

CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTRÔMETRO DE REDE DE DIFRAÇÃO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO

CONSTRUCTION OF A GRATING SPECTROMETER WITH LOW-COST MATERIALS

Demétrio Galiza Lopes Santos¹ e Caio Bruno Wetterich²

¹*Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, e-mail: demetiogaliza@gmail.com*

²*Instituto Federal do Triângulo Mineiro – Campus Uberaba, e-mail: caiovtrich@gmail.com*

Um espectrômetro de prisma ou rede de difração é utilizado para o estudo das linhas de emissão e/ou absorção de diferentes elementos a partir da medida do desvio sofrido pela luz ao passar pela grade de difração. As linhas espectrais observadas podem ser explicadas através da teoria ondulatória da luz por meio dos conceitos de difração e interferência. Os espectrômetros comerciais apresentam um elevado custo de aquisição dificultando consequentemente sua compra. A ausência desse tipo de equipamento nos laboratórios de Física prejudica a visualização dos fenômenos relacionados à óptica física. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi a construção de um espectrômetro de rede de difração utilizando materiais acessíveis e de baixo custo. O espectrômetro construído foi utilizado para o estudo das linhas de emissão dos seguintes elementos: hidrogênio, hélio e mercúrio. O espectrômetro apresentou resultados interessantes desde a observação das linhas de emissão à identificação dos desvios angulares, possibilitando assim a quantificação dos comprimentos de onda.

Palavras-chave: Espectrômetro; Rede de difração; Linhas de emissão

A prism spectrometer or grating spectrometer is used to study the emission or absorption lines of different elements based on the measurement of the deviation suffered by the light when passing through the diffraction grating. The observed spectral lines can be explained through the wave theory of light through the concepts of diffraction and interference. Commercial spectrometers have a high cost of acquisition, consequently making their purchase difficult. The absence of this type of equipment in physics laboratories impairs the visualization of phenomena related to physical optics. Therefore, the objective of this work was the construction of a diffraction network spectrometer using accessible and low-cost materials. The spectrometer was used to study the emission lines of the following elements: hydrogen, helium and mercury. The spectrometer showed interesting results from the observation of the emission lines to the identification of angular deviations, thus enabling the quantification of wavelengths.

Keywords: Spectrometer; Diffraction grating; Emission lines.

INTRODUÇÃO

A óptica é o ramo da física que estuda os fenômenos luminosos e se divide em dois segmentos: óptica física e óptica geométrica. A óptica física estuda o comportamento ondulatório da luz a partir dos fenômenos de interferência, polarização e difração, enquanto a óptica geométrica proporciona o estudo dos fenômenos luminosos utilizando a hipótese de que a luz se propaga em linha reta, ou seja, pode ser descrita através de raios luminosos e está associada geralmente ao estudo dos fenômenos de reflexão e refração.

O ensino da óptica no ensino médio é fundamentado, em sua maioria, no modelo da óptica geométrica deixando de lado a óptica física e sua importância para a compreensão da dualidade onda/partícula (ROGOVSKI, 2014). Geralmente, quando se estuda a óptica física, os fenômenos são apenas citados sem uma observação prática. Ferreira e Alves Filho (1985) argumentam que a falta de um espectrômetro é uma das justificativas mais comuns apresentadas para a não apresentação de tais fenômenos na prática.

Visto que nas escolas de ensino médio os laboratórios de física sofrem com a ausência deste tipo de equipamento devido ao alto custo para sua aquisição (Lüdke, 2010), o desenvolvimento de um dispositivo com materiais do cotidiano e com um custo associado baixo possibilita ao professor de física explorar a sua construção com o estudante como meio de instigar o desenvolvimento de competências na área de Ciências de Natureza e a aprendizagem dos conceitos observados na prática. Há diversos trabalhos na literatura que

apresentam a construção de espectrômetros de baixo custo a fim de diminuir a lacuna entre teoria e prática no ensino do conteúdo envolvido com esse tema. Destacam-se os trabalhos de OLIVEIRA; LEITE, 2016; LÜDKE, 2010; GARCIA; KALINOWSKI, 2004; CATELLI; PEZZINI, 2004; CATELLI; GIOVANNINI; OLIVEIRA, 2017; FERREIRA; ALVES FILHO, 1985.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é apresentar a construção de um espectrômetro de rede difração a partir de materiais de baixo custo tal como o uso de canos de PVC. O dispositivo desenvolvido foi avaliado a partir da medida dos comprimentos de onda das linhas de emissão do hidrogênio, mercúrio e hélio, e comparação com os seus respectivos valores teóricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O espectrômetro foi desenvolvido a partir de materiais de baixo custo no laboratório de Física do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – *Campus Januária*. Trata-se de uma pesquisa experimental de abordagem quantitativa de modo que os dados coletados a partir do equipamento construído foram analisados e comparados com valores estabelecidos na literatura para as linhas de emissão do hidrogênio, mercúrio e hélio. A seguir apresentaremos os materiais e roteiro para a construção do espectrômetro e, na sequência, como se obteve os comprimentos de onda das linhas de emissão observadas

