medição da Espessura dos Fios de Cabelo
  - Caneta ou apontador *LASER* (*light amplification by stimulated emission of radiatio*, ou seja, amplificação da luz por emissão estimulada de radiação]

- Gancho de fixação para a caneta *LASER* (na cor vermelha)
- Suporte de fixação para os fios de cabelo
- Fios de cabelos (de pessoas diferentes)
- Folha de papel
- Caneta ou lápis
- Trena
- Régua
- Fita adesiva

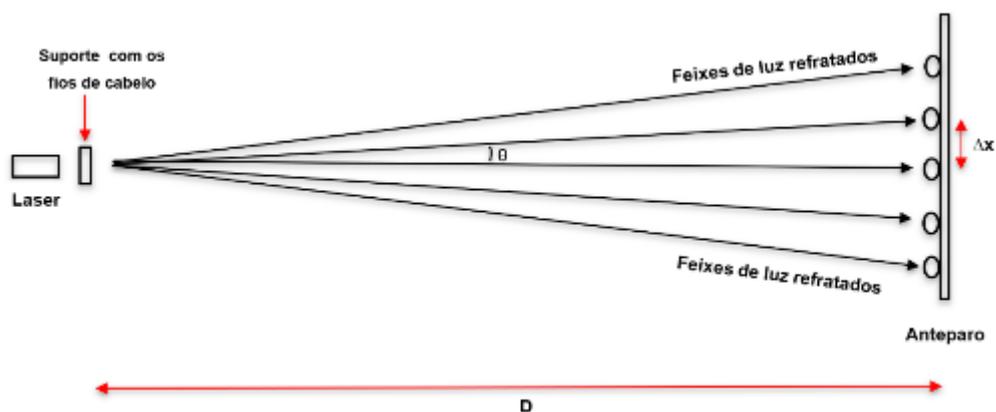
**OBS: Cuidado com o *LASER*, não direcione a luz para os olhos, apenas para o anteparo, o direcionamento do *LASER* para os olhos pode causar danos à visão.**

## Procedimento Experimental para Medição de Fios de Cabelo

Antes de descrever os passos para realização do procedimento experimental, é interessante conhecer o sistema que é composto por uma fonte emissora de *LASER*, suporte para os fios de cabelo (grade de difração do sistema) e um anteparo. O *LASER* emite um feixe de luz, que em contato com o fio de cabelo (grade de difração), difrata os feixes em um anteparo, representados por pontos luminosos chamados números de ordens (vide Fig. 1.5).

A Figura 1.5 exibe a vista superior do esquema de funcionamento do sistema para medição da espessura de um fio de cabelo.

**Figura 1.5 – Vista superior do sistema para medição da espessura de fios de cabelo**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Onde:

$D$  – distância entre o *LASER* e o anteparo

$\Delta x$  – distância entre os feixes de luz refratados

Para realizar o experimento é indispensável a aplicação das equações utilizadas no Experimento de Young. Será necessário registrar os valores para  $D$  e  $\Delta x$ .

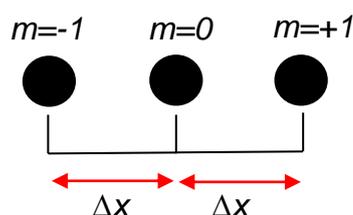
O passo inicial para montagem do experimento é utilizar uma mesa para posicionar a caneta *LASER* em conjunto com o gancho de fixação. É aconselhável que a mesa esteja a uma distância entre 2 e 3 metros em relação a folha de papel (anteparo) fixada na parede.

A sala para a realização do experimento deve estar com o mínimo de luminosidade possível, o que facilita a visualização dos feixes de luz difratados no anteparo.

Por fim, com o dispositivo totalmente montado, direciona-se o *LASER* para o fio de cabelo a ser analisado. Caso os feixes de luz difratados não estejam bem visíveis, aumenta-se a distância da caneta *LASER* e do suporte com os fios de cabelo, em relação ao anteparo.

**OBS: As medidas de  $\Delta x$  devem ser realizadas considerando a distância entre os pontos centrais dos feixes refratados (distância entre  $m=0$  e  $m=+1$  ou  $m=-1$ ), vide Figura 1.6. É muito fácil identificar a linha de ordem central ( $m=0$ ), é só observar o feixe luminoso central de maior intensidade.**

Figura 1.6 – Medida da distância  $\Delta x$  entre os feixes difratados



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Utiliza-se o número de ordem  $m=1$  ou  $m=-1$ , em virtude da facilidade para realização das medições, praticidade dos cálculos e por estar mais próxima da linha central ( $m=0$ ). Os pontos luminosos devem ser marcados com uma caneta na folha

de papel (anteparo), estas marcações irão facilitar a medição das distâncias entre os feixes de luz.

Agora, considerando os procedimentos matemáticos, o que interessa ser analisado neste experimento são as regiões claras difratadas no anteparo, ou seja, utilizaremos a equação do Experimento de Young para as franjas claras Eq. (2):

$$d \cdot \sin\theta = m \cdot \lambda \dots \text{Eq. (2)} \quad \text{para } (m = \pm 1)$$

Ao analisarmos o esquema de funcionamento do dispositivo (Figura 1.5) nota-se que o  $\sin\theta$  tem uma relação com  $D$  e  $\Delta x$ .

Como o ângulo entre os feixes de luz difratados tem valores desprezíveis em relação ao valor da distância entre o LASER e o anteparo, então:

$$\sin\theta = \tan\theta = \frac{\Delta x}{D} \dots \text{Eq. (4)}$$

Aplicando a Eq. (8) na Eq. (2), tem-se:

$$d \cdot \frac{\Delta x}{D} = m \cdot \lambda \dots \text{Eq. (5)}$$

ou

$$d = \frac{m \cdot \lambda \cdot D}{\Delta x} = \dots \text{Eq. (5)}$$

Na Eq. (5), substitui-se os valores obtidos para as medições de  $D$  e  $\Delta x$ . Os resultados representam os valores obtidos para  $d$  (distância entre as fendas ou diâmetro do fio de cabelo).

**IMPORTANTE: Este procedimento deve ser realizado exatamente da mesma maneira para os outros fios de cabelo e os valores obtidos para  $D$  e  $\Delta x$  devem ser anotados. Para cada fio de cabelo serão realizadas três repetições de medições.**

Com a finalidade de analisar também a confiabilidade dos resultados são propostos os calculados para os valores de média aritmética e desvio padrão das medições

$$\text{Média aritmética: } Ma = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{3} \dots \text{Eq. (6)}$$

$$\text{Desvio padrão: } Dp = \frac{\sqrt{\sum(xi-\bar{x})^2}}{n} \dots \text{Eq. (7)}$$

Onde:

xi – valor individual

$\bar{x}$  – média dos valores

n – número de valores

Com todos os dados necessários obtidos, preencha a Tabela 1.1 com os respectivos valores encontrados.

**Tabela 1.1 – Dados das medidas da espessura do fio de cabelo**

Descrição	D (m)	$\Delta x(m)$	d - espessura do fio ( $\mu m$ )
Medição 1 (M1)			
Medição 2 (M2)			
Medição 3 (M3)			
Média aritmética (Ma)			
Desvio padrão (Dp)			

Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

## Análise dos Procedimentos Experimentais

Neste experimento pôde-se observar que por meio do fenômeno da difração, os fios de cabelos funcionam como uma fenda e provou-se quantitativamente que os fios de cabelo das pessoas diferem-se também em sua espessura. Outros experimentos podem ser realizados com uma fenda circular ou outros tipos de fios.

## Questionário

- 1- Se for utilizado um *LASER* de cor azul, ocorre alteração nos feixes de luz difratados? Se a resposta for SIM, qual(is) a(s) alteração(ões) ?

- 2- O que acontece se o *LASER* for direcionado para um fio de cabelo posicionado na horizontal?
  
- 3- Se for utilizado um outro tipo de fio, quais características serão observadas no experimento?

