



O ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA LUZ A PARTIR DA DIFRAÇÃO NA EDUCAÇÃO BÁSICA

THE STUDY OF THE LIGHT PROPERTIES FROM DIFFRACTION IN BASIC EDUCATION

DANIEL MAGGIONI DE SOUZA ^{*1}, NATALIA NEVES MACEDO DEIMLING ^{†2},
CESAR VANDERLEI DEIMLING ^{‡3}

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campo Mourão, Mestrado do PPGEF.

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campo Mourão, Departamento de Química.

³Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campo Mourão, Departamento de Física.

Resumo

O presente trabalho visa compartilhar uma proposta para a implementação de um produto educacional aplicado ao ensino das propriedades da luz visível, com ênfase nos fenômenos de interferência e difração da luz, associando a interação da luz com a matéria. Trata-se de um produto educacional destinado à educação básica, resultado de um mestrado em andamento no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em parceria com a Sociedade Brasileira de Física. Esta proposta descreve como ocorreu o desenvolvimento de um espectrômetro que utiliza materiais de fácil acesso, bem como a arquitetura Arduino, considerada uma eletrônica embarcada de baixo custo. Para além da realização de práticas que permitam a decomposição da luz por meio de prismas ou grades de difração, este arranjo experimental permite a mensuração das intensidades e comprimentos de onda presentes em um feixe de luz, permitindo avaliar também a interação da luz com diferentes materiais semitransparentes, permite conduzir o estudo das propriedades da luz em um contexto interdisciplinar, que pode permear pelas disciplinas de Química, avaliando a absorção de comprimentos de onda em diferentes soluções, ou de Biologia, avaliando a atenuação da luz ao ser transmitida por diferentes materiais biológicos, auxiliando com melhorias no processo de ensino-aprendizagem.

Palavras-chave: *espectroscopia no visível; ensino de Física; educação básica.*

*danielmaggioni@yahoo.com.br

†natanema@gmail.com

‡cdeimling@gmail.com

Abstract

The present work aims to share a proposal for the implementation of an educational product applied to teaching the properties of visible light, with an emphasis on the phenomena of interference and diffraction of light, associating the interaction of light with matter. It is an educational product aimed at basic education, the result of a master's degree in progress in the Postgraduate Program in Physics Teaching at the Federal Technological University of Paraná, in partnership with the Brazilian Physics Society. This proposal describes how the development of a spectrometer that uses easily accessible materials, as well as the Arduino architecture, considered a low-cost embedded electronics, occurred. In addition to carrying out practices that allow the decomposition of light through prisms or diffraction gratings, this experimental arrangement allows the measurement of the intensities and wavelengths present in a beam of light, also allowing the evaluation of the interaction of light with different materials semi-transparent, allows the study of the properties of light in an interdisciplinary context, which can permeate the disciplines of Chemistry, evaluating the absorption of wavelengths in different solutions, or Biology, evaluating the attenuation of light when transmitted by different biological materials, helping with improvements in the teaching-learning process.

Keywords: *visible spectroscopy; teaching Physics; basic education.*

I. INTRODUÇÃO

Pesquisas que reportam os problemas relacionados à realidade educacional Brasileira, especialmente aqueles associados ao ensino de Física ao longo do ensino médio, já foram e continuam sendo alvos de muitos debates em muitos artigos, dissertações e teses. Esses problemas estão em sua maioria relacionados com as dificuldades na leitura, na interpretação de textos e na matemática elementar, fato este que impede em muitas situações o avanço em determinadas áreas da própria Física (??).

Para além das dificuldades de aprendizagem relacionadas aos conteúdos clássicos, a Física ensinada na educação básica compõe o campo das ciências exatas que está em constante desenvolvimento, impulsionado pelos pesquisadores e cientistas. Nesta fase da escolarização mantêm-se predominante a observação e a investigação dos fenômenos ocorridos no cotidiano. Contudo, mudanças significativas com a chegada no novo ensino médio vem trazendo preocupações, algumas delas já discutidas pelo teórico Dermeral Saviani ao analisar as limitações da chamada pedagogia tecnicista:

Se na pedagogia tradicional a iniciativa cabia ao professor que era, ao mesmo tempo, o sujeito do processo, o elemento decisivo e decisório e se na pedagogia nova a iniciativa se desloca para o aluno situando-se o nervo da ação educativa na relação professor-aluno, portanto, relação interpessoal, intersubjetiva, na pedagogia tecnicista o elemento principal passa a ser a organização racional dos meios, ocupando o professor e o aluno posição

secundária, relegados que são à condição de executores de um processo cuja concepção, planejamento, coordenação e controle ficam a cargo de especialistas supostamente habilitados, neutros, objetivos, imparciais. A organização do processo converte-se na garantia da eficiência, compensando e corrigindo as deficiências do professor e maximizando os efeitos de sua intervenção (??).