Roteiro para construção do espectrômetro de rede de difração

Os materiais utilizados para a construção do espectrômetro estão listados a seguir:

- 1 carretilha suporte para fio elétrico no tamanho de 0,32 m com altura e diâmetro de 0,30 m;
- 0,60 m de eletroduto rígido de 0,04 m;
- 0,60 m de eletroduto rígido de 0,032 m;
- 1 luva de redução de PVC de 0,032 m x 0,025 m;
- 4 buchas de redução de PVC de 0,04 m x 0,032 m;
- 1 bucha de redução de PVC 0,032 m x 0,025 m;
- 0,30 m de cano branco roscável;
- 0,50 m de metalon 0,02 m x 0,02 m;
- 1 parafuso de rosca sem fim 3/8;
- Porcas e arruelas;
- 1,0 m de ferro maciço de 0,013 m x 0,0025 m;
- 1 disco milimetrado;
- Cola de secagem rápida;
- 1 lente convergente com valor dióptrico de 2,0°;
- 1 lente convergente com valor dióptrico de 2,5°;
- 1 lente convergente com valor dióptrico de 4,0°;
- 4 rolamentos de 0,038 m;
- 4 arrebites;
- 2 eletrodos.

A manipulação do material foi realizada com a utilização de objetos de corte (serra manual e estilete), máquina furadeira, máquina de solda e alicate. Primeiramente, a carretilha foi cortada, retirando uma parte da área circular do meio, estendendo-se no mínimo a 180° e 0,12 m de altura. Depois, foi montado o regulador de altura do telescópio de observação, utilizando um pedaço de cano de 0,032 m x 0,12 m e um pedaço de cano de 0,040 m x 0,12 m, dois rolamentos e 0,15 m do parafuso de rosca sem fim. O cano branco foi enroscado por completo e, em seguida, cortado em fitas. A Figura 1 apresenta a montagem do regulador de altura do telescópio.

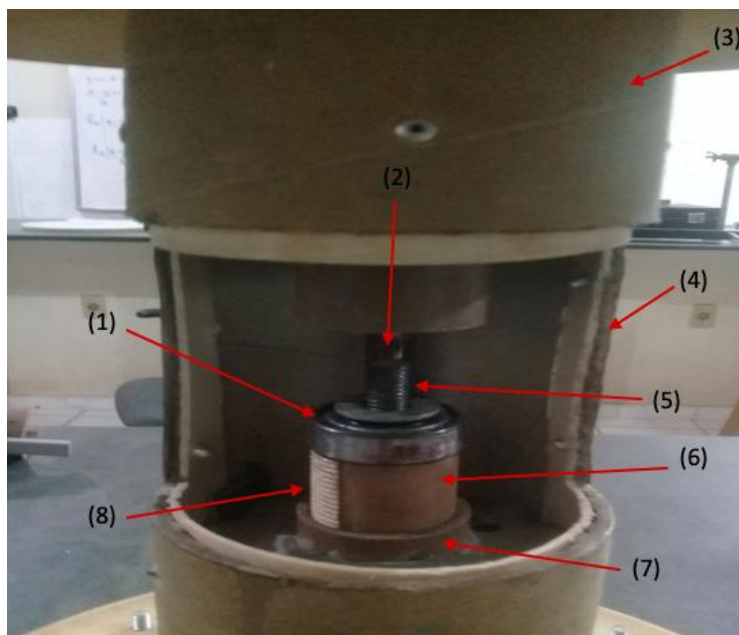


Figura 1: Montagem do regulador de altura do telescópio e seus elementos: (1) Rolamentos na parte superior e inferior; (2) montagem realizada na parte superior e inferior; (3) carretilha suporte para fio elétrico; (4) corte de 180° x 0,12 m na carretilha; (5) parafuso de rosca sem fim; (6) cano de 0,032 m; (7) cano de 0,040 m e (8) fita retirada do cano branco. Fonte: O autor.

Na construção do telescópio e do colimador, foram utilizados os canos de 0,60 m x 0,032 m e 0,60 m x 0,040 m, coladas as fitas no cano de 0,032 m e colocados as luvas, conforme apresentado na Figura 2.