## AULA 02 – MEDIÇÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE AS FENDAS DE UM CD/DVD

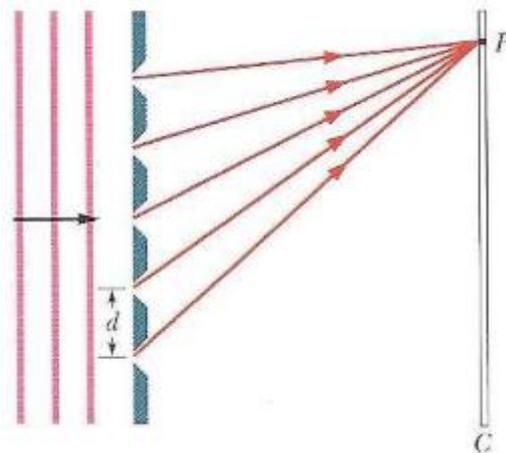
### Apresentação da Temática

O CD (*Compact Disk* – Disco Compacto) e DVD (*Digital Versatile Disk* – Disco Versátil Digital) são componentes muito presentes no nosso cotidiano, desde um CD de música até um DVD que colocamos para assistir um filme. Estes equipamentos são muito versáteis e conseguem armazenar muitas informações em uma espessura extremamente fina, além de apresentarem um efeito colorido na sua superfície refletora.

Analisando sob uma perspectiva Física, o CD e o DVD são ótimas redes de difração. A rede de difração ou grade de difração é um arranjo de minúsculas fendas ou aberturas que funcionam como elementos refletores ou transmissores, podendo chegar a milhares por milímetros (LOWER; PALMER, 2004, p. 15).

A Figura 2.1 exibe uma rede de difração com cinco fendas submetida a frentes de ondas, onde  $d$  representa a distância entre os centros de fendas adjacentes e  $P$  o ponto de interferência das ondas no anteparo  $C$ .

Figura 2.1 – Rede de difração com cinco fendas

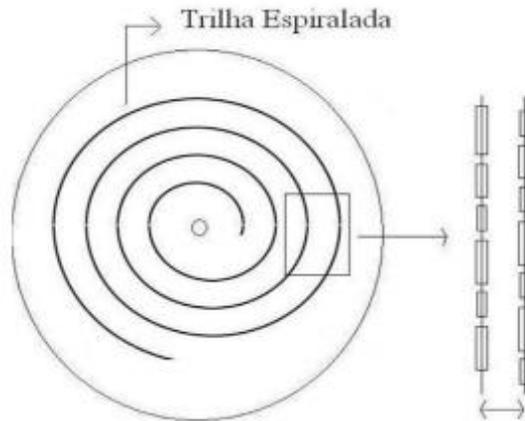


Fonte: [http://kelifisica.com.br/wp-content/uploads/2018/08/aula8\\_Difracao\\_2018.pdf](http://kelifisica.com.br/wp-content/uploads/2018/08/aula8_Difracao_2018.pdf)

A superfície do CD e do DVD é formada por ranhuras com cavidades microscópicas organizadas em uma trilha espiralada. Estas ranhuras ou fendas são

responsáveis pelo armazenamento de informações (FREEDMAN; YOUNG, 2009, p. 121) (CECIERJ, 2016). A Figura 2.2 exibe a configuração da superfície de um CD ou DVD.

**Figura 2.2 – Configurações da superfície de um CD ou DVD**



Fonte: (CECIERJ, 2016)

**Figura 2.3 – Superfície de um CD (esquerda) e DVD (direita), difratando espectros luminosos de uma fonte de luz por meio da reflexão**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

## Método de Construção do Sistema Para Medição das Distâncias Entre as Fendas de um CD/DVD

O método de construção do sistema para medição das distâncias entre as fendas de um CD/DVD está descrito no APÊNDICE B

## Materiais Utilizados Para Realização do Experimento

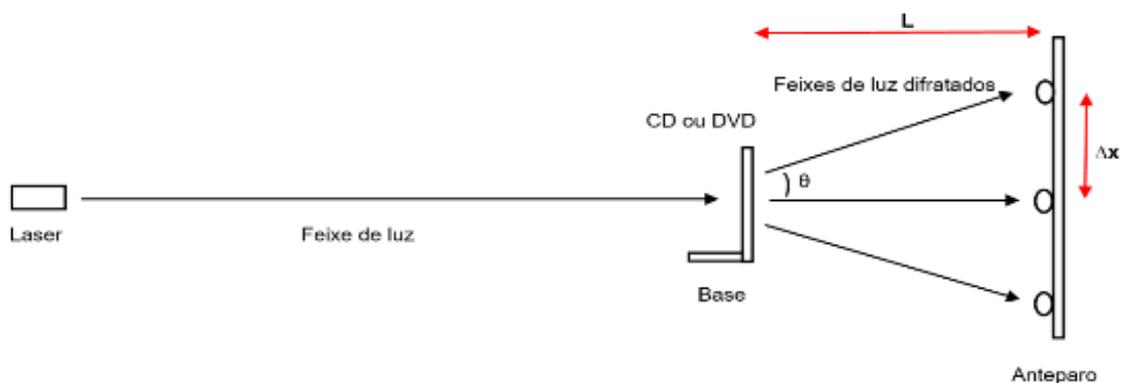
- Itens do Sistema para Medição das Distâncias Entre as Fendas de um CD/DVD
  - Mídia de CD e DVD
  - Caneta ou apontador *LASER*
  - Base de fixação
- Folha de papel
- Caneta ou lápis
- Régua
- Fita adesiva

**OBS: Cuidado com o *LASER*, não direcione a luz para os olhos, apenas para o CD/DVD, o direcionamento do *LASER* para os olhos pode causar danos a visão.**

## Procedimento Experimental Para Medição das Distâncias Entre as Fendas de um CD/DVD

O sistema para medição das distâncias entre as fendas de um CD e DVD é composto por uma fonte emissora de *LASER*, uma base de sustentação onde é fixado o CD e/ou DVD e um anteparo. A Figura 2.4 exibe a vista superior do esquema de funcionamento do sistema de difração.

Figura 2.4 – Vista Superior do dispositivo para medição da fenda do CD e DVD



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Onde:

$L$  – distância entre o CD ou DVD e o anteparo

$\Delta x$  - distância entre os feixes de luz no anteparo

O sistema funciona da seguinte maneira, O *LASER* emite um feixe de luz, que em contato com as fendas da superfície do CD ou DVD, são difratados em um anteparo, representados por pontos luminosos (Vide Fig. 2.4).

Inicialmente, para realização do experimento, deve ser retirada a película da superfície do CD e do DVD. A película do DVD pode ser facilmente removida com um estilete e a película do CD pode ser removida com fita adesiva. A Figura 2.5 exibe uma mídia de CD e uma mídia de DVD com as películas das superfícies retiradas.

**Figura 2.5 – Mídia de DVD (esquerda) e CD (direita), sem as películas**



**Fonte: (Acervo do Autor, 2020)**

A etapa seguinte é utilizar uma mesa para posicionar a mídia de CD ou DVD na base de fixação, em seguida. A Figura 2.6 exibe o *CD* posicionado na base de fixação difratando feixes de luz no anteparo (parede), em decorrência da incidência da luz emitida pelo *LASER* de cor vermelha ( $\lambda = 650 \text{ nm}$ ), nota-se a linha de ordem central ( $m=0$ ) descrito pelo ponto luminoso central de maior intensidade. Os pontos luminosos devem ser marcados com uma caneta na folha de papel (anteparo), estas marcações irão facilitar a medição das distâncias entre os feixes de luz.

**Figura 2.6 – Mídia do CD posicionado na base de fixação e incidido pelo LASER vermelho, nota-se no anteparo a linha de ordem central ( $m=0$ ), representada pelo ponto luminoso central de maior intensidade**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Considerando as aplicações matemáticas, o procedimento seguinte é definir o ângulo de difração ( $\theta$ ) da luz no anteparo, que é obtido pela relação da distância entre os feixes de luz no anteparo ( $\Delta x$ ) e a distância entre o CD e o anteparo ( $L$ ) (Vide Fig. 13).

