

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



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	06
2	O ESPECTRÔMETRO MONTAGEM EXPERIMENTAL.....	08
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1	Absorvância: Fundamentos Teóricos e Aplicações.....	22
3.2	Difração.....	24
4	PLANO DE UNIDADE.....	29
4.1	Experimento número 01.....	29
4.1.1	Objetivos específicos.....	29
4.1.2	Conteúdos a serem trabalhados.....	29
4.1.3	Da experimentação.....	29
4.1.4	Uso de Papel Celofane para Estudo de Absorvância.....	31
4.1.5	Medição como Papel Celofane.....	32
4.2	Experimento número 02.....	34
4.2.1	Objetivos específicos.....	34
4.2.2	Conteúdos a serem trabalhados.....	34
4.2.3	Da experimentação.....	34
4.2.4	Observação do Espectro de LEDs.....	35
4.2.5	Difração de Luz Branca.....	36
	REFERÊNCIAS	37

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.

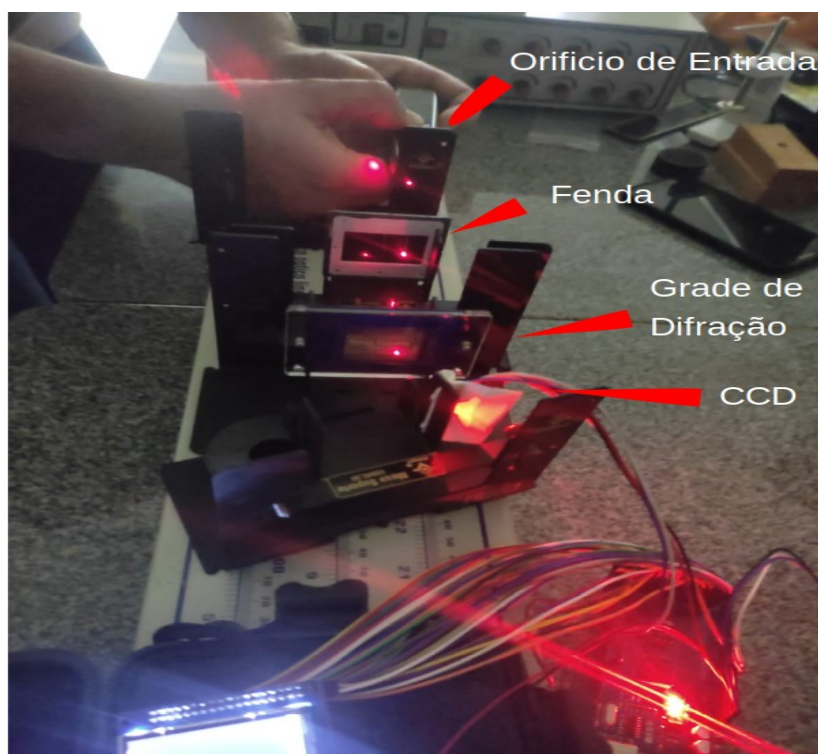
O planejamento seguiu os cinco momentos pedagógicos: prática social inicial, problematização, instrumentalização, catarse e prática social final. Este modelo permite uma compreensão crítica e contextualizada da espectroscopia UV-Vis. Iniciamos com os conhecimentos prévios dos estudantes, problematizamos 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

