

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL MAGGIONI DE SOUZA

ESPECTROSCOPIA DA LUZ NA EDUCAÇÃO BÁSICA

CAMPO MOURÃO

2025

DANIEL MAGGIONI DE SOUZA

ESPECTROSCOPIA DA LUZ NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Ligth spectroscopy in basic education

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física – Polo 32, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling
Coorientador(a): Prof^aDr^a Natalia Neves
Macedo Deimling

CAMPO MOURÃO

2025



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão



DANIEL MAGGIONI DE SOUZA

ESPECTROSCOPIA DA LUZ NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ensino De Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Física Na Educação Básica.

Data de aprovação: 14 de Fevereiro de 2025

Dr. Cesar Vanderlei Deimling, Doutorado - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná Dr. Gilson Junior Schiavon, Doutorado -
Universidade Tecnológica Federal do Paraná Dr. Ronaldo Celso
Viscovini, Doutorado - Universidade Estadual de Maringá (Uem)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 14/02/2025.

**Dedico este trabalho a todos os professores de Física
que incansavelmente procuram novas formas de
trazerem os saberes mais atuais aos seus alunos.**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas e instituições que tornaram possível a realização deste trabalho de dissertação. Este projeto representa o resultado de esforços coletivos e colaboração, e por isso, quero estender meu sincero agradecimento a:

Meu orientador Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling, cuja orientação sábia, insights valiosos e apoio constante foram fundamentais para a conclusão bem-sucedida desta dissertação.

A Minha Coorientador a Professora Dr^a Natalia Neves Macedo Deimling, por sua contribuição valiosa e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, (MNPEF) da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná), pelas suas contribuições e ensinamentos no decorrer do curso, as quais muito contribuíram para o meu aperfeiçoamento e crescimento na área das Ciências.

Minha família e amigos, que sempre me apoiaram durante esta jornada desafiadora.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, o meu mais profundo agradecimento. Este é um marco significativo, e sou grato pela oportunidade de crescer academicamente e pessoalmente ao longo deste percurso.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

RESUMO

Visando colaborar na superação de alguns problemas envolvendo o ensino da Física moderna em sala de aula, neste trabalho elaboramos, desenvolvemos e avaliamos um produto educacional aplicado ao estudo das ondas eletromagnéticas e suas propriedades, em especial, os fenômenos de interferência e difração, considerando comprimentos de ondas na faixa do espectro visível. Para tanto, um plano de unidade e um espectrômetro de baixo custo baseado na plataforma Arduino foram desenvolvidos. Nosso produto tem como objetivo específico levar para dentro da sala de aula uma proposta para o ensino de ondas eletromagnéticas que possa ser desenvolvida com baixo custo, de fácil implementação e articulável com outras áreas do conhecimento. Com isso, esperamos disponibilizar uma possibilidade para implementação de experimentos multidisciplinares com um equipamento acessível às escolas, cabendo ao professor adotá-los e adequá-los às suas necessidades. Por meio da interação dos estudantes com o produto educacional, pudemos notar um aumento na interação e no envolvimento dos alunos com o conteúdo, bem como uma melhoria na compreensão dos conceitos abordados. Também foi possível verificar que a abordagem discutida neste trabalho permitiu uma aprendizagem mais significativa e uma maior conexão entre a teoria e a prática, contribuindo para um melhor desempenho escolar e uma maior motivação dos estudantes em relação aos estudos de Física.

Palavras-chave: ensino de Física; ondas eletromagnéticas; interferência; espectro visível.

ABSTRACT

Aiming to contribute to overcoming some issues regarding the teaching of modern Physics in the classroom, this work presents the development of an educational product applied to the study of electromagnetic waves, their properties, especially interference and diffraction phenomena, for wavelengths in the visible spectrum. For this purpose, a content plan and a low-cost spectrometer based on the Arduino platform were developed. Our product aims to bring a proposal for teaching electromagnetic waves into the classroom, which can be implemented at low cost, easily implemented, and articulated with other areas of knowledge. Thus, we hope to provide a possibility for the implementation of multidisciplinary experiments with low-cost equipment in schools, allowing teachers to adopt them or adapt them to their needs and reality. Through the interaction of students with the educational product, we noticed an increase in students' interaction and engagement with the content, as well as an improvement in the understanding of the concepts addressed. It was also possible to verify that the approach discussed in this work allowed more meaningful learning and a greater connection between theory and practice, contributing to better academic performance and increased student motivation in relation to Physics studies.

Keywords: physics teaching; electromagnetic waves; interference visible spectrum.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	08
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1	O ensino de Física na perspectiva da Pedagogia Histórico-Crítica.....	12
2.2	A interação da luz com a matéria.....	18
2.3	A Física da espectroscopia.....	24
2.4	A espectroscopia na educação básica.....	48
2.4.1	Importância da espectroscopia na educação básica.....	48
3	MÉTODO E PROCEDIMENTO.....	53
3.1	O espectrômetro.....	54
3.2	Procedimentos de coleta e construção/dados.....	62
3.3	Perfil da escola e da turma.....	65
3.4	Procedimentos de análises dos dados.....	66
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	68
4.1	O processo de intervenção pedagógica.....	69
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
	REFERÊNCIAS.....	94
	APÊNDICE A - Questionário de pesquisa.....	99
	APÊNDICE B - Termo de consentimento.....	100
	APÊNDICE C - Roteiro para construção do de uma grade difração.....	102
	APÊNDICE D - Código fonte.....	104
	APÊNDICE E - Produto educacional.....	108

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta os resultados obtidos a partir de uma pesquisa de mestrado, no qual foi elaborado, desenvolvido e avaliado as contribuições e limites de um produto educacional aplicado ao ensino de alguns fenômenos de Física moderna em específico da interação da luz visível com a matéria, na educação básica. Para tanto, foi desenvolvido um espectrofotômetro, utilizando a arquitetura Arduino, considerada uma eletrônica embarcada de baixo custo. Além dessa ferramenta, foi desenvolvida e avaliada uma unidade conteúdo que permitiu o estudo de alguns fenômenos físicos presentes no cotidiano dos estudantes, utilizando atividades práticas ao longo do processo.

No entanto, visando assegurar as condições necessárias para o bom desenvolvimento das atividades educacionais, alguns problemas e fatores limitantes devem ser superados. Considerando a realidade educacional Brasileira, as dificuldades de aprendizagem da Física ao longo do ensino médio, muitos trabalhos descritos em artigos, dissertações e teses já foram e continuam sendo alvos de discussões por pesquisadores, que em sua maioria apontam problemas relacionados com as dificuldades na leitura, com a interpretação de textos e com a utilização da matemática básica, gerando por vezes limitações e complicações no ensino de Física (Moreira, 2017).

A Física ensinada no ensino médio compõe o campo das ciências exatas que está em constante desenvolvimento, impulsionado pelos pesquisadores e cientistas. Nesta fase da escolarização mantêm-se predominante o instinto observador e investigativo dos fenômenos ocorridos no cotidiano, contudo, mudanças significativas - em especial aquelas atreladas a chegada no novo ensino médio - têm trazido preocupações na forma como o ensino vem ocorrendo, e foram reportadas ao longo de muitos trabalhos, como o descrito por Dermeral Saviani.

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 (Saviani, 2009, p. 11-12).

Diante dos diferentes papéis atrelados aos professores e aos alunos ao longo do tempo e por meio das diferentes tendências pedagógicas torna-se relevante e fundamental o papel enfático das governanças, no planejamento e desenvolvimento de projetos para a educação, em seus diferentes níveis de ensino, que independam dos interesses momentâneos de uma gestão específica e possam contribuir com melhorias nas condições necessárias para o desenvolvimento de práticas docentes que aumentem a qualidade da educação e do desenvolvimento humano.

Sabemos que são muitos os desafios aplicados ao ensino de Física no Brasil, em especial nas escolas públicas, que nem sempre possui laboratórios ou equipamentos necessários para experimentação no ensino de Física. Neste cenário, entendemos que dois desafios presentes na formação dos estudantes merecem atenção: 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 usando ferramentas e métodos contemporâneos. (Zanetic, 2005).

Os avanços da Física no último século possibilitaram a revolução tecnológica que vivemos hoje, de modo que não faz sentido ficarmos presos apenas a Física do século XV e século XVI. Os novos fenômenos estudados por essa visão contemporânea de mundo também deve ser palco de estudo para o ensino médio (Perez, 1987).

Neste contexto, o papel do professor no ensino dos conteúdos mais atuais de Física é fundamental para o sucesso dos estudantes, tornando-se necessário planejar as formas e mecanismos utilizados para tal. Para tanto, um aspecto importante é a qualificação deste professor para garantir sucesso na formação dos estudantes. Atualmente a Física encontra-se muito longe de ser a disciplina destaque em grande parte das escolas públicas e privadas, devido ao elevado níveis de desinteresse dos alunos para com as aulas. Faz-se então necessário o uso de estratégias e recursos que possam inovar a forma como o ensino de Física vem sendo oferecido. Essa mudança não deve tratar os conceitos físicos apenas como uma mera curiosidade, mas sim, possibilitando explicar, fundamentar e quantificar - com o ferramental matemático apropriado - diversos tipos de fenômenos, constituindo uma nova visão sobre os temas abordados, com isso, transformando-se em uma disciplina que possa suprir as mais diversas necessidades que venham a aparecer no seu dia a dia, dentro e fora da sala de aula (Pinto, 1999).

Considerando essas inquietações, neste trabalho apresentaremos ao leitor uma forma alternativa e motivadora para compreender, de modo quantitativo, a natureza da radiação eletromagnética, em especial na faixa de comprimentos de onda da luz visível. Para tanto, partiremos das concepções da natureza dual da luz, ou seja, que a luz pode ser descrita tanto como partícula quanto como onda. Ela se propaga como uma onda eletromagnética, interferindo e difratando ao encontrar obstáculos com dimensões comparáveis ao seu comprimento de onda. No entanto, ao interagir com a matéria, sua energia é quantizada e pode ser absorvida ou emitida em forma de fótons, evidenciando seu comportamento corpuscular.

O produto educacional descrito neste trabalho, permite a interação mais próxima dos estudantes com os conteúdos práticos, em especial aqueles relacionados com o desenvolvimento de um espectrômetro de baixo custo. Essa ferramenta é o ponto focal para a análise visual dos fenômenos físicos relacionados ao estudo da luz e sua interação com a matéria, apresentando-os por meio de aulas cuidadosamente elaboradas. Nosso objetivo é proporcionar ao professor a autonomia e dinamismo necessários para ministrar aulas de Física, fundamentadas em nosso produto.

Este trabalho segue organizado da seguinte maneira: No Capítulo 2, será discutido o referencial teórico da pedagogia histórico-crítica de modo a fornecer uma base teórica para a abordagem educacional adotada neste estudo. Também serão discutidos os embasamentos teóricos, fenômenos físicos relacionados à espectroscopia, com foco na interação da radiação com a matéria, especialmente considerando o espectro da luz visível. Por fim, serão apresentados os principais apontamentos e resultados obtidos a partir do levantamento dos trabalhos científicos que discutem o ensino da espectroscopia, em especial na educação básica.

O Capítulo 3 abordará a metodologia e os procedimentos empregados no desenvolvimento e implementação do produto educacional. Posteriormente, no Capítulo 4 serão apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir dessa pesquisa, relacionando-os com o referencial teórico adotado. Por fim, no Capítulo 5 serão pontuadas as considerações finais derivadas do estudo, evidenciando suas contribuições e limitações para o ensino de Física na educação Básica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Pedagogia Histórico-Crítica (PHC), proposta por Dermeval Saviani, fundamenta-se no materialismo histórico-dialético e nas ideias de Gramsci, Vigotski e outros autores, defendendo a necessidade de revisar o ensino à luz da pedagogia social. No contexto do Ensino de Física, essa abordagem enfatiza a importância de socializar o conhecimento científico acumulado historicamente, contribuindo para a superação das desigualdades sociais.

A PHC defende que a educação deve ser significativa, conectando os conhecimentos de Física às experiências cotidianas dos alunos e aos desafios sociais enfrentados por eles. Nesse sentido, o ensino de Ciências deve ir além da mera transmissão de conteúdos, promovendo a aplicação prática e crítica dos saberes. A abordagem busca, assim, formar cidadãos capazes de transformar a realidade a partir da compreensão e aplicação dos conceitos científicos.

2.1 O ensino de Física na perspectiva da Pedagogia Histórico-Crítica

A Pedagogia histórico-crítica (PHC), teoria elaborada em meados dos anos de 1970 por Dermeval Saviani é fundamentada no materialismo histórico dialético de Marx e Engels, Saviani (2011), e nas ideias defendidas por Gramsci, além de se aproximar, em muitos aspectos, da teoria Histórico-Cultural de Lev S. Vigotski e de autores como Krupskaya e Pistrak (2008, p. 24) para os quais “todo o ensino deve sofrer uma revisão de valores sob a luz da pedagogia social”.

Segundo Souza (2017), nas últimas décadas o Ensino de Ciências vem tentando acompanhar o ritmo de desenvolvimento tecnológico no qual a sociedade está imersa, tendo como consequência dessa dinâmica, o surgimento de novas propostas de ensino. Nesse sentido, as contribuições da PHC se tornam importantes, uma vez que esta teoria acredita que o papel da escola é o de socializar o conhecimento filosófico/científico produzido e acumulado historicamente pela humanidade. Saviani (2008) aponta a necessidade do desenvolvimento de uma educação comprometida com os problemas

sociais, argumentando que o papel da escola é o de socializar o conhecimento cultural, por meio do ensino, aos excluídos socialmente, contribuindo para a sua superação.

Para Saviani (2008), a educação tem responsabilidades para com os frutos do trabalho humano, pois é neste processo que nossa espécie modifica sua realidade em prol das necessidades. A abordagem pedagógica dessa teoria também destaca a importância de uma educação que seja significativa e relevante para a vida dos alunos, conectando os princípios da Física com suas experiências cotidianas e desafios sociais. Isso pode envolver o uso de exemplos do mundo real, estudos de caso e projetos de investigação que permitam aos alunos aplicarem os conceitos de Física para entender e abordar questões relevantes em suas comunidades.

Segundo Saviani (2011), enquanto na pedagogia tradicional os educandos são considerados como indivíduos abstratos e na pedagogia moderna os indivíduos são considerados indivíduos empíricos, lhes sendo atribuída centralidade no processo educativo em função de sua questionável originalidade, criatividade e autonomia, na PHC os alunos são tomados como indivíduos concretos, constituídos por uma multiplicidade de relações e determinações numerosas. Logo, o que é do interesse deste aluno concreto diz respeito às condições em que se encontra. Deste modo, deve ser considerado o contexto vivenciado por este estudante, tanto em termos históricos, quanto em termos sociais. Ressalta ainda, que é para esse aluno concreto que o professor deverá fazer uso de ferramentas e métodos de ensino que possibilitem a assimilação dos conhecimentos, de modo a promover o desenvolvimento humano do indivíduo.

Nessa perspectiva, qual seria, então, o papel do professor e do aluno na escola na visão da pedagogia histórico-crítica? Ambos, alunos e professores, são agentes sociais que se diferenciam no ponto de partida do processo educativo em relação ao conhecimento/objeto de ensino.

A PHC, segundo Saviani (2011), aponta um método pedagógico para a prática escolar organizado em momentos articulados que terão peso e duração de acordo com as situações específicas em que se desenvolve a prática pedagógica. Neste sentido, Gasparin (2012) descreve uma proposta para implementação da PHC baseada em 5

momentos: 1º momento - prática social inicial; 2º momento – problematização; 3º momento – instrumentalização; 4º momento - catarse; 5º momento - prática social final. Esses momentos, de acordo com Saviani (2011), têm a função de estimular a atividade e iniciativa dos alunos sem abrir mão da iniciativa do professor. Também poderão favorecer o diálogo dos alunos entre si e com o professor, levando em conta os interesses dos alunos, os ritmos de aprendizagem e o conhecimento, mas sem perder de vista a importância dos conteúdos em seus diferentes aspectos – social, cultural, econômico, científico, dentre outros, historicamente acumulados.

Na sequência, traremos alguns apontamentos sobre cada um desses momentos pedagógicos. O primeiro momento – a prática social inicial - é comum tanto ao professor quanto ao aluno, porém, cada sujeito pode se posicionar de modos diferentes, uma vez que tanto um quanto o outro são agentes sociais com experiências distintas. Dessa forma, o primeiro passo implica em partir do saber, do conhecimento que o aluno já possui sobre o conteúdo, ou seja, a partir de sua compreensão inicial sobre a prática social.

O professor precisa ser aquele que instiga que desafia o aluno a aprender. Nesse sentido, de acordo com Gasparin (2003, p.17) o docente precisa ter a sensatez de observar os conhecimentos que os alunos já possuem, para assim conseguir ampliá-los. Do ponto de vista pedagógico, existe uma diferença que para Saviani (2011) não pode ser perdida de vista, uma vez que o professor está de um lado e o aluno de outro, ambos em níveis diferentes de compreensão da prática social.

O segundo momento – a problematização - consiste em selecionar e discutir os problemas que têm sua origem a partir do primeiro momento, ou seja, da prática social. Os alunos precisam entender que para aprender é preciso questionar, investigar, refletir, ir ao fundo para encontrar um caminho que possa solucionar as questões que foram levantadas e que permeiem a prática social.

Para Gasparin (2003, p.36), as dúvidas surgidas neste momento serão mediadas pelo educador que dará um tratamento mais amplo possibilitando, assim, que os educandos entendam tais problemas em suas diferentes dimensões e busquem a solução com base no conhecimento científico.

No terceiro momento – a instrumentalização - são desenvolvidas ações didático-pedagógicas que possibilitem aos educandos a apropriação do conhecimento historicamente produzido a respeito de determinado tema. Aqui os conteúdos selecionados são transmitidos aos estudantes numa perspectiva dialogada, crítica, e totalizadora a partir de diferentes métodos, recursos e estratégias, permitindo a ação tanto do professor quanto dos alunos no processo de ensino-aprendizagem. É nesta fase que acontece a aprendizagem propriamente dita, isto é, o conhecimento passa do momento empírico ao concreto refere-se a internalização e apropriação do conhecimento.

O quarto momento a – catarse, refere-se a apropriação do conhecimento. Segundo Gasparin (2002), vivemos constantemente com a catarse na aprendizagem, na qual a operação fundamental é a síntese. Uma vez que os conteúdos e seus processos de construção são incorporados, chega-se ao momento em que o aluno será solicitado a demonstrar o quanto e o como atingiu os objetivos traçados no início do trabalho. Em resumo, esta é a fase em que o aluno sintetiza e manifesta o que aprendeu, inclusive por meio de atividades avaliativas. Trata-se de saber articular o cotidiano, o científico, o teórico e o prático. De acordo com Gasparin (2002), a catarse refere-se:

A expressão elaborada de uma nova forma para entender a teoria e a prática social. Ela se realiza: a) por meio da nova síntese mental a que o educando chegou; manifesta-se através da nova postura mental unindo o cotidiano ao científico em uma nova totalidade concreta no pensamento. Neste momento o educando faz um resumo de tudo o que aprendeu, segundo as dimensões do conteúdo estudadas. É a elaboração mental do novo conceito do conteúdo; b) esta síntese se expressa através de uma avaliação oral ou escrita, formal ou informal, na qual o educando traduz tudo o que aprendeu até aquele momento, levando em consideração as dimensões sob as quais o conteúdo foi tratado (Gasparin et al, 2012, p.10).

A síntese, de acordo com Gasparin (2003) se faz necessária, pois demonstra o grau de assimilações dos novos conteúdos. Este é o momento em que de fato os alunos se apropriam do conhecimento e conseguem de forma satisfatória expor suas ideias a

respeito do tema. Atividades avaliativas para identificar essa síntese mental podem ser realizadas de modo escrito ou oral, a partir de diferentes instrumentos. É neste momento, de acordo com o autor, que o educando é capaz de situar e entender as questões sociais postas no início do processo educativo e trabalhadas nos demais momentos, tendo em vista a compreensão do conteúdo em uma nova totalidade social, dando à aprendizagem um novo sentido.

Finalizando, o quinto momento – a prática social final - consiste no retorno à prática social, todavia, com uma diferença. No início do processo, partindo da prática social inicial, o conhecimento da realidade era baseado no senso comum, em impressões imediatas e empíricas sobre a realidade. Agora, nesta fase final, a compreensão sobre essa mesma realidade passa a ser orientada, sistematizada, sintética e crítica. Trata-se da visão de uma nova realidade – a realidade concreta, não mais empírica. A partir dessa nova compreensão, o sujeito passa a ter condições – ainda que subjetivas – de modificar e orientar suas ações para a transformação dessa realidade. Tomando como base os princípios e fundamentos da Pedagogia Histórico-crítica (PHC), as atividades propostas no produto educacional são permeadas por esses momentos pedagógicos. O objetivo é proporcionar uma compreensão mais ampla e científica da realidade aos estudantes de Física. Além disso, espera-se que, ao retornarem à prática social, os alunos não apenas compreendam essa realidade de maneira mais profunda, mas também sejam capazes de agir sobre ela utilizando os conhecimentos adquiridos durante o processo educacional. Essa abordagem pedagógica visa, portanto, não apenas transmitir informações, mas também capacitar os alunos de modo a desenvolver esses conhecimentos de forma significativa em suas vidas e em suas interações com o mundo ao seu redor.

É importante ressaltar que esses momentos não devem ser entendidos como etapas rígidas e sequenciais. Ao contrário, são momentos que se inter-relacionam dialeticamente, ou seja, a prática social inicial é retomada e superada na prática social final, de forma que o conhecimento se dá num movimento contínuo e espiralado. Essa abordagem dialética implica que os momentos do método pedagógico histórico-crítico não se dão de forma linear, mas sim em um processo de constante interação e

transformação. O desenvolvimento do conhecimento se dá pela mediação entre teoria e prática, onde cada momento se redefine e se enriquece mutuamente.

A expressão elaborada de uma nova forma para entender a teoria e a prática social. Ela se realiza: a) por meio da nova síntese mental a que o educando chegou; manifesta-se através da nova postura mental unindo o cotidiano ao científico em uma nova totalidade concreta no pensamento. Neste momento o educando faz um resumo de tudo o que aprendeu, segundo as dimensões do conteúdo estudadas. É a elaboração mental do novo conceito do conteúdo; b) esta síntese se expressa através de uma avaliação oral ou escrita, formal ou informal, na qual o educando traduz tudo o que aprendeu até aquele momento, levando em consideração as dimensões sob as quais o conteúdo foi tratado (Gasparin *et al*, 2012, p.10).

A síntese, de acordo com Gasparin (2003) se faz necessária, pois demonstra o grau de assimilações dos novos conteúdos. Este é o momento em que de fato os alunos se apropriam do conhecimento e conseguem de forma satisfatória expor suas ideias a respeito do tema.

Finalizando, o quinto momento – a prática social final - consiste no retorno à prática social, todavia, com uma diferença. No início do processo, partindo da prática social inicial, o conhecimento da realidade era baseado no senso comum, em impressões imediatas e empíricas sobre a realidade. Agora, nesta fase final, a compreensão sobre essa mesma realidade passa a ser orientada, sistematizada, sintética e crítica. Trata-se da visão de uma nova realidade – a realidade concreta, não mais empírica. A partir dessa nova compreensão, o sujeito passa a ter condições – ainda que subjetivas – de modificar e orientar suas ações para a transformação dessa realidade.

Tomando como base os princípios e fundamentos da Pedagogia Histórico-crítica (PHC), as atividades propostas no produto educacional são permeadas por esses momentos pedagógicos. O objetivo é proporcionar uma compreensão mais ampla e científica da realidade aos estudantes de Física. Além disso, espera-se que, ao

retornarem à prática social, os alunos não apenas compreendam essa realidade de maneira mais profunda, mas também sejam capazes de agir sobre ela utilizando os conhecimentos adquiridos durante o processo educacional.

Essa abordagem pedagógica visa, portanto, não apenas transmitir informações, mas também capacitar os alunos de modo a desenvolver esses conhecimentos de forma significativa em suas vidas e em suas interações com o mundo ao seu redor.

O desenvolvimento do conhecimento se dá pela mediação entre teoria e prática, onde cada momento se redefine e se enriquece mutuamente.

“A formulação da teoria pedagógica histórico-crítica se propôs a superar a posição excludente entre teoria e prática, articulando-as como uma unidade que se contrapõem entre si, dinamizando e colocando em movimento a prática pedagógica. O método da pedagogia histórico-crítica implica uma dada posição ou perspectiva do ato de ensinar: ‘aquela em que se põe o sujeito para, na sua relação com o objeto, extrair dele as suas múltiplas determinações.’”(Lavoura *et al.*(2015) p. 356).

Portanto, é crucial entender que os cinco momentos pedagógicos da metodologia histórico-crítica se articulam de maneira dialética, formando um processo dinâmico de desenvolvimento do conhecimento, que não é linear, mas sim espiralado, incorporando e superando continuamente os elementos da prática social inicial.

Nas seções abaixo, apresentaremos uma breve revisão das teorias e conceitos físicos envolvidos, bem como, dos trabalhos que abordam o assunto, dando enfoque para as aplicações destinadas à Educação Básica, seus recursos educacionais e embasamento teórico-metodológicos utilizados.

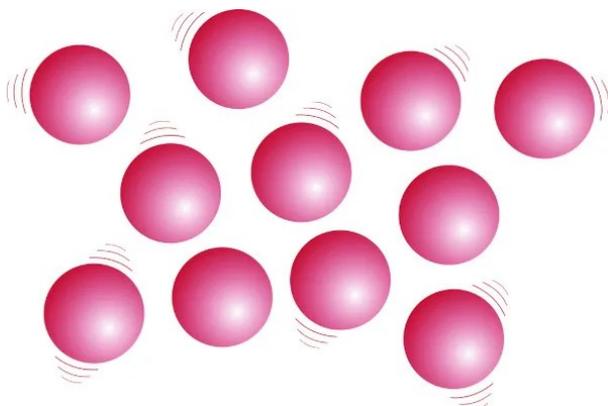
2.2 A interação da luz com a matéria

Desde a antiguidade, estudar as propriedades da matéria de modo a compreender melhor sua constituição, tem despertado fascínio e curiosidade de muitos cientistas, resultando no surgimento de diferentes áreas de pesquisa. Por volta de 400 a.C., os

filósofos gregos Leucipo e Demócrito elaboraram uma teoria rudimentar na qual a matéria poderia ser descrita por minúsculas partículas indivisíveis chamada de átomos (não divisível), introduzindo a ideia de matéria discretizada. Segundo eles, a matéria poderia ser dividida incessantemente até que chegaria em um ponto o qual não haveria mais como ser particionada, porque ela atingiria uma unidade fundamental, indivisível (Asimov, 1965; Peduzzi, 2005).

Muito mais tarde, entre os anos de 1803 e 1808, John Dalton ressurge com a teoria de Demócrito e Leucipo e formula sua teoria, onde o conceito do átomo está associado a um formato esférico, maciça e indivisível. Em seus postulados, o cientista afirmava que os átomos se diferenciavam uns dos outros por suas propriedades, em especial, a massa e o volume, mas todos os átomos do mesmo elemento químico seriam exatamente iguais entre si, como ilustrado na Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Representação de um conjunto de átomos conforme o modelo de Dalton



Fonte: brasil escola(2023)

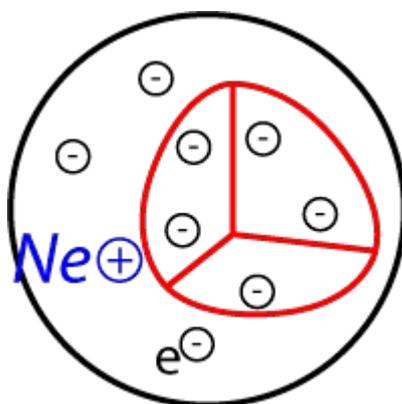
Em 1897 o físico inglês Joseph John Thomson, estudando o comportamento de diferentes gases quando confinados em um tubo e submetidos as descargas elétricas, verificou o surgimento de emissões de luz, que independiam da natureza do gás. Esse experimento ficou conhecido como o experimento do tubo de raios catódicos. O experimento consiste em colocar um gás no interior do tubo de vidro, onde a pressão pode ser diminuída por meio de uma bomba de vácuo. Aplicando uma alta diferença de

potencial (da ordem de kV) entre dois eletrodos - o cátodo positivo e o ânodo negativo - foi verificado, ao final do processo, a emissão de luz pelo gás.

Aprofundando seus estudos, foi verificado que esses raios luminosos (raios catódicos) seriam gerados por cargas negativas, que foram chamadas de elétrons. Além do mais, Thomson, em colaboração com Rutherford, conseguiu mais tarde, através do seu experimento, estabelecer uma relação entre carga e massa das partículas presentes nos raios catódicos e notando que ela era constante, não dependente na natureza do gás, concluindo então que essa partícula estaria presente na composição de qualquer tipo de matéria.

Segundo o modelo descrito por Thomson, o átomo consistiria em uma amalgama com a carga positiva, distribuída uniformemente ao longo do seu volume, e os elétrons, com cargas negativas, estariam distribuídos ao longo de seu volume, oscilando, cada qual, em torno de seu ponto de equilíbrio, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Representação do modelo de Thomson



Fonte: meteorologiaenred(2023)

Autores como Kragh (1999) e Holton (1978) fazem analogia deste modelo como se fosse um “pudim de passas”, onde a carga elétrica positiva estaria distribuída ao longo da massa do pudim e a carga negativa, os elétrons, seriam representados pelas passas.

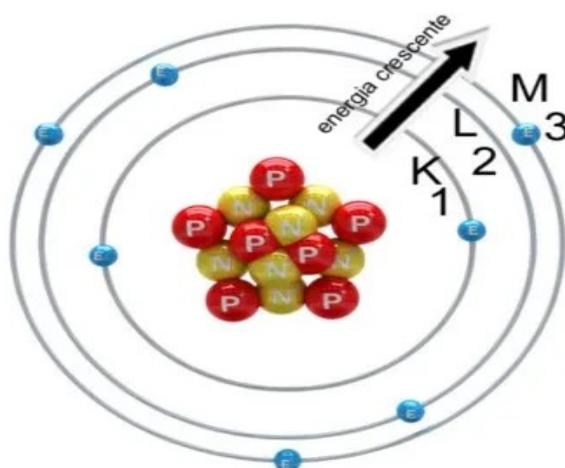
Com base nas ideias de cargas elétricas positivas e negativas, posteriormente, em 1911, o físico neozelandês Ernest Rutherford desenvolveu uma técnica para tentar

observar a estrutura do átomo utilizando como ferramenta, o desvio sofrido por uma partícula alfa (uma partícula composta por dois prótons e dois nêutrons). Rutherford direcionou partículas alfa, emitidas por uma fonte de polônio, de modo que elas colidissem com uma fina placa de ouro de espessura aproximada de 10^{-4} mm.