**OBS: As medidas de  $\Delta x$  devem ser realizadas considerando a distância entre os pontos centrais dos feixes refratados (distância entre  $m=0$  e  $m=+1$  ou  $m= -1$ ), (vide Figura 1.6). É muito fácil identificar a linha de ordem central ( $m=0$ ), é só observar o feixe luminoso central de maior intensidade.**

A relação é dada por:

$$(\tan\theta)^{-1} = \frac{\Delta x}{L} \dots Eq. (8)$$

Utilizando a Eq. (2) que define as propriedades da difração por meio do Experimento de Young, é possível obter a distância entre as fendas  $d$ :

$$d \cdot \sin\theta = m \cdot \lambda \dots Eq. (2) \text{ para } (m = \pm 1)$$

ou

$$d = \frac{m \cdot \lambda}{\text{sen}(\theta)}$$

Para obter o número de fendas por milímetro, utiliza-se da expressão:

$$n = \frac{1}{d} \dots \text{Eq. (9)} \quad (\text{FREEDMAN; YOUNG, 2009, p.122})$$

Com a finalidade de analisar também a confiabilidade dos resultados são propostos os cálculos para os valores de média aritmética e o desvio padrão.

**IMPORTANTE: Devem ser realizadas três repetições dos procedimentos matemáticos para o CD, registrando os valores obtidos para  $\theta$ ,  $d$  e  $n$ .**

**Utiliza-se dos mesmos procedimentos de repetições e artifícios matemáticos, descritos anteriormente, para as análises com o DVD.**

Com todos os dados necessários obtidos, preenche-se a Tabela 2.1 com os dados das medições do CD e a Tabela 2.2 com os dados das medições do DVD.

**Tabela 2.1 - Dados das medições com o CD**

Descrição	$\theta$ (°)	$d$ ( $\mu\text{m}$ )	$n$ (nº fendas/mm)
Medição 1 (M1)			
Medição 2 (M2)			
Medição 3 (M3)			
Média aritmética (Ma)			
Desvio padrão (Dp)			

Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

**Tabela 2.2 - Dados das medições com o DVD**

Descrição	$\theta$ (°)	$d$ ( $\mu\text{m}$ )	$n$ (nº fendas/mm)
Medição 1 (M1)			
Medição 2 (M2)			
Medição 3 (M3)			

Média aritmética (Ma)			
Desvio padrão (Dp)			

Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

## Análise dos Procedimentos Experimentais

Neste experimento pôde-se constatar que o CD e DVD são redes de difração de fácil observação e acessibilidade, sendo possível medir a densidade e distâncias entre suas minúsculas fendas, utilizando os princípios da Difração, estreitado ao Experimento de Young.

Outras redes de difração podem ser utilizadas no experimento, como por exemplo: telas utilizadas para pinturas ou redes de difração comercializadas em sites.

## Questionário

- 1- Em uma tarde de domingo, Renata resolve ouvir música, vai até o seu estojo de CD (*Compact Disk*) e retira um CD de pop rock, ao observar a parte refletora do CD, Renata percebe que há faixas de várias cores, e fica intrigada com o fenômeno. Como pode ser explicado este fenômeno para Renata?
- 2- Porque é possível armazenar mais informações no DVD do que no CD?
- 3- Qual a função da película metálica na superfície do CD e DVD?

## AULA 03 – OBSERVAÇÃO DOS ESPECTROS DE FONTES EMISSORAS DE LUZ

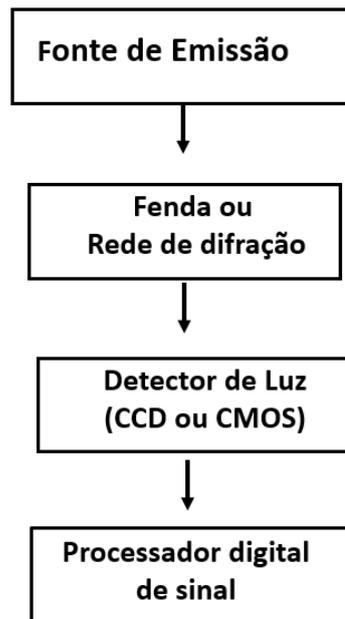
### Apresentação da Temática

A Espectroscopia analisa os espectros de fontes de luz submetidos a um prisma, uma fenda ou uma rede de difração. A espectrometria é a ciência que estuda os fenômenos de dispersão das ondas eletromagnéticas, nas mais diversas fontes de emissão. A análise espectrométrica é feita através de dispositivos utilizados para identificação e interpretação dos espectros e nos permitem calcular a absorvância ou a transmitância de um meio em função do comprimento de onda (FREEDMAN; YOUNG, 2009, p. 122) (ROGOVSKY, 2014).

Em 1672, na sua carta intitulada Nova Teoria Sobre a Luz e Cores, Isaac Newton afirma que o comportamento da luz não é homogênea e observa o comportamento da refração da luz do sol, por meio de um prisma. A carta de Newton é o primeiro registro de estudos acerca da espectroscopia (NEWTON, 1672, p.81).

O espectroscópio é o instrumento utilizado para observar espectros eletromagnéticos, enquanto o espectrômetro além da observação, quantifica os valores de intensidade e comprimento de ondas dos espectros eletromagnéticos. Os espectroscópios podem ser construídos por meio de associação de componentes ópticos ou pode ser adquirido como um produto fechado de um fabricante. Em poucas linhas, um espectroscópio necessita de uma fonte de luz, um elemento para dispersar a luz, separando seus componentes espectrais, o que pode ser um prisma (por refração) ou uma rede de difração, um detector de luz *CMOS* (*Complementary Metal Oxide Semiconductor* - Metal Óxido Semicondutor Complementar) e um sistema para processamento do sinal (vide Figura 3.1). Obviamente, cada um destes elementos deve ser escolhido ou preparado para operar na faixa de comprimentos de onda desejada (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2018).

Figura 3.1 - Diagrama de funcionamento de um espectroscópio e seus principais elementos

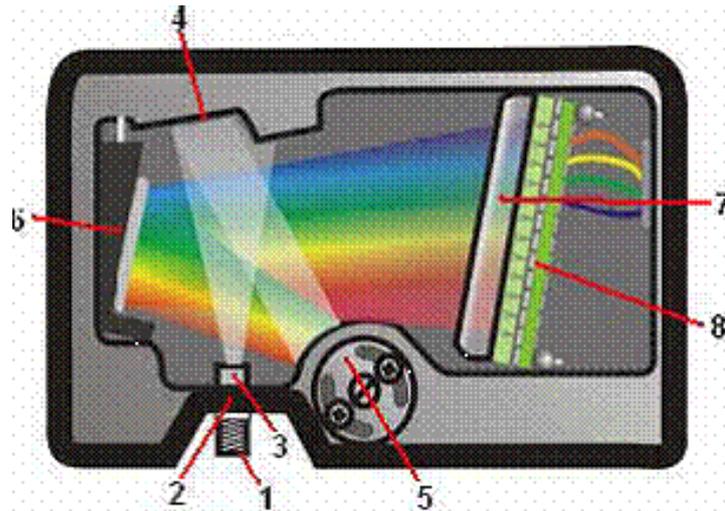


Fonte: Adaptado de (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2018)

A Figura 3.2 exibe a vista superior de um esquema de funcionamento de espectrômetro modelo *USB 2000* da fabricante *Ocean Optics*.

O conector (1) permite a entrada da luz no interior do espectrômetro que é direcionada para uma fenda de entrada (2), posteriormente um filtro (3) restringe comprimentos de ondas para determinadas radiações eletromagnéticas, em seguida um espelho colimador (4) direciona a luz, por meio de reflexão, para a grade de difração (5) os comprimentos de onda dispersos são então refletido por um espelho de focagem (6) para a lente de coleta do detector (7), e por fim o *CCD* (8) converte o sinal óptico em um sinal digital, estes sinais são então transmitidos para um software para processamento de informações.