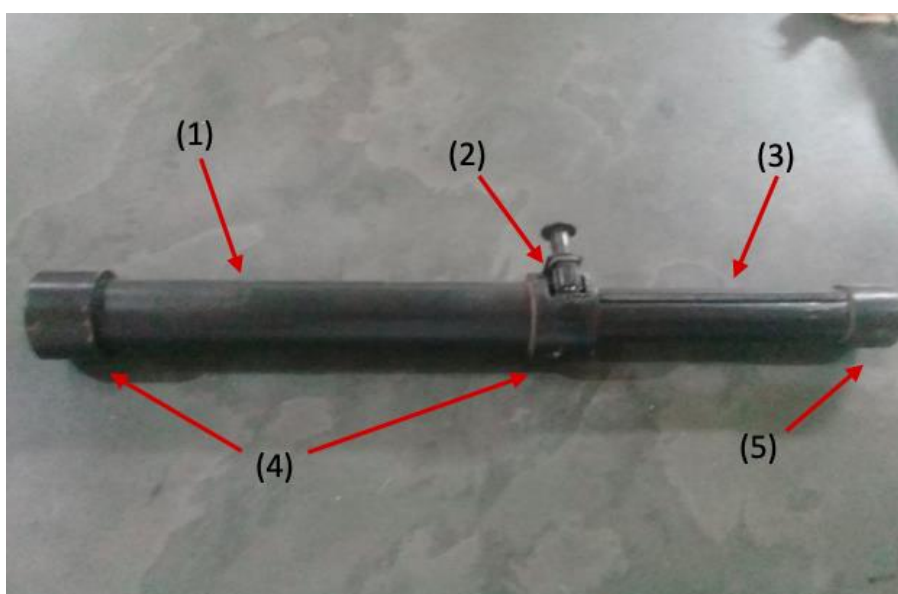


Figura 2: Montagem do telescópio e seus principais elementos: (1) cano de 0,040 m de diâmetro; (2) engrenagem; (3) cano de 0,032 m de diâmetro; (4) buchas de redução de 0,040 m x 0,032 m e (5) bucha de redução de 0,032 m x 0,025 m. Fonte: O autor.

Após a montagem do telescópio e do colimador, a próxima etapa foi a construção dos braços suportes. Para o telescópio fixo utilizou-se o metalon de 0,025 m x 0,025 m e o metalon de 0,020 m x 0,020 m. A Figura 3 ilustra essa etapa da construção.

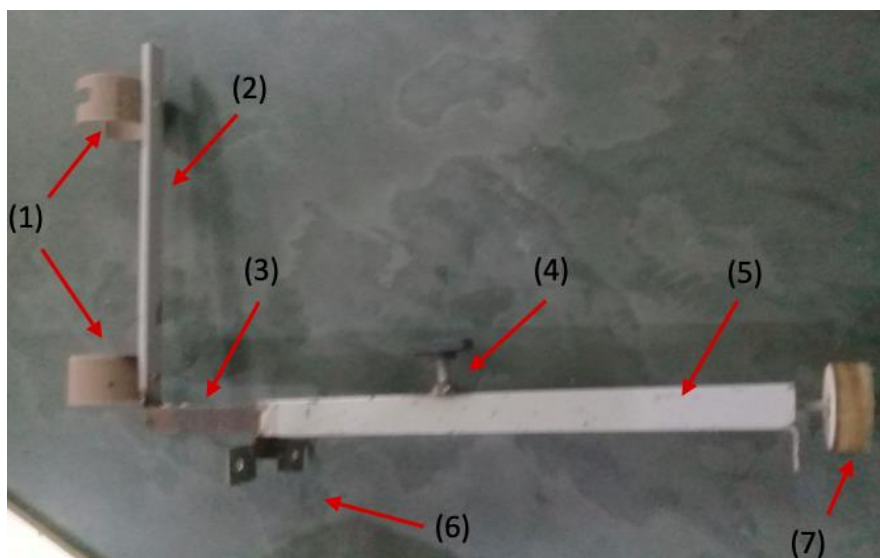


Figura 3: Montagem do braço fixo e suporte do colimador e seus principais elementos: (1) canos de 0,040 m para encaixe do telescópio; (2) metal maciço de 0,01 m x 0,005m; (3) metalon de 0,020 m x 0,020 m; (4) parafuso com porca isolada; (5) metalon de 0,025 m x 0,025 m; (6) placa metálica soldada e (7) pé regulável. Fonte: O autor.

Na sequência, o braço móvel do suporte do telescópio de observação foi montado utilizando o ferro maciço, que foi dobrado conforme formato e medida apresentados na Figura 4. Vale destacar que se adaptou uma agulha no braço móvel para que fosse possível a leitura da posição angular do telescópio.