A escolha pelo material Ouro ocorreu em função de ser um material de baixa reatividade, alta maleabilidade e ductilidade, facilitando a confecção de finas folhas desse material.

Como resultado, era esperado que as partículas alfa atravessassem a folha de Ouro de forma retilínea, vindo a colidir ao final com um filme sensível, contudo, observou-se um desvio de algumas partículas alfa ao atravessar a folha de Ouro. Esse resultado possibilitou a Rutherford concluir que o átomo é composto por um grande vazio, cuja massa estava majoritariamente concentrada em uma pequena região, chamada de núcleo, muito denso. A partir da análise dos desvios, foi possível também concluir que o núcleo é positivo uma vez que algumas partículas alfa (positivas) foram retro espalhadas, sofrendo repulsão com os núcleos dos átomos de Ouro, possibilitando com isso, um avanço significativo na compreensão das propriedades da matéria em relação ao modelo de Thomsom. A Figura 3 apresenta uma representação do modelo de Rutherford na qual elétrons orbitam em torno do núcleo.

Figura 3 - Representação do modelo de Rutherford



Fonte: Manual da química(2023)

Neste cenário, o modelo de Rutherford foi tratado por diferentes autores, como Holton (1978) e Kragh (1999), como um modelo orbital, em analogia ao sistema planetário, onde o núcleo composto de prótons e nêutrons ocupa o centro do sistema, enquanto os elétrons, muito menores, orbitam o vasto espaço ao seu redor em trajetórias circulares. No entanto, um problema significativo, relacionado à estabilidade energética deste modelo, permanecia sem explicação. Baseado neste modelo, os elétrons orbitam em torno do núcleo e, portanto, estão sendo continuamente acelerados (aceleração centrípeta), e portanto, deveriam emitir radiação eletromagnética, perdendo energia continuamente. Essa perda de energia dos elétrons resultaria em uma trajetória espiralada, e com o passar do tempo, levaria ao colapso do átomo em decorrência da colisão inevitável do elétron com o núcleo, comprometendo dessa forma o conceito de estabilidade dos átomos.

Visando compreender melhor a estabilidade do átomo e o estranho comportamento dos elétrons no modelo de Rutherford, o físico dinamarquês Niels Bohr buscou embasamento científico em experimentos envolvendo emissões do espectro atômico. Seu modelo foi elaborado com base no movimento e disposição dos elétrons no átomo, e descreve com elegância o comportamento dos átomos hidrogenóides, ou seja, aqueles que possuem Z prótons mas apenas um elétron. Ele concluiu que os átomos de um determinado elemento químico só emitem radiações em certos comprimentos de onda, e portanto, deveriam apresentar estados de energia bem definidos.

Após essa conclusão, Bohr elaborou postulados que auxiliaram a modelar o comportamento da natureza atômica da matéria (Peduzzi, 2005). No primeiro postulado Niels Bohr descreveu o movimento dos elétrons em torno do núcleo do átomo. Esse movimento ocorre em órbitas circulares, com energias fixas e definidas, dependentes do raio de trajetória, r , sendo também chamadas de estados estacionários. Por meio da condição de equilíbrio da atração Coulombiana entre um elétron e um número Z de prótons do núcleo, combinada à equação de energia mecânica, E , do sistema (Cinética + Potencial), podemos encontrar 1,

$$E = \frac{-Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad 1^1$$

onde, ϵ_0 define a permissividade elétrica do vácuo ($8,8541878176 \cdot 10^{-12}$ F/m) e, e, a carga elétrica fundamental ($1,602176634 \cdot 10^{-19}$ C)

É interessante notar que a energia mecânica é negativa, característica típica de um sistema ligado, análogo ao sistema orbital planetário.

O segundo postulado impõe que os elétrons não emitem energia ou qualquer tipo de radiação eletromagnética enquanto se movimentam nessas órbitas, garantindo dessa forma a estabilidade energética desse modelo. Para tanto, Bohr partiu dos estudos sobre o comportamento ondulatório da matéria de De Broglie, que demonstraram a relação entre o momento linear e o comprimento de onda. A ideia central por trás da estabilidade atômica, resultava na quantização do espaço, ou seja, o comprimento da órbita ($2\pi r$) deveria ser igual a um número inteiro de comprimentos de onda associados ao elétron ($n\lambda$), satisfazendo a condição para existência de estados estacionários. A partir dessas relações, várias grandezas físicas passam a ser quantizadas, como o caso do momento angular do elétron, L, tendo valor dado por:

$$L = rp = \frac{h}{2\pi} n \quad 2$$

, onde h é a constante Planck ($6,62607015 \cdot 10^{-34}$ m²kg/s) e n é um inteiro positivo.

Combinando as relações associadas às equações 1 e 2 podemos notar que a energia mecânica associada ao átomo também é quantizada em níveis bem definidos, conforme segue na equação 3,

¹HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

$$E_n = -\frac{Z^2 e^4 m}{8 \epsilon_0^2 h^2 n^2} \quad 3^2$$

onde m é a massa do elétron ($9,1093837 \cdot 10^{-31}$ kg) e n é um número inteiro positivo associado ao nível de energia. O valor de $n = 1$ indica o estado de menor energia possível ($E_1 = -13,6$ eV), também chamado de estado fundamental.

O terceiro postulado indica que quando um elétron absorve energia de uma fonte externa, ele pode transicionar para outra órbita, mais energética, de n maior, configurando um novo estado energético, também chamado de estado excitado. Após algum tempo, esse elétron tende a voltar ao mesmo estado de energia inicial, emitindo essa mesma quantidade de energia absorvida anteriormente, correspondente à diferença de energia entre os dois níveis. Essa emissão de energia é quantizada e ocorre por meio de radiação eletromagnética, chamada de fóton, que pode ser em diferentes faixas de comprimentos de onda, na faixa do visível, do infravermelho, do ultravioleta ou até mesmo do raio-x, onde temos: onde m é a massa do elétron ($9,1093837 \cdot 10^{-31}$ kg) e n é um número inteiro positivo associado ao nível de energia.

O terceiro postulado indica que quando um elétron absorve energia de uma fonte externa, ele pode transicionar para outra órbita, mais energética, de n maior, configurando um novo estado energético, também chamado de estado excitado. Após algum tempo, esse elétron tende a voltar ao mesmo estado de energia inicial, emitindo essa mesma quantidade de energia absorvida anteriormente, correspondente à diferença de energia entre os dois níveis. Essa emissão de energia é quantizada e ocorre por meio de radiação eletromagnética, chamada de fóton, que pode ser em diferentes faixas de comprimentos de onda, na faixa do visível, do infravermelho, do ultravioleta ou até mesmo do raio-x, onde temos:

²HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

$$E_f - E_i = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad 4^3$$

sendo, E_f , a energia do estado final do elétron, E_i , a energia no seu estado inicial, h a constante de Plank, f a frequência e λ é o comprimento de onda do fóton de radiação eletromagnética. No entanto, as previsões obtidas por meio do modelo de Bohr não satisfazem por completo o entendimento dos átomos que contêm mais de um elétron em sua estrutura chamados de multieletrônicos, em função de desconsiderar a relação entre as interações sofridas entre os elétrons (Lopes, 2009).

Combinando as equações 1 e 3, podemos descrever os valores permitidos para o raio de Bohr como:

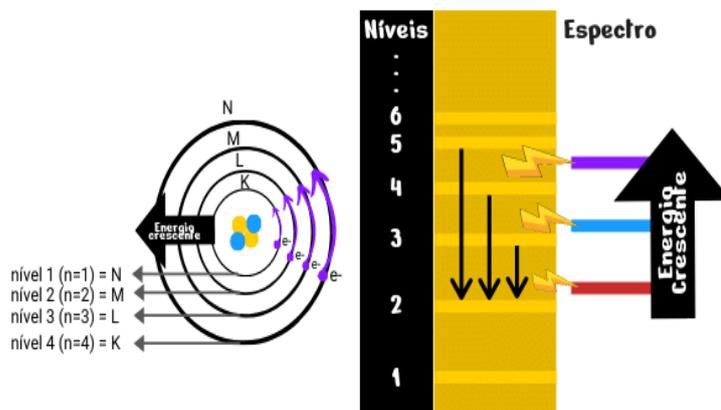
$$r_n = \frac{\epsilon_0 h^2}{Z \pi m e^2} n^2 = \frac{r_b}{Z} n^2 \quad 5^4$$

onde n é um número inteiro positivo. Considerando $Z = 1$ (átomo de hidrogênio) e $n = 1$, temos o menor valor do raio associado ao menor estado energético, ou seja, o raio do estado fundamental, r_b , chamado de raio de Bohr que vale $0,599 \text{ \AA}$. A Figura 4 apresenta um esboço do modelo proposto por Bohr.

³HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

⁴HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

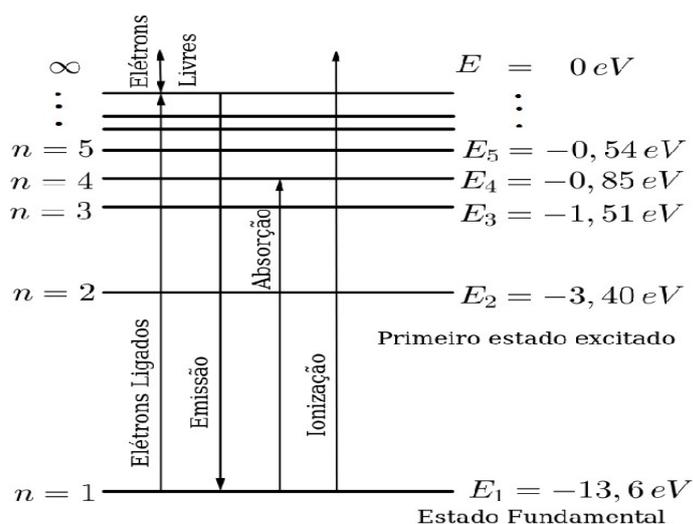
Figura 4 - Representação do modelo de Bohr



Fonte: valquimica(2023)

Ao postular a quantização das orbitas circulares dos elétrons em torno do núcleo de carga positiva, Bohr foi capaz de calcular o enésimo nível de energia do átomo de hidrogênio, conforme descreve a equação 3. Na Figura 5 está representado um diagrama dos níveis de energia, pelo qual podemos observar que o elétron passa a ser ejetado do átomo quando absorve energia maior que 13,6 eV.

Figura 5 - Diagrama de níveis de energia descritos pelo modelo de Bohr



Fonte: researchgate(2023)

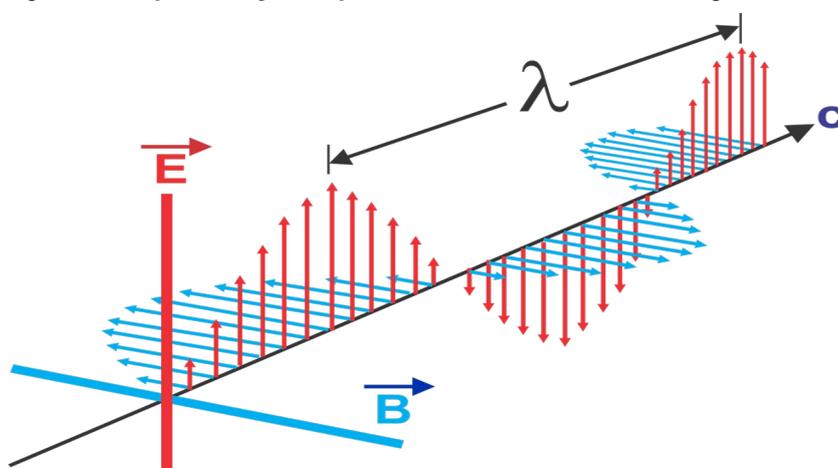
De acordo com a Figura 5 e com a equação 4 podemos calcular as frequências ou comprimentos de onda dos fótons emitidos pelos elétrons nos diferentes decaimentos entre os níveis de energia, que em muitos casos ocorre na faixa dos comprimentos de onda do espectro visível. Neste sentido, o conceito de luz, fóton e radiação eletromagnética se aproximam.

O conceito de luz é aplicado à radiação eletromagnética (geralmente visível aos olhos) que transporta energia e se propaga livremente no espaço, e, que dependendo de sua frequência torna-se visível ao olho humano (Ben-Dov, 1996). Já o termo radiação eletromagnética é comumente empregado na descrição das ondas eletromagnéticas, ou seja, na descrição do formalismos das oscilações dos campos magnéticos e elétricos em fase, para quaisquer comprimentos de onda (Radiação gamma, raios-x, ondas de rádio, micro-ondas, ultravioleta, infravermelho, visível...).

Já o termo fóton, normalmente é empregado no contexto da quantização de energia atribuída as ondas eletromagnéticas. Cabe destacar que todos os três termos, quais sejam, fótons, luz ou radiação eletromagnética tem sua origem associada ao movimento de cargas elétricas aceleradas ou durante uma transição (eletrônicas, rotacionais ou vibracionais) entre dois níveis de energia quantizados, o que remete ao universo atômico (Leite e Prado, 2012).

Para entendermos melhor essa quantização de energia associada à luz, devemos considerar que um feixe de luz possa ser representado por um feixe de partículas. Essa é a dualidade onda partícula da luz, na qual duas propriedades associadas à luz podem ser observadas em diferentes contextos. As características ondulatórias e corpusculares da luz, que indicavam ser contraditórios, foram reportados em 1930, com o desdobramento da eletrodinâmica quântica, uma vasta teoria que esclarece ao mesmo tempo essas duas singularidades (Santos et al.2022). É possível descrever a propagação da luz aplicando um modelo ondulatório, entretanto, para justificar a emissão e a absorção da luz, há a necessidade de levar em conta sua natureza corpuscular da luz. A Figura 6 apresenta com detalhes as características de uma onda eletromagnética, a relação entre os campos magnéticos, elétricos e o sentido de propagação, bem como do seu comprimento de onda.

Figura 6 - Representação esquemática de uma onda eletromagnética



Fonte: pixbay(2023)

A radiação eletromagnética se propaga na direção perpendicular àquela associada a oscilação dos campos elétrico e magnético, sendo que as oscilações de cada um dos campos podem ser representadas por funções trigonométricas do tipo seno ou cosseno, conforme as equações 6 e 7. Essas soluções podem ser verificadas por meio das equações de Maxwell, aplicadas a uma região do espaço em que não existem cargas livres e correntes elétricas, que admitem uma solução ondulatória, com o campo elétrico, E , e o campo magnético, B , variando harmonicamente, um perpendicular ao outro e, ambos, perpendiculares à direção de propagação, definida pelo vetor velocidade, $c = E_0/B_0$, (vácuo).

$$E(x, t) = E_0 \text{sen}(kx - \omega t + \delta) \quad 6$$

$$B(x, t) = B_0 \text{sen}(kx - \omega t + \delta) \quad 7^5$$

onde E_0 e B_0 representam o valor máximo do campo elétrico e magnético respectivamente, k é o número de onda, ω e a frequência angular e δ a fase que define o valor do campo na posição $x = 0$ e no tempo $t = 0$.

⁵HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

Conforme indicado por Halliday, Resnick e Walker(2016), as relações descritas pelas equações 6 e 7, bem como a determinação da velocidade da luz, podem ser obtidas a partir da Lei de Indução Faraday (8) e da Lei de Indução de Maxwell (9), descritas à seguir:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad 8$$

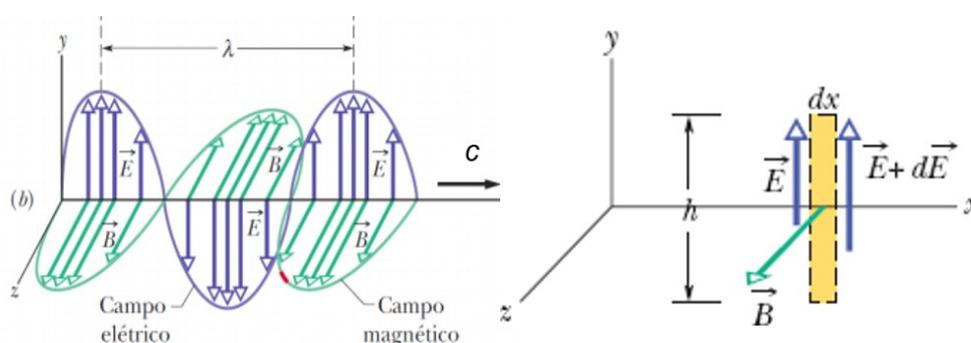
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad 9$$

A partir da Lei de Indução de Faraday aplicada na Figura 7, o termo de integração do campo elétrico em um caminho fechado (considerando o sentido anti-horário), que delimita uma área por onde o fluxo magnético varia com o tempo, resulta em:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = (E + dE)h - Eh = (dE)h \quad 10$$

Cabe lembrar que dois dos termos de integração se anulam em função da ortogonalidade entre campo elétrico e a largura da área dx .

Figura 7 - Aplicação da Lei de Indução de Faraday para uma onda eletromagnética



Fonte: Adaptado de Halliday, Resnick e Walker (2016) p.82

Já o fluxo magnético, Φ_B , pode ser obtido pela multiplicação entre o campo magnético B e a área, $h dx$, descrita pelo retângulo.

$$\phi_B = (B) h dx \quad 11$$

Derivando a equação 11, é possível obter o termo de variação de fluxo magnético da Lei de indução de Faraday, como segue:

$$\frac{d\phi_B}{dt} = h dx \frac{dB}{dt} \quad 12$$

Substituindo as equações 10 e 12 na Lei de Indução de Faraday, temos:

$$h dE = - h dx \frac{dB}{dt} \quad 13$$

$$\frac{dE}{dx} = \frac{-dB}{dt}$$

Como o campo elétrico e o campo magnético são funções de duas variáveis (x e t), a equação 13 deve ser reescrita em termos de derivadas parciais, conforme descreve a equação 14.

$$\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{-\partial B}{\partial t} \quad 14$$

Analisando a equação 14, podemos notar que se trata de uma equação de onda, cujas soluções podem ser obtidas pelas equações 6 e 7. Dessa forma temos:

$$\frac{\partial E(x, t)}{\partial x} = k E_0 \cos(kx - \omega t + \delta) \quad 15$$

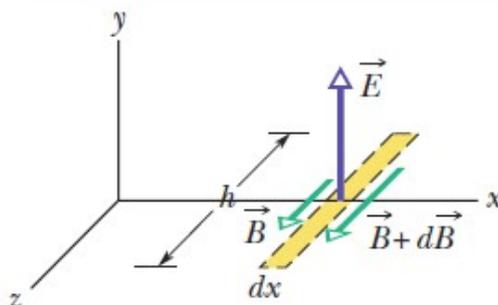
$$\frac{\partial B(x,t)}{\partial t} = -\omega B_0 \cos(kx - \omega t + \delta) \quad 16$$

Substituindo as equações 15 e 16 na equação 14, podemos calcular o valor da velocidade da luz, analisando apenas características inerentes às ondas eletromagnética, como o campo elétrico máximo e o campo magnético máximo.

$$\frac{\omega}{k} = c = \frac{E_0}{B_0} \quad 17$$

Outra forma de obter o valor da velocidade da luz decorre da análise da Lei de Indução de Maxwell, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Aplicação da Lei de Indução de Maxwell para uma onda eletromagnética



Fonte: Adaptado de Halliday, Resnick e Walker(2016) p.94

A partir da Figura 8, podemos definir uma área retangular, perpendicular ao campo elétrico, que permite calcular a integral de caminho fechado (9), considerando o sentido de circuitação anti-horário, e modo a obter a equação 18.

$$\oint \vec{B} \cdot \vec{ds} = -(B + dB)h + (B)h = -h dB \quad 18$$

Já o fluxo elétrico pode ser calculado da seguinte forma:

$$\phi_E = (E) h dx \quad 19$$

Derivando a equação 19 em relação ao tempo temos:

$$\frac{d\phi_E}{dt} = h dx \frac{dE}{dt} \quad 20$$

Substituindo as equações 18 e 20 na Lei de Indução de Maxwell, obtemos:

$$-h dB = \mu_0 \varepsilon_0 h dx \frac{dE}{dt}$$

$$\frac{dB}{dx} = -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{dE}{dt} \quad 21$$

Analisando a equação 21, podemos notar que se trata de uma equação de onda, cujas soluções são descritas pelas equações 6 e 7, conforme segue:

$$-k B_0 \cos(kx - \omega t + \delta) = -\mu_0 \varepsilon_0 \omega E_0 \cos(kx - \omega t + \delta)$$

22⁶

$$\frac{E_0}{B_0} = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0 \left(\frac{\omega}{k}\right)}$$

Avaliando a equação 23, podemos facilmente encontrar outra forma de calcular a velocidade da luz, conforme segue:

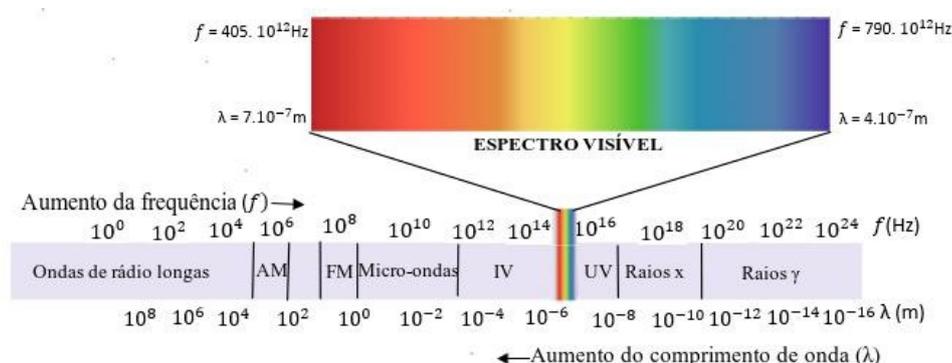
⁶HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad 23^7$$

Por meio da equação 23, podemos observar outra alternativa para calcular a velocidade da luz, que neste caso, depende exclusivamente das propriedades do meio no qual a onda eletromagnética se propaga.

O espectro visível compreende uma pequena fração do espectro da radiação eletromagnética capaz de sensibilizar os olhos humanos, sendo que as variações de cores podem ser indicadas por diferentes comprimentos de onda (de 400nm à 700 nm aproximadamente) ou frequências, conforme mostrado na Figura 9. O espectro eletromagnético pode ser dividido em diferentes intervalos, conforme seus comprimentos de onda ou frequências, o que dá origem à faixa de ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama.

Figura 9: Espectro eletromagnético com detalhe para a faixa do espectro visível



Fonte: Oscar *et al.* (2021)

Com base na Figura 9 podemos notar uma relação inversa entre os comprimentos de onda e as frequências. Quanto maior for o comprimento de onda, como os representados na faixa do vermelho, menor será a frequência correspondente. O produto entre a frequência e o comprimento de onda é sempre constante, quando consideramos um meio de propagação uniforme e homogêneo, e define a velocidade de propagação da onda eletromagnética nesse meio, v , conforme descreve a equação 24.

⁷GRIFFITHS, David J. *Introduction to Electrodynamics*. 4. ed. Boston: Pearson, 2017.

$$v = \lambda f \quad 24$$

Ao contrário das ondas mecânicas, como as ondas sonoras que precisam de um meio material para se propagar, as ondas eletromagnéticas podem se mover através do vácuo e quando isso ocorre, sua velocidade de propagação atinge seu limite máximo, passando a ser chamada de c , cujo valor é 299.792.458 m/s.

A interação entre a luz e a matéria é complexa e pode envolver fenômenos como reflexão, refração, difração, dispersão, absorção e emissão (Halliday, Resnick e Walker, 2013). Esses fenômenos têm aplicações tecnológicas em diferentes áreas de desenvolvimento, e o estudo dessa interação é fundamental para o avanço da ciência e da tecnologia. Veremos cada um destes fenômenos no tópico que segue.

2.3 A Física da espectroscopia

Espectroscopia é qualquer processo que utiliza a luz para medir as concentrações químicas e propriedades da matéria. Baseia-se na análise da radiação eletromagnética (fótons) emitida ou absorvida pelas substâncias. A energia de um fóton também pode ser calculada em termos da frequência ou do comprimento de onda, de maneira análoga à equação 4. Neste sentido, diferença de energia entre os níveis eletrônicos corresponde à energia do fóton, diretamente proporcional à frequência e inversamente proporcional ao comprimento de onda, conforme segue na equação 25.

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad 25^8$$

É interessante notar que fótons de alta energia estão associados a comprimentos de onda pequenos, como os raios X e a luz ultravioleta, enquanto fótons de baixa

⁸HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

energia estão associados a comprimentos de onda grandes, como as micro-ondas e ondas de rádio.

As equações 4 e 25 são fundamentais para a teoria quântica pois permitem explicar fenômenos como o efeito fotoelétrico, onde a energia dos fótons incidentes é transferida aos elétrons em um material, podendo resultar na ejeção desses elétrons (Lopes, 2009). Sua descoberta aconteceu em 1886 quando Heinrich Hertz percebeu que fótons na faixa do ultravioleta eram capazes de produzir faíscas quando incidiam sobre chapas metálicas. A explicação teórica para tal fenômeno foi proposta por Albert Einstein em 1905, ao propor uma equação que relaciona a energia do fóton (hf) com a energia cinética máxima dos elétrons liberados (K_e) e a função trabalho do material (ϕ)

$$hf = K_e + \Phi \quad 26^9$$

Na equação 26, a função trabalho representa a energia gasta pelo elétron para se desprender do átomo e ser ejetado pela superfície do material. Determinando a energia desses elétrons ejetados e conhecendo o comprimento de onda dos fótons incidentes é possível encontrar a energia de ligação dos elétrons, ou seja, a energia dos elétrons enquanto estavam ligados ao núcleo do átomo.

Os estudos desses elétrons ejetados resultaram em duas técnicas importantes para a caracterização de materiais, quais são, a espectroscopia de fotoemissão de elétrons excitados por raio-x, do inglês XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) e a espectroscopia de fotoemissão de ultravioleta UPS (*Ultraviolet photoelectron spectroscopy*). A diferença entre as duas técnicas de espectroscopia consiste na fonte de radiação eletromagnética utilizada e na faixa de energia destinada à análise dos elétrons. A espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios-x emprega fótons de raio-X, enquanto a espectroscopia de fotoelétrons de ultravioleta utiliza fótons de menor energia, na faixa do ultravioleta. equação 26, a função trabalho representa a energia gasta pelo elétron para se desprender do átomo e ser ejetado pela superfície do material. Determinando a energia desses elétrons ejetados e conhecendo o comprimento de onda

⁹HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

dos fótons incidentes é possível encontrar a energia de ligação dos elétrons, ou seja, a energia dos elétrons enquanto estavam ligados ao núcleo do átomo.

Os estudos desses elétrons ejetados resultaram em duas técnicas importantes para a caracterização de materiais, quais são, a espectroscopia de fotoemissão de elétrons excitados por raio-x, do inglês XPS (*X-ray Photoelectron Spectroscopy*) e a espectroscopia de fotoemissão de ultravioleta UPS (*Ultraviolet photoelectron spectroscopy*). A diferença entre as duas técnicas de espectroscopia consiste na fonte de radiação eletromagnética utilizada e na faixa de energia destinada à análise dos elétrons. A espectroscopia XPS, as análises são conduzidas por meio dos elétrons ejetados por fótons de raios-x, enquanto na espectroscopia UPS as análises são conduzidas por fótons ultravioleta. Segundo Kittel (2006), isso possibilita uma análise mais detalhada do comportamento dos elétrons ligados mais fortemente ao núcleo dos átomos por meio da técnica XPS. Por outro lado, a UPS é mais indicada para a análise do comportamento dos elétrons presentes na camada de valência e na banda de condução, uma vez que a energia dos fótons ultravioleta é mais adequada para excitar esses elétrons mais fracamente ligados ao núcleo (Kittel, 2006).

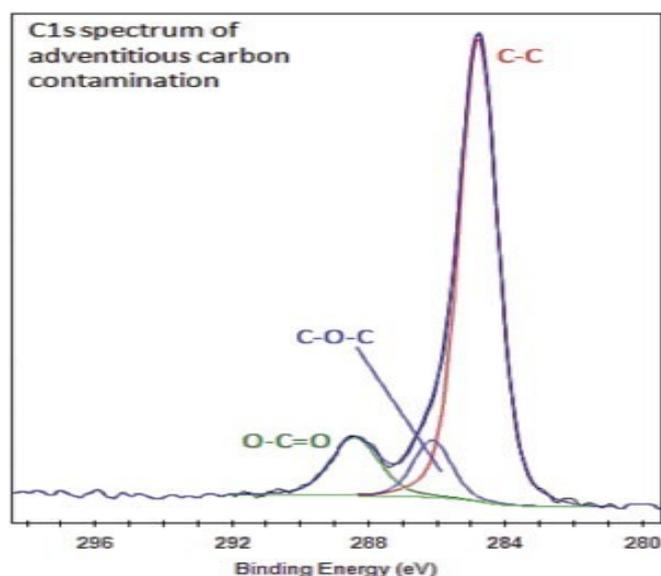
Uma forma de compreender matematicamente a conservação de energia envolvida nessas duas técnicas espectroscópicas envolve a ressignificação do termo genérico da função trabalho contido na equação 26, obtendo dessa forma a equação 27,

$$hf = K_e + E_L + W \quad 27^{10}$$

onde E_L é a energia de ligação entre o elétron e o núcleo e W representa a energia gasta pelo elétron para ser ejetado do interior até a superfície externa do material. Portanto, conhecendo a frequência ou comprimento de onda dos fótons incidentes, medindo intensidade e a energia cinética dos elétrons ejetados e usando uma resposta de calibração conhecida (por exemplo a energia de ligação entre átomos de carbono no estado 1s que equivale a aprox. 284,8 eV), conforme a Figura 10.