Figura 3.2 – Vista superior do esquema de funcionamento de um espectrômetro



Fonte: <http://sites.science.oregonstate.edu/chemistry/courses/ch361464/ch461/ocean%20optics%20spectrometer.htm>

Legenda:

- 1 – conector
- 2- fenda de entrada
- 3 – filtro
- 4- espelho colimador
- 5 – grade de difração
- 6 – espelho de focagem
- 7- lente de coleta do detector
- 8 – CCD

## Método de Construção do Espectroscópio modelo C

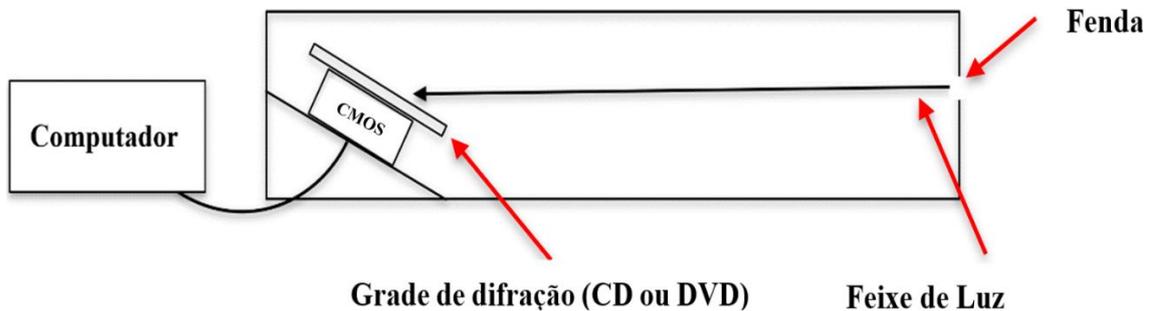
Para realização deste experimento é utilizado o Espectroscópio modelo C. O método para construção do Espectroscópio C está descrito no APÊNDICE C

## Procedimento Experimental de Análise dos Espectros

O espectroscópio C, é um dispositivo que funciona acoplado a um computador (via *USB*) e é gerenciado pelo software *Theremino Spectrometer*, na sua interface é exibido a imagem do espectro e o gráfico (Intensidade X Comprimentos de onda). O software *Theremino Spectrometer* utilizado é a versão 2.8, disponível para *download* gratuito no endereço eletrônico: <https://www.theremino.com/pt/downloads/automation>

Este modelo de espectroscópio também pode ser chamado de espectrômetro, já que com o auxílio do software é possível quantificar os comprimentos das ondas. A Figura 3.3 exibe o esquema de montagem e funcionamento do Espectroscópio C

Figura 3.3 – Esquema de montagem e funcionamento do Espectroscópio C (vista superior)



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

O funcionamento do Espectroscópio C é definido pelas seguinte sequência de etapas: o feixe de luz é direcionado para o interior do espectroscópio por meio de uma fenda, este feixe de luz, quando em contato com a superfície do CD e/ou DVD (grade de difração) é dispersado, em sequência estes feixes de luz quando em contato com o dipolo de silício geram cargas fotoelétricas que são identificadas pela intensidade e pelos *pixels* (elemento formador de imagem) que atinge o CMOS da *webcam*, estas informações são enviadas para o computador, e então são decodificadas pelo *software Theremino Spectrometer*, que exibe a formação espectral e o gráfico (intensidade x comprimento de onda).

Para realização da análise dos espectros, será utilizada quatro fontes de ondas eletromagnéticas:

- Lâmpada fluorescente
- LED (*Light Emission Diode* – Diodo Emissor de Luz) branco
- LED vermelho
- LED verde
- Led azul
- Fonte emissora de infravermelho (controle remoto de televisão)

### Calibração com a lâmpada fluorescente

O passo inicial é conectar o espectrômetro em um *notebook* ou *laptop*, em seguida abre-se o software *Theremino Spectrometer* e utiliza uma lâmpada fluorescente para realizar a calibração do sistema. Certifique-se de que no ambiente não tenha interferência de outras fontes luminosas, prejudicando a calibração.

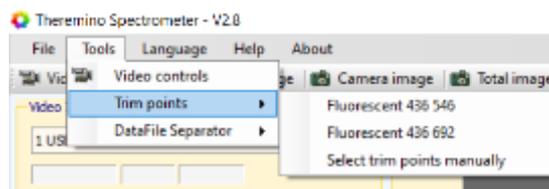
**Figura 3.4 – Calibração do Espectrôscópio C utilizando uma lâmpada fluorescente**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

O software *Theremino Spectrometer* dispõe na sua aba de um mecanismo de calibração baseado nos parâmetros de comprimentos de ondas da luz de uma lâmpada fluorescente. A Figura 3.5 exibe a aba de calibração definido por um parâmetro de uma lâmpada fluorescente, fixado em dois comprimentos de ondas: 436 nm e 546 nm.

**Figura 3.5. - Aba de calibração a partir dos parâmetros de lâmpadas fluorescentes**

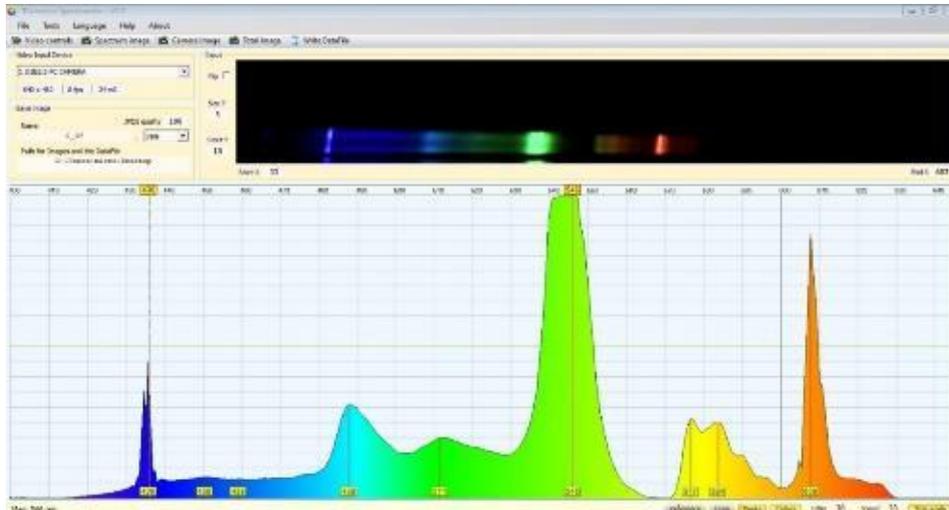


Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

A lâmpada utilizada pelo *Theremino Spectrometer* Sample Spectrums como parâmetro calibração é o modelo *CCFL* (Lâmpada fluorescente de cátodo frio) também chamadas de “lâmpada tubo”. A Figura 5.5 exibe a interface do *Theremino Spectrometer*. O gráfico em questão representa a intensidade (vertical) e os valores de comprimentos de ondas, (horizontal), em nanômetros (nm). Nota-se na Figura 3.6

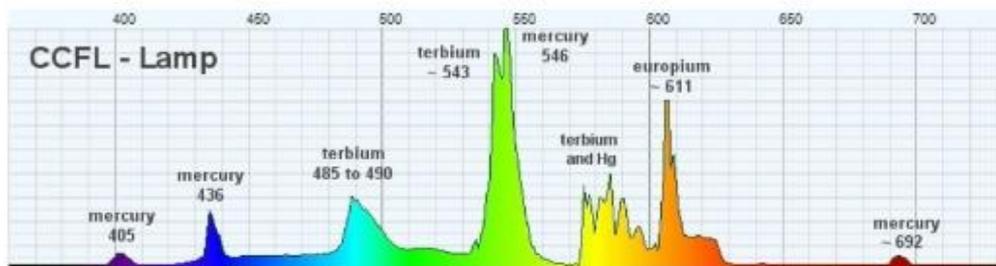
que os picos de cor azul e verde estão ajustados respectivamente nos parâmetros de calibração 436 nm e 546 nm.