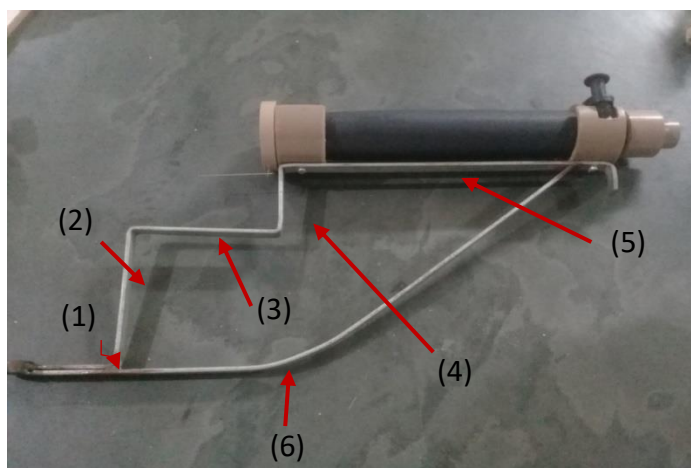


Figura 4: Montagem do braço móvel e suporte do telescópio de observação com as seguintes dimensões: (1) 0,06 m; (2) 0,10 m; (3) 0,10 m; (4) 0,06 m; (5) 0,25 m e (6) 0,43 m. Fonte: O autor.

Por fim, as lentes foram inseridas dentro de cada bucha de redução nas extremidades dos telescópios, sendo que para o telescópio de observação foram utilizadas lentes convergentes de distância focal igual a 50 e 40 cm na objetiva e ocular, respectivamente. No telescópio em que a luz incide utilizou-se uma lente

convergente de 25 cm de distância focal. A Figura 5 apresenta o espectrômetro desenvolvido com todos os elementos em destaque.

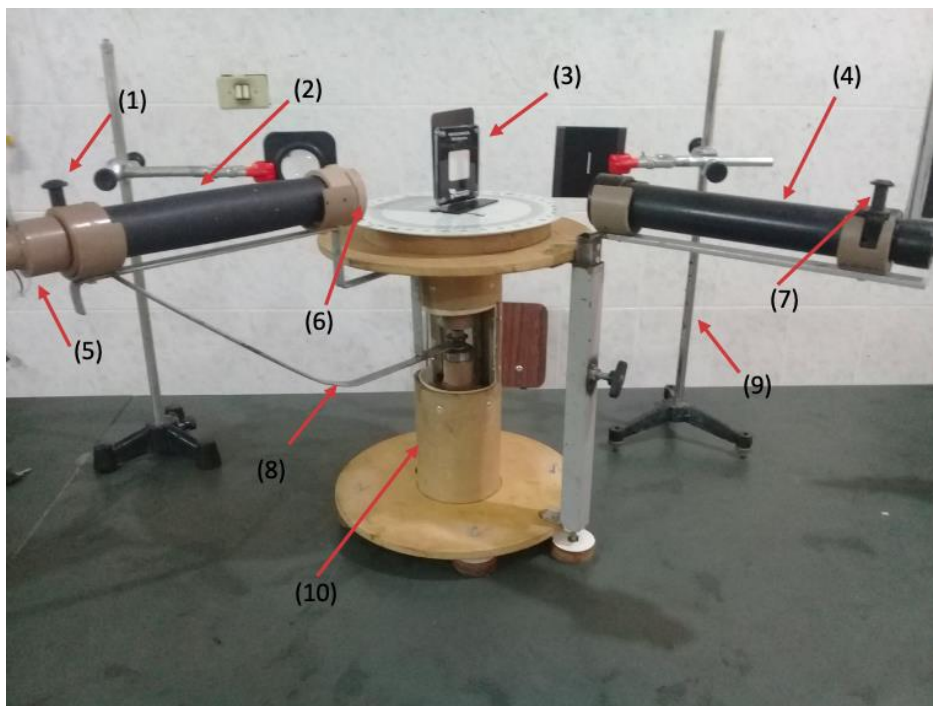


Figura 5: Espectrômetro de rede de difração desenvolvido e seus respectivos elementos: (1) botão de ajustes do foco; (2) Telescópio de observação do espectro; (3) rede de difração; (4) colimador; (5) ocular; (6) objetiva; (7) Botão de ajuste de foco; (8) Braço móvel do espectrômetro; (9) Suporte para placa de fenda única e (10) Mesa do espectrômetro parte inferior e superior. Fonte: O autor.

Determinação dos comprimentos de onda das linhas de emissão

Uma vez realizada a construção do espectrômetro de rede de difração, iniciou-se a coleta dos dados dos desvios angulares para as linhas de emissão observadas. Nesse trabalho utilizou-se uma rede de difração de 500 linhas por milímetro, ou seja, o espaçamento entre as linhas da rede é $d = 2 \times 10^{-6} \text{ m}$. Além disso, utilizou-se também lâmpadas de hidrogênio, mercúrio e hélio para o estudo das linhas de emissão desses elementos. A rede de difração e as lâmpadas foram selecionadas com base na disponibilidade de tais materiais no laboratório de física do IFNMG – *Campus Januária*.