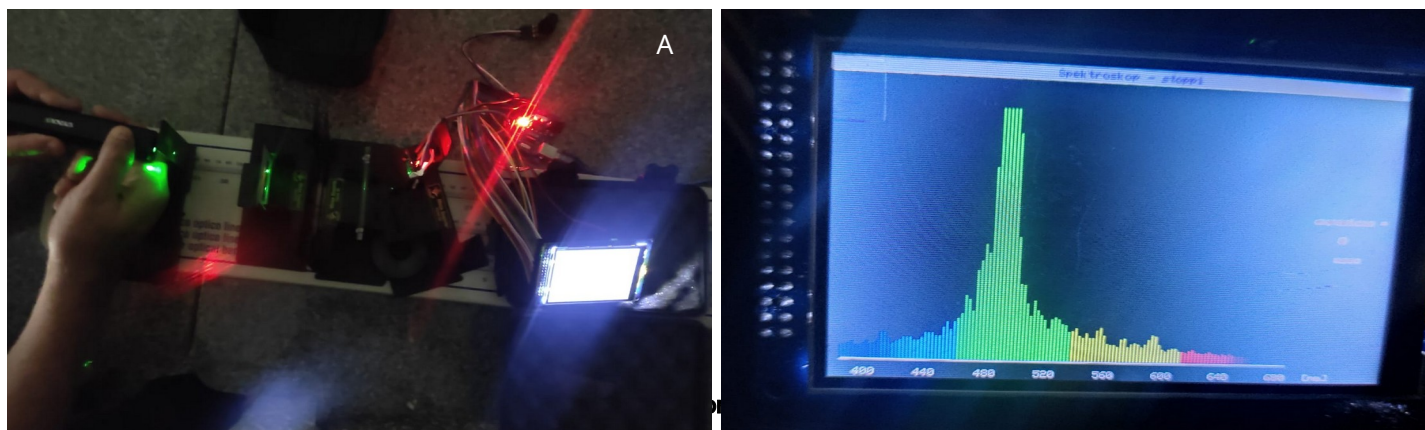


Fonte autoria **Própria(2023)**

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



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.

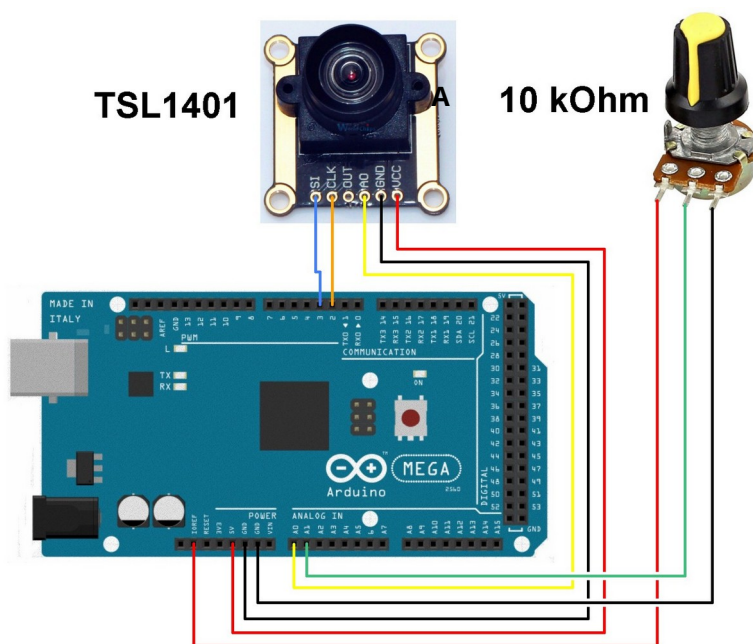
Tabela 01 - Itens necessários para a montagem do espectrômetro

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.

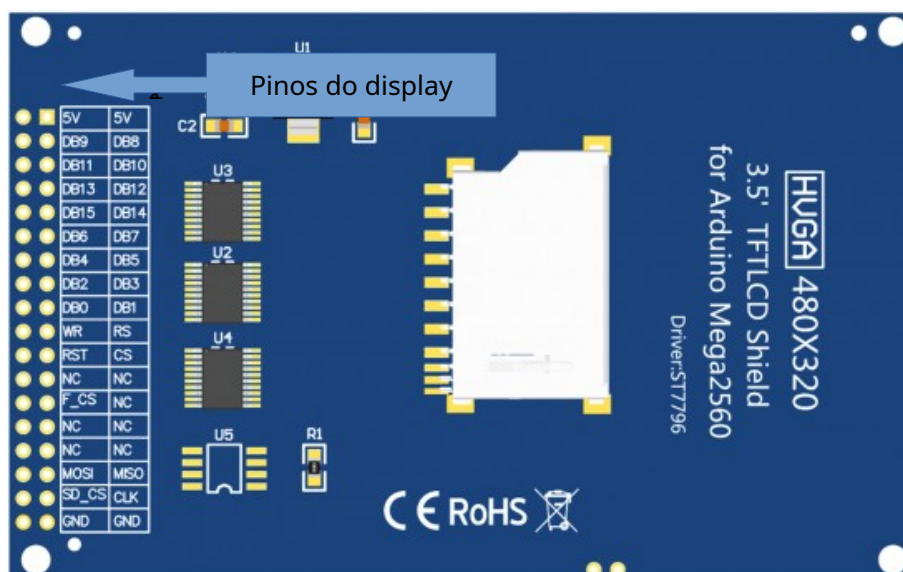
Na Figura 3 a e b abaixo, apresentamos a representação esquemática das ligações eletrônicas entre o sensor TSL 1401, o potenciômetro de 10 k Ω e a placa de prototipagem Arduino Mega. Na figura b apresentamos a representação esquemática das ligações eletrônicas entre a tela e a placa de prototipagem Arduino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