**Figura 3.6 – Interface do Thermano Spectrometer, com o procedimento de calibração da lâmpada fluorescente concluído**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

**Figura 3.7 - Espectro de uma lâmpada CCFL (lâmpada fluorescente de cátodo frio)**



Fonte: (Thermano Spectrometer Sample Spectrums, 2004)

Comparando a Figura 3.6 com a Figura 3.7, observa-se que os comprimentos de onda de calibração 436 nm e 546 nm se equiparam. A partir daí a calibração está concluída e já podem ser utilizadas outras fontes para análise.

**IMPORTANTE: Durante a calibração é necessário que seja ajustado o diâmetro da fenda de entrada de luz, este ajuste pode ser feito com fita isolantes.**

**Na aba “VÍdeo Controls” os parâmetros de vídeo devem ser ajustados para uma melhor visualização do espectro.**

**CUIDADO com o cabo USB, se o mesmo for desconectado, todos os procedimentos de calibração precisam ser repetidos.**

Figura 3.8 – Fenda de entrada do espectroscópio, com diâmetro de 0,20 mm, ajustado com fita isolante



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

As demais fontes de ondas eletromagnéticas: *LED* branco, *LED* vermelho, *LED* verde, *LED* azul e o infravermelho, devem ser direcionadas para a fenda de entrada de luz do espectroscópio e registrada as imagens e os gráficos dos espectros de cada uma das fontes. OS registros no software são realizados clicando no botão “*Total Image*” (Imagem Total).

**IMPORTANTE: Devem ser realizadas três repetições dos procedimentos experimentais para cada fonte emissora.**

Com posse dos dados obtidos, preencha a Tabela 3.1 com os valores de comprimento de ondas (nm) para o pico de maior intensidade, de cada fonte emissora.

Tabela 3.1. – Valores de comprimento de ondas (nm) para o pico de maior intensidade, de cada fonte emissora

Descrição	Lâmpada Florescente	LED Branco	LED azul	LED verde	LED vermelho	Infravermelho
Medição (M1)						
Medição (M2)						
Medição (M3)						
Média						
Desvio Padrão						

Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

## **Análise dos Procedimentos Experimentais**

Os procedimentos experimentais mostram que é possível construir um dispositivo (Espectroscópio C) com um valor em torno de R\$ 46,50 e obter resultados consistentes, levando em consideração a possibilidade de analisar qualitativamente e quantitativamente, ou seja, além de espectroscópio o dispositivo é também um espectrômetro. As imagens e os gráficos gerados pelo *software Theremino Spectrometer* mostram sob uma perspectiva simples, como fontes diferentes de emissão de ondas eletromagnéticas possuem características específicas.

Podem ser realizados experimentos com outras fontes emissoras de ondas eletromagnéticas: como o Sol, lâmpada de luz negra, lâmpada incandescentes, ultravioletas e entre outros.

## **Questionário**

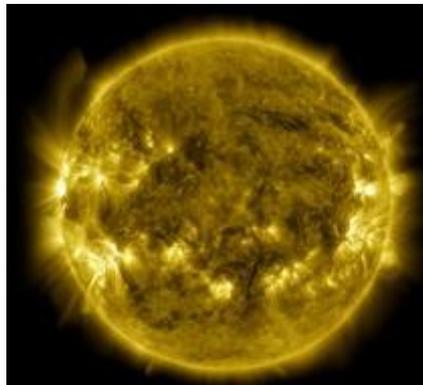
- 1- Justifique as características do espectro da lâmpada fluorescente?
- 2- Quais as características dos espectros dos LED branco, azul, verde e vermelho?
- 3- Qual cor aparece na imagem do espectro do infravermelho? Explique sua resposta.

## AULA 04 – OBSERVAÇÕES DO ESPECTRO DO CÉU ENSOLARADO

### Apresentação da Temática

O Sol, conhecido como o “Coração do Sistema Solar”, é uma estrela anã que possui um raio em torno de 695 mil Km, sua massa é equivalente ao de 332 mil planetas Terra. A distância do Sol à Terra é de 150 milhões de Km. O Sol possui aproximadamente 4,5 bilhões de anos e sua composição é formada por gases quentes provenientes de átomos de hidrogênio e hélio (NASA, 2019).

**Figura 4.1 - Registro do Sol durante atividades nucleares**



**Fonte: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/watch-a-10-year-time-lapse-of-sun-from-nasa-s-sdo>**

A luz do Sol é a fonte luminosa com mais disponibilidade e acessibilidade para estudos e análises espectrais, além de ser essencial para a existência e manutenção da vida na Terra.

O espectro solar apresenta características pertinentes que contribuem na sua modificação espectral, como as condições atmosféricas, na posição Sol em relação ao horizonte e no tipo de espectroscópio/espectrômetro utilizado. Em torno de 70% da luz do Sol concentra-se na faixa espectral entre 300 e 700 nm, e nesta região a atmosfera absorve muito pouco, ou seja, grande parte da radiação eletromagnética do Sol atinge a superfície da Terra (DE MORAES, 2002) (SILVA, 2006, p. 4-8).

## Método de Construção do Espectroscópio modelo C

Para realização deste experimento é utilizado o Espectroscópio modelo C. O método para construção do Espectroscópio C está descrito no APÊNDICE C

## Procedimento Experimental para Observação e Registro dos Espectros do Sol

Antes de realizar o experimento, é extremamente importante que seja verificada as condições climáticas com antecedência. Durante o experimento, no local de realização da observação, o céu deve estar com poucas nuvens e baixa probabilidade chuva. Estas condições tornam possível registrar as imagens e espectros do céu ensolarado.

As condições climáticas locais podem ser verificadas no site do Centro de Previsão de tempo e Estudo Climáticos dos Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no endereço eletrônico <https://www.cptec.inpe.br/>.

É importante salientar que o experimento é voltado para a observação do espectro do céu ensolarado, já que o instrumento não tem atributos técnicos para registro direto do espectro do Sol.

O passo inicial é conectar o espectroscópio à um *notebook* ou *laptop*, é aconselhável utilizar uma extensão *USB* em decorrência da necessidade de transportar o espectroscópio para a área externa, em seguida abre-se o software Theremino Spectrometer e utiliza uma lâmpada fluorescente para realizar a calibração do sistema. Certifique-se de que no ambiente não tenha interferência de outras fontes luminosas, o que pode prejudicar a calibração.

**IMPORTANTE: Os procedimentos para realização da calibração da lâmpada fluorescente no Espectroscópio C estão descritos na AULA 03**

**ATENÇÃO: Durante o transporte do espectroscópio para a área externa, tenha muito cuidado para que não haja desconexão do cabo USB, caso isso aconteça, é necessário repetir todo os procedimentos de calibração.**

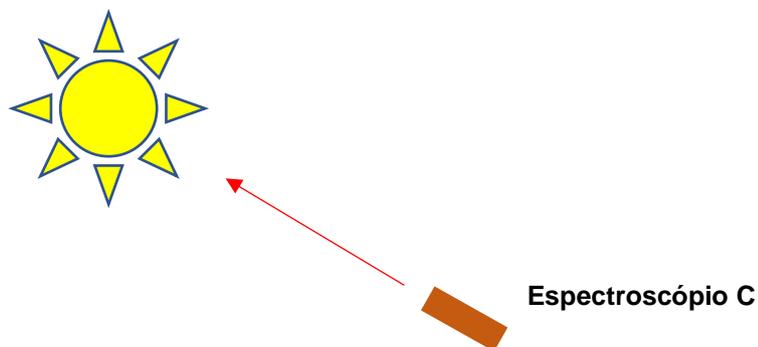
**CUIDADO: Não olhe diretamente para o Sol, esta ação pode causar danos à visão**

Com a calibração concluída, os registros do espectro do céu ensolarado já podem ser realizados, direcionando a fenda de entrada de luz do espectroscópio em direção ao Sol (vide Figura 4.2)

A área externa deve ser aberta e não haver obstáculos que prejudiquem ou impeçam o registro dos espectros do céu.