Nesse sentido, ressaltamos a importância das teorias educacionais que favoreçam a autonomia do trabalho docente, de modo a despertar nos estudantes o interesse na compreensão dos fenômenos físicos, possibilitando o desenvolvimento do senso de pesquisa dentro e fora da sala de aula. Contudo, as condições necessárias para o desenvolvimento do trabalho docente nessa perspectiva não dependem exclusivamente de fatores que estão de posse do professor. Sabemos que são muitos os desafios do ensino de Física no Brasil, em especial nas escolas públicas, que nem sempre possuem laboratórios e ou equipamentos básicos para experimentação das atividades de Física clássica.

Enfatizando essa problemática, Pinto e Zanetic (1999) destaca que dois desafios presentes na formação dos estudantes merecem atenção especial: o primeiro refere-se à própria inclusão na programação do ensino médio de tópicos relativos aos desenvolvimentos mais atuais da Física, e o segundo diz respeito ao desenvolvimento desses conteúdos em sala de aula e aos recursos necessários para sua abordagem junto aos alunos. Com relação à inclusão de tópicos contemporâneos de Física no ensino médio, concordamos com Cachapuz (2005) que destaca a relevância da compreensão desses fenômenos tendo em vista a revolução tecnológica desencadeada nos últimos anos.

Neste sentido, este trabalho visa compartilhar os resultados preliminares de uma pesquisa de mestrado em andamento no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no campus de Campo Mourão, em parceria com a Sociedade Brasileira de Física. Trata-se de uma pesquisa aplicada ao estudo das propriedades da luz no âmbito do ensino médio, abrangendo conteúdos de Física moderna por meio, também, da experimentação, utilizando para este fim um espectrofotômetro eletrônico de baixo custo que permite o estudo da interação da radiação com a matéria usando comprimentos de onda na faixa do visível. A descrição dos passos associados à montagem, dos fenômenos utilizados no seu funcionamento e do uso deste espectrofotômetro será o foco deste trabalho ¹.

Colaborando com o estudo dos fenômenos ligados à Física moderna, esta proposta permite o desenvolvimento de atividades práticas de baixo custo e de fácil implementação no ensino médio, intercambiáveis com outras áreas do conhecimento, de acordo com as necessidades do professor. Esperamos que este trabalho possa auxiliar não somente os professores de Física dentro do ambiente escolar, mas todos os professores de Ciências da Natureza que, de uma forma ou de outra, estão imersos no desenvolvimento e na compreensão dos fenômenos físicos presentes na prática social.

¹Neste trabalho não discutiremos a aplicação desse material em sala de aula, mas apenas o seu processo de confecção e o seu potencial como produto educacional. O desenvolvimento e a avaliação desse produto na disciplina de Física do ensino médio serão explorados em trabalhos posteriores.

II. APORTE TEÓRICO

A escolha pelo tema de estudo deste trabalho decorre dos resultados obtidos a partir de uma revisão de trabalhos envolvendo propostas similares para o ensino da interação da luz visível com a matéria. A análise dos dados foi realizada a partir da leitura exploratória dos trabalhos selecionados tendo em vista a identificação dos seguintes critérios: conteúdos e recursos didáticos utilizados, principais resultados alcançados, contribuições e lacunas dos estudos para o processo de ensino-aprendizagem. A partir da análise dos dados, foram encontrados 19 trabalhos que discutem o tema geral - interação da radiação com a matéria -, aplicado ao ensino de física, sendo que destes, apenas 6 trabalhos - Squizzato (2018), Lüdke (2010), Ferreira e Alves Filho (1985), Garcia e Kalinowski (1994), Catelli, Giovannini e Oliveira (2017), Morais (2018) - abordam o desenvolvimento do tema espectroscopia da luz em sala de aula, discutindo a construção de experimentos, de sequências didáticas, seus benefícios, cuidados e resultados obtidos. Esse resultado aponta uma escassez significativa de materiais teóricos e práticos destinados ao ensino e experimentação de Física moderna na educação básica, em especial, da interação da luz visível com a matéria.