Na etapa de coleta dos dados é necessário verificar a cada medida de desvio angular se os valores de ângulos simétricos estão alinhados. Essa calibração inicial permite observar se a rede de difração está alinhada e se há a necessidade de realizar algum ajuste adicional. De acordo com Gallas, o dispositivo deve ser calibrado comparando a simetria que o envolve, tomado os valores do máximo central em p_0 e a posição angular da linha espectral em ambos os lados em p e p' . Definido o ângulo $\theta = p - p_0$ e $\theta' = p' - p_0$, os valores medidos não podem apresentar uma diferença significativa. A Figura 6 apresenta o esquema para a medida dos ângulos e calibração do espectrômetro conforme proposto por Gallas (2018).

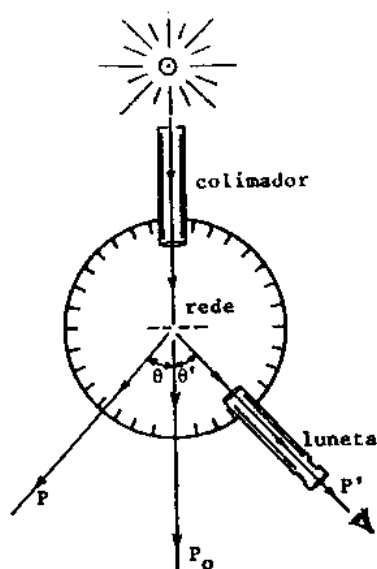


Figura 6: Calibração de um espectrômetro de rede de difração. Fonte: GALLAS, 2018.

A fim de determinar as principais linhas de emissão na região visível do espectro eletromagnético dos elementos hidrogênio, mercúrio e hélio, é necessário posicionar inicialmente uma placa de fenda única em frente ao telescópio de incidência, posicionada sobre o foco de uma lente convergente de distância focal igual a 5,0 cm, disposta entre essa fenda e as lâmpadas de gás. O suporte de acionamento da lâmpada deve estar posicionado a uma altura de 20 cm em relação à base. A partir disso, é necessário somente fazer o ajuste do foco da lente da ocular e varrer o telescópio para a observação das linhas de emissão dos elementos em estudo.

A figura 7 apresenta o esquema do espectrômetro no qual nos baseamos para a construção do aparato. A luz proveniente da fonte S é focalizada pela lente L_1 na fenda vertical S_1 que está localizada sobre o plano focal da lente L_2 . A luz emergida do colimador C é uma onda plana e incide perpendicularmente na rede difração G, sendo assim difratada e podendo o padrão de difração ser observado a partir do deslocamento do telescópio T em função do ângulo em relação ao eixo central (linha pontilhada). A lente L_3 do telescópio focaliza a luz difratada em um determinado ângulo θ no plano focal FF' podendo assim ser visualizada pela ocular E (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2016).

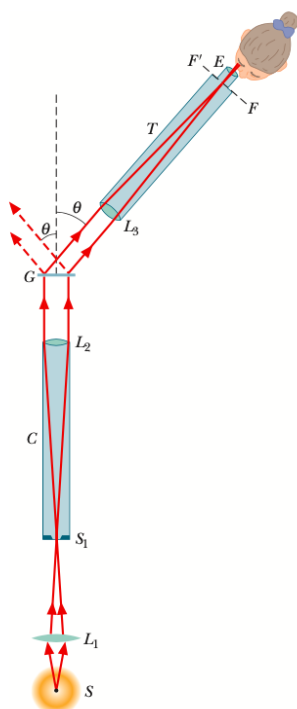


Figura 7: Esquema de um espectrômetro de rede de difração utilizado para análise dos comprimentos de onda emitidos pela fonte luminosa S. Fonte: HALLIDAY, RESNICK, WALKER, (2016).

A partir da variação do ângulo do telescópio, pode-se examinar o padrão de difração e observar as linhas de emissão dos elementos em análise. Uma vez identificadas as linhas de emissão, foi realizada a leitura dos ângulos em relação ao eixo central para cada uma das linhas a partir do transferidor fixado na mesa superior do espectrômetro, conforme apresentado na Figura 8. A precisão na medida do ângulo é de $0,5^\circ$.