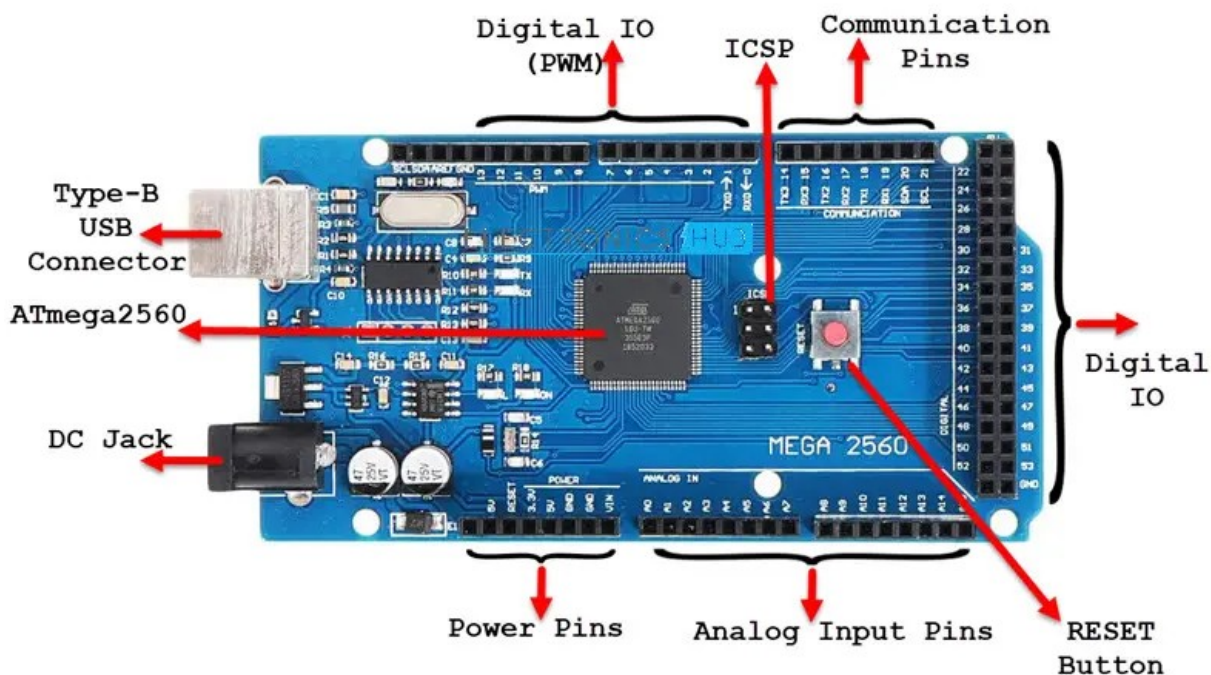
Acesso em 20 fevereiro 2025

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.