Neste sentido, visando colaborar com a superação dessas lacunas, justifica-se a necessidade do desenvolvimento de propostas que possam contribuir positivamente para o ensino deste tema. Para tanto, ao longo deste trabalho discutiremos os passos relacionados à montagem e ao uso de um dispositivo, o espectrofotômetro, que emprega eletrônica embarcada de baixo custo. Com o uso deste equipamento, será possível desenvolver em sala atividades experimentais possibilitem o estudo de diferentes fenômenos físicos, tais como, o estudo da natureza da luz, a difração, a interferência da luz, a interação da luz com a matéria, dentre outros.

Uma questão fundamental para o uso do dispositivo em sala está vinculada com o desenvolvimento teórico do fenômeno que se queria explorar durante as atividades práticas, e por esse motivo, prevemos a necessidade de retomar alguns pré-requisitos fundamentais, em especial aqueles ligados com os fundamentos da matéria, bem como a natureza ondulatória da luz, visando ao final, sedimentar melhor os novos conteúdos adquiridos no processo.

Neste sentido, trabalhos conduzidos por Fleck (2020), Guimarães (2018), Oliveira e Silva (2014) e Kleppner (2004), trazem propostas para o estudo da natureza da luz explorando as características ondulatória da luz, comprimento de onda, frequência, e a sua velocidade de propagação, relacionado diferentes faixas presentes no espectro eletromagnético.

A partir da compreensão mais aprofundada da natureza da luz visível, constituída como onda eletromagnética, formada pelas oscilações senoidais de campos elétricos e magnéticos, em fase e transversais ao sentido do movimento, como apresentada por Halliday (2009), torna-se possível o estudo e a discussão sobre suas origens, ou seja, quais mecanismos são majoritariamente usados no processo de geração da luz visível. Neste sentido, autores como Tipler (2009) e Sears (2016) trazem discussões e apontamentos sobre as fontes geradoras de luz visível, seja por meio da excitação térmica, como no caso das lâmpadas incandescentes, seja por meio de transições eletrônicas entre dois ou mais estados de energia, como no caso das lâmpadas fluorescentes, dos lasers ou dos diodos emissores de luz.

De uma maneira geral, é de comum acordo que o estudo das propriedades associadas à luz visível pode colaborar para uma compreensão mais ampla e aprofundada das radiações,

sejam elas eletromagnéticas, ionizantes, ou até mesmo decorrentes de objetos quânticos que exibem comportamento dualístico. Cabe destacar que qualquer objeto quântico, por exemplo, um fóton ou elétron, cujo comportamento seja modelado pela ondulatória, deve necessariamente apresentar dois fenômenos: a difração e a interferência.

Segundo Halliday (2009) a difração ocorre sempre que uma onda atinge um obstáculo comparável com seu comprimento de onda, resultando em um alargamento do feixe incidente.

... quando uma onda encontra um obstáculo que possui uma abertura de dimensões comparáveis com o comprimento de onda, a parte da onda que passa pela abertura se alarga (é difratada) na região que fica do outro lado do obstáculo. (Halliday, 2009)

No entanto, o fenômeno da difração costumeiramente está associado ao fenômeno da interferência, como no caso das pesquisas de Thomas Young em 1801, que demonstrou a natureza ondulatória da luz, ao verificar que a figura de interferência de dois feixes luminosos possuía características análogas aquelas causadas por ondas presentes na superfície da água (HALLIDAY, 2009). O autor destaca que a interferência é causada sempre que dois ou mais feixes de onda, se sobrepõem em um ponto do espaço. Esse resultado pode colaborar com o aumento local da amplitude do sinal, causando um aumento no brilho luminoso, ou também pode colaborar com a redução local da amplitude, causando a redução da intensidade local das ondas que se sobrepuseram.

Para além da análise independente dos fenômenos da difração e da interferência, a combinação desses dois efeitos, torna possível o estudo das propriedades das ondas, como no caso do experimento de difração de fenda dupla. Neste experimento, a luz proveniente de uma fonte monocromática e coerente é difratada por duas fendas muito finas, paralelas, separadas por uma distância conhecida, produzindo uma figura de interferência (máximos e mínimos de interferência) em um anteparo perpendicular e distante às fendas conforme mostrado na Figura 1.