¹⁰HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

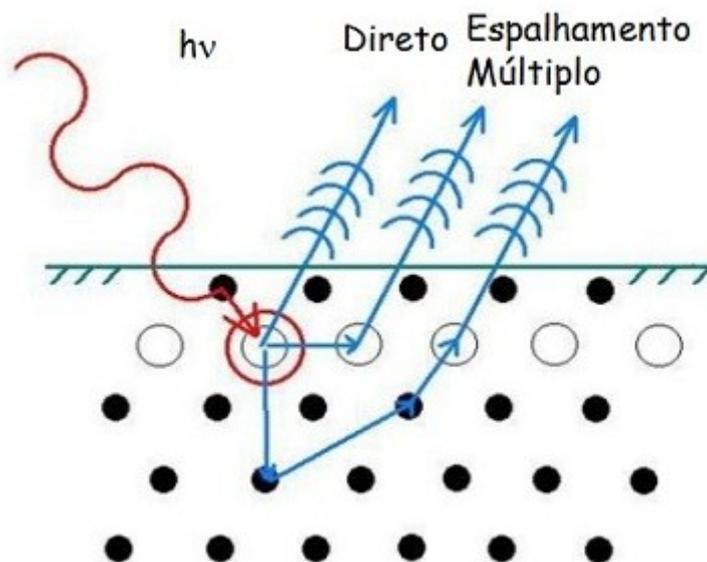
Figura 10-Espectro do estado C1s para as componentes C-C, C-O-C, and O-C=O



Fonte: Thermofisher(2023)

Cabe destacar que, conforme Kittel (2006), as técnicas espectroscópicas baseadas no fenômeno da fotoemissão têm a capacidade de avaliar as características eletrônicas da superfície dos materiais. Essas técnicas podem detectar a presença de materiais contaminantes a uma profundidade de aproximadamente 10 camadas atômicas, analisando a intensidade e a energia dos elétrons ejetados. A análise dessas características é fundamental para compreender a composição e o comportamento da superfície dos materiais em nível atômico. Nesse processo de ejeção, elétrons podem ser ejetados diretamente dos seus respectivos átomos por meio da absorção de fótons, conforme previsto pelo efeito Fotoelétrico, ou podem ser ejetados indiretamente, por meio da interação com outros elétrons, em um processo mais complexo denominado efeito Auger, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Diferentes formas de emissão de elétrons



Fonte: Unicamp(2023)

Outras formas de espectroscopia envolvem a análise da luz – refletida ou refratada - para medir as concentrações químicas. Exemplos dessas técnicas de espectroscopia utilizam diferentes faixa de comprimentos de onda em suas análises, sejam elas: o micro-ondas, o infravermelho, o visível ou o ultravioleta, baseia-se na análise da radiação eletromagnética emitida ou absorvida pelas substâncias.

As radiações provenientes da faixa dos micro-ondas que se estendem aproximadamente de 0,3 m à 0,003 m, favorecem a obtenção de informações sobre o comportamento ressonante dos spins, incluindo transições envolvendo modos rotacionais, especialmente em moléculas pequenas na fase gasosa. A partir dos menores comprimentos de onda dessa faixa espectral, inicia-se a região do infravermelho.

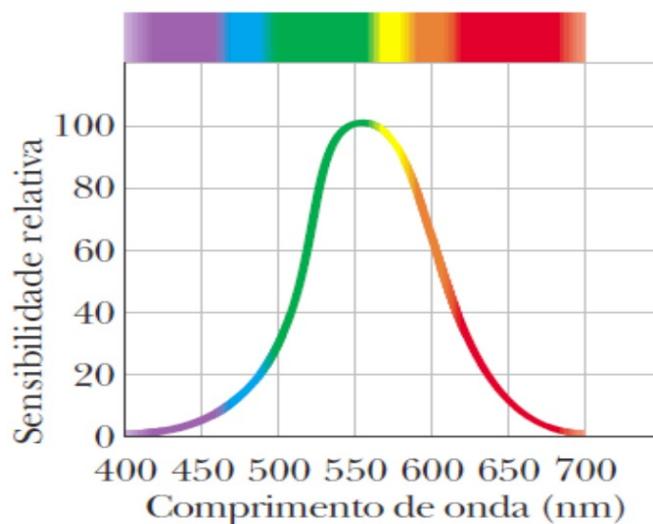
A espectroscopia na faixa de comprimentos do infravermelho, compreende o estudo das emissões de radiação eletromagnética na faixa do comprimento de onda que se estende aproximadamente de 1 mm até 10^{-3} mm. Essa faixa de comprimentos de onda é aplicada majoritariamente ao estudo dos modos rotacionais e vibracionais de moléculas.

A partir de emissões de radiação com comprimentos de onda menores daqueles da faixa do infravermelho, inicia-se a região do visível e ultravioleta. Esta região espectral que se estende aproximadamente de 100 nm à 400 nm (ultravioleta) e 400 nm à 750 nm (visível), destina-se ao estudo das transições eletrônicas entre diferentes níveis de energia, bem como, transições espectrais rotacionais e vibracionais superpostas.

As emissões de radiação eletromagnética para comprimentos de onda menores daqueles da região do ultravioleta delimitam a região envolvendo os raios-x e posteriormente os raios-gama. A região espectral dos raios-x, compreende uma faixa de radiação eletromagnética de alta energia, costumeiramente empregada no estudo das transições eletrônicas, em especial aquelas relacionadas às camadas mais internas dos átomos, com o uso de técnicas como a espectroscopia de fotoemissão. No entanto, para o estudo dessas transições eletrônicas são necessárias estações experimentais que necessitam de condições muito específicas para seu funcionamento, difíceis de serem obtidas em condições não controladas, como por exemplo, pressões correspondentes ao ultra-alto vácuo, menores que 10^{-7} Pa.

Visando o ensino das técnicas de espectroscopia na Educação Básica, região do espectro eletromagnético que compreende a faixa do visível, apresenta vantagens em relação às demais técnicas, tendo em vista que os diferentes comprimentos de onda (ou frequências) dessa região do espectro eletromagnético podem ser facilmente relacionadas com as diferentes cores observadas por nossos olhos. No entanto, de acordo com Halliday, Resnick e Walker (2016) algumas cores (na faixa do verde e amarelo) são observadas com mais facilidades que outras (próximas ao vermelho ou azul), confundindo a percepção de intensidade do observador. A Figura 12, apresenta um gráfico da sensibilidade relativa do olho humano em função do comprimento de onda da faixa do visível.

Figura 12 - Sensibilidade relativa do olho humano para diferentes comprimentos de onda

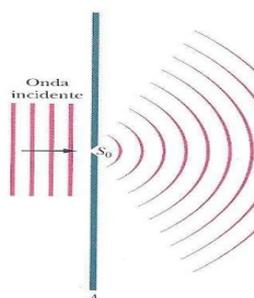


Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016) p.150

Neste sentido, a espectroscopia na região do visível utiliza fotossensores capazes de detectar os fótons com diferentes comprimentos de onda e convertê-los em sinais de diferença de potencial, diretamente proporcional à intensidade do feixe de luz incidente. Combinado com esse processo de detecção da luz, dois fenômenos físicos relacionados às características ondulatórias da luz merecem atenção especial. São eles: a difração e a Interferência.

A difração da luz é um fenômeno caracterizado pelo espalhamento da luz ao incidir em um obstáculo ou uma abertura. Esse fenômeno é mais pronunciado quando o tamanho da abertura ou do obstáculo é da ordem do comprimento de onda da luz incidente. Quando a luz passa por uma fenda estreita, como ilustrada na Figura 13, ela se curva ao redor das bordas, se espalhado por diferentes direções, como ilustrado pelas diferentes frentes de onda.

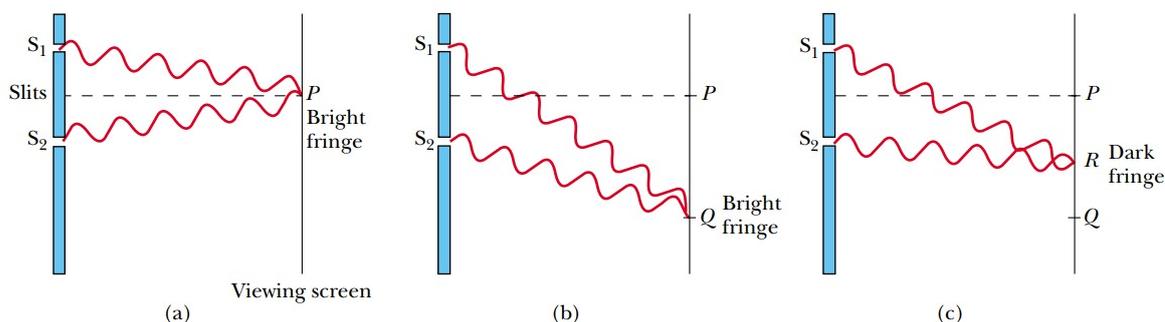
Figura 13 - Difração da luz em uma fenda



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016) p.109

Já o fenômeno da interferência é caracterizado pela sobreposição de duas ou mais frentes de onda em um ponto do espaço. O resultado dessa sobreposição poderá aumentar ou diminuir a amplitude da luz nesse ponto de sobreposição. Caso a interferência da luz seja construtiva, haverá um aumento da amplitude (duas cristas ou vales se sobrepondo) e caso seja destrutiva, haverá uma diminuição da amplitude da onda (Uma crista se sobrepondo com um vale), como ilustrado na Figura 14.

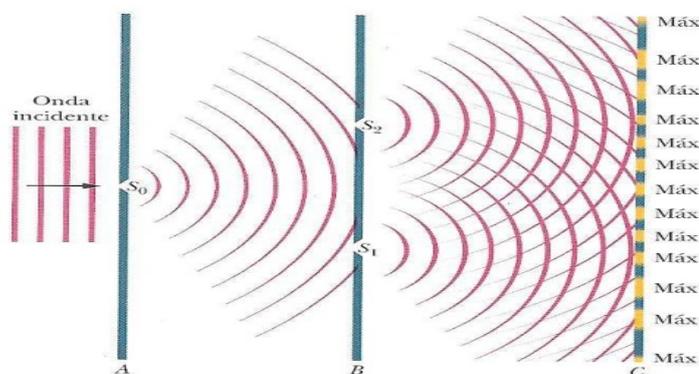
Figura 14: - Difração de duas fendas estreitas. (a) e (b) indicam dois pontos de interferência construtiva. (c) indica um ponto de interferência destrutiva



Fonte: (JEWETT, J. W ,2012)

Um experimento que auxilia na compreensão dos fenômenos ondulatórios (interferência e difração) é o experimento de dupla fenda, também conhecido como o experimento de Young. Tomas Young foi um físico, médico e egiptólogo britânico, nasceu em Milverton, em 13 de junho de 1773 e veio a falecer em 1820. No experimento de Young, a luz incide por uma fenda S_0 e sofre difração ao atravessá-la, comportando-se como uma fonte de luz pontual, emitindo frentes de ondas semicirculares. Uma vez que essas frentes de onda chegam ao anteparo B ela é novamente difratada pelas aberturas S_1 e S_2 , equidistantes da fenda S_0 , que se combinam e sofrem interferências, formando assim um padrão de interferências com máximos e mínimos no anteparo C, como ilustrado na Figura 15. Cabe destacar que este fenômeno é crucial para a compreensão da natureza dual da luz, e que pode ser visualizado tanto com partículas no regime quântico quanto por ondas eletromagnéticas.

Figura 15 - Representação esquemática do experimento de dupla fenda

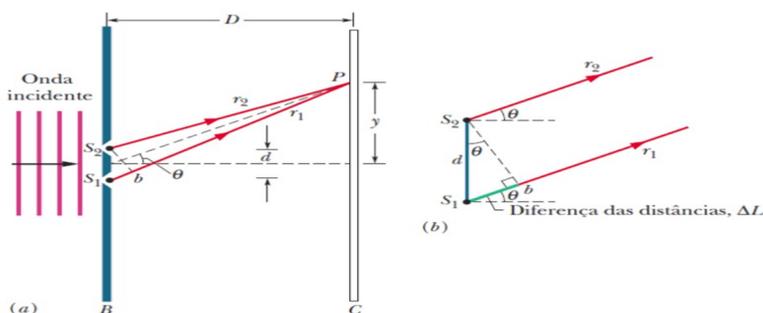


Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016)

Analisando a Figura 15, vemos que no anteparo C são formadas regiões de máxima amplitude (bem iluminadas) bem como regiões de mínima amplitude (mais escuras). Para facilitar a compreensão desse fenômeno, devemos representar, por

uma por meio de uma reta, o espaço no qual a luz se propaga entre cada uma das fendas e o ponto onde a sobreposição ocorrer, conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Visão esquemática da difração de dupla fenda



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016) p.196

De acordo com a Figura 16, considerando que o anteparo esteja a uma distância, D , das fendas, muito maior que a distância de separação entre elas, d , podemos propor que os dois feixes de luz, r_1 e r_2 , estejam aproximadamente paralelos. Sendo assim, a diferença de caminho óptico entre os raios r_1 e r_2 , pode ser descrito pela equação:

$$\Delta L = r_1 - r_2 \quad 28$$

onde a diferença de caminho óptico de cada um dos feixes dará origem aos máximos e mínimos de interferência no anteparo. Ela também pode ser calculada com base na distância de separação das fendas, d , e no ângulo dos feixes, θ , conforme a equação 29.

$$\Delta L = (d) \text{sen} \theta \quad 29$$

Quando a diferença de caminho óptico é um número inteiro, m , de comprimentos de onda, será visualizado no anteparo um ponto de interferência construtiva. Caso contrário, se o caminho óptico for igual à um número semi-inteiro ($m + 1/2$) de comprimentos de onda, será visualizado no anteparo um ponto escuro, indicando interferência destrutiva. As equações 30 e 31 indicam a condição de interferência construtiva e destrutiva respectivamente.

$$(d) \operatorname{sen} \theta = m \lambda \quad 30$$

$$(d) \operatorname{sen} \theta = (m + 1/2) \lambda \quad 31^{11}$$

onde m é definido por um número inteiro positivo, $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

Dessa forma, por meio dos valores de θ , d e m , podemos facilmente obter o valor do comprimento de onda da luz incidente. Neste caso, se considerarmos apenas o primeiro máximo de interferência de um feixe de luz composto por diferentes comprimentos de onda, e monitorando a intensidade do feixe em diferentes ângulos θ , poderemos gerar um espectro desse feixe, no qual a intensidade da luz está relacionada com o comprimento de onda.

Uma maneira alternativa para refinar as posições dos máximos de difração, e com isso ganhar maior resolução no processo de determinação dos comprimentos de onda, ocorre pela troca das duas fendas por uma grade de difração, composta por várias fendas muito próximas, separadas de maneira equidistante.

Além dos fenômenos da interferência e difração da luz, podemos citar os fenômenos de reflexão, refração e dispersão da luz, que resultam em variações das características de absorbância, reflectância e transmitância para diferentes amostras.

Quando a luz atinge um material, a mesma pode ser absorvida, refletida ou transmitida pelo mesmo. Os materiais transparentes absorvem luz em diferentes graus, dependendo das características do material e do comprimento de onda da luz. A absorção ocorre quando a energia da luz é transferida para os átomos ou moléculas do

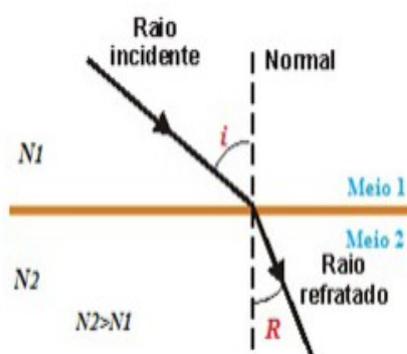
¹¹HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

material, promovendo mudança em seus níveis de energia. Por outro lado, materiais transparentes também podem emitir luz quando excitados. Isso é fundamental para entender fenômenos como a fluorescência e a fosforescência.

Por outro lado, quando a luz atravessa um material, ela sofre uma variação em sua velocidade de propagação, que está atrelada ao seu comprimento de onda, que resulta em uma mudança no seu sentido de propagação. Essa deflexão da luz define o fenômeno da refração da luz, que é descrito por duas leis. A primeira Lei da Refração afirma que o feixe de luz incidente e o feixe de luz refratado definem um plano de propagação da luz.

A segunda Lei da Refração apresenta a dependência entre os ângulos de incidência (i) e de refração (R) com a normal da interface entre os dois meios nos quais a luz se propaga, conforme mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Refração da luz entre dois meios de propagação da luz



Fonte: Paiva (2014)

Matematicamente, podemos descrever a segunda lei da refração da seguinte forma:

$$n_1 \operatorname{sen} i = n_2 \operatorname{sen} R$$

32¹²

¹²HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

onde n_1 e n_2 definem os índices de refração dos meios 1 e 2 respectivamente, que sempre serão positivos, maiores que 1.

A relação entre a velocidade de propagação da luz no vácuo, c , e no meio de propagação, v , define o índice de refração de um meio, n , conforme segue na equação 33.

$$n = \frac{c}{v} \quad 33$$

Já o fenômeno da reflexão da luz ocorre quando a luz incidente em uma superfície retorna para o meio de origem. Graças a esse fenômeno conseguimos enxergar os objetos ao nosso redor, pois a luz incide sobre os corpos, que, por sua vez, refletem-na, fazendo com que os raios de luz cheguem aos nossos olhos, gerando a nossa visão. Na reflexão da luz o feixe incidente e o refletido formam um plano, e também, o ângulo do feixe incidente é igual ao ângulo do feixe refletido.

No entanto, certos meios de propagação podem absorver parte da luz incidente quando ela se propaga por ele. Nos meios translucidos, a interação da luz é intermediária. entre um meio transparente, onde a luz passa sem ser dispersa significativamente, e um meio opaco, onde a luz é completamente absorvida ou refletida de tal forma que não podemos ver através dele.

A absorbância é uma grandeza Física que auxilia o estudo desses materiais, pois está relacionada à capacidade de um material absorver luz em determinados comprimentos de onda. Quando a luz é absorvida por um material, ela é convertida em energia térmica, resultando no aquecimento desse material. Esse processo está diretamente relacionado aos princípios da absorção de energia eletromagnética, que ocorre quando fótons da luz interagem com os elétrons dos átomos ou moléculas do material.

Se os fótons incidentes têm energia suficiente, os mesmos podem promover a excitação de elétrons, permitindo a transição para níveis de energia mais elevados. Os

elétrons excitados eventualmente retornam aos seus estados de energia originais, liberando a energia absorvida na forma de calor (energia térmica). O aumento da vibração molecular devido à energia térmica é o que leva ao aquecimento do material.

Materiais diferentes têm espectros de absorção distintos, o que significa que absorvem luz em diferentes faixas de comprimentos de onda. Alguns materiais absorvem seletivamente em certas partes do espectro, tornando-os eficientes em absorver energia térmica de fontes específicas, como a luz solar.

A absorvância (A) corresponde ao logaritmo decimal do inverso da transmitância (T) e também pode ser calculada como o quociente entre a potência radiante de saída (após atravessar a amostra em estudo) e a de entrada, respectivamente P_λ e $P_{\lambda 0}$. Ou seja, a absorvância é uma medida da “quantidade” de luz que é absorvida pela amostra, conforme expresso pelas equações abaixo.

$$A = \log \frac{P_{\lambda 0}}{P_\lambda} = \log \frac{1}{T} \quad 34$$

$$T = \frac{P_\lambda}{P_{\lambda 0}} = \frac{I_\lambda}{I_{\lambda 0}} \quad 35^{13}$$

Cabe destacar que a transmitância também pode ser calculada em termos da razão entre a intensidade luminosa incidente e a transmitida para um dado comprimento de onda específico. A absorvância também está relacionada com a concentração da substância absorvente e o comprimento do caminho óptico da luz através da amostra, definindo a Lei de Lambert-Beer, expressa pela equação,

$$A = \varepsilon * c * l \quad 36^{14}$$

¹³HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

¹⁴HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

onde, ϵ , define a absorptividade molar, c , é a concentração da solução e l , é o comprimento do caminho óptico na amostra.

Cabe destacar que todas as grandezas físicas descritas acima exercem papel fundamental para o tratamento e compreensão dos dados obtidos a partir de medidas de espectros de radiação eletromagnética, permitindo dessa forma, a maior compreensão dos efeitos causados pela interação da radiação com a matéria.

No tópico que segue, apresentaremos uma breve revisão da literatura sobre os trabalhos que apresentam a temática do ensino das técnicas de espectroscopia na Educação Básica.

2.4 A espectroscopia na educação básica

A espectroscopia, estudo da interação entre a radiação eletromagnética e a matéria, é uma ferramenta essencial na compreensão de muitos fenômenos Físicos e Químicos. Sua aplicação na educação básica pode proporcionar aos alunos uma visão prática e empírica da ciência, contribuindo para um aprendizado mais significativo e engajador. Neste tópico, discutiremos a relevância da espectroscopia no ensino fundamental e médio, analisando trabalhos que exploram sua implementação em sala de aula, e como essas abordagens podem ser integradas aos nossos objetivos de ensino.

2.4.1 Importância da espectroscopia na educação básica

O estudo dos conceitos ligados à espectroscopia na educação básica não apenas enriquece o currículo de Ciências, mas também incentiva o desenvolvimento de habilidades críticas e analíticas nos alunos. Por meio de experimentos práticos, os estudantes podem observar diretamente os efeitos da interação da luz com diferentes materiais, compreendendo conceitos abstratos de maneira concreta. Além disso, a espectroscopia é aplicável em diversas áreas, como Astronomia, Química e Biologia, oferecendo uma abordagem interdisciplinar que pode despertar o interesse dos alunos por diferentes ramos da ciência.

Neste trabalho foram analisados trabalhos obtidos a partir dos bancos de dados descritos a seguir: Revista Brasileira de Ensino de Física, Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (RIUT), Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da CAPES (BDTD), Revista do professor de Física e o Caderno Brasileiro de ensino de Física. As palavras-chave utilizadas na busca dos trabalhos foram: espectrometria, espectroscopia, interação de radiação com matéria, interação de luz com matéria e kit de experimento de radiação, combinadas entre si.

A partir da leitura exploratória dos trabalhos encontrados, foram selecionados 19 trabalhos que discutem o tema geral - interação da radiação com a matéria -, aplicado ao ensino de Física, sendo que destes apenas 6 abordam, de alguma forma, o desenvolvimento do tema espectroscopia da luz em sala de aula, discutindo a construção de experimentos, de sequências didáticas, seus benefícios, cuidados, limitações e resultados obtidos.

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.

Em sua pesquisa, Morais (2018) destaca a construção de espectrômetros de baixo custo como uma estratégia para tornar a espectroscopia acessível a todas as escolas, independentemente de seu orçamento. O trabalho demonstra como materiais simples, como CDs e DVDs, podem ser utilizados para construir espectrômetros funcionais, permitindo aos alunos explorar espectros de luz visível. Esta abordagem não só facilita a compreensão dos princípios básicos da espectroscopia, mas também estimula a criatividade e o pensamento crítico dos estudantes, que são desafiados a construir e calibrar seus próprios dispositivos.

Silva et al. (2020) exploram o uso de espectroscopia em atividades práticas que demonstram a interação da radiação com a matéria. Eles propõem a utilização de kits experimentais que incluem fontes de luz, prismas e redes de difração para que os alunos possam observar espectros de emissão e absorção. O trabalho enfatiza a importância de guias didáticos bem elaborados que expliquem passo a passo os experimentos, tornando-os acessíveis e compreensíveis

para os estudantes. Além disso, o estudo destaca a necessidade de formação continuada para professores, para que possam implementar essas atividades de forma eficaz e segura.

Oliveira (2019) foca na implementação de experimentos práticos em sala de aula, abordando os desafios enfrentados pelos professores, como a falta de recursos e a necessidade de formação adequada. O estudo sugere a criação de programas de formação continuada que capacitem os docentes a utilizar técnicas de espectroscopia de maneira eficaz. Oliveira argumenta que a formação de professores é crucial para a implementação bem-sucedida dessas atividades, pois muitos docentes não possuem familiaridade com os equipamentos e conceitos de espectroscopia. A pesquisa também destaca a importância de políticas educacionais que incentivem a adoção de práticas experimentais nas escolas.

Santos et al. (2021) desenvolveram um guia de atividades práticas utilizando espectroscopia no visível, testado em diversas escolas. Os resultados mostraram um aumento significativo no interesse dos alunos por Física, assim como uma melhor compreensão dos conceitos abordados. O guia inclui uma série de experimentos que podem ser realizados com equipamentos simples, como lâmpadas de diferentes cores e filtros ópticos. Além disso, o estudo relata a importância de contextualizar os experimentos com exemplos do cotidiano, como a análise das cores dos alimentos e a identificação de substâncias químicas em produtos domésticos.

Lima (2017) apresenta uma análise comparativa entre diferentes métodos de ensino de espectroscopia, evidenciando que métodos mais interativos e práticos são mais eficazes na aprendizagem dos estudantes. O estudo compara abordagens teóricas tradicionais com métodos baseados em experimentação e projetos, concluindo que os alunos que participam de atividades práticas desenvolvem uma compreensão mais profunda e duradoura dos conceitos. Lima recomenda a integração de espectroscopia com outras áreas da Física, como óptica e eletromagnetismo, para criar um currículo mais coeso e interconectado.

Ferreira et al. (2022) investigaram os impactos do uso de espectroscopia no desenvolvimento de habilidades científicas entre estudantes do ensino médio. O estudo

revelou que a prática de espectroscopia não só melhora a compreensão dos conceitos científicos, mas também promove habilidades analíticas e críticas. Os alunos que participaram do estudo demonstraram maior capacidade de formular hipóteses, analisar dados e tirar conclusões baseadas em evidências. Ferreira et al. sugerem que a espectroscopia pode ser uma ferramenta poderosa para preparar os alunos para estudos avançados em ciências e carreiras científicas.

A partir da leitura desses trabalhos sobre o tema, podemos observar que, embora os benefícios do ensino de espectroscopia sejam claros, existem vários desafios a serem superados. A falta de recursos financeiros e materiais nas escolas públicas pode limitar a implementação dessas atividades. Além disso, muitos professores ainda carecem de formação específica para utilizar técnicas de espectroscopia de forma eficaz. Outro desafio é a necessidade de desenvolver atividades que sejam tanto didáticas quanto tecnicamente viáveis, garantindo que os alunos possam realizar os experimentos de maneira segura e produtiva.

Por outro lado, as oportunidades são vastas. A crescente disponibilidade de recursos didáticos online e a possibilidade de construir equipamentos de baixo custo oferecem novas formas de introduzir a espectroscopia nas salas de aula. Além disso, a interdisciplinaridade da espectroscopia permite que ela seja integrada em diversos tópicos do currículo escolar, tornando o aprendizado mais rico e diversificado.

Considerando esses aspectos, esperamos que este estudo, ora desenvolvido, possa proporcionar aos professores as ferramentas e o conhecimento necessários para incorporar a espectroscopia no ensino de Física de maneira eficaz e acessível. A análise dos seis trabalhos anteriormente discutidos mostra que é possível superar os desafios através de inovações pedagógicas e da formação continuada dos docentes. Nosso objetivo com esta pesquisa foi a de desenvolver um produto educacional que inclui um guia detalhado de atividades práticas, kits experimentais de baixo custo e materiais de apoio para professores. Esperamos que essas iniciativas contribuam para uma compreensão mais profunda dos conceitos de Física moderna e aumentem o interesse dos estudantes por essa área do conhecimento.

Em última análise, a implementação de técnicas de espectroscopia na educação básica pode transformar a maneira como a ciência é ensinada e aprendida, promovendo um aprendizado mais ativo e engajador. Ao conectar teoria e prática, os alunos não só entendem melhor os conceitos científicos, mas também desenvolvem habilidades críticas e analíticas que serão valiosas em suas futuras carreiras acadêmicas e profissionais. Na sequência, apresentaremos as estratégias, métodos e procedimentos que nortearam o desenvolvimento dessa pesquisa.

3 MÉTODO E PROCEDIMENTO

O objetivo do nosso trabalho foi o de elaborar, desenvolver e avaliar uma proposta didático-pedagógica que possa contribuir para o ensino de conceitos de Física moderna na educação básica, em particular aqueles que envolvem técnicas de espectroscopia. Como referencial teórico-pedagógico, utilizamos alguns dos princípios da Pedagogia Histórico-Crítica.

Conforme destacam Ludke e André (2013), a pesquisa qualitativa se caracteriza por seu foco em compreender fenômenos em profundidade, explorando suas complexidades e particularidades. As autoras ressaltam que, na pesquisa qualitativa, "a análise dos dados é contínua ao longo de todo o processo de pesquisa", o que permite uma interação constante entre a coleta e a análise dos dados, possibilitando a emergência de novas perspectivas e insights (Ludke e André, 2014,p.86). Esta pesquisa, de abordagem qualitativa, caracteriza-se como pesquisa intervenção que, segundo (Gil, 2002.)

"A redução dos dados consiste em processo de seleção, simplificação, abstração e transformação dos dados originais provenientes das observações de campo. Para que essa tarefa seja desenvolvida a contento, é necessário ter claros, até mesmo porque estes podem ter sido alterados ao longo do estudo de campo."

Além disso, Ludke e André (2013) enfatizam a importância da observação, das entrevistas e da análise documental como métodos de coleta de dados na pesquisa qualitativa. Eles argumentam que a observação precisa ser "controlada e sistemática", e as entrevistas devem levar em conta não apenas o conteúdo verbal, mas também gestos, entonações e outros sinais não-verbais que enriquecem a compreensão do fenômeno estudado. Por fim, as autoras ressaltam que a análise qualitativa envolve um processo dinâmico e iterativo de categorização e interpretação dos dados.

Este estudo foi organizado em três etapas: revisão bibliográfica, coleta/construção dos dados e análise e interpretação dos dados. A primeira etapa, de

revisão bibliográfica, compreendeu o levantamento de trabalhos que abordam o tema, tendo em vista a construção de um arcabouço teórico necessário tanto para a ampliação dos conhecimentos do pesquisador sobre o tema quanto para a composição do arcabouço teórico necessário à análise dos dados coletados/construídos.

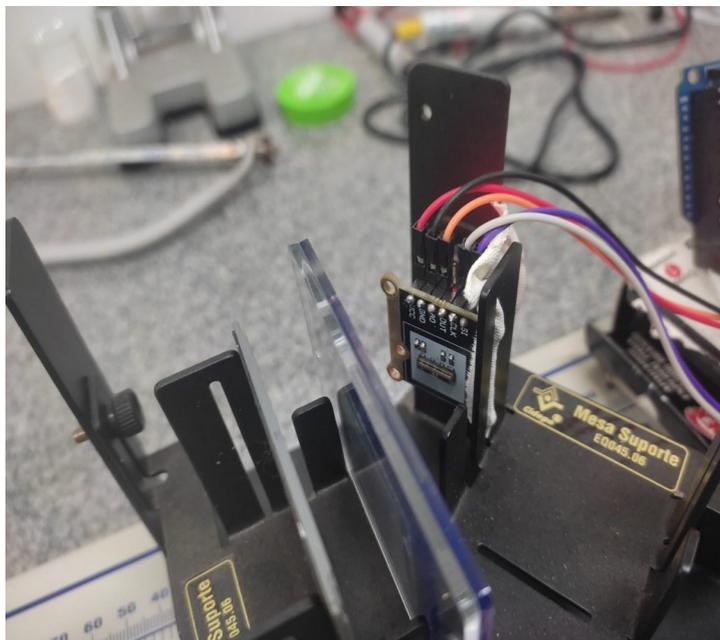
3.1 O espectrômetro

Ao longo deste trabalho apresentaremos ao leitor uma forma alternativa e motivadora para compreender, de modo quantitativo, a natureza da radiação eletromagnética, em especial na faixa de comprimentos de onda da luz visível. Para tanto, partiremos das concepções da natureza dual da luz, ou seja, que a luz é gerada como partícula de energia definida, se propaga como onda eletromagnética e é detectada trocando energia como partícula.