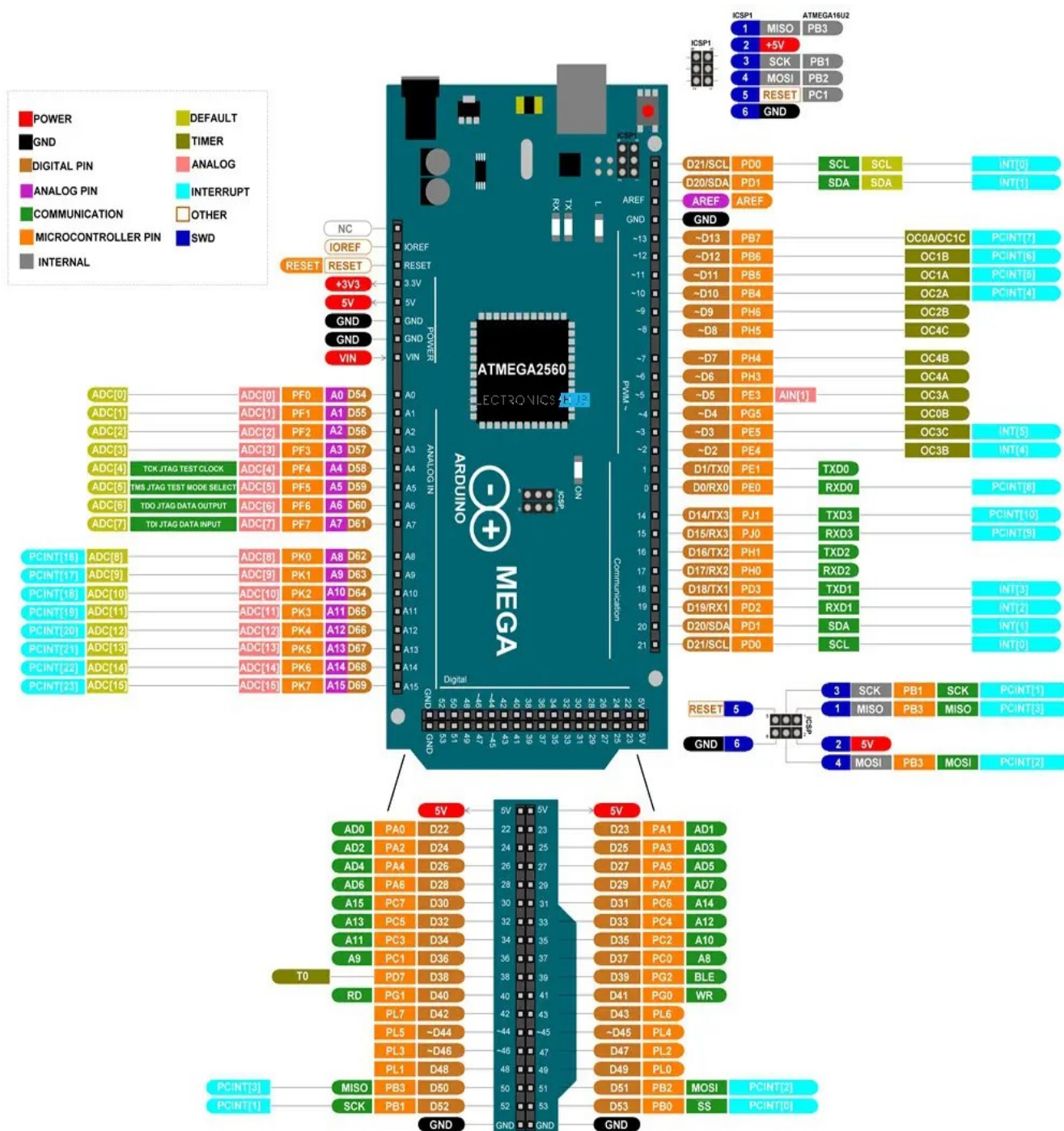
Figura 4 a – Descrição as portas dos arduino Mega2560

Fonte:



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

Figura 4 b – Descrição das portas

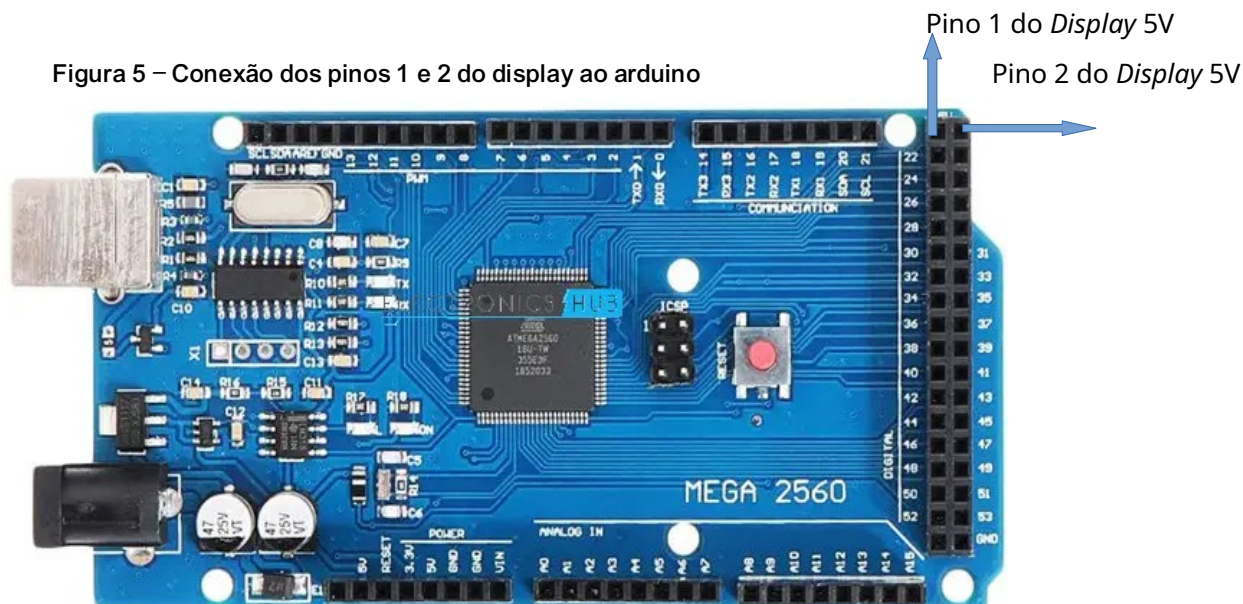


Fonte: Disponível em: <https://www.electronicshub.org/arduino-mega-pinout/>. Acesso em 20 Fevereiro 2025

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 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	14	DB4	4º bit do	31 / 32

		barramento de dados			barramento de dados	
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

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 de 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.

cccc 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

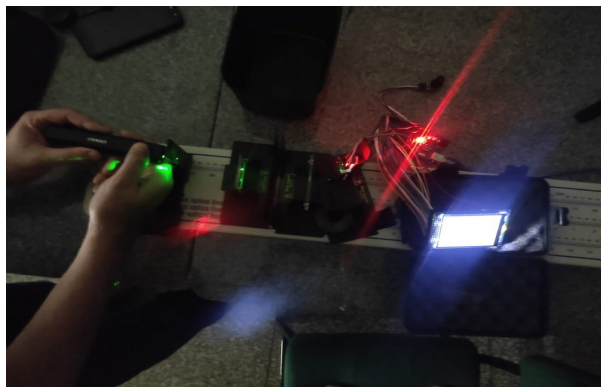


Figura 6: Autoria própria(2023)

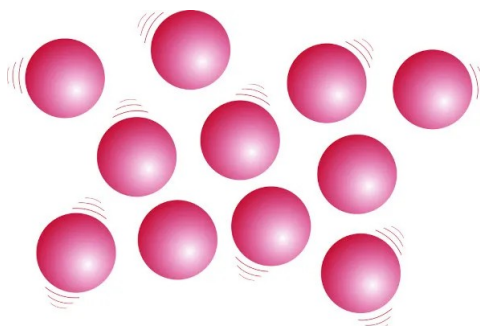
Cabe destacar que a montagem experimental do espectrômetro foi desenvolvida para fins didáticos, privilegiando a visualização de cada uma de suas partes em detrimento da precisão do equipamento. Entendemos que ajustes podem colaborar com melhorias nas análises, rendendo maior precisão e reprodutibilidade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

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



Fonte: brasil escola(2023)

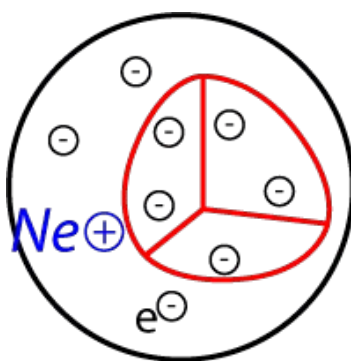
Em 1897 o físico inglês Joseph John Thomson, estudando o comportamento de diferentes gases quando confinados em um tubo e submetidos as descargas elétricas, verificou o surgimento de emissões de luz, que independiam da natureza do gás. Esse experimento ficou conhecido como o experimento do tubo de raios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

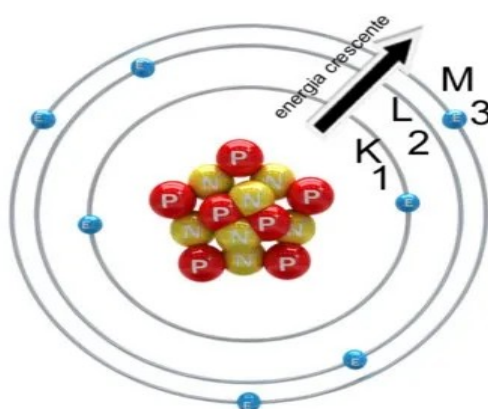
Autores como Kragh (1999) e Holton (1978) fazem analogia deste modelo como se fosse um “pudim de passas”, onde a carga elétrica positiva estaria distribuída ao longo da massa do pudim e a carga negativa, os elétrons, seriam representados pelas passas.

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 Thomsom. 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 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.

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.