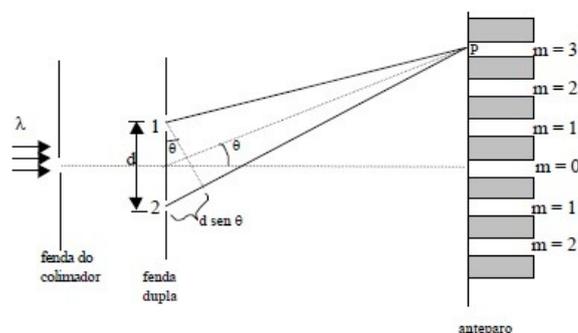


Figura 1: Representação esquemática do experimento de fenda dupla e do padrão de interferência gerado no anteparo. Fonte: Souza (2019).

A partir de medidas simples, como da separação entre as fendas d , do ângulo θ , e a

ordem da interferência m , podemos facilmente determinar o comprimento de onda (?). Essa determinação está quantificada nas Equações 1 e 2, aplicadas às condições de máximos e mínimos de interferência, respectivamente.

interferência construtiva

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

interferência destrutiva

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

É interessante notar que a partir da determinação do comprimento de onda, do conhecimento da velocidade da luz, podemos relacionar outras grandezas como a energia do fóton, o momento linear, a frequência da onda, dentre outras grandezas físicas. Em particular, aplicando esses conceitos ao estudo das ondas eletromagnéticas na faixa do visível, podemos associar as cores aos comprimentos de onda e à frequência, de modo a possibilitar a quantificação dos comprimentos de onda presentes na luz emitida por uma determinada fonte.

Neste sentido, o uso de estações experimentais, como espectrômetros e espectrofotômetros, tem auxiliado para o estudo das radiações eletromagnéticas provenientes de diferentes fontes, monitorando os comprimentos de ondas e/ou frequências, bem como a intensidade com que esses sinais foram emitidos, possibilitando uma compreensão melhor da composição da radiação emitida. Em sua pesquisa, Squissatto (2018) descreve uma proposta para a confecção e o uso de um fotômetro aplicado ao estudo das propriedades da luz no ensino médio. Neste trabalho, o autor descreve como a luz interagem com diferentes materiais, analisando para tanto, a intensidade da luz transmitida por diferentes materiais. Para isso, foram utilizados comprimentos de onda específicos (vermelho, verde e azul), incidindo sobre amostras, avaliando a influência da concentração de diferentes corantes na resposta da intensidade do sinal transmitido pelas amostras. Nesta construção, dentre outras coisas, foi utilizado um sensor de intensidade luminosa LDR, acoplado à plataforma Arduino, permitindo a calibração e obtenção de um sinal de tensão proporcional à intensidade do sinal transmitido.

Cabe destacar que propostas para o ensino das propriedades da luz, como as apresentadas por Squissatto (2018) e Morais (2018), permitem o estudo e análise de fenômenos físicos ligados a natureza da luz presentes em diferentes áreas do conhecimento das ciências, Física, Química, Biologia, colaborando com o aumento da gama de experimentos que os professores serão capazes de realizar nas aulas, bem como com melhorias significativas no processo ensino-aprendizagem.

Tendo por base os apontamentos acima descritos, na sequência apresentamos os detalhes acerca da confecção e do uso de um espectrômetro que opera na faixa do visível, produzido a partir de materiais de baixo custo e fácil acesso, capaz de medir a intensidade de sinais transmitidos por diferentes materiais em diferentes comprimentos de onda.

III. ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

A partir de uma pesquisa bibliográfica que visava avaliar as propostas e contribuições para o ensino das propriedades da luz na Educação Básica, foi possível observar a carência de trabalhos que propuseram o estudo sobre radiação eletromagnética, em especial a luz visível, permitindo a quantificar suas propriedades. (MAGGIONI, 2022).

Sendo assim, a partir da utilização de materiais de baixo custo e de fácil aquisição, foi possível desenvolver um espectrômetro que opera na faixa do visível, voltado ao ensino das propriedades da luz e da interação com a matéria na Educação Básica. Para tanto, foram utilizados lasers de baixa potência nas cores verde e vermelha, além de diodos emissores de luz LED - de alto brilho, com 5 mm, nas cores vermelha, amarela, verde e azul, como fontes luminosas monocromáticas e coerentes.