Os registros serão realizados por meio de fotografias do céu, juntamente com os espectros da interface do *Theremino Spectrometer*, os registros no software são realizados clicando no botão “*Total Image*” (Imagem Total). Estes registros podem ser realizados em intervalos de uma ou duas horas, a depender do horário de realização e do tempo disponível.

**Figura 4.2 -Esquema de focalização do espectroscópio do céu ensolarado**



**Fonte: (Acervo do Autor, 2020)**

Os alunos podem intercalar a realização destas atividades, enquanto um aluno foca o espectroscópio no céu, outro aluno realiza o registro do espectro no software e outro aluno registra a fotografia do céu com o *smartphone*.

Todos os registros fotográficos e dos espectros do céu devem ser salvos e identificados para serem analisados posteriormente.

## **Análise dos Procedimentos Experimentais**

Por meio da realização do experimento pôde-se observar o deslocamento angular do Sol em relação ao observador, além da possibilidade de realização de registros das fotografias e espectros do céu utilizando um *smartphone*, um *notebook* ou *laptop* e um espectroscópio de baixo custo.

## **Questionário**

- 1- Quais são os dados climáticos da observação, como: data, horário do “nascer do sol”, horário do “pôr-do-sol” e probabilidade de chuva.
- 2- Quais os horários foram realizados os registros do céu ensolarado?
- 3- Em qual(is) horário(s) os espectros apresentaram maiores intensidades?
- 4- Houve algum registro onde a região ultravioleta apresentou intensidade elevada? Se sim, qual o motivo da ocorrência?

## AULA 05 – OBSERVAÇÕES DO ESPECTRO DA LUA

### Apresentação da Temática

A Lua é o único satélite natural da Terra e é a quinta maior lua, dentre as 190 luas do nosso Sistema Solar. Ela é chamada de “Lua” porque não sabiam da existência de outras luas, até Galileu Galilei descobrir em 1610 que quatro luas orbitavam Júpiter. A distância da Lua à terra é de aproximadamente 385 mil km.

O raio da Lua é de 1738 Km, isso equivale a menos de 1/3 do diâmetro da Terra. A suposição para formação da Lua é de que ela seja resultado da colisão de um corpo do tamanho de Marte com a Terra.

A Lua também contribui para a habitabilidade na Terra, moderando a oscilação do nosso planeta em torno do eixo e incidência das marés, o que contribui para um clima estável. A lua gira na mesma velocidade em que gira em torno da Terra, o que é chamado de rotação síncrona. A lua realização uma orbita completa na Terra em 29 dias.

O seu núcleo é basicamente composto de ferro e sua crosta possui inúmeras crateras e são formadas por oxigênio, silício, magnésio, potássio, hidrogênio e entre outros. Até então, 24 humanos visitaram a lua e 12 deles caminharam na sua superfície (NASA, 2019).

**Figura 5.1 – Imagem da Lua**



Fonte: [https://solarsystem.nasa.gov/moons/earths-moon/overview/#exploration\\_otp](https://solarsystem.nasa.gov/moons/earths-moon/overview/#exploration_otp)

## **Método de Construção do Espectroscópio modelo A**

O Espectroscópio utilizado para a análise do espectro da Lua é o Espectroscópio A. O método para sua construção é descrito no APENDICE D.

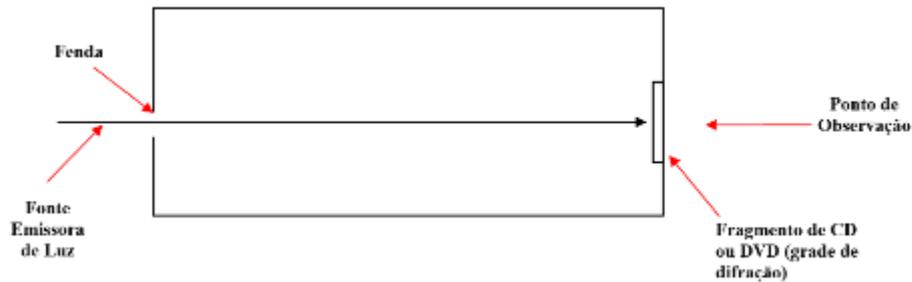
## **Procedimento Experimental para Observação e Registro dos Espectro da Lua**

Antes de realizar os experimentos, é extremamente importante que sejam verificadas as condições climáticas e a fase da Lua. Para realização do experimento, a Lua deve estar com uma boa visibilidade e conseqüentemente, grande intensidade luminosa e no local de observação o céu deve estar com poucas nuvens e baixa probabilidade chuva. Estas condições tornam possível registrar a imagem e espectro do Lua.

As características e fases da Lua podem ser verificadas por meio do *site* da *Time and Date*, no endereço eletrônico <https://www.timeanddate.com/calendar/>, e as condições climáticas locais podem ser verificadas por meio do Centro de Previsão de tempo e Estudo Climáticos dos Instituto Nacionais de Pesquisas Espaciais (INPE), no endereço eletrônico <https://www.cptec.inpe.br/>.

A Figura 5.2 exibe o esquema de montagem e funcionamento do Espectroscópio A. A luz, ao penetrar na fenda de entrada do espectroscópio, é direcionada para o fragmento de CD/DVD (grade de difração), onde ocorre a difração por meio da refração, e na parte externa onde situa-se o ponto observação é possível enxergar a dispersão dos feixes de luz, de acordo com o ângulo de posicionamento do observador.

Figura 5.2 – Esquema de montagem e funcionamento do Espectroscópio A (vista superior)



Fonte (Acervo do Autor, 2019)

Com a finalidade de obter uma localização mais precisa da Lua durante o registro do espectro, foi acoplado no Espectroscópio A um apontador *LASER*, que funciona como uma mira e direciona o feixe luminoso, facilitando a focalização do objeto a ser analisado no espaço. É aconselhável utilizar um apontador *LASER* de cor verde, o que facilita a visualização durante a noite, mas podem ser utilizadas outras cores, como: azul, violeta ou vermelho. A Figura 5.3 exhibe o Espectroscópio A com um o apontador *LASER* posicionado na sua parte superior.

Figura 5.3 – Espectroscópio A com o apontador *LASER* na sua parte superior



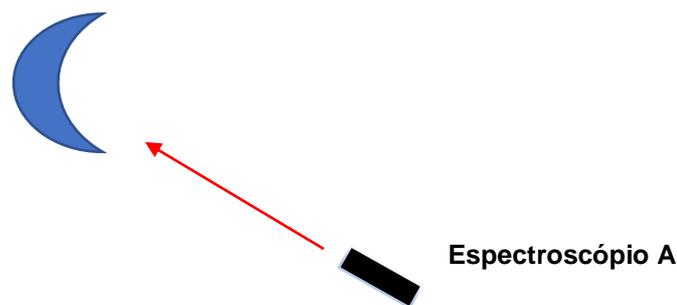
Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Com posse do espectroscópio A, desloca-se para uma área externa com baixa luminosidade, ou se for possível, com nenhuma luminosidade, a não ser a da Lua, para que não haja interferência de outras fontes luminosas durante as observações.

A fenda de entrada de luz deve ser posicionada em direção a Lua e a observação é feita por meio do fragmento de CD ou DVD.

Os registros devem ser realizados por meio de fotografias da Lua e da região próxima à Lua, juntamente com as respectivas fotos dos espectros que podem ser registrados no ponto de observação do espectroscópio e depois analisar e comparar com os dos demais colegas.

**Figura 5.4 - Esquema de focalização do espectroscópio A para a Lua**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Cada aluno pode realizar seus próprios registros fotográficos e posteriormente serem analisados, comparados e discutidos em sala de aula, com os resultados dos demais colegas.

## **Análise dos Procedimentos Experimentais**

Por meio da realização do experimento pôde-se constatar que é possível realizar uma atividade noturna ao ar livre e observar o espectro da Lua, além da possibilidade de realização de registros das fotografias e espectro da Lua utilizando um *smartphone* e espectroscópio de baixo custo.

## **Questionário**

1- Quais as características do espectro da Lua? Qual espectro ele assemelha-se?

- 2- Quais as características do registro fotográfico do espectro da região próxima à Lua?