Neste sentido, o espectrômetro desenvolvido neste trabalho possibilita facilitar os estudos dos intrincados processos de troca de energias, resultantes da interação da luz com a matéria, atrelados ao campo de estudo da Física Contemporânea. Essa ferramenta é o ponto focal para a análise visual dos fenômenos físicos relacionados à luz, apresentando-os por meio de aulas cuidadosamente elaboradas. Nosso objetivo é proporcionar ao professor a autonomia e dinamismo necessários para ministrar aulas de Física, fundamentadas em nosso produto.

Como proposta inicial realizaremos experimentos envolvendo a determinação do comprimento de onda da luz emitida por diferentes fontes, tais como, *Lasers* e *LEDs*. Nessa configuração de experimento, a luz analisada, proveniente de qualquer fonte, ou que tenha sido transmitida por um meio, acessará o sensor do dispositivo, conforme o arranjo mostrado na Figura 19.

Figura 19 - Montagem do arranjo experimental



Fonte: Autoria própria(2023)

Inicialmente a luz proveniente de um *Laser* ou *LED* passa por um orifício, cujo objetivo é assegurar uma orientação inicial de referência. Na sequência, uma fenda de 0,3 mm foi posicionada de modo a alinhar o feixe antes de incidir sobre uma grade de difração, composta por 1000 fendas/mm. Ao atravessar a grade de difração, o feixe de luz é defletido com um ângulo que dependerá do comprimento de onda do feixe incidente, conforme descreve a equação 30.

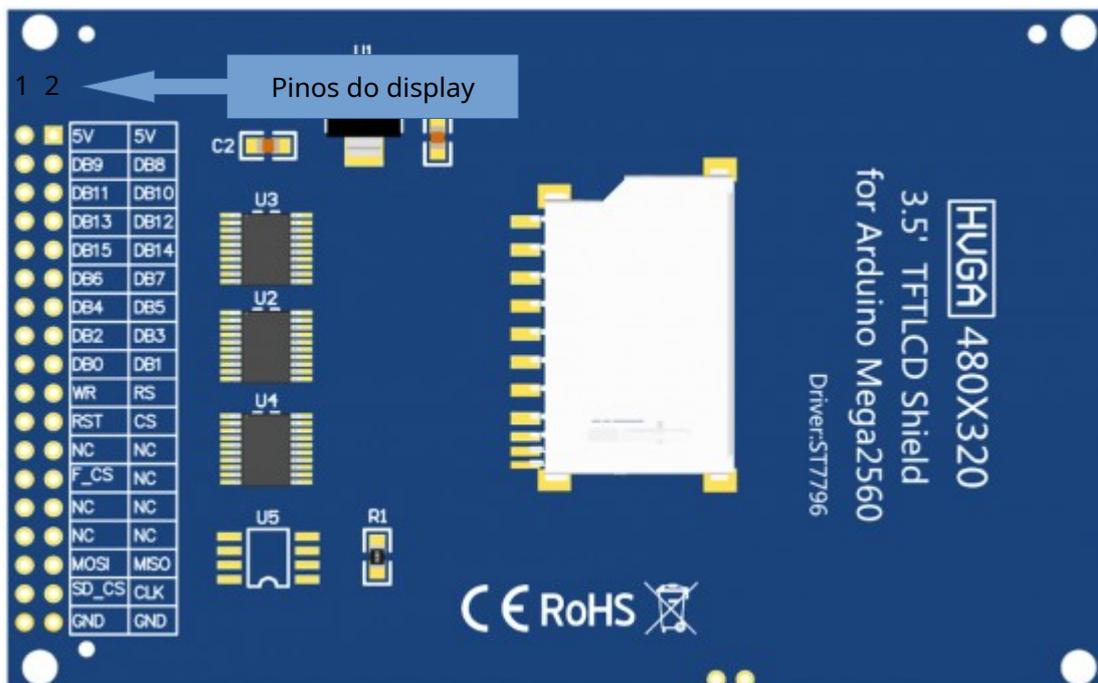
$$(d) \operatorname{sen} \theta = m \lambda \quad 30$$

O fotodetector, por sua vez, deve ser posicionado de modo a garantir a sensibilização de diferentes regiões – a depender do ângulo correspondente ao comprimento de onda da luz incidente – partindo do violeta/azul, para ângulos pequenos até o vermelho, para ângulos grandes. No sensor TSL 1401, o feixe incidente possibilita a conversão do sinal luminoso em diferentes níveis de tensão – a depender de sua intensidade – que será coletado e processado por uma placa de prototipagem do tipo

Aduino Mega 256, resultando em um gráfico de intensidade em função do comprimento de onda representado em um *display* TFTLCD 3,5" 480 x 320

Na figura 20, mostrada abaixo temos os pinos de conexão do *display* TFTLCD 3.5" e a tabela de conexão dos mesmos ao arduino Mega2560, a tabela indica a conexão correta dos pinos do *display* ao arduino Mega2560.

Figura 20 - Imagem mostrando os pinos do nosso display



Fonte: Disponível em : <https://www.altronics.com.au/p/z6527a-3.5-lcd-tft-arduino-mega2560-shield/> d.

Acesso em 20 fevereiro 2025

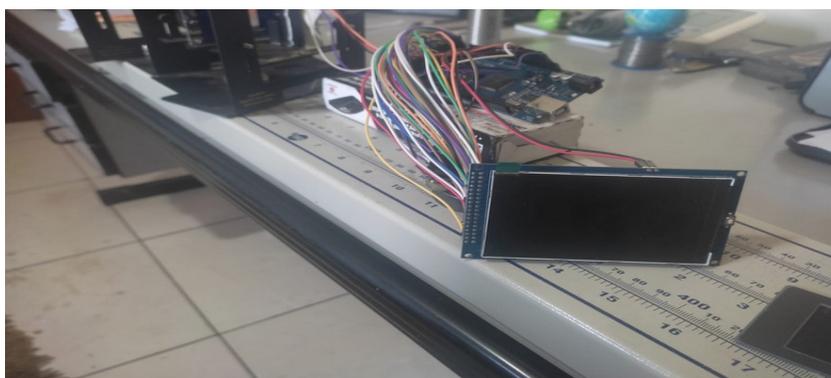
Na tabela abaixo dispomos os pinos de origem e destino no arduino Mega2560.

Pino Display	Pino do módulo	Descrição do Pino	Pino Display	Pino do módulo	Descrição do Pino	Pino arduino Mega2560
1	5V	Fonte de alimentação positiva	2	5V	Fonte de alimentação positiva	5v / 5v
3	DB8	8º bit do barramento de dados	4	DB9	9º bit do barramento de dados	21 / 22
5	DB10	10º bit do barramento de dados	6	DB11	11º bit do barramento de dados	23 / 24
7	DB12	12º bit do barramento de dados	8	DB13	13º bit do barramento de dados	25 / 26
9	DB14	14º bit do barramento de dados	10	DB15	15º bit do barramento de dados	27 / 28
11	DB7	7º bit do barramento de dados	12	DB6	6º bit do barramento de dados	29 / 30
13	DB5	5º bit do barramento de dados	14	DB4	4º bit do barramento de dados	31 / 32
15	DB3	terceiro bit do barramento de dados	16	DB2	2º bit do barramento de dados	33 / 34
17	DB1	1º bit do barramento de dados	18	DB0	0 bit de barramento de dados	35 / 36
19	RS	Registro LCD / sinal de seleção de dados Baixo nível: registro, alto nível: comando	20	WR	Sinal de controle de gravação LCD	37 / 38
21	CS	Sinal de controle de seleção de tela LCD, habilitação de baixo nível	22	RST	Sinal de controle de reinicialização do LCD, reinicialização baixa	39 / 40

23	NC	Indefinido, reservado	24	NC	Indefinido, reservado	41 / 42
25	NC	Indefinido, reservado	26	F_CS	Sinal de controle de seleção de chip flash SPI	43 / 44
27	NC	Indefinido, reservado	28	NC	Indefinido, reservado	45 / 46
29	NC	Indefinido, reservado	30	NC	Indefinido, reservado	47 / 48
31	MISSÔ	Sinal de entrada do barramento SPI	32	MOSI	Sinal de saída do barramento SPI	49 / 50
33	CLK	Sinal de relógio de barramento SPI	34	SD_CS	Sinal de controle de seleção de cartão SD, habilitação de baixo nível	51 / 52
35	Terra	Aterramento de energia	36	Terra	Aterramento de energia	GND / GND

Abaixo, nas Figuras 21 a e 22 podemos conferir o espectrômetro com o *display* conetado ao arduino.

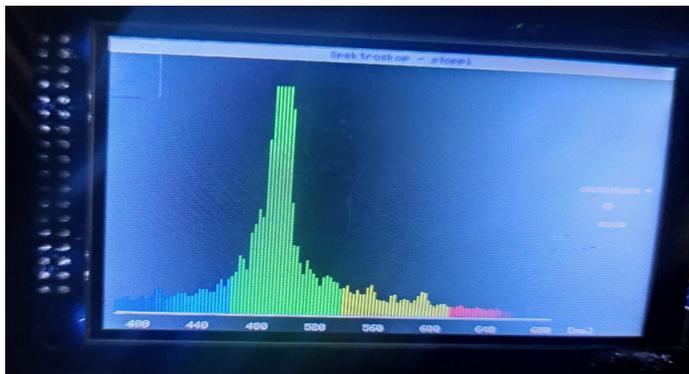
Figura 21 - Imagem mostrando a eletrônica Arduino conetado ao *display*



Fonte: Autoria própria(2023).

Além das propostas para experimentos, nosso produto é capaz de analisar a intensidade da luz incidente com variação de comprimentos de onda na faixa do visível.

Figura 22 – imagem do *display*, durante a coleta de dados

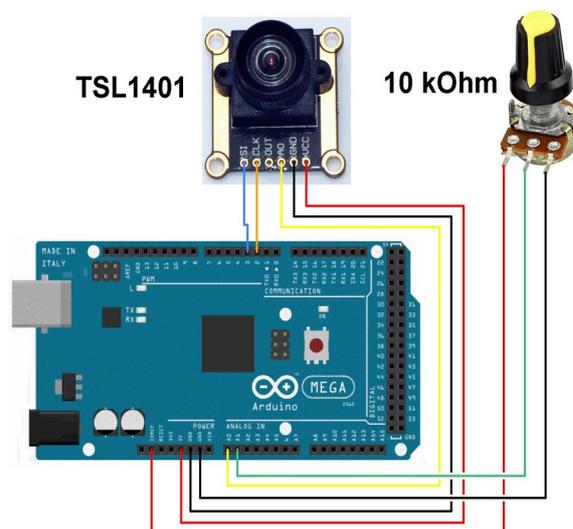


Fonte: Autoria própria(2023)

Para análise dos dados de intensidade luminosa em função dos comprimentos de onda presentes no feixe incidente, escrevemos o *software*, disponível em <https://github.com/danielmaggioni/Espectrofotometro.git>, o mesmo também está disponível no anexo D, nosso software analisa os sinais de tensão obtidos do TSL1401 em função da posição do fotodiodo sensibilizado. Nessa análise, o sinal de tensão mensurado é proporcional à intensidade luminosa do feixe incidente enquanto que a posição do fotossensor sensibilizado é proporcional ao comprimento de onda presente no feixe incidente.

O tempo de integração dos dados coletados pelo TSL1401, ou seja, o número de varreduras na qual o sensor faz a leitura dos níveis de potencial de cada fotodiodo é ajustado pelo potenciômetro de 10k da figura 23, permitindo um ajuste da intensidade do sinal medido em tempo real, plotando os dados em forma de gráficos em tempo real, este fato trazendo um diferencial para nosso produto em relação a outros espectrômetros já desenvolvidos com propósitos parecidos para fins didáticos, conforme representado na Figura 24. Na figura 24 abaixo temos o espectrômetro completo montado para sua apresentação aos alunos.

Figura 23 - Imagem do potenciômetro



Fonte: INSTRUCTABLES(2023)

Figura 24 - Montagem completa

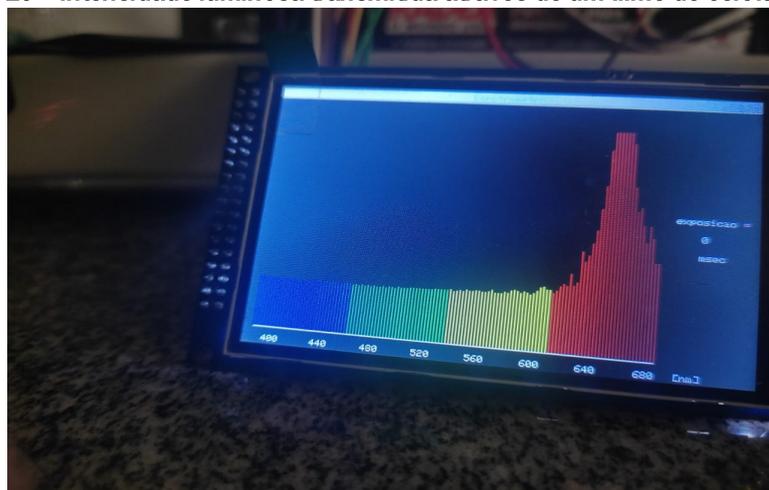


Fonte: Autoria própria(2023)

Além da possibilidade de analisar as características da luz incidente no espectrômetro, é possível analisar a interação entre a luz e diferentes meios de transmissão, monitorando a intensidade da luz transmitida para diferentes comprimentos de onda. A Figura 25, permite observar a dependência da intensidade luminosa

transmitida através de um filme de celulose do tipo celofane de cor Azul para um laser vermelho ($\lambda \sim 650 \text{ nm}$).

Figura 25 - intensidade luminosa transmitida através de um filme de celofane azul



Fonte: Autoria própria(2023)

A partir da Figura 25 podemos ver o que acontece quando trocamos o celofane de cor Azul para cor vermelha podemos observar a diminuição da intensidade luminosa transmitida através do filme de celofane, variando sua espessura, em função do comprimento de onda utilizado, conforme indicado pela Lei de Lambert-Beer, na equação 36.

$$A = \varepsilon * c * l$$

Figura 25 - Absorção do laser pelo celofane de cor vermelha



Fonte: Autoria própria (2023)

O roteiro completo para montagem do espectrômetro estará disponível no produto pedagógico no anexo E desta dissertação.

3.2 Procedimentos de coleta e construção/dados

A segunda etapa da pesquisa consistiu na coleta/construção dos dados. Para tanto, foram elaborados questionários aplicados tanto no início quanto no final da intervenção (Apêndices A). A coleta dos dados atrelados aos questionários desempenhou um papel crucial neste processo, permitindo a organização das respostas com base em critérios relevantes, como características e fenômenos associados à luz, além de outras variáveis pertinentes ao estudo. Essa estratégia não só facilitou a compreensão das diferentes perspectivas dentro da amostra, mas também possibilitou uma análise mais detalhada e contextualizada, revelando padrões e tendências que não seriam discerníveis de outra forma. Ao adotar uma abordagem qualitativa, pudemos capturar a riqueza e a complexidade das experiências dos participantes, proporcionando uma compreensão mais profunda e holística do fenômeno em estudo.

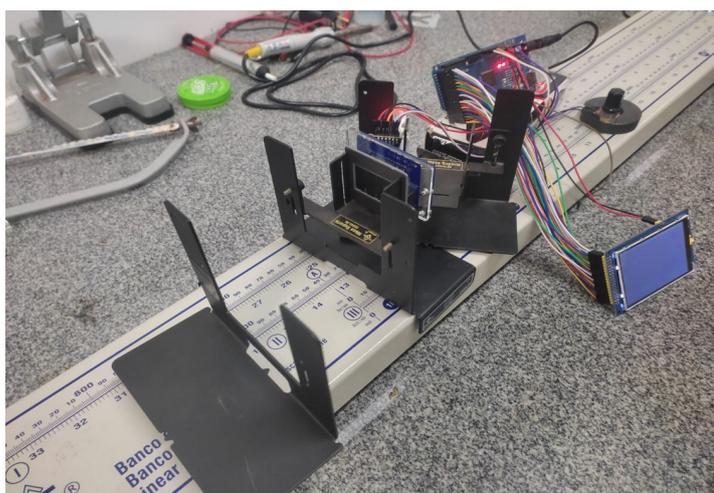
Em conformidade com os objetivos de nosso estudo, também foi criada um Plano de Unidade que visou auxiliar no processo de intervenção pedagógica, constituindo-se,

ao final, em nosso produto educacional. O produto foi aplicado em uma turma de 3º ano de uma escola da rede estadual de educação do Paraná, localizada em uma cidade do interior do estado, a turma em questão possui 17 alunos.

A Pedagogia Histórico-Crítica foi nossa base metodológica, tendo em vista sua contribuição e relevância no aprendizado dos estudantes. O plano de unidade englobou abordagens teóricas e práticas, incluindo atividades experimentais e recursos para aplicação em sala de aula.

O produto educacional oriundo deste trabalho traz como proposta uma série de experimentos baseados em Física contemporânea que podem ser realizados com o equipamento desenvolvido (espectrômetro). Como proposta inicial, realizamos experimentos de espectro de emissão e absorção da luz, utilizando diferentes tipos de fontes de luz: *LEDs* de diferentes comprimentos de onda e lasers de diferentes comprimentos de onda. Nosso espectrômetro é capaz de analisar a intensidade da luz incidente em função dos comprimentos de onda na faixa do visível. Para tanto, foram utilizados os seguintes materiais: trilho metálico, cavaletes magnéticos, fenda de 0,3 mm, grade de difração, *LASERs* de diferentes cores, *LEDs* de alto brilho de 5 mm de diferentes cores, uma placa de desenvolvimento *Arduino Mega 2560*, um *Display LCD*, um potenciômetro de 10 k Ω e um sensor óptico TSL 1401, conforme a Figura 18.

Figura 18 - Arranjo do espectrômetro com os componentes aparentes



Fonte: Autoria própria(2023)

Nessa montagem a luz pode provir de qualquer fonte, ou mesmo, que tenha sido transmitida por um meio, incidindo no interior do dispositivo por meio de uma fenda. Todo o dispositivo foi montado sobre um trilho com peças móveis que podem ser ajustadas de acordo com o local onde o experimento for realizado. É necessário que, uma vez montado o aparato, se evite ao máximo a luz proveniente de outras fontes, podendo gerar ruídos nas medidas, que podem atrapalhar as análises realizadas pelo equipamento.

A luz analisada no experimento incide sobre uma fenda, e em seguida, passa por uma lente com objetivo de colimar o feixe que entra no equipamento. Em seguida, o feixe passa por uma grade de difração com o objetivo de difratar o feixe, separando os diferentes comprimentos de onda em diferentes ângulos, possibilitando a sensibilização de diferentes regiões do fotodetector. O fotodetector, por sua vez, transforma a intensidade da luz em uma diferença de potencial que pode ser medida e analisada por um software, que converterá esses níveis de tensão em um gráfico de intensidade versus comprimento de onda, numa tela de LCD, podendo serem salvos em um cartão SD.

A pesquisa-intervenção ocorreu ao longo do terceiro trimestre de 2023, totalizando um período de 8 horas de aula dedicadas ao projeto. Além das atividades práticas, o Plano de Unidade também incorporou a aplicação de questionários no início e no final das atividades.

Como já mencionado, esses questionários foram projetados para identificar os conhecimentos prévios dos alunos e, posteriormente, avaliar o aprendizado adquirido ao longo do período de intervenção. Essa abordagem metodológica permitiu uma análise abrangente e detalhada do impacto do nosso produto educacional na aprendizagem dos estudantes.

Durante o período da intervenção com o produto, foi identificado que para alguns alunos, os assuntos ali discutidos não eram totalmente desconhecidos, uma vez que os mesmos tiveram um breve contato com os assuntos abordados durante as aulas de Física.

3.3 Perfil da escola e da turma

A escola estadual na qual foi desenvolvida a pesquisa intervenção, situada em uma cidade do interior do Estado do Paraná, integra uma comunidade ativa cuja economia é primariamente agrícola, com ênfase em produtos agropecuários como a soja. A maioria dos alunos dessa escola provém de famílias cuja renda está vinculada ao salário-mínimo, o que dificulta a aquisição de materiais escolares. A maior parte da comunidade escolar recebe entre um e dois salários-mínimos por mês, com apenas uma minoria ganhando acima de três salários-mínimos. Quanto às ocupações dos pais, variam entre funcionário público, agricultor, profissional liberal e, em menor número, empregada doméstica.

É relevante destacar, com base em dados como o Projeto Político Pedagógico (PPP) da escola, que a maioria dos pais tem ensino fundamental incompleto, sendo alguns são analfabetos e uma minoria possui ensino superior. No entanto, as famílias demonstram envolvimento na vida escolar dos alunos, considerando a importância dos estudos para o futuro de seus filhos, embora enfrentem desafios como baixos salários, desemprego e questões de saúde. Como afirma Saviani (1991) em sua obra *Pedagogia Histórico-Crítica*, "os pais vivenciaram experiências que evidenciaram a necessidade dos estudos para o futuro deles".

Dessa forma, optamos por implementar nosso projeto educacional nesta escola, devido ao seu compromisso com a educação, sendo a única na região a oferecer ensino integral para 365 alunos, distribuídos em diferentes etapas da escolarização básica. A estrutura física da escola é adequada, com salas de aula equipadas com ar-condicionado, laboratório de ciências, quadras cobertas, salas de artes, sala de vídeo, além de projetores multimídia e televisores EDUCATRONs em todas as salas.

3.4 Procedimentos de análises dos dados

Após a coleta dos dados, avançamos para a terceira fase da pesquisa. Neste estágio, conforme ressaltado por Lüdke e André (2014) e Sorte (2018), é crucial para o pesquisador revisar, repensar e reestruturar suas ideias iniciais durante a análise dos dados, permitindo assim a emergência de novas perspectivas.

É importante ressaltar que, na pesquisa qualitativa, a análise dos dados é contínua ao longo de todo o processo de pesquisa. Após a conclusão das diversas etapas, os dados foram organizados de forma a fornecer suporte e consistência ao trabalho, alinhados ao referencial teórico adotado, que serviu como principal guia para o estudo. Nesse ponto, ocorreu a integração entre o referencial teórico e os instrumentos utilizadas durante a intervenção, incluindo observações, questionários, vídeos, fotos e relatórios das aulas.

Para melhor compreensão e interpretação dos dados, iniciamos com a transcrição dos dados obtidos nos questionários iniciais. Esse processo inicialmente apresentou desafios, dada a diversidade de ideias e saberes envolvidos, como destacado por Lüdke e André (1986). Em seguida, após a transcrição dos dados dos questionários, recorremos novamente às fontes disponíveis (diário de observação e referencial teórico do estudo), buscando equilibrar a análise dos dados com os objetivos da pesquisa e o referencial adotado. Um aspecto importante da análise dos questionários foi a criação de grupos com base nas respostas dos participantes. Esses grupos são formados com o intuito de melhor organizar os dados de acordo com padrões emergentes, temas comuns ou características compartilhadas pelos participantes. Essa abordagem permite uma organização sistemática dos dados e facilita a identificação de tendências e padrões significativos.

Para tanto, a técnica de triangulação de dados foi um componente essencial da pesquisa. Segundo Ludke e André (1986), a triangulação envolve o uso de múltiplos métodos, fontes de dados ou perspectivas para examinar um fenômeno, garantindo assim a validade e a confiabilidade dos resultados. No contexto desta pesquisa, as

fontes utilizadas para triangulação foram aquelas utilizadas para a construção dos dados: questionários, observação participante e vídeos/fotos. A partir dessa técnica, foi possível identificar áreas de interesse para investigação mais aprofundada e enriquecer as descobertas da pesquisa.

Essa abordagem multifacetada ajuda a garantir a robustez e a confiabilidade dos resultados, fornecendo uma compreensão mais holística e contextualizada do fenômeno em estudo.

Registre-se que a participação dos estudantes neste estudo só foi concedida após a assinatura do "Termo de Consentimento Livre e Esclarecido", que segue no Anexo B. É importante ressaltar que todas as informações obtidas foram direcionadas exclusivamente para a pesquisa, com absoluto respeito ao sigilo dos participantes. Para assegurar a integridade dos estudantes, adotamos a prática de atribuir a eles identificadores compostos por letra e número, como por exemplo: A1, A2, ..., durante a análise de seus relatos. Isso reafirma nosso compromisso com a responsabilidade profissional, moral e ética no âmbito do conhecimento científico, garantindo a segurança na condução do trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Entendemos que a educação, como uma ferramenta de transmissão de conhecimento real e de interesse universal, deve funcionar como uma ponte e uma ferramenta para a transformação social. Ela é concebida como um instrumento a serviço da democratização, contribuindo através das experiências comunitárias dos grupos sociais, no diálogo, para formar indivíduos participativos e atuantes na sociedade. Não é suficiente apenas ensinar bem os conteúdos educacionais; é crucial que eles se conectem com a história do educando, com a humanidade e sua interação social.

Em suas pesquisas, Saviani (1986) destaca a importância entre as práticas educativas e as teorias do conhecimento utilizadas em diferentes épocas. No entanto, as formas de transmissão do conhecimento ao longo dos anos têm passado por mudanças, destacando diferentes aspectos da educação e da sociedade de acordo com o momento histórico vigente. Essas relações ocorrem porque a educação não é um fenômeno isolado; ela é um ato social que faz parte das civilizações, influenciando-as e sendo influenciada por elas.

Com base nesses princípios e buscando inovação na educação, optamos por adotar um método de ensino dialético ao elaborar, planejar e avaliar nossa proposta de intervenção educacional. Esse método tem como foco central a prática social dos indivíduos em seu contexto histórico. Inicialmente, destaca-se a leitura da realidade, na qual o envolvimento ativo do aluno é fundamental para a construção de seu aprendizado ou para sua conscientização sobre a importância de sua participação no processo histórico.

Nesse contexto, desenvolvemos nosso produto educacional - o Plano de Unidade - com o objetivo de promover o engajamento do aluno e sua autonomia na construção ativa do conhecimento, tanto dentro quanto fora da sala de aula. O produto foi concebido e testado com alunos do terceiro ano do Ensino Médio, abordando o conteúdo de "Interação da Luz com a Matéria". Importante mencionar que a intervenção do produto na referida turma, como descrito em capítulo anterior, totalizou 8 horas/aula.

Motivados por essas considerações e em busca de algo diferenciado na educação, procuramos desenvolver um método dialético de ensino através da elaboração, planejamento e avaliação de uma proposta de trabalho de intervenção.

Esse método tem como ponto de partida e de chegada a prática social dos indivíduos situados historicamente. No primeiro momento, destaca-se a leitura da realidade, onde é fundamental o envolvimento ativo dos alunos na construção de sua aprendizagem, ou a conscientização de sua importância no processo histórico.

Assim, desenvolvemos nosso produto educacional - um Plano de Unidade - visando alcançar o envolvimento do aluno no processo de Ensino-aprendizagem. Inicialmente, apresentaremos os detalhes acerca da montagem do espectrômetro utilizado neste trabalho. Em seguida, discutiremos os dados referentes ao desenvolvimento do produto educacional com os estudantes envolvidos nesta pesquisa, considerando suas contribuições e limitações para o aprendizado dos alunos.

4.1. O processo de intervenção pedagógica

Inicialmente, apresentamos aos alunos um questionário com 8 questões discursivas a sobre educacional tema proposto: Interação da luz com a matéria. Essa etapa inicial de sondagem pode ser associada ao primeiro momento do método pedagógico da Pedagogia Histórico-Crítica, conforme delineado por Saviani (2011), que é a prática social inicial.

Na prática social inicial, o objetivo é partir do conhecimento que o aluno já possui sobre o conteúdo, ou seja, do seu entendimento prévio e das suas experiências. Esse momento é crucial para a construção do processo educativo, pois permite ao professor identificar as concepções e os conhecimentos que os alunos trazem consigo, possibilitando a problematização e a instrumentalização subsequentes.

Segundo Saviani (2008), a PHC defende que o papel da escola é socializar o conhecimento científico e cultural acumulado historicamente pela humanidade, possibilitando aos alunos superarem suas condições de existência. Ao realizar uma sondagem inicial, estamos, portanto, promovendo uma prática educativa que considera

o contexto concreto dos estudantes, suas vivências e saberes prévios, estabelecendo uma base para a construção de novos conhecimentos de forma crítica e contextualizada.

Além disso, a problematização que segue essa sondagem, conforme descrito por Gasparin (2003), envolve selecionar e discutir problemas emergentes do conhecimento prévio dos alunos. Isso se alinha com o segundo momento da PHC, onde se busca instigar a curiosidade e a reflexão crítica dos alunos sobre os fenômenos estudados, no caso, a interação da luz com a matéria. Este processo é fundamental para fomentar uma aprendizagem significativa e relevante, que conecta teoria e prática, como preconizado pela abordagem histórico-crítica.

Dessa forma, a sondagem inicial realizada se insere na perspectiva pedagógica de Saviani, pois permite identificar e partir do conhecimento prévio dos estudantes, fundamental para uma educação crítica e transformadora. O questionário inicial foi entregue individualmente e nenhum tipo de pesquisa externa foi permitida. Neste momento, os celulares dos alunos foram recolhidos e eles tiveram 1 hora para responder às 8 questões abertas.

Para uma análise mais profunda dos dados qualitativos examinamos não apenas os números de acertos e erros, mas também os padrões de resposta dos alunos em relação às questões. Além disso, consideramos os possíveis fatores que poderiam influenciar o desempenho dos alunos, como o nível de dificuldade das questões, o tempo de estudo dedicado, entre outros. Os principais conceitos abordados no questionário incluíam a natureza da luz, suas propriedades e formas de propagação. Foi fundamental entender a importância desses conceitos para o ensino médio, pois eles fornecem a base para a compreensão de fenômenos mais complexos que seriam abordados ao longo da intervenção.

Iniciamos a aula discutindo "O que é a luz?" e "Como ela se propaga?", abordando conceitos como: ondas eletromagnéticas e a velocidade da luz em diferentes meios de propagação. Este processo ajudou a contextualizar a importância do estudo da luz.