A luz proveniente dessas fontes foi colimada por uma fenda de 0,3 mm de espessura, para na sequência atravessar uma grade de difração de 1000 fendas/mm responsável por promover a difração do feixe incidente. A partir dessa difração, uma figura de interferência construtiva de primeira ordem foi projetada e ajustada ao tamanho do sensor óptico TSL 1401, capaz de determinar a intensidade do sinal luminoso em função do ângulo de espalhamento. Cabe ressaltar que o ajuste de todos esses componentes ocorreu por meio de uma base metálica na qual suportes magnéticos alinhavam os componentes conforme indica a Figura 2. Ao conectar o sensor óptico ao Arduino Uno, um algoritmo² promove a interface entre a medida da intensidade do sinal luminoso em cada parte do sensor relacionando ao comprimento de onda, proporcional ao ângulo de espalhamento da luz, representando esses dados em um display LCD que indica a intensidade em função do comprimento de onda medido.

Por meio da Figura 2, podemos visualizar com detalhes os componentes envolvidos no desenvolvimento do espectrômetro. Desta forma, torna-se possível determinar a intensidade e o comprimento de onda da luz visível emitida por diferentes fontes. Cabe destacar que no espaço disponível entre a fenda e a fonte, é possível introduzir uma amostra de um material semitransparente, podendo avaliar a influência de diferentes comprimentos de onda sobre o sinal luminoso transmitido ou absorvido pela amostra.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De uma maneira análoga àquela proposta Thomas Young, em 1801, na qual explicou as características da difração da luz em um arranjo de fenda dupla, apresentamos neste trabalho os passos e materiais necessários para a montagem um arranjo experimental um espectrômetro - voltado ao ensino das propriedades da radiação eletromagnética na faixa do visível, capaz de determinar a intensidade e dos comprimentos de onda presentes em um feixe de luz. Para tanto, ao invés da luz ser difratada ao atravessar duas fendas, foi utilizada uma grade de difração de 1000 fendas/mm capaz de difratar a luz e promover sua interferência sobre um sensor TSL 1401, composto por 128 fotodiodos capazes de serem excitados em quaisquer comprimentos de onda no espectro visível. Neste sentido, as intensidades dos comprimentos de onda na faixa de 380 à 700 nm são determinadas pelo

²Disponível em: <<https://github.com/danielmaggioni/Espectrofotometro>>.

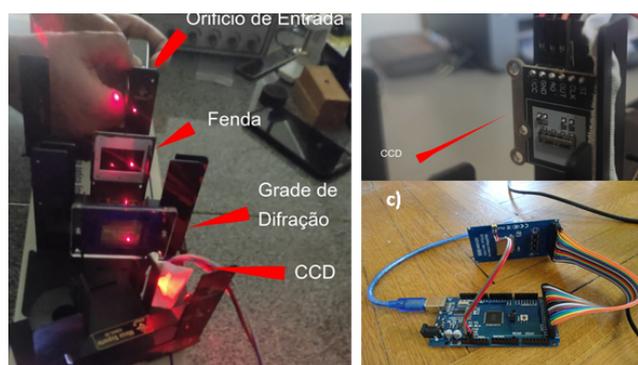


Figura 2: Representação dos componentes e da montagem do espectrômetro. O percurso realizado pelo feixe de luz através dos componentes, em a), com detalhes para o sensor, em b) e para o controle e processamento de sinal (Arduino + display) em c). Fonte: Aatoria própria (2023).

conjunto de fotodiodos, em uma escala linear, resultando portanto, em uma imprecisão intrínseca de 2,5 nm/fotodiodo.

O arranjo experimental foi montado de maneira que o aluno pudesse identificar a função de cada um de seus componentes como parte integrante de todo o processo envolvido na determinação da intensidade e dos comprimentos de onda presentes em um sinal luminoso. Para tanto, o experimento necessita ser conduzido em um local com baixa luminosidade, de modo a minimizar a influência das fontes luminosas externas.

Outro fator importante para garantir o bom funcionamento do arranjo experimental está relacionado à calibração. Nesta etapa é ajustado o alinhamento das diferentes partes do espectrômetro. O primeiro passo consiste em alinhar a fonte luminosa com a fenda e com a grade de difração, garantindo neste processo, que qualquer feixe luminoso possa incidir sobre a grade de difração com a mesma orientação. Cabe lembrar que a grade de difração poderia ser substituída por um pedaço de CD ou DVD devidamente depilado. O segundo passo consiste em alinhar o sensor TSL 1401 com a posição do feixe de luz difratado de comprimento de onda conhecido. Para tanto, foram utilizados 2 lasers, um vermelho (5 mW e 640 nm) e outro verde (5 mW e 532 nm), de modo a garantir que os máximos de primeira ordem da figura de interferência fossem capazes de excitar os fotodiodos correspondentes à região do comprimento de onda do feixe conforme mostrado na Figura 3.