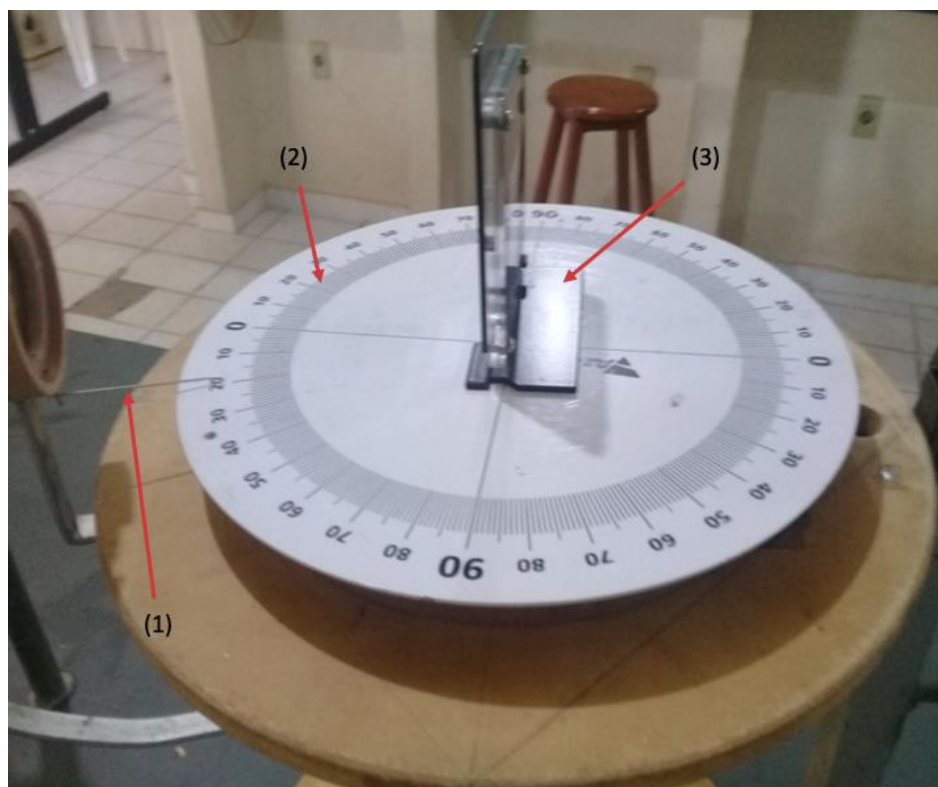


Figura 8: Mesa superior do espectrômetro e seus principais elementos: (1) leitor do ângulo; (2) parte superior da mesa do espectrômetro com escala angular e (3) suporte com a rede de difração. Fonte: O autor.

Uma vez determinado o ângulo da linha de emissão observada foi possível calcular o seu respectivo comprimento de onda através da Equação 1:

$$d \sin \theta = n \lambda \quad (1)$$

em que n ($n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$) é o número de ordem das linhas de máxima intensidade observadas, d é o espaçamento entre as linhas da rede de difração e θ é o ângulo formado entre o eixo central e a reta que liga um determinado ponto no anteparo. O espectrômetro desenvolvido nesse trabalho permitiu observar somente as linhas de emissão de ordem $n = \pm 1$. A fim de ilustrar os cálculos envolvido na determinação dos comprimentos de onda das linhas de emissão observadas, vamos supor que foi realizada uma leitura do desvio angular $\theta = 12^\circ$ no espectrômetro para o número de ordem $n = 1$. Nesse exemplo, o comprimento de onda teria o seguinte valor:

$$\begin{aligned} d \sin \theta &= n \lambda \\ (2 \cdot 10^{-6} m) \sin 12^\circ &= \lambda \\ \lambda &= 416 \text{ nm} \end{aligned} \quad (2)$$

A partir desse procedimento obteríamos um valor de comprimento de onda igual a 416 nm para a linha de emissão observada nesse ângulo e ordem correspondente. Para encontrar o respectivo valor da

frequência (ν), basta utilizar a equação $c = \lambda\nu$ e substituir o valor obtido do comprimento de onda (λ) e a velocidade da luz no vácuo ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

Dessa forma, realizamos as medidas dos ângulos das linhas de emissão das três lâmpadas em estudo e adotamos os procedimentos mencionados acima para o cálculo dos comprimentos de onda. A coleta dos dados foi toda realizada em ambiente escuro para evitar qualquer interferência nas observações. Vale ressaltar que utilizamos as medidas relativas à lâmpada de hidrogênio como calibração do espectrômetro para em seguida realizarmos a análise das linhas de emissão das lâmpadas de hélio e mercúrio.

RESULTADOS

Após a construção do espectrômetro utilizando como elemento dispersor uma rede de difração de 500 linhas por milímetro, foram analisadas as linhas de emissão das lâmpadas de hidrogênio, mercúrio e hélio a fim de avaliar se o espectrômetro desenvolvido apresenta potencial para ser aplicado em aulas práticas de laboratório tanto para alunos do ensino médio quanto para graduação em física. A figura 9 apresenta as linhas de emissão dos elementos em estudo (H, Hg e He) utilizando uma câmera de celular. Importante destacar na figura 9 que se consegue observar com boa nitidez as linhas de emissão dos elementos no espectrômetro.