## REFERÊNCIAS

- BRASIL ESCOLA. Estratégias de Ensino, 2011. Disponível em: <https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/espectrometro.htm>
- CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane R. Espectroscopia com novas tecnologias - o Tracker como ferramenta. **Revista do Professor de Física • Brasília**, vol. 2, n. 3, 2018
- CECIERJ. Rio de Janeiro, 2016. **Experimentando o Fenômeno da Difração**. Centro de Ciências e Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://canal.cecierj.edu.br/122016/4c4463476bc07e03c71525bf3df86e6b.pdf>
- DE MORAES, Elisabete Caria. **CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**. 2002
- FREEDMAN, Roger A; YOUNG, Hugh D. **Ótica de Física Moderna – Física IV**. 12ª edição. São Paulo: Editora Pearson, 2009.
- GASPAR, Alberto. **Compreendo a Física - Vol.2**. 2ªed. São Paulo: Editora Ática, 2013.
- HALLYDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física, volume 4**. 10ª ed. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2016
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS (INPE). Disponível em:< <https://www.cptec.inpe.br/>>.
- NASA. (2019). *Solar System Exploration*. Fonte: Nasa Science: <https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/overview/>
- NEWTON, Isaac. **Theory About Light & Colors - Philosophical Transactions**. Real Society. 1672.
- ROGOVSKY, Rodrigo Ferreira. **Construção de Um Espectrofotômetro Como Metodologia Didática**. Universidade do Estado do Mato Grosso. Sinop, 2014.
- SILVA, Adriana V R. **Nossa Estrela o Sol**. Editora Livraria da Física, 2006.
- THEREMINO SYSTEM. **Theremino Spectrometer Construction**. 2014.
- THEREMINO SYSTEM. **Theremino Spectrometer Sample Spectrums**. 2014.
- TIME AND DATE. Disponível em: <<https://www.timeanddate.com/calendar/>>
- YOUNG, Thomas. The Bakerian Lecture. Experiments and calculations relative to physical optics. In: **Abstracts of the Papers Printed in the Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. London: The Royal Society, 1832. <<https://doi.org/10.1098/rspl.1800.0076>> Acesso em 06 de junho de 2020.

## APÊNDICE A - Método de Construção do Sistema Para Medição da Espessura de Fios de Cabelo

O sistema é composto por uma fonte emissora de *LASER*, suporte para os fios de cabelo (grade de difração do sistema) e um anteparo.

Recomenda-se a utilização de uma caneta ou apontador *LASER* na cor vermelha, por ser facilmente obtido em lojas de materiais eletrônicos e pela facilidade de visualização dos feixes luminosos difratados. Geralmente o comprimento de onda do *LASER* vermelho é 650 nm ( $650 \times 10^{-9}$  m), verifique esta informação com o fabricante ou no corpo da caneta.

**Figura A.1 – Apontador LASER**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Utiliza-se um gancho fixador de *webcam* para fixar o apontador *LASER*. A Figura A.2 exibe o fixador para as fontes emissoras de *LASER*.

**Figura A.2 - Gancho fixador para as fontes emissoras de LASER**

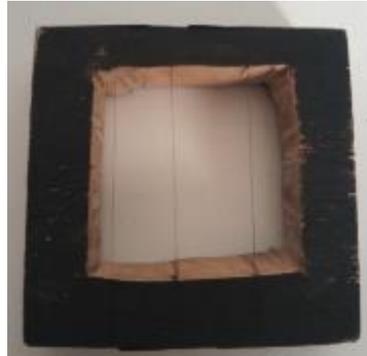


Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Para fixação dos fios de cabelo, deve ser construído um suporte retangular vazado, em madeira. Os fios são fixados com fita adesiva, na posição vertical.

O suporte auxilia na possibilidade de medição de diversos tipos de fios de cabelo, otimizando o tempo, já que é necessário apenas a movimentação do fixador da caneta *LASER*. A Figura A.3 exibe o suporte com os fios de cabelo fixados na sua estrutura.

**Figura A.3 - Suporte com três fios de cabelo fixados na sua estrutura**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Uma folha de papel A4 branca pode ser utilizada como anteparo.

**Figura A.4 – Sistemas para medição da espessura de um fio de cabelo: caneta *LASER* fixada em uma haste, suporte com os três fios de cabelo e folha de papel fixada na parede (anteparo)**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

## APÊNDICE B - Método de Construção do Sistema Para Medição das Distâncias Entre as Fendas de um CD/DVD

O sistema é composto por uma fonte emissora de *LASER*, uma base de sustentação onde é fixado o *CD* e/ou *DVD* e um anteparo.

Recomenda-se a utilização de uma caneta ou apontador *LASER* na cor vermelha, por ser facilmente obtido em lojas de materiais eletrônicos e pela facilidade de visualização dos feixes luminosos difratados. Geralmente o comprimento de onda do laser vermelho é 650 nm ( $650 \times 10^{-9}$  m), verifique esta informação com o fabricante ou no corpo da caneta.

As mídias de *CD* e *DVD* podem ser encontradas facilmente, de preferências as que estejam inutilizadas. Uma folha de papel A4 branca pode ser utilizada como anteparo.

Para fixação do *CD* e *DVD* constrói-se uma base de fixação. Na construção da base foram utilizados perfis de madeira e no topo há uma presilha (prendedor de papel) para fixação do *CD* ou *DVD*. Vale ressaltar que este modelo de base é uma sugestão para montagem, sendo possível utilizar outro mecanismo mais simples e acessível.

**Figura B.1 – Base de fixação do *CD* e *DVD***



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

## APÊNDICE C - Método de Construção do Espectroscópio Modelo C

O Espectroscópio Modelo C possui uma geometria retangular e sua estrutura é confeccionada em madeira.

**Figura C.1 – Espectroscópio C**



**Fonte: (Acervo do Autor, 2020)**

Os materiais para a construção do Espectroscópio C estão listados a seguir:

- Tiras de madeira
- Parafusos
- Fita adesiva
- Mídia de *CD* ou *DVD*
- Tinta para papel preta
- *Webcam* (*CCD*)

Para realizar a construção da caixa foram utilizados perfis de madeira:

- 1(um) perfil de madeira de dimensões 270 mm x 80 mm
- 1(um) perfil de madeira de dimensões 250 mm x 55 mm
- 2 (duas) perfis de madeira de dimensões 80 mm x 65 mm
- 2 (duas) perfis de madeira de dimensões 255 mm x 65 mm

A Figura C.2 exibe os perfis de madeira utilizados para construção da caixa. Em um dos perfis foram feitas fendas na horizontal e na vertical (em forma de cruz) para serem ajustadas posteriormente durante o posicionamento da fonte de emissão

de luz. Com o intuito de melhorar a resolução espectral e reduzir as reflexões da luz, o interior do espectroscópio foi pintado com tinta de cor preta.

**Figura C.2 – Perfis de madeira utilizados para construção da estrutura do espectroscópio**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Para realizar a fixação dos perfis utilizou-se 10 (dez) parafusos de dimensões 4,0 mm x 20 mm. A Figura C.3 exibe os parafusos utilizados para fixação dos perfis.

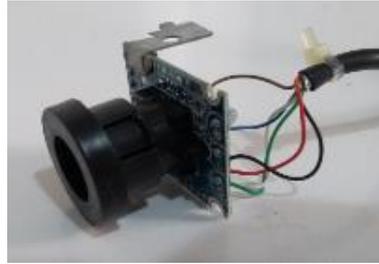
**Figura C.3 – Parafusos de perfil 4,0 mm x 20 mm**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Para ajustar o *CMOS* foi escolhida uma *webcam* de resolução *VGA* 640 x 480. A mesma foi desmontada e utilizou-se a lente juntamente com a placa onde está contido o *CMOS*. Um suporte foi posicionado na base da placa do *CMOS* (Complementary Metal Oxide Semiconductor – Metal Óxido Semicondutor Complementar) para que a mesma seja fixada à base do espectroscópio. A Figura C.4 exibe a lente e o *CMOS* da *webcam* que serão posicionados na base do espectroscópio.