É interessante lembrar que quanto maior o comprimento de onda incidente, maior será o ângulo de detecção do sinal. Portanto, sinais de luz próximos do vermelho serão captados pelos fotodiodos mais afastados do feixe incidente, ao passo que comprimentos de onda próximos do azul serão captados com ângulos de difração menores, pelos fotodiodos mais próximos do feixe incidente. Nas Figuras 3 b) e 3 c), podemos observar a medição de dois sinais verde e vermelho, respectivamente.

Com o objetivo de ajustar a amplitude do sinal medido pelo sensor TSL 1401, um controle externo foi implementado, de modo a permitir o aumento ou a diminuição do número de coletas de dados, no qual cada fotodiodo passa a integrar seus sinais a cada ciclo de medidas, representando ao final o gráfico da intensidade luminosa pelo comprimento de onda. A Figura 4 mostra com detalhes o circuito elétrico que conecta a placa de prototipagem Arduino Uno ao sensor TSL 1401, ao controle de intensidade do sinal, em a), e ligação do

display LCD, em b).

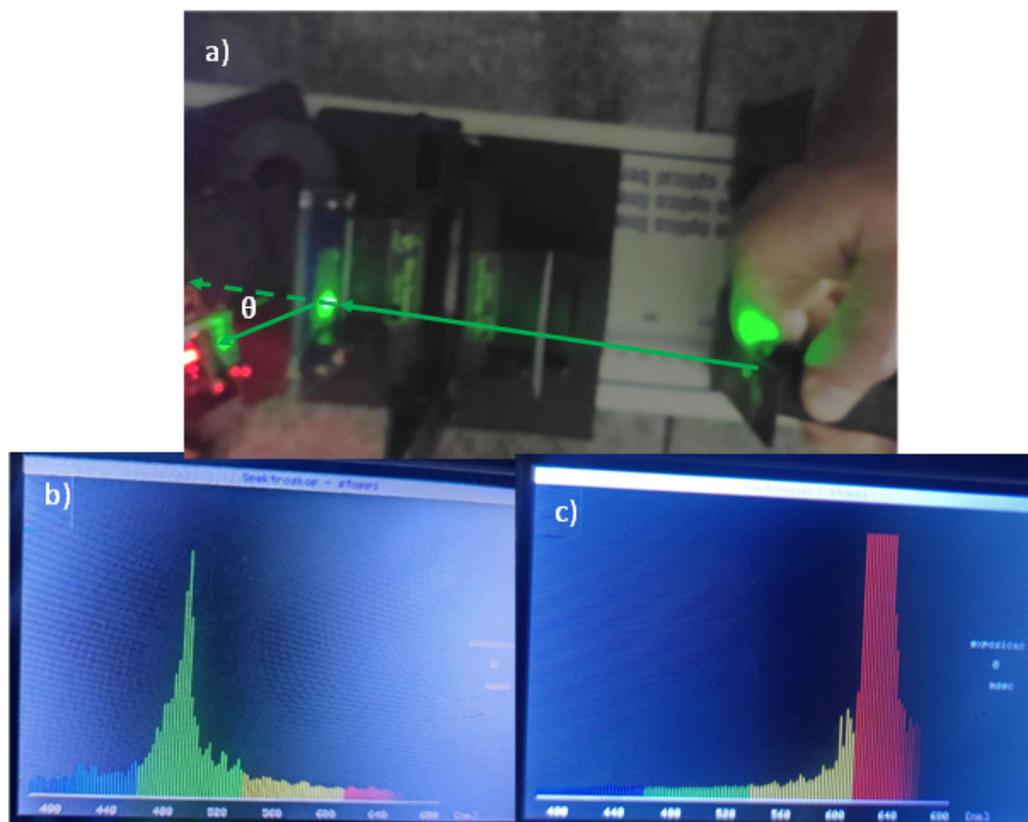


Figura 3: Imagem mostrando o processo de medição de sinais luminosos com diferentes comprimentos de onda. Representação do caminho percorrido pelo feixe, em a) e da medida indicada no display LCD em b) e c). Fonte: Autoria própria (2023).