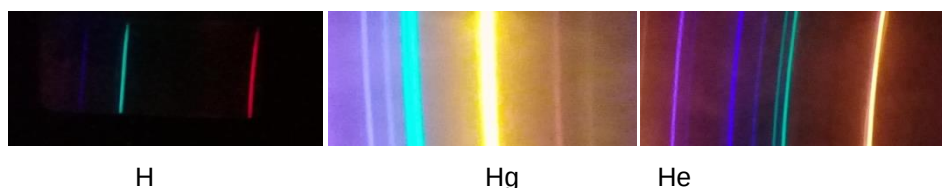


Figura 9: Espectros de emissão do hidrogênio, mercúrio e hélio. Fonte: o autor.

Como mencionado, iniciamos a medida dos ângulos para a lâmpada de hidrogênio, a qual foi utilizada para calibrar o espectrômetro. Com essa lâmpada, observamos as seguintes linhas de emissão: violeta, azul, verde e vermelha. A fim de facilitar a comparação e compreensão dos resultados, iremos analisar os resultados obtidos para a emissão do átomo de hidrogênio comparando com os resultados teóricos obtidos através da série de Balmer. A Tabela 1 apresenta os ângulos obtidos para as diferentes linhas de emissão observadas, os comprimentos de onda calculados a partir da Equação 1 e os respectivos valores teóricos.

Tabela 1: Ângulo, valores experimentais e teóricos das linhas de emissão observada para a lâmpada de hidrogênio.

Linhas de emissão	Violeta	Azul	Verde	Vermelho
θ (°)	12,0±0,5	12,5±0,5	14,0±0,5	19,0±0,5
λ (nm)	415,8±17,5	432,8±17,5	483,8±17,5	651,1±17,5
λ teórico (nm)	410,2	434,5	486,1	656,7

Fonte: o autor.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 1 é possível observar que os comprimentos de onda obtidos para o átomo de hidrogênio estão bem próximos aos resultados teóricos da série de Balmer para

essas linhas de emissão em $n = 1$. Os erros experimentais calculados para as essas linhas comparadas com os valores teóricos são: 1,4% para a linha violeta, 0,3% para a linha azul, 0,5% para a linha verde e 0,9% para o vermelho. Vale ressaltar que a precisão na medida do ângulo do transferidor é de $0,5^\circ$, resolução essa que influência significativamente em nossas medidas e na propagação de erro, acarretando uma incerteza na medida do comprimento de onda de $\pm 17,5$ nm. No caso dos espectrômetros profissionais, os ângulos de simetrias não diferem de mais de um décimo de grau. No entanto, é importante destacar que os valores de comprimentos de onda obtidos para a lâmpada de hidrogênio estão próximos aos dados teóricos da série de Balmer, indicando o potencial do espectrômetro para a aplicação no estudo das linhas de emissão das demais lâmpadas.

Dessa forma, dando continuidade à aplicação do espectrômetro, obtivemos os valores dos ângulos das linhas de emissão observadas para o mercúrio. A Tabela 2 apresenta os ângulos obtidos para as principais linhas de emissão do mercúrio, os comprimentos de onda experimentais e os respectivos valores teóricos.

Tabela 2: Ângulo, valores experimentais e teóricos das linhas de emissão observadas para a lâmpada de mercúrio.

Cor	Violeta	Violeta	Anil	Azul	Verde I	Verde	Laranja	Laranja	Vermel
	I	II				II	I	II	ho
θ ($^\circ$)		$12,0 \pm 0,5$	$12,5 \pm 0,5$	$14,5 \pm 0,5$	$16,0 \pm 0,5$		$17,0 \pm 0,5$	$18 \pm 0,5$	
		5	5	5	5		5		
λ (nm)		$415,8 \pm 17,5$	$432,8 \pm 17,5$	$500,7 \pm 17,5$	$551,2 \pm 17,5$		$584,7 \pm 17,5$	$616,0 \pm 17,5$	
λ	404,7	407,8	435,8	491,6	546,1	577,0	579,1	615,2	623,2
teórico (nm)									

Fonte: o autor

A partir da Tabela 2 pode-se observar que não foram visualizadas todas as linhas de emissão do mercúrio, tais como na região do violeta e do vermelho. Provavelmente isso está relacionado com a limitação da rede de difração que possui apenas 500 ranhuras por milímetro. Uma vez que o laboratório de Física não possui redes de difração com um maior número de ranhuras não foi possível verificar se o aumento implicaria no surgimento das linhas restantes. No entanto, a análise das linhas de emissão que foram possíveis de se observar permite afirmar novamente que os resultados calculados dos comprimentos de onda estão bem próximos do valor teórico, evidenciando o potencial do espectrômetro desenvolvido.