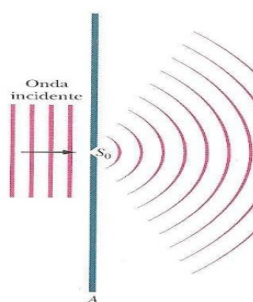
relação logarítmica implica que pequenas mudanças na concentração ou no caminho óptico podem produzir variações significativas na absorvância. Esse comportamento é explorado em análises quantitativas usando espectrofotômetros, dispositivos projetados para medir a intensidade da luz transmitida em função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

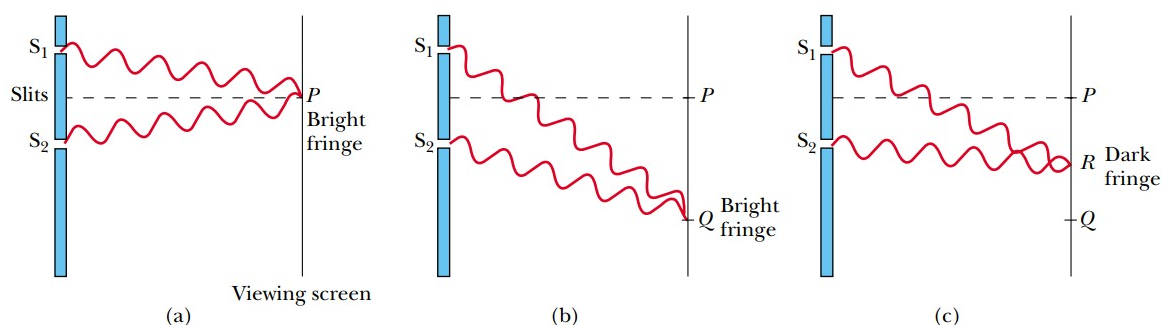
Figura 10 - Difração da luz em uma fenda



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.

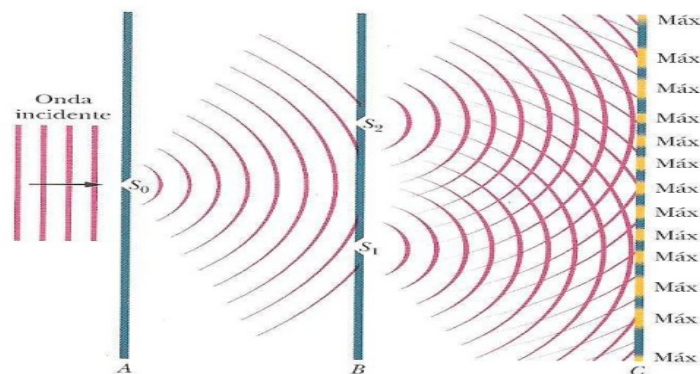
Figura 11: - Difração de duas fendas estreitas. (a) e (b) indicam dois pontos de interferência construtiva. (c) indica um ponto de interferência destrutiva



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.

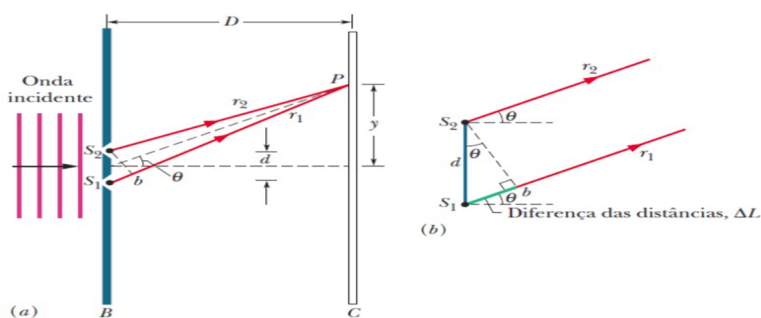
Figura 12 - Representação esquemática do experimento de dupla fenda



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016)

Analizando 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 um 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.

$$\Delta L = (d) \sin \theta \quad 04$$

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.

$$(d) \sin \theta = m\lambda \quad 05$$

$$(d) \sin \theta = (m + 1/2) \lambda \quad 06$$

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 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 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&ouid=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&ouid=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).

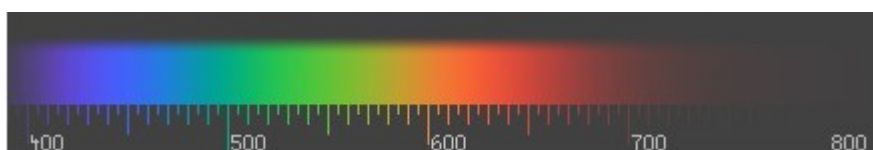
Procedimento:

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.