Visando contextualizar as fontes geradoras de luz visível e demais ondas eletromagnéticas, iniciamos as discussões do conteúdo partindo dos conceitos

relacionados aos modelos ondulatórios de propagação das ondas, utilizando simuladores computacionais para demonstrar de forma visual o comportamento de grandezas físicas, tais como, comprimento de onda, frequência, amplitude, frequência angular e o número de onda.

Partindo das implicações do comportamento ondulatório da radiação eletromagnética, discutimos com riqueza de detalhes os aspectos acerca da sua velocidade em diferentes meios de propagação, sua propagação retilínea em meios homogêneos, bem como sua deflexão, em meios não homogêneos, ou vinculado à mudança do meio de propagação – na refração – conforme descrito pela Lei de Snell, na eq. 32.

$$n_1 \text{sen}i = n_2 \text{sen}R \quad 32$$

Por outro lado, grandezas físicas como o momento linear e a energia associada a uma onda eletromagnética foram estudadas considerando a natureza corpuscular da luz.

Para tanto, partimos dos estudos desenvolvidos sobre os modelos atômicos, chegando ao conceito de fóton de energia envolvido em transições eletrônicas entre diferentes níveis de energia, conforme descreve a equação 4. No Modelo Corpuscular: Descrevemos.

Para uma compreensão mais aprofundada deste tema, foram utilizados slides, demonstrações práticas e experimentos com diferentes fontes de luz, conforme descrito no produto educacional.

Assim como indicado por Silva et al. (2020) e Oliveira (2019), a partir da observação dos estudantes, pudemos notar que a abordagem teórico-experimental utilizada ao longo dessa pesquisa facilitou a compreensão dos conceitos pelos alunos. Neste contexto, a partir das discussões e experimentos, os alunos começaram a perceber que a luz não se manifestava apenas em fenômenos do cotidiano, mas como um tópico científico que pode ser investigado, permitindo a ampliação e aprofundamento de outros campos de conhecimento correlacionados.

A abordagem utilizada nesta etapa do ensino reflete diretamente os princípios da Pedagogia Histórico-Crítica conforme elaborados por Dermeval Saviani. Segundo

Saviani (2011), o processo educativo deve ser organizado em momentos pedagógicos articulados, incluindo a prática social inicial, problematização, instrumentalização, catarse e prática social final. Essa estrutura visa promover a compreensão crítica e contextualizada dos conteúdos abordados.

No início, ao discutir "O que é a luz?" e "Como ela se propaga?", partimos da prática social inicial dos alunos, ou seja, do conhecimento pré-existente que eles possuem sobre o fenômeno da luz. Isso é fundamental para que o ensino seja relevante e significativo, conforme destaca Saviani (2011).

Ao problematizar esses conhecimentos iniciais e introduzir conceitos científicos como o modelo ondulatório e o modelo corpuscular da luz, seguimos para o segundo momento pedagógico de Saviani. Aqui, os alunos são desafiados a questionar, investigar e aprofundar seu entendimento sobre a luz, indo além de uma visão superficial do fenômeno.

Quando questionados sobre o que os raios-x, ondas de rádio, ultra-violeta, microondas e luz visível possuem em comum, a maioria dos alunos (14 de 17, representando 82,35%) acertou esta questão, o que demonstra uma boa compreensão de que esses fenômenos estão ligados por serem ondas eletromagnéticas. Essa taxa de acerto indica um conhecimento prévio sólido sobre o conceito de ondas, provavelmente embasado em aulas anteriores de Física, permitindo aos alunos identificar corretamente a natureza dessas ondas.

Aluno A9 – “Elas compartilham a propriedade de serem ondas eletromagnéticas”.

Aluno A10 – “Ondas Eletromagnéticas”.

Aluno A1 – “São ondas Magnéticas, formadas por oscilações magnéticas e elétricas”.

Aluno A3 – “Os Elementos têm em comum o fato de que todos são comprimentos de onda de luz invisíveis”.

Aluno A5 – “Ondas Luminosas e sonoras que viajam na velocidade da luz e transportam energia”.

Aluno A7 – “Quando você está com um controle comum de TV para ligar a televisão a gente não vê o infravermelho que passa no espaço fácil e liga a TV”.

Três alunos (17%) não conseguiram expressar a ideia corretamente, indicando lacunas específicas de entendimento sobre o que caracteriza ondas eletromagnéticas. Essas respostas imprecisas sugerem uma compreensão vaga ou confusa entre os conceitos de radiação eletromagnética e outras formas de energia, sendo recomendável reforçar a distinção entre os tipos de ondas e suas características comuns.

A partir disso, o professor-pesquisador fez os seguintes questionamentos: O que sabemos sobre a luz? Quais são suas propriedades e como elas afetam nosso dia a dia? a contextualização do tema ocorreu por meio de um debate acerca dos fenômenos físicos relacionados ao cotidiano dos estudantes, como por exemplo, no arco-íris, nos espelhos e nas lentes de óculos.

Neste momento, foram discutidas as propriedades da luz, incluindo reflexão, refração, dispersão e absorção e difração.

Para aprofundamento das questões trazidas durante o processo do questionamento aos alunos do que sabemos sobre luz, foi solicitado aos alunos que observassem a sala de aula em especial os vidros das janelas. Neste momento alguns alunos disseram que não conseguiam ver com clareza para fora da sala. Com base nessas observações, foi explicado a eles que o vidro naquela janela estava dispersando a luz, não deixando com que os fótons advindos dos objetos externo seguissem a trajetória retilínea, rumo ao interior da sala.

Neste sentido também foi explicado porque os boxes dos banheiros que são de vidro não permitem que identifiquemos os ocupantes que lá estão tomando banho.

Além disso, foram realizados experimentos que demonstraram a reflexão da luz em espelhos, a refração em prismas e lentes, e a dispersão da luz através de um prisma, e finalizando, utilizamos uma grade de difração construída com pedaços de cds.

Apendice B - Roteiro para construção da grade de difração utilizando cds velhos.

Neste momento foi de grande importância o uso do espectrômetro para que os alunos pudessem visualizar como a luz com diferentes comprimentos de ondas era analisada pelo sensor e plotada no *display*.

A fase de instrumentalização envolve a introdução e o aprofundamento dos conceitos científicos por meio de atividades teóricas e práticas. Realizar experimentos que demonstram a reflexão, refração, dispersão e difração da luz permite que os alunos se apropriem dos conhecimentos de maneira ativa e contextualizada. Saviani (2011) destaca a necessidade de fornecer aos alunos ferramentas cognitivas e metodológicas para que possam entender e interpretar criticamente os fenômenos estudados.

Após os debates e explicações sobre a luz, foi aplicada novamente a mesma questão do questionário inicial para que pudéssemos mensurar a apropriação e aprofundamento dos novos conceitos, abaixo temos a transcrição da questão após a intervenção:

Questão aplicada após a intervenção:

Aluno A9: "A luz é uma onda que carrega energia pelo espaço."

Aluno A10: "É uma onda que pode viajar no vácuo e nos ajuda a enxergar."

Aluno A1: "A luz é formada por campos elétricos e magnéticos que vibram juntos."

Aluno A3: "Ela é feita de ondas com tamanhos diferentes, algumas que podemos ver e outras não."

Aluno A5: "É uma onda que se move muito rápido e pode ser vista ou sentida de formas diferentes."

Aluno A7: "É uma onda que usamos, por exemplo, no controle remoto, mesmo sem enxergá-la."

Como podemos perceber houve de fato uma evolução nas respostas após a intervenção do nosso produto, o que ajudou a elucidar conceitos de senso comum.

Quando questionados sobre como podemos diferenciar numericamente as cores da luz visível, os alunos apresentaram bastante dificuldade. Esta questão mostrou-se desafiadora, com uma alta taxa de erro: 10 de 17 alunos (58%) não conseguiram responder corretamente, sugerindo que o entendimento das propriedades numéricas da luz, como a frequência e o comprimento de onda, ainda está aquém do desejável. Podemos observar algumas respostas:

Aluno A15 – “Frequência das ondas”.

Aluno A8 – “As frequências das ondas”.

Aluno A3 – “Através das diferentes frequências das ondas”.

Aluno A11 – “Nós enxergamos de acordo com a frequência de cada cor”.

Aluno A6 – “Deste é total claro até total escuro com os espectros”.

Apesar de 7 alunos (41%) apresentarem respostas parcialmente corretas, a ausência de precisão nos termos sugere que o conceito de espectro eletromagnético e a forma de quantificação das cores precisam de uma revisão mais aprofundada.

A resposta mais comum entre os alunos que erraram foi "não sei", o que indica uma possível falta de clareza no conteúdo relacionado à óptica e ao espectro visível.

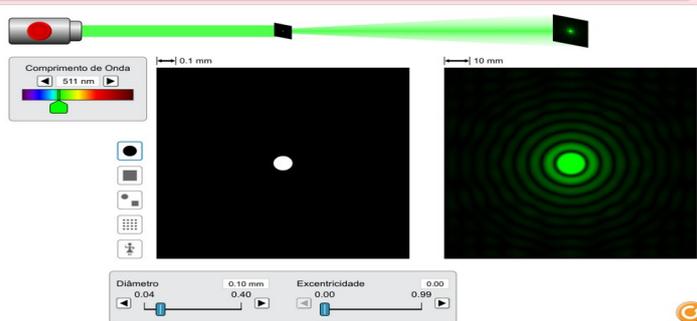
Ao longo das interações com os alunos, foi discutido o conceito de difração e os princípios básicos associados a esse fenômeno.

Quando a luz passa por uma fenda estreita ou contorna um objeto, ela se curva ao redor das bordas, criando padrões de interferência. Esse comportamento é descrito pelas leis da difração, que são uma extensão das leis da reflexão e refração da luz. A difração é mais evidente quando a luz incide em aberturas ou objetos com dimensões comparáveis ao comprimento de onda da luz.

A difração da luz é um fenômeno fundamental na óptica e desempenha um papel importante em várias áreas, como na formação de padrões em redes de difração,

holografia, e até mesmo na compreensão do comportamento ondulatório da luz. Este fenômeno é crucial para a compreensão da natureza dual da luz, que exibe tanto propriedades de partículas quanto de ondas. (Halliday, Walker e Resnick 2009). Para uma discussão mais rica sobre a difração utilizamos o simulador de Física Phet-Colorado, para simular o efeito visual da difração conforme figura abaixo:

Figura 26 – simulação da difração



Fonte: Phet-Colorado(2023)

Com este simulador podemos emular diferentes tipos de comprimento de onda e também outros parâmetros como diâmetro e excentricidade da onda simulada.

Na sequência, exploramos como a difração é utilizada no espectrômetros para analisar a composição da luz. Foi explicado como a alteração na direção de propagação da luz ao passar por uma fenda ou ao contornar um obstáculo. Visando aprofundar o conhecimento das propriedades relacionadas à luz, foram apresentados os conceitos de interferência construtiva e destrutiva.

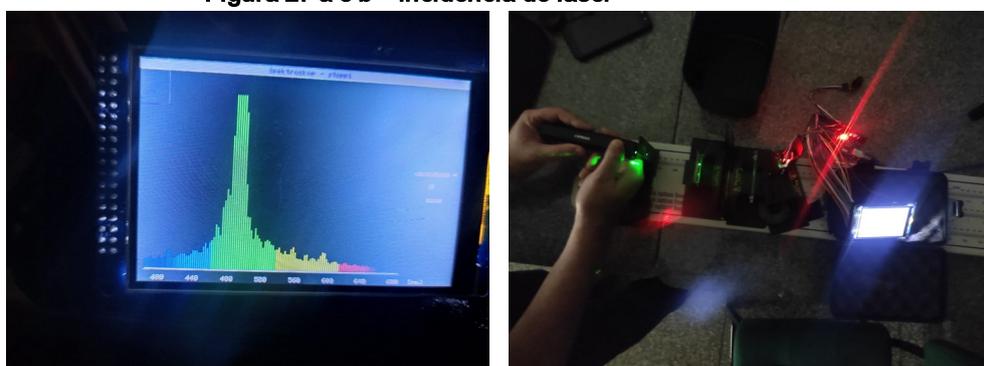
Para facilitar a compreensão do fenômeno da difração, explicamos o princípio de Huygens-Fresnel, e apresentamos vários exemplos da aplicação das lentes de Fresnel. (Tipler, Mosca, 2006. v. 3, p. 8.) Discutimos a diferença de fases e como ela gera padrões de difração, conforme apresentado nas Equações 30 e 31.

$$(d) \operatorname{sen} \theta = m \lambda$$

$$(d) \operatorname{sen} \theta = (m + 1/2) \lambda$$

Realizamos um experimento demonstrando a difração com a utilização de um espectrômetro. Para tanto, tomamos o cuidado de explicar a estrutura básica de um espectrômetro: fonte de luz, colimador, rede de difração, detector. Uma atenção especial foi destinada para a explicação do funcionamento da rede de difração que separa a luz em seus componentes espectrais. Na sequência, foi conduzida a explicação sobre como o espectrômetro mede a intensidade de luz em diferentes comprimentos de onda.

Figura 27 a e b – incidência do laser



Fonte: Autoria própria(2023)

Neste ponto, os alunos tiveram uma compreensão abrangente dos conceitos de difração e suas aplicações práticas.

Para corroborar a compreensão aplicamos novamente a mesma questão do questionário inicial para que os alunos pudessem respondê-la, abaixo segue a transcrição:

Questão aplicada após a intervenção:

Aluno A1: "Pela frequência das ondas."

Aluno A7: "Pelas frequências das ondas."

Aluno A9: "Com as diferentes frequências das ondas."

Aluno A 4: "Cada cor é vista de acordo com sua frequência."

Aluno A 2: "Vai do mais claro ao mais escuro no espectro."

Podemos notar que houve uma melhora significativa nas respostas após a intervenção do produto, o que indica que houve uma melhor elaboração das respostas, sendo incorporados novos elementos técnicos.

Ao serem questionados sobre o que é difração, 13 de 17 alunos (76%) acertaram a questão, demonstrando uma compreensão razoável do fenômeno da difração, que é essencial na compreensão das propriedades ondulatórias da luz. Exemplificamos algumas respostas:

Aluno A7 – “É uma onda que passa em volta e se espalha”.

Aluno A5 – “É a capacidade da onda de desviar ou contornar obstáculos”.

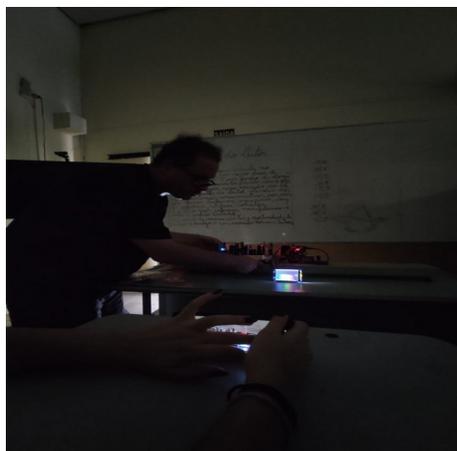
Aluno A10 – “Capacidade de ondas em contornar obstáculos”.

Aluno A3 – “Difração é o fenômeno que se refere quando as ondas contornam um objeto e se espalham”.

Quatro alunos (23%) deram respostas imprecisas ou incorretas, como confundir a difração com refração ou dispersão. Esses erros sugerem uma compreensão parcial e, possivelmente, uma confusão entre diferentes fenômenos ópticos. Com isso, compreendemos que uma atividade com grades de difração para mostrar o comportamento da luz ao atravessar diferentes aberturas poderia ajudar os alunos a diferenciar visualmente esses conceitos.

Neste momento da intervenção, discutimos como a luz interage com diferentes materiais, enfatizando a importância dessas interações em diversas aplicações tecnológicas e científicas. Este momento foi interessante porque, os alunos puderam experimentar vários tipos de experimentos para demonstrar como a luz se comporta ao passar por diferentes tipos de materiais, utilizando lanternas lasers e diversos tipos de papéis e plásticos.

Figura 28 – experimentação com diferentes cores de celofane

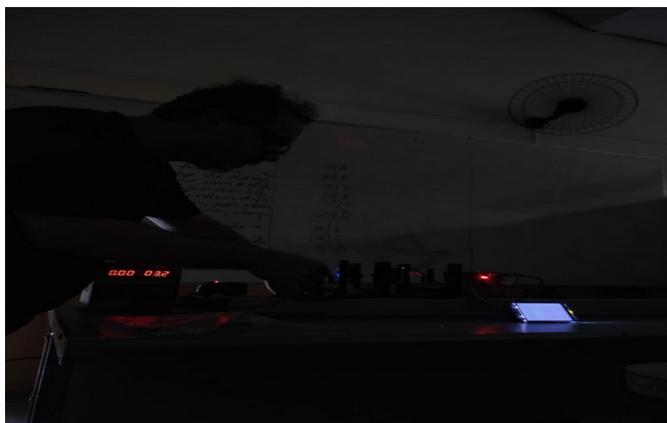


Fonte: Autoria própria(2023).

Um ponto importante durante este experimento é que foi dada uma ênfase muito grande no conceito de difração como descrito nas intervenções acima, neste aspecto foi importante o uso dos simuladores antes da aplicação do produto para que os alunos pudessem já ter em mente como se dá a Física deste processo.

Os alunos aplicaram o conhecimento desta aula diretamente no espectrômetro, modificando os materiais que fazem o papel da grade de difração, e compreenderam o motivo de alguns materiais não difratarem a luz, bem como, a relação entre a absorção de luz e as características dos materiais analisados.

Figura 29 – ajuste finais antes dos alunos começarem os experimentos



Fonte: Autoria própria(2023)

Figura 30 – alunos experimentando as trocas de materiais



Fonte: Autoria própria(2023)

Após a intervenção do produto aplicamos novamente a mesma questão do questionário inicial para que pudéssemos aferir se de fato houve apropriação do conhecimento abaixo segue a transcrição das respostas:

Questão aplicada após a intervenção:

Aluno A6: "É quando a onda passa e se espalha ao redor."

Aluno A10: "É quando a onda consegue contornar obstáculos."

Aluno A11: "Quando as ondas contornam obstáculos."

Aluno A13: "É o fenômeno onde as ondas contornam objetos e se espalham."

Como esta questão teve desde o início um grande número de acertos(76%) dos alunos já tinham um conhecimento razoável sobre a questão, após a aplicação do produto notamos novamente uma evolução nas respostas, com os alunos apresentando os termos técnicos de forma mais coesa.

Em seguida, o professor pesquisador perguntou aos alunos no que consiste a interferência de Ondas. A maioria dos alunos (14 de 17, ou 82%) respondeu parcialmente de forma correta, indicando algum nível de compreensão sobre o fenômeno da interferência:

Aluno A13 – “Quando ondas se interferem causando superposição”.

Aluno A12 – “Quando as ondas se sobrepõem”.

Aluno A9 – “Interferência é quando duas ou mais ondas se encontram e se combinam”.

Aluno A11 – “É quando uma onda se sobrepõe a outra”.

Aluno A2 – “Superposição de ondas no espaço, duas ondas ocupam o mesmo ponto”.

Para 3 alunos (17%), entretanto, o conceito não era claro, pois deram respostas vagas ou incorretas. A análise das respostas mostra que, mesmo entre os que acertaram, a definição de interferência foi descrita com pouca precisão.

Diante do cenário das respostas colhidas no questionário inicial, o professor pesquisador abordou a conceituação do fenômeno novamente.

Para isto foi lembrado o conceito de fenda dupla que já via sido abordado de forma teórica em encontros anteriores, como trata-se de um assunto que demanda uma explicação mais visual de como a luz incide em uma fenda dupla, e o fenômeno da interferência, foi necessária esta retomada.

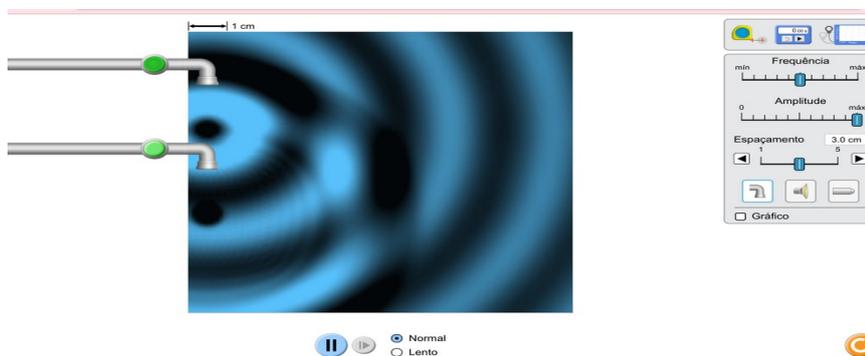
A interferência construtiva e destrutiva entre as ondas que passam por cada fenda. Se as ondas estiverem em fase (interferência construtiva), elas se reforçarão, criando regiões de máxima intensidade luminosa, chamadas de máximos de interferência. Se as ondas estiverem fora de fase (interferência destrutiva), elas se anularão, formando regiões de mínima intensidade luminosa, conhecidas como mínimos de interferência.

Os padrões resultantes na tela ou superfície onde a luz é projetada são faixas claras (máximos) e escuras (mínimos) alternadas, conhecidas como padrão de interferência. Este padrão é característico da natureza ondulatória da luz e é um exemplo clássico de como as ondas luminosas podem se comportar de maneira semelhante às ondas de água ou som.

O fenômeno da difração da fenda dupla é fundamental na compreensão da teoria ondulatória da luz e fornece insights importantes sobre a natureza dual da luz, que pode se comportar tanto como partícula quanto como onda, dependendo do contexto experimental.

Para exemplificar de forma visual utilizamos o simulador Peth-Colorado para simular a interferências

Figura 31 – simulação interferencia das ondas



Fonte: Peth-Colorado(2023)

Neste momento os alunos puderam experimentar todos os recursos que o simulador oferece.

Após o contato dos alunos com a parte pratica aplicamos novamente o questionário inicial, afim de validar a apropriação do conhecimento proposto.

Questão aplicada após a intervenção:

Aluno A13: "É quando as ondas se juntam e causam superposição."

Aluno A12: "Quando as ondas se sobrepõem."

Aluno A9: "É quando duas ou mais ondas se encontram e se combinam."

Aluno A11: "Quando uma onda se sobrepõe a outra."

Aluno A2: "É a superposição de duas ondas no mesmo lugar."

Esta questão apresento um desafio desde o inicio, já que mais de 80% dos alunos descreveram o fenômeno de forma parcialmente correta, após a intervenção com o auxilio do simulador pethcolorado, conseguimos uma evolução tanto nos termos técnicos como uma melhora significativa das respostas.

Questionamos aos alunos sobre o que eles conheciam a respeito dos pesquisadores que dedicaram suas carreiras a pesquisar a luz, apenas 3 de 17 (17,65%) responderam corretamente:

Aluno A7 – “Henric Hertz”.

Aluno A3 – “James Maxwell”.

Aluno A11 – “Thomas Young”.

Aluno A13 – “Não lembro”.

Aluno A5 – “Não sei”.

Os 14 alunos restantes (82%) apresentaram respostas incompletas ou erradas, o que revela um desconhecimento sobre a contribuição histórica e científica de pesquisadores fundamentais como Thomas Young, Maxwell e Hertz.

Com base nessas respostas, buscamos resgatar o contexto histórico-científico que envolve a compreensão da luz e dos fenômenos ondulatórios. Esse conteúdo proporciona uma visão de continuidade e evolução do conhecimento científico, permitindo que os alunos reconheçam a importância dos avanços históricos e das contribuições de grandes cientistas, como Isaac Newton, que desenvolveu a teoria corpuscular da luz, Thomas Young, que demonstrou a natureza ondulatória por meio do experimento da dupla fenda, e James Clerk Maxwell, que unificou os fenômenos da eletricidade e do magnetismo em suas equações, consolidando a teoria eletromagnética da luz.

Na perspectiva pedagógica da PHC, este conteúdo representa uma forma de instrumentalização que visa não apenas transmitir fatos científicos, mas estimular uma reflexão crítica sobre como o conhecimento evolui e se transforma com a prática e a pesquisa contínua (Saviani, 2011). Ao conhecer esses pesquisadores e seus feitos, os alunos puderam perceber a ciência como um processo acumulativo e colaborativo, o que lhes possibilitou contextualizar o conhecimento atual dentro de uma história de desenvolvimento científico.

Para explorar o tema sobre as formas de geração de luz visível, os alunos foram incentivados a refletir sobre os principais tipos de luz artificial e natural presentes em seu cotidiano, como lâmpadas incandescentes, fluorescentes e *LEDs*. Para contextualizar o conteúdo, discutimos a natureza da luz como uma forma de radiação

eletromagnética que pode ser gerada através de processos físicos, químicos e elétricos. Além disso, abordamos as diferentes eficiências desses métodos, enfatizando que *LEDs*, por exemplo, são mais eficientes do que as lâmpadas incandescentes por converterem maior parte da energia elétrica em luz visível e menos em calor.

Nesta questão “quais as formas mais conhecidas de gerar luz visível? Qual a forma mais eficiente?”, 10 de 17 alunos (58%) não conseguiram fornecer uma resposta correta ou satisfatória, o que mostra uma falta de compreensão sobre os mecanismos de geração de luz.

Aluno A4 – “ Incandescência, lampada de gás, as lampadas de gás fluorescentes”

Aluno A12 – “Através de energia, seja química de combustão ou elétrica, sendo a elétrica a mais eficiente”

Aluno A11 - “Através de energia elétrica, combustão, química e elétrica”

Aluno A16 – “Não sei”

Aluno A3 – “Lampada, celular, TV”

Aluno A5 – “Não sei”

Apenas 7 alunos (41%) demonstraram alguma noção do tema, mas sem profundidade. A ausência de respostas detalhadas indica que é necessário explorar nas aulas de física o funcionamento de fontes de luz, como lâmpadas incandescentes, fluorescentes e *LEDs*, abordando a eficiência de cada tecnologia. Uma demonstração experimental também pode tornar o conceito mais acessível e reforçar a compreensão dos alunos.

Diante desta questão tivemos que refazer toda revisão teórica da luz, e aprofundar nos conceitos de como geramos luz visível.

Luz visível envolve a excitação de átomos ou moléculas, seguida pela emissão de fótons de comprimentos de onda na faixa visível do espectro eletromagnético (aproximadamente 380 a 750 nm), para isto abordamos vários exemplos conforme detalhamento abaixo:

Incandescência: Materiais aquecidos a altas temperaturas emitem luz devido à radiação térmica.

Um filamento (geralmente de tungstênio) é aquecido por corrente elétrica até atingir uma temperatura (>2000 K) onde começa a emitir luz visível.

A luz emitida é um espectro contínuo que inclui comprimentos de onda visíveis e infravermelhos.

Exemplo do cotidiano (Lâmpadas incandescentes).

Luminescência: Emissão de luz sem aquecimento significativo.

Fluorescência: A excitação eletrônica ocorre com a absorção de fótons de maior energia (UV, por exemplo), seguida pela emissão de luz visível.

Exemplo: Lâmpadas fluorescentes.

Fosforescência: Similar à fluorescência, mas com liberação retardada de fótons.

Quimiluminescência: Luz gerada por reações químicas.

Exemplo: Luminol em presença de peróxido.

Bioluminescência: Quimiluminescência natural em organismos vivos.

Exemplo do cotidiano: Vaga-lumes.

Descarga Elétrica : Átomos ou moléculas em um gás são excitados por elétrons energéticos e emitem luz a: o retornarem ao estado fundamental.

A descarga elétrica em gases nobres como neônio (luz vermelha) ou argônio (luz azul) produz emissão característica.

A luz emitida depende da configuração eletrônica do gás.

Exemplo do cotidiano: Luzes de néon.

Questão aplicada após a intervenção:

Aluno A8: "Incandescência, lâmpadas de gás e lâmpadas fluorescentes."

Aluno A13: "Usando energia, como química, combustão ou elétrica, sendo a elétrica mais eficiente."

Aluno A15: "Por energia elétrica, combustão ou química."

Após a intervenção e o aprofundamento dos conceitos citados acima, pudemos notar uma melhora substancial das respostas dos alunos, como segue abaixo.

Quando questionados sobre como Podemos gerar radiação eletromagnética, 10 de 17 alunos (58%) não sabiam responder, indicando uma lacuna significativa na compreensão dos processos de geração de radiação eletromagnética, como Podemos observar em algumas das respostas apresentadas no questionário:

Aluno A15 – “Cargas elétricas livres aceleradas”.

Aluno A2 – “Quando cargas elétricas livres são aceleradas gerando radiação eletromagnética”.

Aluno A14 – “Quando cargas elétricas são aceleradas”.

Apesar de 7 alunos (41%) terem acertado parcialmente ao mencionar a aceleração de cargas elétricas, as respostas demonstraram uma falta de conhecimento sobre outros mecanismos, como transições eletrônicas entre níveis de energia.

A questão sobre geração de radiação eletromagnética fundamenta-se nos conceitos de campos elétricos e magnéticos oscilantes, que, segundo a teoria eletromagnética de Maxwell, resultam na propagação de ondas eletromagnéticas. Esse conteúdo permite a exploração dos fenômenos de aceleração de cargas elétricas como meio para gerar radiação, além de abordar a emissão de luz por processos como o decaimento de níveis eletrônicos em átomos, um conceito fundamental em Física.

Na perspectiva da PHC, esse questionamento impulsiona a curiosidade científica e proporciona uma reflexão crítica ao relacionar processos cotidianos com princípios científicos complexos (Gasparin, 2003).

Após a intervenção sempre retomando os conhecimentos já abordados anteriormente afim de fortalecer ainda mais os conceitos já abordados, retomamos toda teoria descrita no capítulo 2.2 trazendo a importância as equações lá já discutidas.

Questão aplicada após a intervenção:

Aluno A6: "Cargas elétricas aceleradas geram radiação."

Aluno A7: "Cargas livres aceleradas geram radiação eletromagnética."

Aluno A15: "Quando cargas elétricas são aceleradas."

Esta questão foi bem desafiadora pois tivemos que realizar uma retomada profunda nos conceitos do capítulo 2.1, contextualizado com o eletromagnetismo, após a intervenção as respostas evoluíram de forma significativa, os alunos nos trouxeram novos termos técnicos o que demonstra uma boa apropriação do novos conceitos.

Na questão sobre como a cor se manifesta nos objetos, 9 de 17 alunos (52,94%) acertaram, apresentando um entendimento parcial de como ocorre a percepção de cores:

Aluno A7 – “Quando você vê uma cor ‘roxa’ você está vendo porque a cor é tudo menos roxa”.