Os detalhes acerca do algoritmo implementado para automatizar a coleta dos dados, gerando gráficos da intensidade do sinal luminoso em função do comprimento de onda, podem ser encontrados no repositório GitHub, acessando o link: <https://github.com/danielmaggioni/Espectofotometro>

Para além da determinação das intensidades e comprimentos de onda presentes em um feixe de luz incidente, por meio deste arranjo experimental, podemos avaliar a interação da luz com diferentes materiais semitransparentes, analisando a atenuação da fração do sinal transmitido pela amostra, considerando fontes de luz com diferentes comprimentos de onda.

Neste sentido, este arranjo experimental apresentado neste trabalho permite conduzir o estudo da interação da luz com diferentes amostras, gerando um contexto interdisciplinar que pode permear pelas disciplinas de Química e Biologia, auxiliando com melhorias no processo de ensino-aprendizagem.

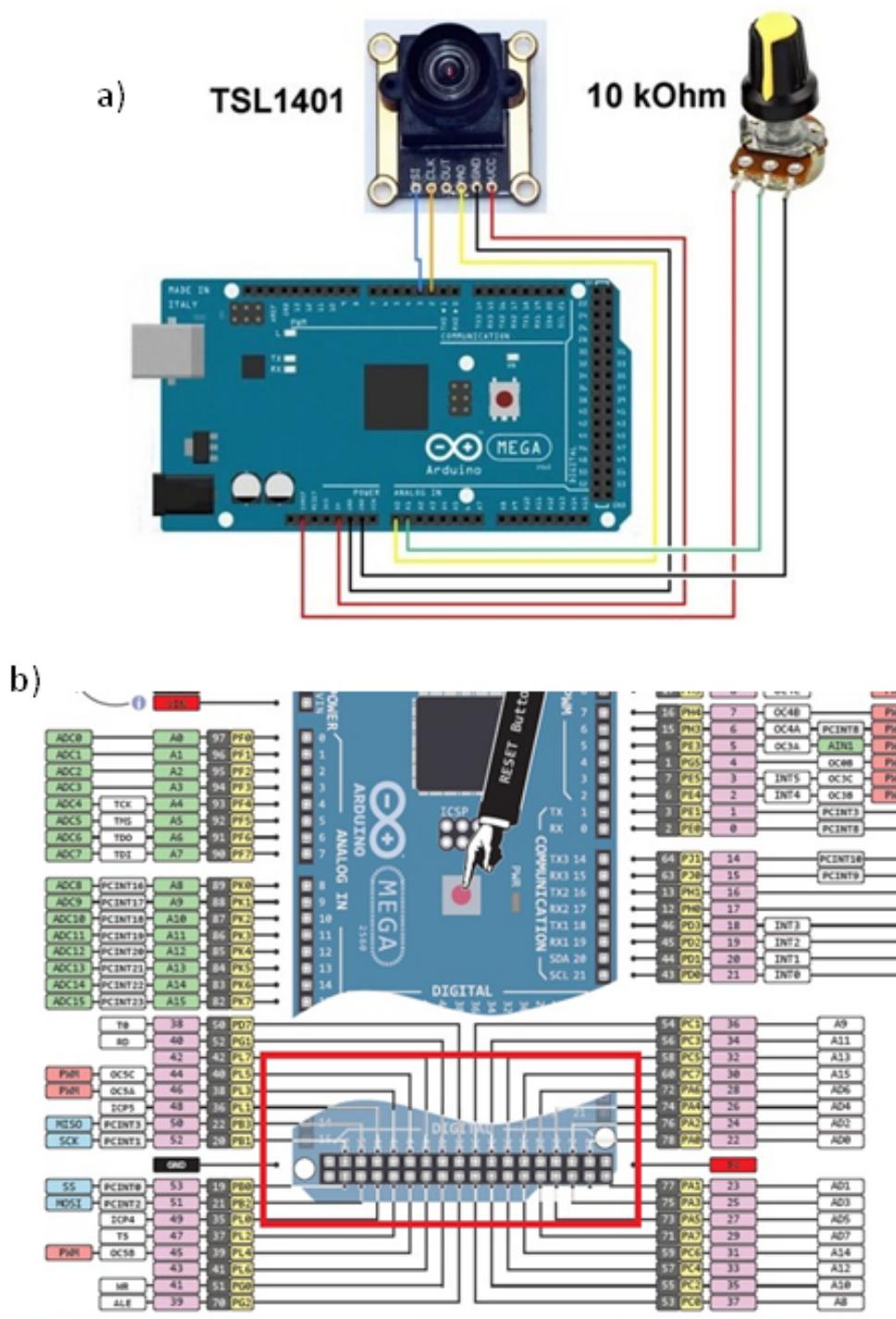


Figura 4: Representação esquemática do circuito elétrico entre a placa Arduino e o sensor TSL 1401 com o ajuste de amplitude, em a) e o display LCD em b). a) disponível em: <<https://content.instructables.com/FHF/GTAA/JU6S4I1S/FHFGTAAJU6S4I1S.jpg>> b) disponível em: <<https://europe1.discourse-cdn.com/arduino/original/4X/2/8/c/28c04a8f3b8de0771492f1a8ad844eca6212afa7.png>>. Acesso em 23 de agosto de 2023.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, apresentamos uma proposta para a montagem de um espectrômetro que opera na faixa do visível, composto por componentes de baixo custo e de fácil acesso, destinado ao estudo da luz e de suas propriedades no ensino médio. Trata-se de uma parte da pesquisa de mestrado, que ainda está em andamento e visa avaliar as contribuições e limites para o ensino das propriedades da luz na Educação Básica.

A partir da conclusão desta pesquisa de mestrado pretendemos disponibilizar aos professores um material paradidático que seja capaz de envolver ativamente os alunos no processo de ensino-aprendizagem, proporcionando maior autonomia e gerando alunos capazes de questionar e levantar hipóteses, contribuindo para uma abordagem mais interdisciplinar no ensino das propriedades da luz e na interação com diferentes materiais.

REFERÊNCIAS

CACHAPUZ, Antônio. et al. *A Necessária renovação do ensino das ciências*. São Paulo, Cortez, 2005. ISBN 85-249-1114-X.

CATELLI, Francisco; GIOVANNINI, Odilon; OLIVEIRA, Suzana França de. Espectrômetro amador: quantificando comprimentos de onda. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 34, n. 3, p. 951-970, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n3p951>.

FERREIRA, Norberto C.; ALVES FILHO, José de Pinho. Espectrômetro óptico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 2, n.1, p. 31 - 36, 1985.