A Tabela 3 apresenta os ângulos obtidos para as principais linhas de emissão do hélio, os comprimentos de onda experimentais e os respectivos valores.

Tabela 3: Ângulo, valores experimentais e teóricos das linhas de emissão observadas para a lâmpada de hélio.

Cor	Azul	Verde	Amarelo	Vermelho I	Vermelho II
			alaranjado		
θ ($^\circ$)	$13,0 \pm 0,5$	$14,5 \pm 0,5$	$17,0 \pm 0,5$	$19,5 \pm 0,5$	$21,0 \pm 0,5$
λ (nm)	$445,9 \pm 17,5$	$500,7 \pm 17,5$	$584,7 \pm 17,5$	$667,6 \pm 17,5$	$716,7 \pm 17,5$

λ teórico (nm)	447,1	501,5	587,5	667,8	706,5
---------------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Fonte: o autor

A análise da Tabela 3 nos permite afirmar que os resultados obtidos estão próximos aos dados teóricos das principais linhas de emissão do Hélio com erro experimental maior para a linha de emissão Vermelho II, cerca de 1,5% em relação ao seu valor teórico.

Diante dos resultados expostos é possível afirmar que o equipamento desenvolvido nesse trabalho apresenta um elevado potencial uma vez que alia baixo custo em sua construção, uso de materiais recicláveis e erros experimentais pequenos quando comparados aos resultados teóricos. No caso em específico do IFNMG - *Campus* Januária, o espectrômetro será útil para a demonstração e estudo dos fenômenos com os alunos do ensino médio e também no curso de Licenciatura em Física, pois não havia até o momento nenhum equipamento no laboratório com essa finalidade.

CONCLUSÕES

A construção do espectrômetro de rede difração a partir de materiais de baixo custo proporcionou o estudo das principais linhas de emissão de diferentes elementos. A partir da observação das linhas de emissão dos elementos em estudo através, a associação com seu respectivo desvio angular e cálculo do comprimento de onda correspondente, foi possível verificar que o sistema apresenta um elevado potencial para ser utilizado em diversas aulas práticas no processo de ensino-aprendizagem do conteúdo de Física Moderna tanto para alunos do ensino médio quanto da graduação em física.

O uso desse roteiro para a construção de um espectrômetro com materiais do cotidiano e com um custo associado baixo possibilitará ao professor de física explorar com seus estudantes os diversos conceitos associados a esse conteúdo.

REFERÊNCIAS

CATELLI, Francisco; PEZZINI, Simone. Observando espectros luminosos: espectroscópio portátil.

Caderno Brasileiro de Ensino de Física, [S.L.], v. 21, n. especial, p. 339-344, nov. 2004.

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10023/14560>. Acesso em: 21 jun. 2021.

CATELLI, Francisco; GIOVANNINI, Odilon; OLIVEIRA, Suzana França de. Espectrômetro amador: quantificando comprimentos de onda. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 951-970, dez. 2017. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n3p951/35424>. Acesso em: 21 jun. 2021.

- FERREIRA, Norberto C.; ALVES FILHO, José de Pinho. Espectrômetro óptico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis**, v. 2, n. 1, p. 31-36, abr. 1985. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/5800/15369>. Acesso em: 21 jun. 2021.
- GALLAS, Maria. R. **Laboratório 8: Espectrômetro de rede**. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~marcia/lab8.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2021.
- GARCIA, Nilson Marcos Dias; KALINOWSKI, Hypolito Jose. Um espectroscópio simples para uso individual. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l], v. 21, n. especial, p. 332-338, nov. 2004. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10022/20070>. Acesso em: 21 jun. 2021.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física, volume 4: óptica e física moderna. 10. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016.
- LÜDKE, Everton. Um espectrofotômetro de baixo custo para laboratórios de ensino: aplicações no ensino da absorção eletrônica e emissão de fluorescência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 1506-1503, mar. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/FnjKhFY8wykdhb8zStNwPRK/?lang=pt>. Acesso em: 21 jun. 2021.
- OLIVEIRA, Paulo C. C.; LEITE, Marcos A. P.. Espectrofotometria no Ensino Médio: construção de um fotômetro de baixo custo e fácil aquisição. **Química Nova na Escola**, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 181-184, 2016. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc38_2/13-EEQ-58-14.pdf. Acesso em: 21 jun. 2021.
- ROGOVSKI, Rodrigo Ferreira. **Construção de um espectrofotômetro como metodologia didática**. 2014. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Química, Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop-Mt, 2014. Disponível em: <https://silo.tips/download/construao-de-um-espectrofotometro-como-metodologia-didatica>. Acesso em: 21 jun. 2021.