Aluno A9 – “Por causa da interação entre a luz incidente e as propriedades dos materiais”.

Aluno A8 – “Na composição de certos objetos há capacidade de repelir diferentes comprimentos de onda”.

Os outros 8 alunos (47%) demonstraram dificuldades, indicando um entendimento superficial do processo de absorção e reflexão da luz que permite a percepção das cores. Para uma compreensão mais sólida, recomenda-se a utilização de atividades práticas, como o uso de filtros coloridos e a observação de objetos sob diferentes fontes de luz.

Tendo em vista ampliar a compreensão dos estudantes sobre o tema, explicamos como as cores se manifestam nos objetos, enfatizando que a cor observada depende das frequências de luz refletidas ou transmitidas pelo objeto e da luz que incide sobre

ele. Assim, por exemplo, um objeto verde reflete principalmente a luz verde e absorve outras cores.

Esse conteúdo conecta-se aos estudos de óptica e percepção visual, proporcionando uma instrumentalização que permite ao aluno compreender a origem das cores. Na visão de Saviani (2008), essa abordagem permite aos alunos relacionar o conteúdo científico com suas observações do mundo, transformando o aprendizado em uma ferramenta de interpretação crítica da realidade.

Para um aprofundamento mais qualitativo desta questão refizemos toda teoria do capítulo 2.3, dando enfoque em especial no aspecto da absorbância.

Questão aplicada após a intervenção:

Aluno A7: "Vemos uma cor porque o objeto reflete tudo, menos aquela cor."

Aluno A9: "A cor aparece por causa da interação da luz com o material."

Aluno A8: "Os objetos refletem ou absorvem diferentes comprimentos de onda."

Após a intervenção e o aprofundamento dos conceitos citados acima, pudemos notar uma melhora substancial das respostas dos alunos, os mesmos conseguiram explicar bem como as cores se manifestam nos objetos, o que demonstra aprofundamento nos conhecimentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou a implementação da espectroscopia UV-Vis no ensino médio, utilizando a abordagem da Pedagogia Histórico-crítica. A análise dos resultados revelou que o produto educacional desenvolvido promoveu um maior engajamento dos estudantes e possibilitou a compreensão dos conceitos físicos associados à espectroscopia, abordados em diferentes dimensões.

A análise qualitativa das respostas dos estudantes indicou que a abordagem histórica e crítica, contextualizando os experimentos de espectroscopia com eventos e descobertas científicas relevantes, contribuiu para um aprendizado mais crítico.

A espectroscopia é uma ferramenta essencial no ensino de Física, especialmente por sua capacidade de conectar conceitos teóricos a aplicações práticas que permeiam diversas áreas do conhecimento. Sua importância está em permitir que os alunos compreendam, de forma visual e quantitativa, a interação da luz com a matéria, um fenômeno que está no cerne de temas como estrutura atômica, energia, e propriedades dos materiais.

O uso de um espectrômetro em sala de aula, como o desenvolvido em nossas atividades, agrega valor pedagógico ao possibilitar que os estudantes explorem diretamente os espectros de emissão e absorção de diferentes substâncias, como podemos demonstrar ao longo da aplicação do produto. Nosso instrumento, pode ser adaptado para o vários tipos de novas experiências educacionais demonstra sua versatilidade em sala de aula. Com isto transformamos conceitos abstratos, como níveis de energia e transições eletrônicas, em observações tangíveis, permitindo que os alunos vejam na prática como as cores e os espectros estão relacionados à natureza dos átomos e moléculas.

Além disso, a espectroscopia pode ser utilizada para promover uma abordagem investigativa no ensino, estimulando os alunos a formularem hipóteses, realizarem experimentos e interpretarem resultados. Por exemplo, ao analisar a luz emitida por diferentes lâmpadas ou a absorção de radiação por soluções químicas, os estudantes

podem relacionar essas observações a aplicações cotidianas e tecnológicas, como *LEDs*, lâmpadas fluorescentes e até a análise de substâncias em laboratórios.

Um ponto importante e bem relevante do nosso produto esta na sua diversidade de experimentos que podemos realizar, ele é altamente adaptativo o que o torna uma ferramenta de grande pegada pedagógica.

Portanto, a espectroscopia, especialmente com o suporte de um espectrômetro, desempenha um papel central no ensino de Física, permitindo que os estudantes aprendam de maneira prática, investigativa e interdisciplinar, tornando o aprendizado mais significativo e conectado às realidades científica e tecnológica contemporâneas.

A Física é uma disciplina fundamental na formação científica dos estudantes, ela desenvolve conhecimentos críticos, analíticos e problematizadores, essenciais para a compreensão dos fenômenos naturais e tecnológicos. Além disso, a Física proporciona uma base sólida para o estudo de outras ciências e disciplinas técnicas, preparando os alunos para uma ampla gama de carreiras e contribuindo para a formação de cidadãos críticos e conscientes.

Os conceitos de energia, força, movimento e propriedades da matéria, por exemplo, são cruciais para a compreensão de muitos aspectos da vida cotidiana e do avanço tecnológico. A formação em Física possibilita aos estudantes a questionarem, investigarem e resolverem problemas complexos.

A proposta de substituir a disciplina de Física por Robótica no currículo escolar é um tema controverso que exige uma análise crítica detalhada. Embora a Robótica tenha um grande potencial para engajar os alunos e desenvolver habilidades práticas e tecnológicas, a exclusão da Física pode acarretar consequências significativas para a formação acadêmica dos estudantes.

A aplicação deste produto educacional nesta turma obteve resultados satisfatórios, em grande parte porque os alunos tiveram a oportunidade de estudar Física dentro da grade curricular anterior ao Novo Ensino Médio. Essa turma foi acompanhada desde o 9º ano do Ensino Fundamental até o 3º ano do Ensino Médio, o que me permitiu observar seu progresso ao longo dos anos. Felizmente, eles não

tiveram sua disciplina de Física substituída por Robótica, fator que facilitou consideravelmente a aplicação do produto educacional. Não foi necessário ensinar os conceitos físicos do zero; apenas algumas retomadas de conteúdos foram suficientes para que os alunos relembassem os fundamentos essenciais, ainda que de forma parcial. Esse fato, por si só, já representa uma vitória, pois demonstra que os estudantes possuíam um conhecimento acima do senso comum, o que reforça a importância da presença da Física no currículo escolar.

Ainda que a Robótica ofereça oportunidades valiosas de aprendizado, sua implementação como substituta da Física pode gerar diversas implicações negativas. A principal delas é o esvaziamento do conteúdo curricular, uma vez que a Robótica tende a priorizar projetos práticos e experimentação, muitas vezes sem a fundamentação teórica necessária para compreender os fenômenos subjacentes.

Embora interdisciplinar, a Robótica concentra-se majoritariamente em aspectos técnicos e aplicados, o que pode levar a uma compreensão superficial dos princípios científicos fundamentais ensinados na Física. A eletrônica, a programação e a engenharia, que fazem parte da Robótica, dependem diretamente de conceitos físicos, como eletricidade, magnetismo, cinemática e dinâmica. No entanto, sem uma base sólida na Física, os alunos podem acabar utilizando as tecnologias sem compreender plenamente os princípios que as regem.

Além disso, a Física desempenha um papel essencial no desenvolvimento do pensamento crítico e analítico dos estudantes. Enquanto a Robótica os capacita a operar e programar dispositivos, a Física os ensina a questionar, analisar e interpretar fenômenos naturais de forma lógica e rigorosa. Substituir a Física por Robótica pode resultar em uma formação mais técnica, mas menos reflexiva e crítica. Como consequência, os alunos podem se tornar apenas operadores de tecnologia, sem a capacidade de inovar ou solucionar problemas complexos de maneira eficaz.

Outro ponto crucial a ser considerado é a disparidade de infraestrutura entre as escolas. A implementação de programas de Robótica exige equipamentos específicos, laboratórios bem estruturados e docentes capacitados, recursos que muitas instituições, especialmente as públicas, não possuem. Isso pode aprofundar ainda mais as

desigualdades educacionais, privando alunos de escolas com menos recursos das mesmas oportunidades de aprendizado oferecidas em instituições mais privilegiadas.

Portanto, em vez de eliminar a Física para dar lugar à Robótica, o ideal seria buscar uma abordagem integrada, na qual ambas as disciplinas coexistam no currículo escolar. Essa integração permitiria aos alunos um aprendizado mais completo e significativo, combinando o rigor conceitual e analítico da Física com as aplicações tecnológicas e práticas da Robótica. Dessa forma, estaríamos preparando jovens não apenas para operar máquinas e sistemas, mas também para compreendê-los, aperfeiçoá-los e inovar a partir do conhecimento adquirido.

A seguir, propomos algumas estratégias para essa integração: desenvolver propostas interdisciplinares que integrem conceitos de Física e robótica pode ser uma maneira eficaz de ensinar ambos os assuntos, uma vez que na disciplina de robótica o aluno apropria-se dos conhecimentos básicos de eletrônica analógica e eletrônica digital, conceitos estes fundamentais para o bom entendimento de como nosso produto funciona; investir na formação continuada dos professores se faz necessário para o sucesso dessa integração. Os professores de Física devem ser formados para incorporar elementos de robótica em suas aulas, e vice-versa.

Oferecer workshops, cursos e recursos educacionais que facilitem essa transição é essencial para garantir uma implementação eficaz.

Criar materiais didáticos que integrem Física e robótica pode ajudar os professores a desenvolver aulas mais envolventes e significativas. Esses materiais devem ser desenvolvidos com base em pesquisas educacionais e ajustados às necessidades dos alunos, promovendo uma aprendizagem ativa e contextualizada.

Diante das conclusões deste estudo, recomendamos que as autoridades educacionais adotem as seguintes medidas: manter a Física no currículo: Garantir que a disciplina de Física continue a ser uma parte integral do currículo escolar, reconhecendo sua importância na formação científica e crítica dos alunos; promover a Integração: Incentivar a integração da Robótica como um complemento, e não como substituto, da Física; desenvolver políticas e diretrizes que apoiem a implementação de programas interdisciplinares; investir em Infraestrutura, assegurando que todas as escolas,

independentemente de sua localização ou recursos, tenham acesso à infraestrutura necessária para implementar programas de Física e robótica de qualidade; investir na formação continuada dos professores, fornecendo os recursos e apoio necessários para que eles possam ensinar Física e robótica de maneira integrada e eficaz; realizar pesquisas contínuas para avaliar a eficácia dos programas integrados de Física e robótica.

REFERÊNCIAS

ASIMOV, I. **A short history of chemistry**. New York: Doubleday, 1965. 263 p.

BEN-DOV, Y. **Convite à Física**. Brasil: Jorge Zahar Editor Ltda, 1996.

BRASIL ESCOLA. **Teoria Atômica de Dalton**. Disponível em:

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/teoria-atomica-dalton.htm>. Acesso em: 04 jun. 2024.

GASPARIN, J. L. **Uma Didática para a Pedagogia Histórico-Crítica**. 3. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2002.

GASPARIN, J. L. **Uma Didática para a Pedagogia Histórico-Crítica**. 5. ed. rev. 2. reimpr. Campinas, SP: Autores Associados, 2012. ISBN 978-85-7496-054-8.

HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HOLTON, G. **The Scientific Imagination: Case Studies**. Cambridge University Press, 1978.

INFOENEM. **Compreenda os meios de propagação da luz**. Disponível em:

<https://infoenem.com.br/compreenda-os-meios-de-propagacao-da-luz/>. Acesso em: 19 nov. 2023.

INSTRUCTABLES. **Arduino Spectroscope With TSL1401 and Display**. Disponível em:

<https://www.instructables.com/Arduino-Spectroscope-With-TSL1401-and-Display/>.

Acesso em: 19 nov. 2023.

KITEL, C. **Introdução à Física do Estado Sólido**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 578 p. ISBN 8521615051.

KRAGH, H. **Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century**.

Princeton University Press, 1999.

LEITE, D. O.; PRADO, R. J. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o ensino de química. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 2504, 2012.

LIMA, L. S. Lei de Lambert–Beer. **Revista Ciência Elementar**, v. 1, n. 1, p. 047, 2013.

LOPES, C. V. M. **Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica**. São Paulo: PUC, 2009.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. 2. ed. São Paulo: E.P.U., 2013. LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. 2. ed. São Paulo: E.P.U., 2014.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017.

OSCAR, et al. O estudo da natureza dual da luz no Ensino Médio. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. e56911629760, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i6.29760>. Acesso em: 3 abr. 2023.

PAIVA, R. Leis da refração da luz. **Revista Ciência Elementar**, v. 2, n. 3, p. 203, 2014.

PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro; PEDUZZI, Sônia Silveira. Editorial. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 2, p. 145-146, 2005.

Peth-Colorado: **Difração**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 10 dez 2023.

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

Pixabay. **Ondas eletromagnéticas**. Disponível em: <https://pixabay.com/pt/vectors/ondas-eletromagn%C3%A9ticas-1526374/>. Acesso em: 04 fevereiro 2024.

REDALYC. **Uma análise da didática de Gasparin: possibilidade de práxis pedagógica**. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5606/560662200039/html/>. Acesso em: 02 mar. 2023.

ROMANOWSKI, J. P.; ENS, R. T. As pesquisas denominadas do tipo “estado da arte” em educação. **Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 6, n. 19, p. 37-50, 2006.

SANTOS, O. R. dos; SCHEIFER, E. K.; SILVA, D. F. da; BRAGA, W. S.; FONTES, A. da S. O estudo da natureza dual da luz no Ensino Médio. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. e56911629760, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.2023.

SANTOS, V. **Modelo Atômico de Rutherford**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Colégio de Aplicação, Departamento de Ciências Exatas e da Natureza, 2019. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/colegiodeaplicacao/wp-content/uploads/2020/09/100-Qui%CC%81mica-semana-26.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2024.

SAVIANI, D. **Pedagogia Histórico-Crítica: primeiras aproximações**. Campinas: Autores Associados, 2003.

SAVIANI, D. **Pedagogia Histórico-Crítica: primeiras aproximações**. Campinas: Autores Associados, 2008.

SAVIANI, D. **Pedagogia Histórico-Crítica: primeiras aproximações**. 11. ed. rev. Campinas, SP: Autores Associados, 2011.

SILVA, N. C. **Laboratório de Física Moderna: Atenuação da Radiação pela Matéria**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 1206-1231, dez. 2012.

SARTORI, P. H. S. **Interação Radiação e Matéria: Propostas Didático-Experimentais Estimulando o Senso Crítico-Criativo**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Bioquímica, Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, 2008.

SOUZA, B. N. **O Ensino de Ciências para a Pedagogia Histórico-Crítica**. XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R2040-1.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2023.

SQUISSATO, A. G. M. **Construção explicação de um fotômetro para o ensino da absorção da luz.** Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

Thermofisher. Disponível em: <https://www.thermofisher.com/br/en/home/materials-science/learning-center/periodic-table/non-metal/carbon.html>. acesso em 20/04/2

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DA PESQUISA

Questão 1) O que os raios-x, ondas de rádio, ultra-violeta, microondas e luz visível possuem em comum? Explique sua resposta.

Questão 2) Como podemos diferenciar numericamente as cores da luz visível (cores que enxergamos)?

Questão 3) O que é Difração? Explique.

Questão 4) O que é a interferência de ondas? Explique.

Questão 5) Cite os principais pesquisadores e quais os seus feitos na compreensão dos fenômenos óticos/ondulatórios.

Questão 6) Quais as formas mais conhecidas de gerar luz visível (que enxergamos)? Das formas mencionadas por você, qual a forma mais eficiente? Justifique.

Questão 7) Como podemos gerar radiação eletromagnética? Justifique sua resposta.

Questão 8) Como as cores se manifestam nos objetos? Justifique sua resposta. (Por exemplo: Por que vemos as folhas das árvores verdes? Por que vemos o asfalto preto?).

**APÊNDICE B: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA (MNPEF)**

Você está sendo convidado a participar da pesquisa “UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DA ESPECTROSCOPIA UV-VIS NA EDUCAÇÃO BÁSICA”, sob responsabilidade do pesquisador Daniel Maggioni de Souza, e de seu orientador Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling.

O objetivo deste estudo consiste em elaborar, desenvolver e avaliar uma proposta Didático-pedagógica para o ensino do conteúdo da espectroscopia no visível na disciplina de Física do Ensino Médio, o qual, apesar de sua relevância, tem sido pouco discutido atualmente com os estudantes em sala de aula. Você foi selecionado porque atende a todos o critério de seleção dos participantes da pesquisa, ou seja, é estudante da disciplina de Física e está regularmente matriculado no terceiro ano do Ensino Médio.

Sua participação não é obrigatória e a qualquer momento você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento. A sua recusa na participação não trará nenhum prejuízo à sua relação com a pesquisadora ou com a Unidade Escolar na qual você estuda.

Sua participação consistirá no acompanhamento, assiduidade e envolvimento nas atividades que serão desenvolvidas pelo próprio pesquisador em sala de aula, com estudantes do terceiro ano do Ensino Médio, sobre o tema de sua Dissertação de Mestrado, segundo objetivo explicitado acima. Essas atividades serão desenvolvidas somente com a autorização do(a) diretor(a) da Unidade Escolar.

Seu consentimento em participar não acarretará desconfortos, gastos financeiros ou riscos de ordem psicológica, física, moral, acadêmica ou de outra natureza. Sua participação, ao contrário, poderá trazer benefícios, pois você estará participando de uma pesquisa que busca proporcionar aos estudantes da educação básica a compreensão da relação entre os conteúdos científicos estudados na escola e a realidade social mais ampla em que se encontram inseridos, bem como a

problematização dessa realidade, em suas diferentes dimensões. Ademais, visamos com este trabalho favorecer a ampliação dos conhecimentos culturais dos estudantes, a fim de que, munidos desses conhecimentos, eles possam utilizá-los como elementos ativos de transformação social.

Os dados da pesquisa serão coletados a partir do desenvolvimento das atividades teórico- experimentais que serão realizadas em sala de aula pela própria pesquisadora e poderão ser gravadas em um aparelho de gravação de áudio. Todas as informações obtidas por meio dessa pesquisa serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre sua participação.

Os resultados serão utilizados para a conclusão da pesquisa acima citada. Os dados coletados durante o estudo serão analisados e apresentados sob a forma de relatórios e serão divulgados por meio de trabalhos apresentados em reuniões científicas, periódicos e da própria Dissertação de Mestrado.

DANIEL MAGGIONI DE SOUZA

Assinatura do Pesquisador

Eu, _____, declaro que entendi os objetivos e benefícios de minha participação na pesquisa e concordo em participar.

_____ de _____ de 2023.

Assinatura do aluno (a)

Assinatura e carimbo do(a) diretor(a) da Unidade Escolar

APÊNDICE C : ROTEIRO PARA CONTRUÇÃO DA GRADE DE DIFRAÇÃO COM CD'S

Materiais Necessários

1 CD ou DVD inutilizado.

Estilete ou faca de precisão.

Tesoura.

Água morna com detergente.

Esponja macia ou pano.

Fita adesiva (opcional, para retirar a camada metálica).

Fonte de luz (lanterna ou laser).

Papel preto (opcional, para suporte).

Base para fixação (suporte de papelão ou prendedores).

Passo a passo da construção da grade de difração com CD:

Escolha um CD ou DVD que não esteja mais em uso.

Coloque o disco em uma bacia com água morna e detergente. Deixe de molho por aproximadamente 10 minutos.

Após o molho, use uma esponja macia ou um pano para esfregar cuidadosamente o lado reflexivo, removendo a camada metálica do disco.

Com uma tesoura ou estilete, recorte uma seção retangular da parte transparente do CD. Certifique-se de utilizar uma área sem riscos ou danos para não comprometer a eficiência da difração.

Caso ainda restem partes da camada metálica, pressione fita adesiva sobre essas áreas e puxe rapidamente para removê-las.

Fixe o pedaço recortado em um suporte, como papelão ou papel preto, utilizando fita adesiva ou prendedores. Isso facilitará o manuseio da grade durante os experimentos.

Teste da Difração:

Em um ambiente escuro, posicione a grade de difração frente a uma fonte de luz pontual (como um laser ou uma lanterna). Observe os padrões de difração projetados em uma parede ou superfície branca.

APÊNDICE D – CÓDIGO FONTE COMENTADO

```

#include <TFT_HX8357.h> // Biblioteca para controle do display TFT
#include <SD.h> // Biblioteca para manipulação do cartão SD

TFT_HX8357 tft = TFT_HX8357(); // Inicializa o display TFT

// Definição de pinos e constantes
#define CENTRE 240
#define clockPin 2
#define siPin 3
#define VOUT A0
#define INTVAL A1
#define Pino_SD 53
#define pinCalibracao 7
#define pinGravacao 13

int Faktor = 4; // Fator de ajuste para leitura do sensor
long exposure; // Variável para armazenar o tempo de exposição
int brilhos[128]; // Array para armazenar valores de brilho
int I0[128]; // Valores de referência da calibração
float transmitancia[128]; // Array para armazenar valores de transmitância
float absorbancia[128]; // Array para armazenar valores de absorbância
bool modoCalibracao = false; // Flag para indicar o modo de calibração

void setup() {
  Serial.begin(38400);
  pinMode(Pino_SD, OUTPUT);
  pinMode(siPin, OUTPUT);
  pinMode(clockPin, OUTPUT);
  pinMode(pinCalibracao, INPUT_PULLUP); // Configuração do botão de calibração
  pinMode(pinGravacao, INPUT_PULLUP); // Configuração do botão de gravação

  // Configuração do display
  tft.init();
  tft.setRotation(1);
  tft.fillScreen(TFT_BLACK);
  tft.setTextColor(tft.color565(255, 255, 255), tft.color565(0, 0, 0));

  tft.fillRect(0, 0, 480, 14, tft.color565(210, 210, 210));
  tft.drawCentreString("Espectrometro", CENTRE, 3, 1);

  // Inicializa os valores de referência como zero

```

```

for (int i = 0; i < 128; i++) {
  I0[i] = 0;
}
}

void loop() {
  // Verifica se o botão de calibração foi pressionado
  if (digitalRead(pinCalibracao) == LOW) {
    modoCalibracao = true;
    captural0();
    modoCalibracao = false;
  }

  // Verifica se o botão de gravação foi pressionado
  if (digitalRead(pinGravacao) == LOW) {
    while (digitalRead(pinGravacao) == LOW) {
      tft.fillScreen(TFT_BLACK);
      tft.print("Gravando os dados no Cartão");

      Inicializa_SDcard();
      getCamera();
      Dados();
      tft.fillScreen(TFT_BLACK);
      return;
    }
  }

  tft.fillRect(10, 15, 382, 285, TFT_BLACK);
  exposure = analogRead(INTVAL) / 4; // Ajusta o tempo de exposição
  getCamera(); // Captura os valores de brilho

  if (!modoCalibracao) {
    calculaAnalises(); // Calcula transmitância e absorbência
  }

  // Desenha o gráfico no display
  for (int i = 0; i < 128; i++) {
    int x = 10 + i * 3;
    int y1 = 299;
    int y2 = y1 - brilhos[i];
    tft.drawLine(x, y1, x, y2, GetColorByIndex(i));
  }
  delay(900);
}

```

```

// Captura os valores de referência (I0)
void captural0() {
  tft.fillScreen(TFT_BLACK);
  tft.drawCentreString("Modo Calibracao", CENTRE, 100, 1);
  getCamera(); // Captura valores atuais

  for (int i = 0; i < 128; i++) {
    I0[i] = brilhos[i];
  }

  tft.fillScreen(TFT_BLACK);
  tft.drawCentreString("I0 capturado!", CENTRE, 100, 1);
  delay(1000);
}

// Calcula transmitância e absorbância
void calculaAnalises() {
  for (int i = 0; i < 128; i++) {
    if (I0[i] > 0) {
      transmitancia[i] = (float) brilhos[i] / I0[i];
      absorbancia[i] = -log10(transmitancia[i]);
    } else {
      transmitancia[i] = 0;
      absorbancia[i] = 0;
    }
  }
}

Serial.println("Transmitância e Absorbância:");
for (int i = 0; i < 128; i++) {
  Serial.print(" T["); Serial.print(i); Serial.print("] = "); Serial.print(transmitancia[i]);
  Serial.print(" A["); Serial.print(i); Serial.print("] = "); Serial.println(absorbancia[i]);
}
}

// Captura os valores do sensor
void getCamera() {
  digitalWrite(clockPin, LOW);
  digitalWrite(siPin, HIGH);
  digitalWrite(clockPin, HIGH);
  digitalWrite(siPin, LOW);
  digitalWrite(clockPin, LOW);

  for (int j = 0; j < 128; j++) {
    digitalWrite(clockPin, HIGH);
    digitalWrite(clockPin, LOW);
  }
}

```

```

}

delay(exposure);
for (int j = 0; j < 128; j++) {
  delayMicroseconds(20);
  brilhos[j] = analogRead(VOUT) / Faktor;
  digitalWrite(clockPin, HIGH);
  digitalWrite(clockPin, LOW);
}
}

// Salva os dados no cartão SD
void Dados() {
  File myFile = SD.open("Dados.txt", FILE_WRITE);
  if (myFile) {
    for (int i = 0; i < 128; i++) {
      myFile.println(brilhos[i]);
    }
    myFile.close();
  }
}

// Inicializa o cartão SD
void Inicializa_SDcard() {
  Serial.print(F("SDCARD INICIALIZANDO...."));
  if (!SD.begin(Pino_SD)) {
    Serial.println(F("Erro"));
    return;
  }
}

// Gera cores para representar os valores no display
uint16_t GetColorByIndex(int index) {
  int red, green, blue;

  if (index < 32) {
    red = 0; green = 0; blue = map(index, 0, 31, 160, 255);
  } else if (index < 64) {
    red = 0; green = map(index, 32, 63, 200, 255); blue = 0;
  } else if (index < 96) {
    red = green = map(index, 64, 95, 255, 255); blue = 0;
  } else {
    red = map(index, 96, 127, 255, 160); green = 0; blue = 0;
  }
  return tft.color565(red, green, blue);}

```

APÊNDICE E – Produto educacional**UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DA ESPECTROSCOPIA
UV-VIS NA EDUCAÇÃO BÁSICA****Daniel Maggioni de Souza**

DANIEL MAGGIONI DE SOUZA

**UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DA ESPECTROSCOPIA UV-VIS NA EDUCAÇÃO
BÁSICA**

A proposal for teaching UV-Vis spectroscopy in basic education

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física – Polo 32, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling
Coorientador(a): Prof^aDr^a Natalia Neves
Macedo Deimling

CAMPO MOURÃO

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão



DANIEL MAGGIONI DE SOUZA

ESPECTROSCOPIA DA LUZ NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ensino De Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Física Na Educação Básica.

Data de aprovação: 14 de Fevereiro de 2025

Dr. Cesar Vanderlei Deimling, Doutorado - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná Dr. Gilson Junior Schiavon, Doutorado -
Universidade Tecnológica Federal do Paraná Dr. Ronaldo Celso
Viscovini, Doutorado - Universidade Estadual de Maringá (Uem)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 14/02/2025.

É com grande entusiasmo que convidamos educadores, estudantes e entusiastas da ciência a explorarem nossa proposta inovadora para o ensino de espectroscopia UV-Vis na educação básica. Nosso produto educacional foi cuidadosamente desenvolvido como parte de minha dissertação de Mestrado em Ensino de Física, pelo Programa de Pós-Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Sob a orientação do Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling e coorientação da Prof^ª Dr^ª Natalia Neves Macedo Deimling, este trabalho busca tornar conceitos complexos da interação entre luz e matéria mais acessíveis e estimulantes para os estudantes.

O plano de unidade apresentado, centrado em atividades experimentais e no uso de um espectrômetro desenvolvido especificamente para fins didáticos, proporciona uma abordagem prática e investigativa.

A proposta está alinhada com a Pedagogia Histórico-crítica, incentivando a autonomia do professor e o engajamento ativo dos alunos no processo de aprendizagem, acreditamos que essa iniciativa contribuirá significativamente para enriquecer o ensino de Física, despertando o interesse por temas contemporâneos e fundamentais para a compreensão da ciência no mundo moderno.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Dedico este trabalho a todos os professores de Física que incansavelmente procuram novas formas de trazerem os saberes mais atuais aos seus alunos.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	114
2	O ESPECTRÔMETRO MONTAGEM EXPERIMENTAL.....	116
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	128
3.1	Absorvância: Fundamentos Teóricos e Aplicações.....	133
3.2	Difração.....	135
4	PLANO DE UNIDADE.....	140
4.1	Experimento número 01.....	140
4.1.1	Objetivos específicos.....	138
4.1.2	Conteúdos a serem trabalhados.....	138
4.1.3	Da experimentação.....	141
4.1.4	Uso de Papel Celofane para Estudo de Absorvância.....	143
4.1.5	Medição como Papel Celofane.....	143
4.2	Experimento número 02.....	145
4.2.1	Objetivos específicos.....	145
4.2.2	Conteúdos a serem trabalhados.....	145
4.2.3	Da experimentação.....	145
4.2.4	Observação do Espectro de LEDs.....	146
4.2.5	Difração de Luz Branca.....	147
	REFERÊNCIAS	149

1 INTRODUÇÃO

Ao longo deste trabalho apresentaremos ao leitor uma forma alternativa e motivadora para compreender, de modo quantitativo, a natureza da radiação eletromagnética, em especial na faixa de comprimentos de onda da luz visível. Para tanto, partiremos das concepções da natureza dual da luz, ou seja, que a luz é gerada como partícula de energia definida, se propaga como onda eletromagnética e é detectada trocando energia como partícula.

Um dos principais objetivos deste produto educacional é auxiliar na compreensão das dinâmicas de troca de energia, para isso, desenvolvemos um espectrômetro e um plano de aula detalhado para a análise de fenômenos físicos como absorbância, as aulas foram cuidadosamente elaboradas para promover o envolvimento ativo dos estudantes e proporcionar uma experiência de aprendizagem significativa.

A espectroscopia UV-Vis, uma técnica fundamental para analisar as interações entre radiação eletromagnética e matéria, oferece grande valor didático no Ensino Médio sua inclusão nas aulas de Física permite explorar conceitos essenciais como absorção de energia luminosa, comprimento de onda, frequência e energia dos fótons, alinhando-se à Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e às Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná.

No campo de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a BNCC estabelece que os estudantes devem compreender a radiação eletromagnética e suas interações com a matéria. A espectroscopia está diretamente relacionada a habilidades como:

Habilidade EM13CNT301: Aplicar os princípios das ondas e as propriedades da luz para resolver problemas envolvendo radiação visível, ultravioleta e infravermelha.

Habilidade EM13CNT302: Interpretar fenômenos ópticos (reflexão, refração, difração) e suas aplicações tecnológicas, como o uso de espectrofotômetros para identificação de substâncias.