FLECK, Jeferson Albino. *A Interação Radiação-Matéria e os Processos Reativos: Uma Sequência Didática Significativa para o Ensino Médio*. 2020. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí, 2020.

GARCIA, Nilson Marcos Dias; KALINOWSKI, Hypolito Jose. Um espectroscópio simples para uso individual. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 11, n.2, p. 332 - 338, 1994.

GUIMARÃES, Fernando Feliciano. Proposta de sequência didática para o estudo da radiação do corpo negro no ensino médio. 2018. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física*. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009. 4 v. ISBN 9788521616054.

KLEPPNER, Daniel. Relendo Einstein Sobre Radiação. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 87 - 91, 2004.

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, v. 32, n. 1, 1506, 2010.

MAGGIONI, Daniel; DEIMLING, Natalia Neves Macedo; DEIMLING, Cesar Vanderlei. O ensino da espectroscopia uv-vis na educação básica: considerações iniciais. *Vitruvian Cogitationes*. v. 3, n. 2, p. 269-278, 2022, ISSN 2675-9616.

MORAIS, Donizete Torres de. Estudo de ondas na perspectiva da aprendizagem significativa com a construção de um espectrômetro. 2018. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

MOREIRA, Marco Antônio. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. *Revista do Professor de Física*, 2017;1(1):1-13.

OLIVEIRA, Rilavia Almeida de; SILVA, Ana Paula Bispo da. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 36, n. 4, 4603 2014.

PINTO, A. Custódio; ZANETIC J.. É possível levar a física quântica para o ensino médio? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, n.1, p. 7 - 34, 1999.

SAVIANI, Dermeval. *Escola e Democracia*. 32. ed., Campinas, SP: Autores Associados, 1999, 105p.

SEARS, Francis Weston; ZEMANSKY, Mark Waldo; YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. *Física*. 14. ed. São Paulo, SP: Pearson Education do Brasil, 2016. 4v. ISBN 9788543005683 (v.1).

SOUZA, Damião Franceilton Marques de; et. al. Física óptica experimental - determinando o comprimento de onda através do experimento de duplas fendas. *Anais do Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências*, 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO_EV126_MD1_SA7_ID923_28062019182224> .pdf. Acesso em 22 de agosto de 2023.

SQUISSATTO, Anderson Graziane de Moura. Construção explicação de um fotômetro para o ensino da absorção da luz. 2018. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

TIPLER, Paul Allen; MOSCA, Gene. *Física: para cientistas e engenheiros*. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009. 3 v. ISBN 9788521617105.