**Figura C.4 – Lente e CMOS da webcam**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

A lente e o CMOS são posicionados na base do espectroscópio por meio de um parafuso. Um fragmento de *DVD*, que será a grade de difração, é cortado e fixado na lente. A Figura C.5 exibe o posicionamento da lente com o CMOS na base do espectroscópio e o fragmento de *DVD* fixado na lente.

**Figura C.5 – Lente, CMOS e o fragmento de DVD, fixados na base do espectroscópio**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

A Figura C.6 exibe a vista superior do espectroscópio com o CMOS e as laterais fixadas em sua base.

**Figura C.6 – Vista Superior do Espectroscópio C**



Fonte: (Acervo do Autor, 2020)

Por fim, a parte superior deve ser parafusada e o equipamento estará pronto para realização dos experimentos.

## APÊNDICE D - Método de Construção do Espectroscópio Modelo A

O Espectroscópio Modelo A possui uma geometria retangular e sua estrutura é confeccionada em papelão.

### D.1 – Espectroscópio A



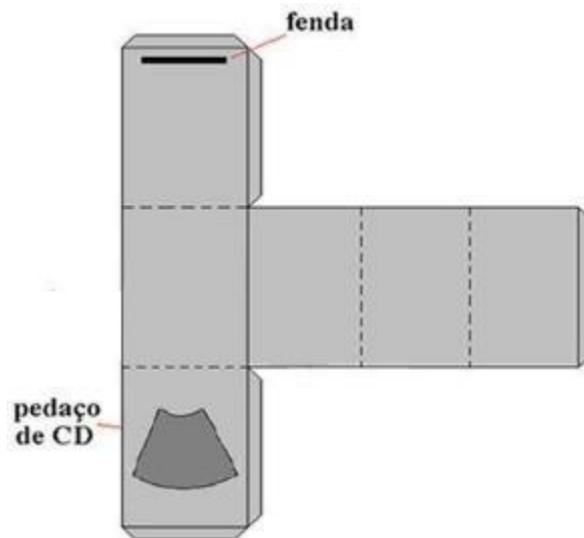
Fonte: (Acervo do autor, 2019)

Os materiais para a construção do espectroscópio A estão listados a seguir:

- Caixa de papelão
- Tesoura
- Cola branca ou de artesanato
- Fita adesiva
- Mídia de CD ou DVD
- Tinta para papel preta
- Dois palitos de churrasco

Inicialmente, uma fenda é criada na estrutura para que a fonte de emissão de luz penetre no interior do espectroscópio. Para fixação do pedaço do CD ou DVD, que servirá como uma grande difração, é necessário fazer um recorte na caixa para que o mesmo seja posicionado, é através de um fragmento de CD ou DVD que as linhas espectrais podem ser visualizadas. O fragmento de CD ou DVD assume o papel de uma grade de difração, sendo necessário a retirada da película na superfície. A Figura D.2 exibe a estrutura de montagem do espectroscópio A.

**Figura D.2 – Estrutura de montagem do Espectroscópio A**



Fonte: Adaptado de (BRASIL ESCOLA, 2011)

A estrutura do Espectroscópio A pode ser confeccionada utilizando uma caixa de papelão. A caixa utilizada seria descartada, deste modo não houve custo financeiro de aquisição da mesma. É recomendável que a caixa de papelão tenha a cor preta, caso não seja, o interior da mesma pode ser pintado utilizando tinta de papel. A cor preta proporciona reduções das reflexões da luz.

Para fins de aumento de resistência estrutural, é recomendável que sejam coladas treliças em forma de “X” na parte superior da caixa, que podem ser confeccionadas com palitos de churrasco. A Figura D.3. exibe a vista superior do interior do espectroscópio pintado na cor preta, com as treliças posicionadas na parte superior em formas de “X”.

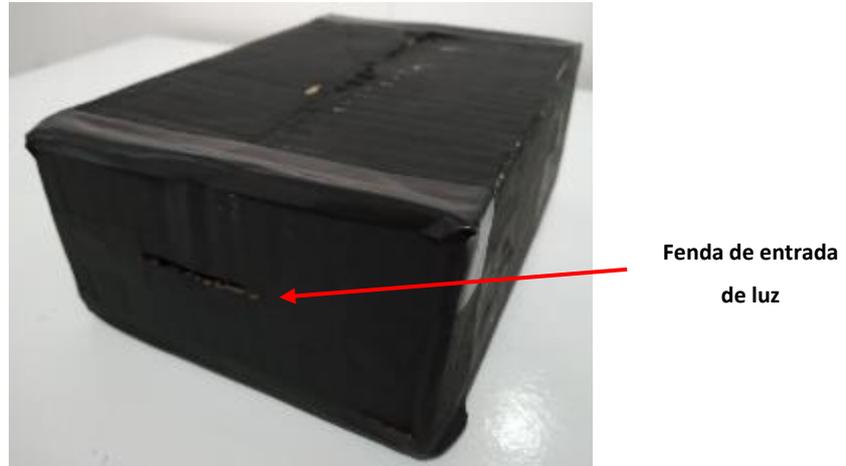
**Figura D.3 – Vista superior do interior do espectroscópio**



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

A Figura D.4 exibe a fenda de entrada de luz na extremidade do espectroscópio.

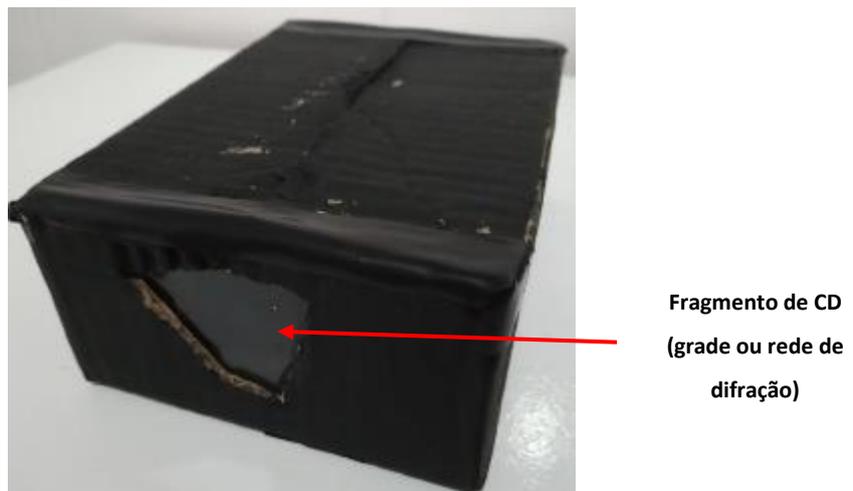
**Figura D.4 – Detalhe da fenda na extremidade do espectroscópio**



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)

A Figura D.5 exibe o Espectroscópio A, detalhando o fragmento do CD (rede ou grade de difração) inserido em uma das extremidades.

**Figura D.5 – Foto do Espectroscópio A, detalhando o fragmento do CD inserido em uma das extremidades**



Fonte: (Acervo do Autor, 2019)



## TERMO DE VALIDAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Atestamos para os devidos fins que o produto educacional intitulado ROTEIRO DE AULAS PRÁTICAS: DIFRAÇÃO E ESPECTROSCOPIA foi aplicado na:

- Universidade Estadual de Feira de Santana (Mestrado Profissional em Astronomia - Pós Graduação), na disciplina Desenvolvimento e Produção de Material Didático, composta por 15 mestrandos.

Feira de Santana, 28 de agosto de 2020

\_\_\_\_\_  
Presidente da Banca de Avaliação:

Prof. Dr. Germano Pinto Guedes (DFIS-UEFS) - Orientador

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Marildo Geraldete Pereira (DFIS-UEFS) – Coorientador

\_\_\_\_\_  
Membro Interno do Mestrado Profissional em Astronomia:

Prof. Dr. Carlos Alberto de Lima Ribeiro (DFIS-UEFS)

\_\_\_\_\_  
Membro Externo – Convidado:

Prof. Dr. Marcelo Souza da Silva (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano) (IF-Sertão)