Essas habilidades promovem o letramento científico ao incentivar os alunos a compreenderem como a luz interage com materiais em contextos tecnológicos e

práticos, as diretrizes estaduais destacam a contextualização e a experimentação como fundamentos do ensino de Física. A espectroscopia UV-Vis envolve conceitos como:

Interação Luz-Matéria: Estudos sobre absorção e transmissão de luz utilizando espectrofotômetros para analisar espectros de absorção de diferentes materiais.

Leis de Lambert-Beer: A relação entre a concentração de uma solução e a intensidade da luz absorvida, demonstrando como a absorvância varia com o comprimento de onda.

Difração e Dispersão: Fenômenos essenciais para o estudo de espectros visíveis e UV, fundamentais para a compreensão da decomposição da luz branca em suas componentes.

O produto educacional foi implementado em uma turma do 3º ano do Ensino Médio, durante o terceiro trimestre de 2023, em uma escola pública estadual do interior do Paraná. A abordagem teórico-metodológica baseou-se na Pedagogia Histórico-Crítica de Dermeval Saviani, valorizando sua contribuição para o aprendizado significativo e crítico dos estudantes.

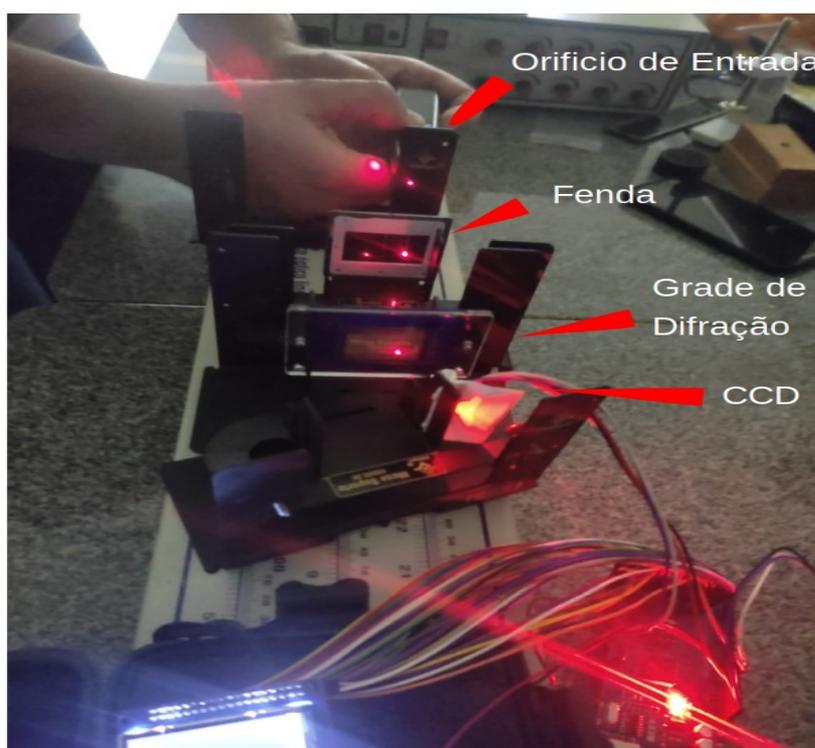
O planejamento seguiu os cinco momentos pedagógicos: prática social inicial, problematização, instrumentalização, catarse e prática social final. Este modelo permite uma compreensão crítica e contextualizada da espectroscopia UV-Vis. Iniciamos com os conhecimentos prévios dos estudantes, problematizamos conceitos-chave sobre luz e matéria, utilizamos o espectrofotômetro como ferramenta didática para instrumentalizar o aprendizado e promovemos a síntese crítica do conhecimento, permitindo que os alunos apliquem os conceitos em situações reais.

Nosso enfoque visa não apenas a aprendizagem significativa, mas também a compreensão da ciência como um meio de emancipação social. Este trabalho propõe-se como um recurso prático e teórico que reforça o ensino transformador de Física, alinhado aos desafios contemporâneos de democratização e inovação na educação básica.

2. O ESPECTRÔMETRO: MONTAGEM EXPERIMENTAL

Nosso produto educacional traz como proposta uma série de experimentos baseados na Física contemporânea que podem ser realizados com o auxílio do equipamento aqui desenvolvido. Como proposta inicial realizaremos experimentos de espectro de emissão e absorção da luz, para isto utilizaremos diferentes tipos de LEDs, LASERS. O objetivo do uso do espectrômetro é possibilitar a análise da intensidade da luz incidente em função do comprimento de onda na faixa do espectro visível. A luz que será analisada, proveniente de qualquer fonte, ou que tenha sido transmitida por um meio, acessará o interior dispositivo por meio do arranjo mostrado na Figura 01 abaixo.

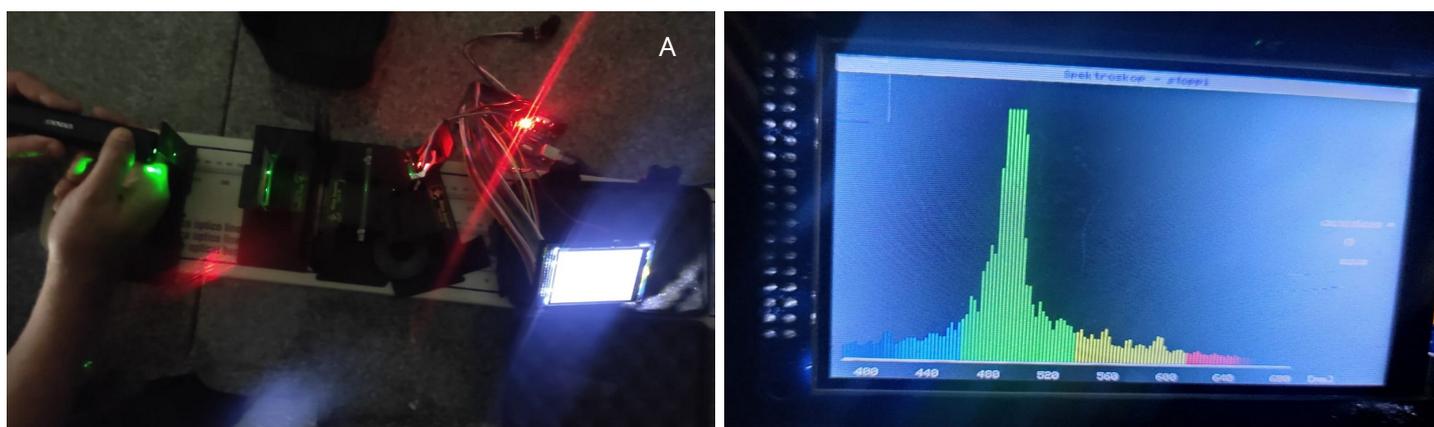
Figura 1: Fotografia da montagem experimental do espectrômetro



Fonte autoria **Própria(2023)**

Após alinhado e colimado por uma fenda de 0.3 mm, o feixe de luz incide sobre uma grade de difração de 1000 fendas por milímetro, com objetivo de difratar o feixe separando diferentes comprimentos de onda em função do ângulo de difração. Ao passar pela grade e abrir espacialmente o espectro, a luz deve incidir um prisma que terá o objetivo de focar a luz de uma das ordens de difração diretamente sobre o fotodetector. Comprimentos de onda próximos ao vermelho terão ângulo de difração maior daqueles comprimentos de onda próximos ao azul, conforme veremos nas próximas seções. O fotodetector, por sua vez, transforma a intensidade da luz em um sinal de diferença de potencial, que quando conectado a uma placa de prototipagem do tipo Arduino Mega, pode ser aferido, analisado e convertido em um gráfico, numa tela de *lcd*, facilitando a visualização da intensidade luminosa em função do comprimento de onda. Para tanto, nosso software – que segue em anexo no apêndice D da dissertação e também disponível em: <https://github.com/danielmaggioni/Espectrofotometro.git> – foi desenvolvido, de modo a uma interface gráfica amigável. Visando facilitar o tratamento futuro dos dados obtidos, uma funcionalidade foi adicionada, permitindo o salvamento instantâneo de dados em um cartão do tipo SD. Nas Figuras 02 a) e b) podemos ver um laser verde incidindo sobre a fenda e acessando o espectrômetro, bem como a interface gráfica do equipamento no *display* LCD respectivamente.

Figura 02 - a) Montagem do experimento e b) interface gráfica do espectrômetro



Fonte: Autoria Própria(2023)

Com o objetivo de facilitar a montagem e construção da parte eletrônica do espectrômetro, organizamos a Tabela 01, que detalha todos os insumos necessários para a sua montagem, bem como de algumas práticas experimentais.

Além da tabela dispomos uma serie de imagens com a montagem passo a passo para que o professor ou entusiasta consiga de maneira facil replicar nosso equipamento.

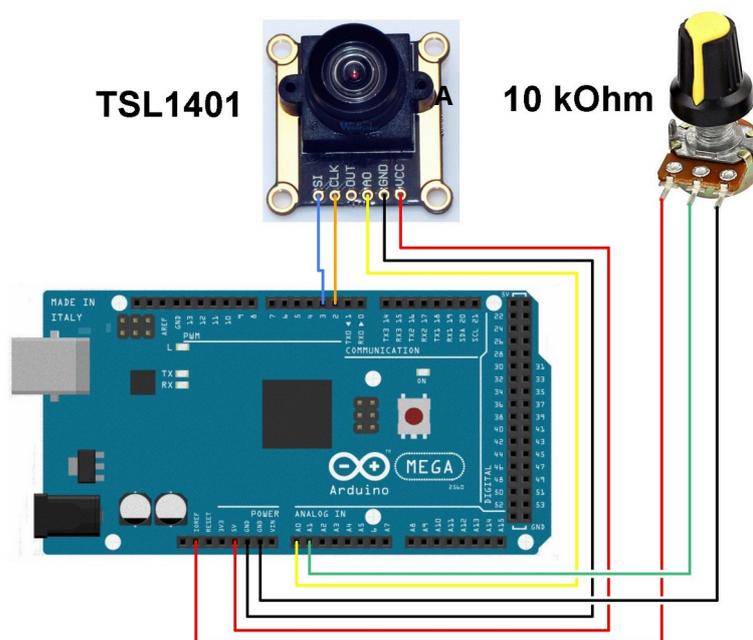
Tabela 01 - Itens necessários para a montagem do espectrômetro.

01	Arduino Mega
01	TSL 1401
01	Potenciometro 10k
01	<i>Display</i> de 3.5" TFTLCD 320x 480 com leitor de cartão integrado
50	Jumpers
01	Fonte de alimentação ajustável
01	Grade de difração 1000 fendas/mm
20	Resistores de 200 ohms
3	Led verde
3	Leds amarelo
3	Led azul
3	Led vermelho
1	Trilho para fixação dos suportes

As Figuras 3 a) e b) apresentam um detalhamento das conexões eletrônicas, entre a placa de prototipagem Arduino Mega e os componentes periféricos, o sensor TSL 1401 e o *display* de 3 polegadas LCD, com cartão sd. Com o objetivo de ajustar qualitativamente a amplitude do sinal luminoso mensurado, um potenciômetro de 10 k Ω foi utilizado, de modo a controlar o tempo de coleta dos dados obtidos do sensor TSL 1401. Dessa forma a amplitude dos picos do espectro mensurado sempre poderá ser ajustada de modo a garantir uma boa visualização na tela LCD.

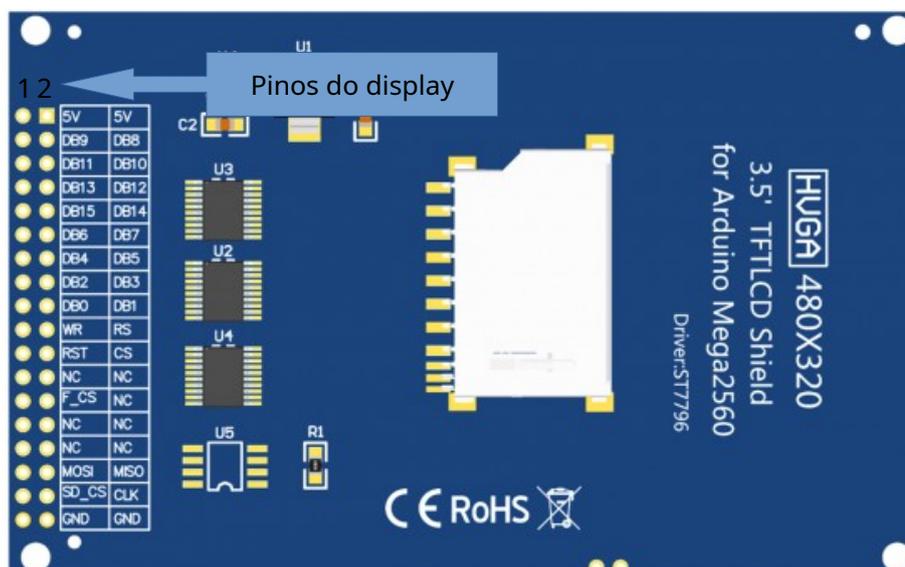
Na Figura 3 a e b abaixo, apresentamos a representação esquemática das ligações eletrônicas entre o sensor TSL 1401, o potenciômetro de 10 k Ω e a placa de prototipagem Arduino Mega. Na figura b apresentamos a representação esquemática das ligações eletrônicas entre a tela e a placa de prototipagem Arduino Mega.

Figura 3 a e b - imagem da montagem experimental do espectrômetro



Fonte: INSTRUCTABLES(2023)

Figura 3 b – Pinos do *display* TFTLCD 3.5” que serão conectado ao arduino Mega2560



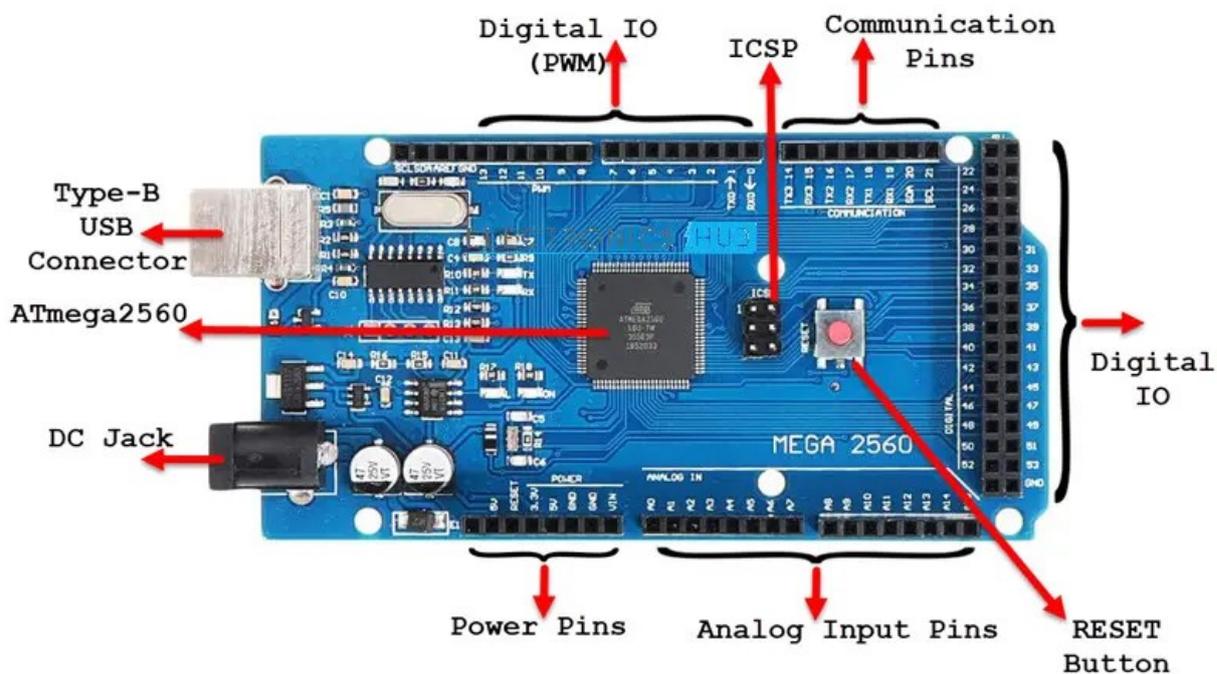
Fonte:

Disponível em : <https://www.altronics.com.au/p/z6527a-3.5-lcd-tft-arduino-mega2560-shield/> d. Acesso em 20 fevereiro 2025

De acordo com as marcações na figura acima estes pinos devem ser conectados as entradas do nosso arduino Mega2560, da seguinte maneira:

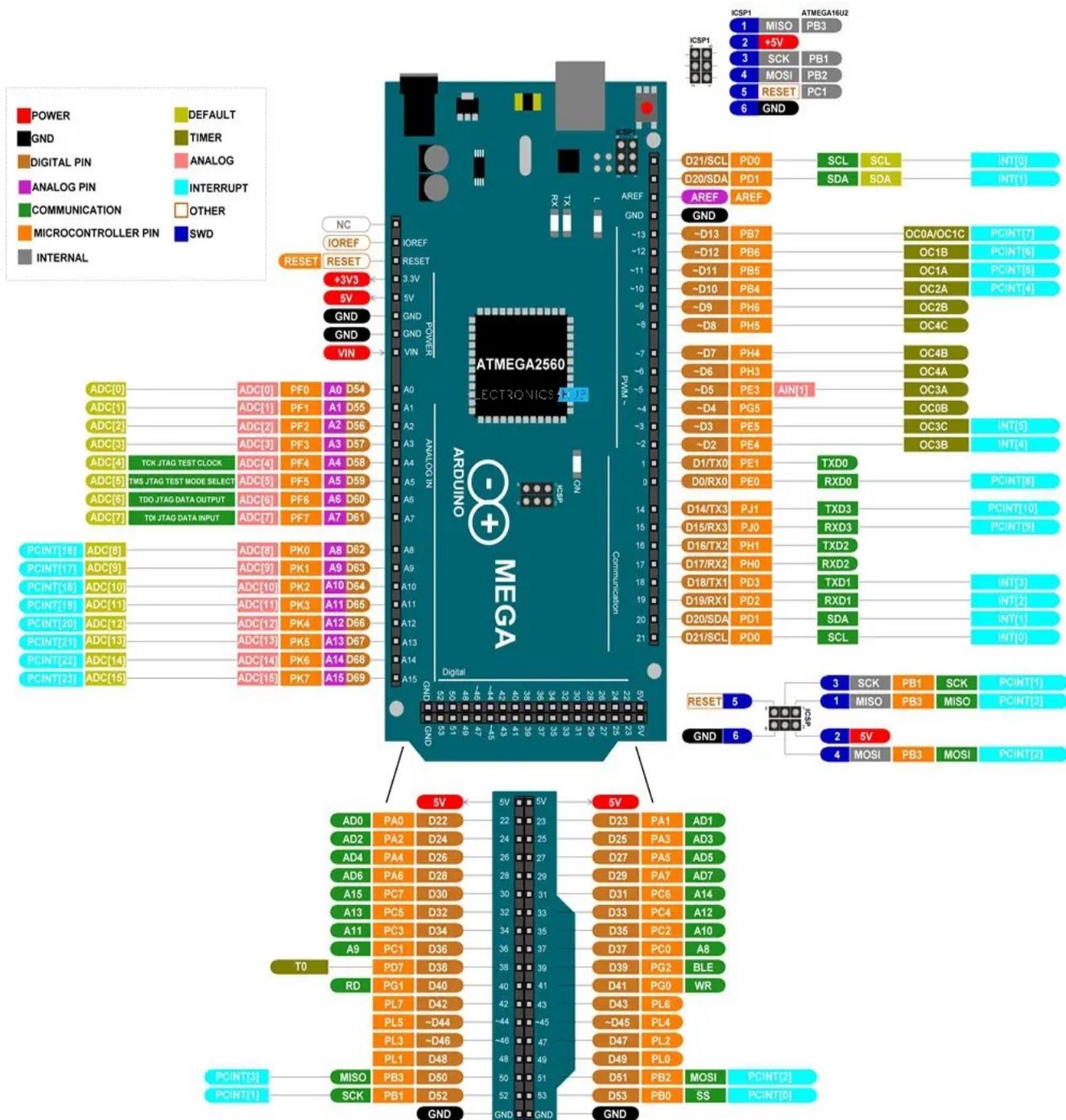
Na figura 4 a e b mostrada abaixo apresentamos as portas dos arduino Mega2560, com suas respectivas funções mostraremos nos detalhes as entradas e saídas.

Figura 4 a – Descrição as portas dos arduino Mega2560



Fonte: Disponível em: <https://www.electronicshub.org/arduino-mega-pinout/>. Acesso em 20 Fevereiro 2025

Figura 4 b – Descrição das portas



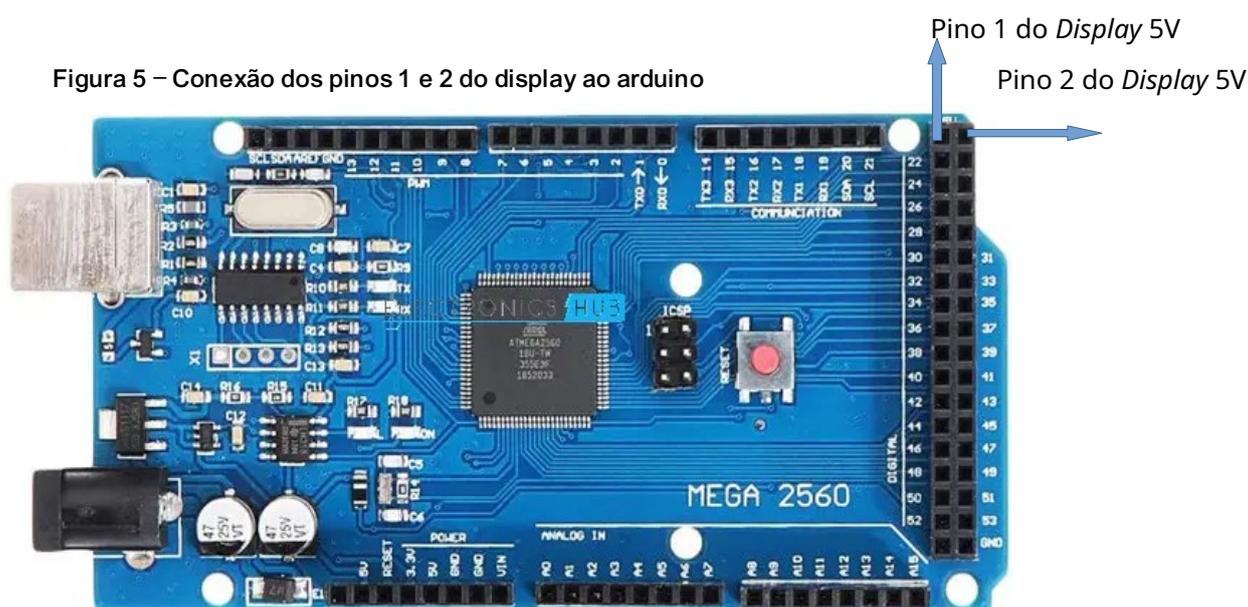
Fonte: Disponível em: <https://www.electronicshub.org/arduino-mega-pinout/>. Acesso em

20 Fevereiro 2025

Descrita as funções das portas, na figura 5 abaixo vamos mostrar a conexão elétrica dos pinos 1 e 2 do *display* ao arduino Mega2560.

O pino 1 do TFTLCD 3.5" vai ser conectado ao Pino 5V do Arduino Mega2560 conforme a figura abaixo

Figura 5 – Conexão dos pinos 1 e 2 do display ao arduino



Fonte: <https://www.electronicshub.org/wp-content/smush-webp/2021/01/Arduino-Mega.jpg.webp> (2025)

As demais conexões seguem a tabela 2 abaixo:

Tabela 02: Conexões

Pino Display	Pino do módulo	Descrição do Pino	Pino Display	Pino do módulo	Descrição do Pino	Pino arduino
1	5V	Fonte de alimentação positiva	2	5V	Fonte de alimentação positiva	5v / 5v
3	DB8	8º bit do barramento de dados	4	DB9	9º bit do barramento de dados	21 / 22
5	DB10	10º bit do barramento de	6	DB11	11º bit do barramento de	23 / 24

		dados			dados	
7	DB12	12º bit do barramento de dados	8	DB13	13º bit do barramento de dados	25 / 26
9	DB14	14º bit do barramento de dados	10	DB15	15º bit do barramento de dados	27 / 28
11	DB7	7º bit do barramento de dados	12	DB6	6º bit do barramento de dados	29 / 30
13	DB5	5º bit do barramento de dados	14	DB4	4º bit do barramento de dados	31 / 32
15	DB3	terceiro bit do barramento de dados	16	DB2	2º bit do barramento de dados	33 / 34
17	DB1	1º bit do barramento de dados	18	DB0	0 bit de barramento de dados	35 / 36
19	RS	Registro LCD / sinal de seleção de dados Baixo nível: registro, alto nível: comando	20	WR	Sinal de controle de gravação LCD	37 / 38
21	CS	Sinal de controle de seleção de tela LCD, habilitação de baixo nível	22	RST	Sinal de controle de reinicialização do LCD, reinicialização baixa	39 / 40
23	NC	Indefinido, reservado	24	NC	Indefinido, reservado	41 / 42
25	NC	Indefinido, reservado	26	F_CS	Sinal de controle de seleção de chip flash SPI	43 / 44
27	NC	Indefinido, reservado	28	NC	Indefinido, reservado	45 / 46
29	NC	Indefinido, reservado	30	NC	Indefinido, reservado	47 / 48
31	MISSÔ	Sinal de entrada do barramento SPI	32	MOSI	Sinal de saída do barramento SPI	49 / 50
33	CLK	Sinal de relógio de barramento SPI	34	SD_CS	Sinal de controle de seleção de	51 / 52

					cartão SD, habilitação de baixo nível	
35	Terra	Aterramento de energia	36	Terra	Aterramento de energia	GND / GND

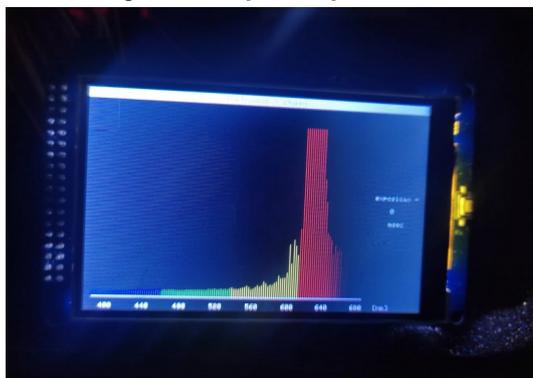
Após a montagem da parte eletrônica correspondente ao espectrômetro, bem como da inserção da programação correspondente à interface gráfica e à coleta de dados pela placa de prototipagem Arduino, torna-se necessária o ajuste mecânico da calibração do espectrômetro.

O primeiro ponto de análise, está vinculado à reprodutibilidade do experimento e para tanto, torna-se necessário que o feixe de luz sempre acessar o interior do espectrômetro da mesma maneira. Dessa forma, foram utilizadas duas fendas de modo que o feixe de luz possa sempre incidir sobre a grade de difração da mesma forma. Na sequência o sensor óptico precisa ser posicionado de maneira adequada, de modo que a um feixe de luz com comprimento onda conhecido incida na posição correta do sensor, correspondente ao comprimento de onda mostrado no *display*. O procedimento de calibração é concluído quando um segundo feixe de luz, com comprimento de onda conhecido, também é ajustado e mostrado na posição do *display* correspondente. Esse procedimento é mostrado na figura abaixo.

Figura 4- Calibração do espectrômetro



Figura 4: Autoria própria(2023)

Figura 5 – espectro plotado

Fonte: Autoria própria(2023)

Visando expandir as análises possíveis do espectrômetro, para além de análises dos comprimentos de onda que compõem um determinado feixe de luz, torna-se possível uma análise qualitativa da intensidade luminosa transmitida por diferentes materiais, monitorando dessa forma, a absorbância de diferentes materiais, para diferentes fontes luminosas com comprimentos de onda conhecidos. Neste caso, os materiais que serão analisados são devidamente posicionados entre as fendas de alinhamento do feixe, garantindo que a luz permaneça incidindo da mesma maneira sobre a grade de difração, permitindo a reprodutibilidade dos experimentos. Detalhes sobre essa montagem são mostrados na figura 6 abaixo

Figura6 - Montagem**Figura 6: Autoria própria(2023)**

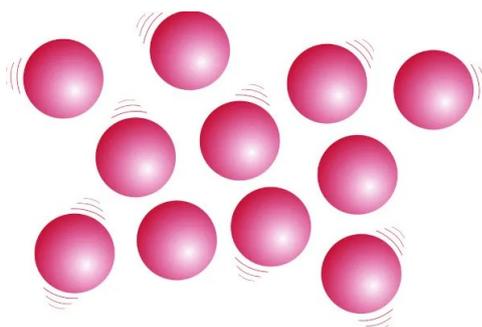
Cabe destacar que a montagem experimental do espectrômetro foi desenvolvida para fins didáticos, privilegiando a visualização de cada uma de suas partes em detrimento da precisão do equipamento. Entendemos que ajustes podem colaborar com melhorias nas análises, rendendo maior precisão e reprodutibilidade dos dados.

3. A FÍSICA DO EXPERIMENTO:

Desde a antiguidade, estudar as propriedades da matéria de modo a compreender melhor sua constituição, tem despertado fascínio e curiosidade de muitos cientistas, resultando no surgimento de diferentes áreas de pesquisa. Por volta de 400 a.C., os filósofos gregos Leucipo e Demócrito elaboraram uma teoria rudimentar na qual a matéria poderia ser descrita por minúsculas partículas indivisíveis chamada de átomos (não divisível), introduzindo a ideia de matéria discretizada. Segundo eles, a matéria poderia ser dividida incessantemente até que chegaria em um ponto o qual não haveria mais como ser particionada, porque ela atingiria uma unidade fundamental, indivisível (Asimov, 1965; Peduzzi, 2005).

Muito mais tarde, entre os anos de 1803 e 1808, John Dalton ressurgiu com a teoria de Demócrito e Leucipo e formulou sua teoria, onde o conceito do átomo está associado a um formato esférico, maciço e indivisível. Em seus postulados, o cientista afirmava que os átomos se diferenciavam uns dos outros por suas propriedades, em especial, a massa e o volume, mas todos os átomos do mesmo elemento químico seriam exatamente iguais entre si.

Figura 7 - Representação de um conjunto de átomos conforme o modelo de Dalton



Fonte: brasil escola(2023)

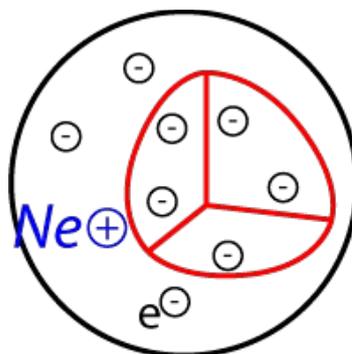
Em 1897 o físico inglês Joseph John Thomson, estudando o comportamento de diferentes gases quando confinados em um tubo e submetidos as descargas elétricas, verificou o surgimento de emissões de luz, que independiam da natureza do gás. Esse

experimento ficou conhecido como o experimento do tubo de raios catódicos. O experimento consiste em colocar um gás no interior do tubo de vidro, onde a pressão pode ser diminuída por meio de uma bomba de vácuo. Aplicando uma alta diferença de potencial (da ordem de kV) entre dois eletrodos - o cátodo positivo e o ânodo negativo - foi verificado, ao final do processo, a emissão de luz pelo gás.

Aprofundando seus estudos, foi verificado que esses raios luminosos (raios catódicos) seriam gerados por cargas negativas, que foram chamadas de elétrons. Além do mais, Thomson, em colaboração com Rutherford, conseguiu mais tarde, através do seu experimento, estabelecer uma relação entre carga e massa das partículas presentes nos raios catódicos e notando que ela era constante, não dependente na natureza do gás, concluindo então que essa partícula estaria presente na composição de qualquer tipo de matéria.

Segundo o modelo descrito por Thomson, o átomo consistiria em uma amalgama com a carga positiva, distribuída uniformemente ao longo do seu volume, e os elétrons, com cargas negativas, estariam distribuídos ao longo de seu volume, oscilando, cada qual, em torno de seu ponto de equilíbrio, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 8 - Representação do modelo de Thomson



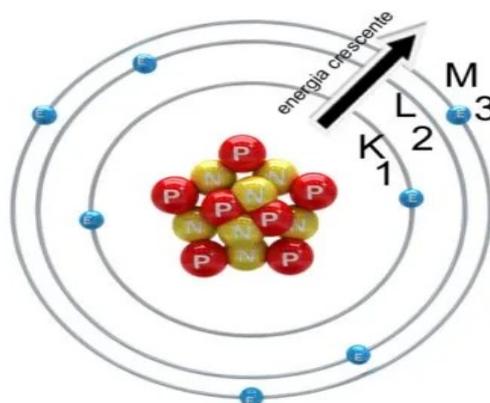
Fonte: meteorologiaenred(2023)

Autores como Kragh (1999) e Holton (1978) fazem analogia deste modelo como se fosse um “pudim de passas”, onde a carga elétrica positiva estaria distribuída ao longo da massa do pudim e a carga negativa, os elétrons, seriam representados pelas passas.

Com base nas ideias de cargas elétricas positivas e negativas, posteriormente, em 1911, o físico neozelandês Ernest Rutherford desenvolveu uma técnica para tentar observar a estrutura do átomo utilizando como ferramenta, o desvio sofrido por uma partícula alfa (uma partícula composta por dois prótons e dois nêutrons). Rutherford direcionou partículas alfa, emitidas por uma fonte de polônio, de modo que elas colidissem com uma fina placa de ouro de espessura aproximada de 10^{-4} mm.

A escolha pelo material Ouro ocorreu em função de ser um material de baixa reatividade, alta maleabilidade e ductilidade, facilitando a confecção de finas folhas desse material.

Como resultado, era esperado que as partículas alfa atravessassem a folha de Ouro de forma retilínea, vindo a colidir ao final com um filme sensível, contudo, observou-se um desvio de algumas partículas alfa ao atravessar a folha de Ouro. Esse resultado possibilitou a Rutherford concluir que o átomo é composto por um grande vazio, cuja massa estava majoritariamente concentrada em uma pequena região, chamada de núcleo, muito denso. A partir da análise dos desvios, foi possível também concluir que o núcleo é positivo uma vez que algumas partículas alfa (positivas) foram retro espalhadas, sofrendo repulsão com os núcleos dos átomos de Ouro, possibilitando com isso, um avanço significativo na compreensão das propriedades da matéria em relação ao modelo de Thomson. A Figura 3 apresenta uma representação do modelo de Rutherford na qual elétrons orbitam em torno do núcleo.

Figura 9 - Representação do modelo de Rutherford

Fonte: Manual da química(2023)

Neste cenário, o modelo de Rutherford foi tratado por diferentes autores, como Holton (1978) e Kragh (1999), como um modelo orbital, em analogia ao sistema planetário, onde o núcleo composto de prótons e nêutrons ocupa o centro do sistema, enquanto os elétrons, muito menores, orbitam o vasto espaço ao seu redor em trajetórias circulares.

No entanto, um problema significativo, relacionado à estabilidade energética deste modelo, permanecia sem explicação. Baseado neste modelo, os elétrons orbitam em torno do núcleo e, portanto, estão sendo continuamente acelerados (aceleração centrípeta), e portanto, deveriam emitir radiação eletromagnética, perdendo energia continuamente.

Essa perda de energia dos elétrons resultaria em uma trajetória espiralada, e com o passar do tempo, levaria ao colapso do átomo em decorrência da colisão inevitável do elétron com o núcleo, comprometendo dessa forma o conceito de estabilidade dos átomos.

Visando compreender melhor a estabilidade do átomo e o estranho comportamento dos elétrons no modelo de Rutherford, o físico dinamarquês Niels Bohr buscou embasamento científico em experimentos envolvendo emissões do espectro atômico. Seu modelo foi elaborado com base no movimento e disposição dos elétrons

no átomo, e descreve com elegância o comportamento dos átomos hidrogenóides, ou seja, aqueles que possuem Z prótons mas apenas um elétron.

Ele concluiu que os átomos de um determinado elemento químico só emitem radiações em certos comprimentos de onda, e portanto, deveriam apresentar estados de energia bem definidos.

Após essa conclusão, Bohr elaborou postulados que auxiliaram a modelar o comportamento da natureza atômica da matéria (Peduzzi, 2005). No primeiro postulado Niels Bohr descreveu o movimento dos elétrons em torno do núcleo do átomo. Esse movimento ocorre em órbitas circulares, com energias fixas e definidas, dependentes do raio de trajetória, r , sendo também chamadas de estados estacionários.

O segundo postulado impõe que os elétrons não emitem energia ou qualquer tipo de radiação eletromagnética enquanto se movimentam nessas órbitas, garantindo dessa forma a estabilidade energética desse modelo. Para tanto, Bohr partiu dos estudos sobre o comportamento ondulatório da matéria de De Broglie, que demonstraram a relação entre o momento linear e o comprimento de onda. A ideia central por trás da estabilidade atômica, resultava na quantização do espaço, ou seja, o comprimento da órbita ($2\pi r$) deveria ser igual a um número inteiro de comprimentos de onda associados ao elétron ($n\lambda$), satisfazendo a condição para existência de estados estacionários.

O terceiro postulado indica que quando um elétron absorve energia de uma fonte externa, ele pode transicionar para outra órbita, mais energética, de n maior, configurando um novo estado energético, também chamado de estado excitado. Após algum tempo, esse elétron tende a voltar ao mesmo estado de energia inicial, emitindo essa mesma quantidade de energia absorvida anteriormente, correspondente à diferença de energia entre os dois níveis. Essa emissão de energia é quantizada e ocorre por meio de radiação eletromagnética, chamada de fóton, que pode ser em diferentes faixas de comprimentos de onda, na faixa do visível, do infravermelho, do ultravioleta ou até mesmo do raio-x.

Assim como os átomos e moléculas, de uma maneira geral, podem emitir fótons com diferentes comprimentos de onda ao decaírem para estados quânticos de mais baixa energia, buscando maior estabilidade. No entanto, a situação inversa também é

verificada. Neste caso, fótons com comprimentos de onda iguais à diferença de energia entre dois estados quânticos de um átomo ou de uma molécula, podem ser absorvidos pelos mesmos promovendo a excitação para níveis mais energéticos. Essa interação entre a radiação e a matéria permitiu o desenvolvimento de diferentes técnicas de análises de materiais, dentre as quais se destacam a espectroscopia na faixa de comprimentos de onda do ultra violeta e do visível, foco deste trabalho.

Neste sentido, abaixo trataremos de algumas características e fenômenos associados à caracterização de diferentes materiais usando técnicas ópticas.

3.1 Absorvância: Fundamentos Teóricos e Aplicações

A absorvância é uma grandeza Física que auxilia o estudo desses materiais, pois está relacionada à capacidade de um material absorver luz em determinados comprimentos de onda. Quando a luz é absorvida por um material, ela é convertida em energia térmica, resultando no aquecimento desse material. Esse processo está diretamente relacionado aos princípios da absorção de energia eletromagnética, que ocorre quando fótons da luz interagem com os elétrons dos átomos ou moléculas do material.

Se os fótons incidentes têm energia suficiente, os mesmos podem promover a excitação de elétrons, permitindo a transição para níveis de energia mais elevados. Os elétrons excitados eventualmente retornam aos seus estados de energia originais, liberando a energia absorvida na forma de calor (energia térmica). O aumento da vibração molecular devido à energia térmica é o que leva ao aquecimento do material.

Materiais diferentes têm espectros de absorção distintos, o que significa que absorvem luz em diferentes faixas de comprimentos de onda. Alguns materiais absorvem seletivamente em certas partes do espectro, tornando-os eficientes em absorver energia térmica de fontes específicas, como a luz solar.

Esse conceito descreve a fração de luz incidente que é absorvida por um material ao longo de um percurso específico. A absorvância está diretamente relacionada às

transições eletrônicas nos átomos e moléculas, conforme a energia dos fótons de luz incidente corresponde a diferenças entre os níveis de energia discretos do sistema.

A Lei de Lambert-Beer

A Lei de Lambert-Beer expressa quantitativamente como a absorvância (A) conforme indicado por Halliday, Resnick e Walker(2016), depende de parâmetros físicos do sistema, tais como a concentração da substância absorvente (c), o comprimento do caminho óptico (l), e o coeficiente de absorção molar (ϵ):

$$A = \epsilon \cdot c \cdot l$$

01

Onde:

A é a absorvância (adimensional),

ϵ é o coeficiente de absorção molar ($L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$), que depende do comprimento de onda da luz e da natureza do material,

c é a concentração da solução ($mol \cdot L^{-1}$),

l é o comprimento do caminho óptico (cm).

Essa relação demonstra que a absorvância aumenta linearmente com a concentração do soluto e com o comprimento do percurso que a luz percorre através da amostra. Essa lei é válida para soluções homogêneas e para comprimentos de onda nos quais a substância segue comportamento linear de absorção.

Absorvância e Transmissão

A absorvância também pode ser definida em termos das intensidades da luz incidente (I_0) e da luz transmitida (I), segundo a expressão:

$$A = -\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

02

Onde:

I_0 é a intensidade da luz incidente,

I é a intensidade da luz que atravessa o material.

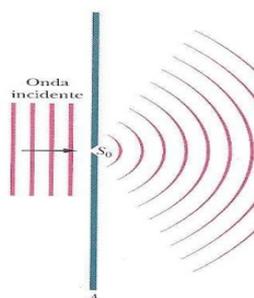
relação logarítmica implica que pequenas mudanças na concentração ou no caminho óptico podem produzir variações significativas na absorvância. Esse comportamento é explorado em análises quantitativas usando espectrofotômetros, dispositivos projetados para medir a intensidade da luz transmitida em função do comprimento de onda.

O coeficiente de absorção molar ϵ varia com o comprimento de onda, refletindo a seletividade espectral da absorção. Materiais diferentes possuem bandas de absorção características que estão associadas às suas estruturas eletrônicas. Por exemplo, substâncias como clorofila absorvem fortemente na região do azul e vermelho do espectro visível, mas transmitem luz verde, explicando sua cor.

3.2 Difração

A difração da luz é um fenômeno caracterizado pelo espalhamento da luz ao incidir em um obstáculo ou uma abertura. Esse fenômeno é mais pronunciado quando o tamanho da abertura ou do obstáculo é da ordem do comprimento de onda da luz incidente. Quando a luz passa por uma fenda estreita, como ilustrada na Figura 10, ela se curva ao redor das bordas, se espalhado por diferentes direções, como ilustrado pelas diferentes frentes de onda.

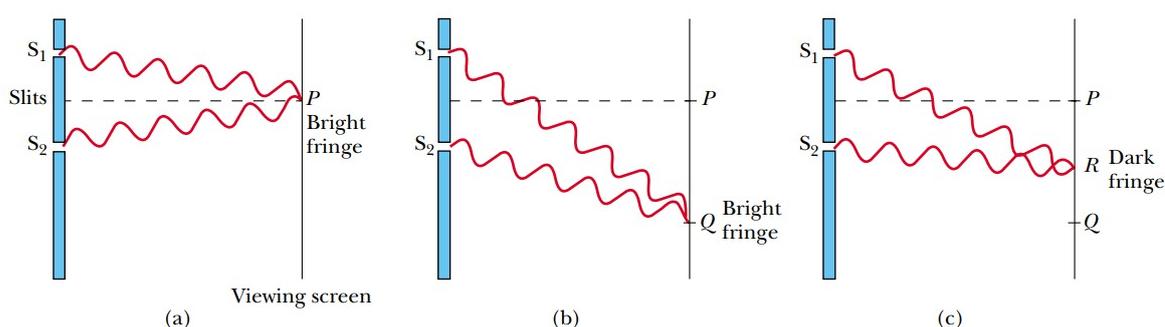
Figura 10 - Difração da luz em uma fenda



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016) p.109

Já o fenômeno da interferência é caracterizado pela sobreposição de duas ou mais frentes de onda em um ponto do espaço. O resultado dessa sobreposição poderá aumentar ou diminuir a amplitude da luz nesse ponto de sobreposição. Caso a interferência da luz seja construtiva, haverá um aumento da amplitude (duas cristas ou vales se sobrepondo) e caso seja destrutiva, haverá uma diminuição da amplitude da onda (Uma crista se sobrepondo com um vale), como ilustrado na Figura 11.

Figura 11: - Difração de duas fendas estreitas. (a) e (b) indicam dois pontos de interferência construtiva. (c) indica um ponto de interferência destrutiva

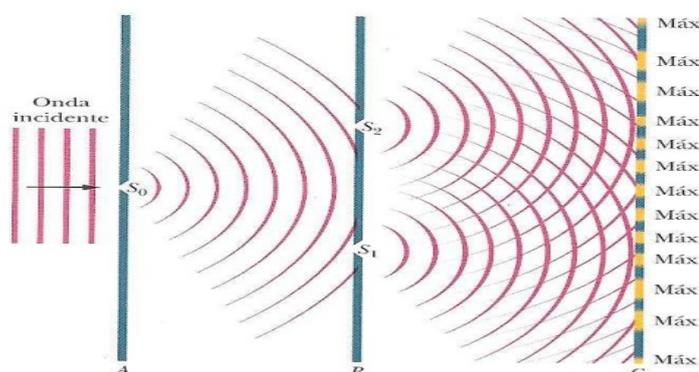


Fonte: (JEWETT, J. W, 2012)

Um experimento que auxilia na compreensão dos fenômenos ondulatórios (interferência e difração) é o experimento de dupla fenda, também conhecido como

o experimento de Young. Tomas Young foi um físico, médico e egiptólogo britânico, nasceu em Milverton, em 13 de junho de 1773 e veio a falecer em 1820. No experimento de Young, a luz incide por uma fenda S_0 e sofre difração ao atravessá-la, comportando-se como uma fonte de luz pontual, emitindo frentes de ondas semicirculares. Uma vez que essas frentes de onda chegam ao anteparo B ela é novamente difratada pelas aberturas S_1 e S_2 , equidistantes da fenda S_0 , que se combinam e sofrem interferências, formando assim um padrão de interferências com máximos e mínimos no anteparo C, como ilustrado na Figura 12. Cabe destacar que este fenômeno é crucial para a compreensão da natureza dual da luz, e que pode ser visualizado tanto com partículas no regime quântico quanto por ondas eletromagnéticas.

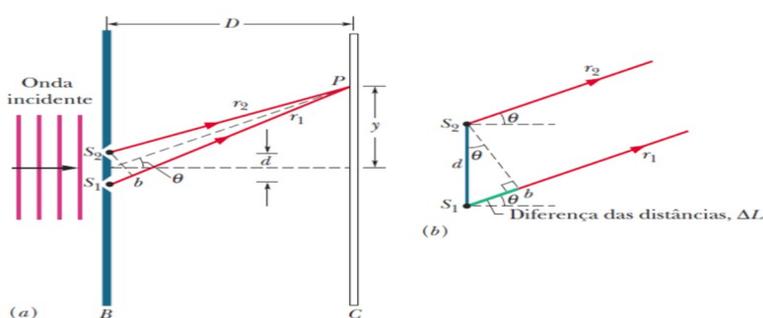
Figura 12 - Representação esquemática do experimento de dupla fenda



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016)

Analisando a Figura 12, vemos que no anteparo C são formadas regiões de máxima amplitude (bem iluminadas) bem como regiões de mínima amplitude (mais escuras). Para facilitar a compreensão desse fenômeno, devemos representar, por uma por meio de uma reta, o espaço no qual a luz se propaga entre cada uma das fendas e o ponto onde a sobreposição ocorrer, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Visão esquemática da difração de dupla fenda



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016) p.196

De acordo com a Figura 13, considerando que o anteparo esteja a uma distância, D , das fendas, muito maior que a distância de separação entre elas, d , podemos propor que os dois feixes de luz, r_1 e r_2 , estejam aproximadamente paralelos. Sendo assim, a diferença de caminho óptico entre os raios r_1 e r_2 , pode ser descrito pela equação:

$$\Delta L = r_1 - r_2 \quad 03$$

onde a diferença de caminho óptico de cada um dos feixes dará origem aos máximos e mínimos de interferência no anteparo. Ela também pode ser calculada com base na distância de separação das fendas, d , e no ângulo dos feixes, θ , conforme a equação 04.

$$\Delta L = (d) \text{sen}\theta \quad 04$$

Quando a diferença de caminho óptico é um número inteiro, m , de comprimentos de onda, será visualizado no anteparo um ponto de interferência construtiva. Caso contrário, se o caminho óptico for igual à um número semi-inteiro ($m + 1/2$) de comprimentos de onda, será visualizado no anteparo um ponto escuro, indicando

interferência destrutiva. As equações 30 e 31 indicam a condição de interferência construtiva e destrutiva respectivamente.

$$(d) \operatorname{sen} \theta = m \lambda \quad 05$$

$$(d) \operatorname{sen} \theta = (m + 1/2) \lambda \quad 06$$

onde m é definido por um número inteiro positivo, $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

Dessa forma, por meio dos valores de θ , d e m , podemos facilmente obter o valor do comprimento de onda da luz incidente. Neste caso, se considerarmos apenas o primeiro máximo de interferência de um feixe de luz composto por diferentes comprimentos de onda, e monitorando a intensidade do feixe em diferentes ângulos θ , poderemos gerar um espectro desse feixe, no qual a intensidade da luz está relacionada com o comprimento de onda.

Uma maneira alternativa para refinar as posições dos máximos de difração, e com isso ganhar maior resolução no processo de determinação dos comprimentos de onda, ocorre pela troca das duas fendas por uma grade de difração, composta por várias fendas muito próximas, separadas de maneira equidistante.

Além dos fenômenos da interferência e difração da luz, podemos citar os fenômenos de reflexão, refração e dispersão da luz, que resultam em variações das características de absorvância, reflectância e transmitância para diferentes amostras.

Quando a luz atinge um material, a mesma pode ser absorvida, refletida ou transmitida pelo mesmo. Os materiais transparentes absorvem luz em diferentes graus, dependendo das características do material e do comprimento de onda da luz. A absorção ocorre quando a energia da luz é transferida para os átomos ou moléculas do material, promovendo mudança em seus níveis de energia. Por outro lado, materiais transparentes também podem emitir luz quando excitados. Isso é fundamental para entender fenômenos como a fluorescência e a fosforescência.

4. PLANO DE UNIDADE:

Abaixo apresentaremos algumas propostas de atividades práticas envolvendo o espectrofotômetro desenvolvido neste trabalho. Para tanto, foram desenvolvidas atividades que pudessem englobar a análise e determinação da intensidade de diferentes comprimentos de ondas emitidos por diferentes fontes luminosas, bem como a análise da absorvância de certos comprimentos de ondas por diferentes materiais.

4.1 Experimento número 1:

Professor: Daniel Maggioni.

Disciplina: Física

Ano Letivo: 2023 Trimestre: 3

Série: 3 Ano

Tempo: 2h

4.1.1 Objetivos específicos

Demonstrar como a luz é absorvida por diferentes superfícies, mostrando que a energia total não pode ser destruída ou criada.

4.1.2 Conteúdos a serem trabalhados

Interação da luz com a matéria

Porque algumas cores absorvem mais energia e esquentam mais

4.1.3 Da experimentação

Neste encontro, revisaremos alguns conceitos fundamentais sobre os meios de propagação da luz e superfícies, visando aprofundar as discussões para o conteúdo específico de absorvância. Neste link <https://docs.google.com/presentation/d/15bljz9W1I5zlgSj3rZekHkMB6xSx0vET/edit?usp=sharing&oid=107738932450628515271&rtpof=true&sd=true>, podemos baixar a os slides desta aula específica. A absorvância, ou absorção de luz, é um conceito chave que descreve como diferentes materiais podem absorver energia proveniente de diferentes fontes de luz em função do seu comprimento de onda. Uma experiência realizada com os alunos envolveu a determinação da temperatura de matérias com cores diferentes, expostos ao sol, permitindo a verificação da dependência da cor com o aquecimento, e mediremos sua temperatura inicial e final, para termos um indicativo de quais cores “esquentam mais”.

Outra forma de estudar o fenômeno da absorvância ocorreu pelo uso do espectrômetro, determinando a intensidade da luz transmitida por diferentes amostras. Para tanto, um protocolo de medida foi preparado, de modo que a intensidade relativa da luz transmitida pudesse ser determinada para diferentes soluções, conforme segue abaixo.

Calibração – a Linha Base:

- o Encha uma cubeta com a solução de controle (água destilada).
- o Insira a cubeta no espectrômetro, na entrada de luz.
- o Meça e registre o espectro da solução de controle, em especial, a intensidade máxima, I_0 , correspondente ao pico do comprimento de onda da fonte de luz utilizada. Esta intensidade será a sua referência, e o espectro medido, frequentemente recebe o nome de “linha de base”, ou “*baseline*”, que representa a intensidade da luz sem absorção significativa.

Medição da Amostra:

- o Encha outra cubeta com a solução de amostra (água + amostra).

- o Insira a cubeta no espectrômetro, na entrada de luz.
- o Meça e registre o espectro da amostra, em especial, a intensidade máxima, I , correspondente ao pico do comprimento de onda da fonte de luz utilizada.

$$A = -\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Exemplo prático para usuários calibrarem:

Suponha que, durante a calibração, você tenha obtido que a intensidade de referência I_0 (sem amostra ou luz passando sem ser absorvida) seja 1024 unidades arbitrárias. Agora, ao medir a amostra, você obteve um valor de brilho para um determinado comprimento de onda $\lambda=400$ nm, que é $I=800$ unidades arbitrárias.

A absorvância para esse comprimento de onda seria:

$$A = -\log(800/1024) \approx 0.107$$

Esse valor de absorvância indica o quanto de luz foi absorvido pela amostra no comprimento de onda de 400 nm.

Finalizando, a compreensão sobre a interação da luz com a matéria também buscamos compreender os pré-requisitos apresentados pelos estudantes sobre os principais processos de interação entre luz e matéria

Ao dominar esses pré-requisitos, o aluno estará melhor preparado para compreender e aplicar os conceitos de interação da luz com a matéria, contextualizando-os dentro da prática social e destacando sua relevância no mundo contemporâneo. Entender a importância desses fenômenos contemporâneos e em diversas áreas científicas imprime aos estudantes uma forma diferenciada de valorizar os conteúdos

teórico-científicos relacionados à interação da luz com a matéria, bem como, suas técnicas de análise.

4.1.4 Uso de Papel Celofane para Estudo de Absorvância

Protocolo Experimental

Materiais Necessários:

Espectrômetro.

Fonte de luz branca (ex.: LED branco ou lanterna).

Papéis celofane de cores azul, verde e vermelho.

Suporte para fixar o papel celofane na entrada de luz do espectrômetro.

Procedimento Experimental:

Calibração – Linha Base:

Posicione o espectrômetro sem qualquer papel celofane na entrada de luz, permitindo que a luz branca passe diretamente.

Meça e registre o espectro da luz branca, especialmente a intensidade máxima (I_0) correspondente ao pico do comprimento de onda da fonte de luz.

Este espectro será usado como referência, representando a luz transmitida sem absorção significativa.

4.1.5 Medição como Papel Celofane:

Para cada cor de papel celofane:

Fixe o papel celofane (azul, verde ou vermelho) na entrada de luz do espectrômetro.

Meça e registre o espectro da luz transmitida.

Para este experimento podemos variar as fontes de luz, como leds de cores distintas lasers de cores distintas e lanternas de leds e lampadas convencionais bem como lampadas fluorescentes.

Durante a fase de experimentação dos diferentes tipos de fontes de luz, o professor pode questionar sobre vários fatores que estão influenciando tanto na intensidade máxima como nas mínimas, promovendo assim o senso de pesquisa nos estudantes para que eles busquem respostas para os fenômenos que eles estão experimentando.

Observe e anote a intensidade máxima (I) correspondente ao pico do comprimento de onda transmitido.

Repita o procedimento para cada uma das cores de celofane.

Anexo A

Referencias básicas para abordagens deste conteúdo:

HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

INSTRUCTABLES. **Arduino Spectroscope With TSL1401 and Display**. Disponível em: <https://www.instructables.com/Arduino-Spectroscope-With-TSL1401-and-Display/>.

Acesso em: 19 nov. 2023.

LIMA, L. S. Lei de Lambert–Beer. *Revista Ciência Elementar*, v. 1, n. 01, p. 047, 2013.

4.2 Experimento numero 2:

Professor: Daniel Maggioni

Disciplina: Física

Ano Letivo: 2023 **Trimestre:** 3

Série: 3 Ano

Tempo: 2h

4.2.1 Objetivos específicos

Identificar os diferentes comprimentos de onda da luz visível e compará-los com os comprimentos de onda emitidos por LEDs de cores variadas. Demonstrar como a luz visível pode ser decomposta e como diferentes fontes de luz apresentam espectros distintos.

4.2.2 Conteúdos a serem trabalhados

Difração

Espectros contínuos

Relação entre comprimento de onda, cor e energia da luz.

4.2.3 Da experimentação

Neste encontro, aprofundaremos a compreensão sobre os conceitos de difração e espectros, explorando os fenômenos relacionados à dispersão da luz. O slides com o a teoria deste tópico encontra-se no link: <https://docs.google.com/presentation/d/15bljz9W1I5zlgSj3rZekHkMB6xSx0vET/edit?usp=sharing&oid=107738932450628515271&rtpof=true&sd=true>.

A difração será explorada com o uso do nosso espectrômetro para observar e analisar como diferentes fontes de luz produzem espectros contínuos ou de emissão.

Além disso, realizaremos experimentos para comparar os comprimentos de onda emitidos por LEDs de cores variáveis com o espectro visível.

Para tanto, os alunos seguirão um protocolo prático, dividido em duas etapas principais:

4.2.4 Observação do Espectro de LEDs

Material necessário: LEDs de cores variadas (vermelho, verde, azul, amarelo, branco).

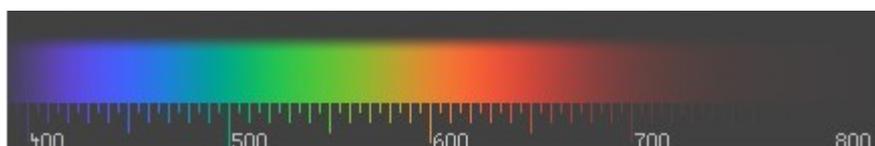
Procedimento:

Ligue um LED e direcione sua luz para orifício do espectrômetro.

Observe o espectro emitido e registre os comprimentos de onda predominantes para cada cor.

Compare os resultados com a tabela de comprimentos de onda do espectro visível.

Figura – 7 Comprimentos de onda



Fonte: infoescola(2023)

Tabela 2 – Comprimentos de ondas e frequência

Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência (THz)
Vermelho	625 a 740	480 a 405
Laranja	590 a 625	510 a 480
Amarelo	565 a 590	530 a 510
Verde	500 a 565	600 a 530
Ciano	485 a 500	620 a 600
Azul	440 a 485	680 a 620

Violeta	380 a 440	790 a 680
---------	-----------	-----------

4.2.5 Difração de Luz Branca

Material necessário: Fonte de luz branca (lâmpada incandescente ou fluorescente), espectrômetro e uma grade de difração.

Procedimento:

Direcione a luz branca para a grade de difração e observe a separação das cores no espectro visível.

Utilize o espectrômetro para medir os comprimentos de onda de cada cor separada.

Discuta a diferença entre espectros contínuos e espectros de emissão, associando aos fenômenos observados.

Esses experimentos visam aprofundar a compreensão dos estudantes sobre a interação da luz com diferentes materiais e como a difração permite identificar os comprimentos de onda de diferentes fontes luminosas.

Referencias básicas para abordagens deste conteúdo:

HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

INSTRUCTABLES. **Arduino Spectroscope With TSL1401 and Display**. Disponível em: <https://www.instructables.com/Arduino-Spectroscope-With-TSL1401-and-Display/>.

Acesso em: 19 nov. 2023.

infoescola, **Espectros**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-visivel/>. Acesso 01 abril 2023.

LOPES, C. V. M. Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica. São Paulo: PUC, 2009.

Referências:

ASIMOV, I. **A short history of chemistry**. New York: Doubleday, 1965. 263 p.

HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

INSTRUCTABLES. **Arduino Spectroscope With TSL1401 and Display**. Disponível em: <https://www.instructables.com/Arduino-Spectroscope-With-TSL1401-and-Display/>.

Acesso em: 19 nov. 2023.

PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro; PEDUZZI, Sônia Silveira. Editorial. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 22, n. 2, p. 145-146, 2005.

SAVIANI, D. **Pedagogia Histórico-Crítica: primeiras aproximações**. Campinas, SP: Autores Associados, 2003.

SAVIANI, D. **Pedagogia Histórico-Crítica: primeiras aproximações**. Campinas, SP: Autores Associados, 2008.

SAVIANI, D. **Pedagogia Histórico-Crítica: primeiras aproximações**. 11. ed. rev. Campinas, SP: Autores Associados, 2011.