

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**Thaiza Aparecida Lancetti Piccinin**

**Investigando a Física da fotossíntese: uma abordagem utilizando o método POE e Arduino**

Juiz de Fora - MG

2024

**Thaiza Aparecida Lancetti Piccinin**

**Investigando a Física da fotossíntese: uma abordagem utilizando o método POE e Arduino**

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Orientadora: Dra. Giovana Trevisan Nogueira

Juiz de Fora - MG  
2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Piccinin, Thaiza Aparecida Lancetti.

Investigando a Física da fotossíntese : uma abordagem utilizando o método POE e Arduino / Thaiza Aparecida Lancetti Piccinin. -- 2024.

104 f. : il.

Orientadora: Giovana Trevisan Nogueira  
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Física, 2024.

1. ensino de física. 2. fotossíntese. 3. metodologia POE. 4. ensino investigativo. 5. interdisciplinaridade. I. Nogueira, Giovana Trevisan , orient. II. Título.

**Thaiza Aparecida Lancetti Piccinin**

**Investigando a Física da fotossíntese: uma abordagem utilizando o método POE e Arduino**

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Aprovada em 20 de setembro de 2024.

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Dra. Giovana Trevisan Nogueira** - Orientadora  
Universidade Federal de Juiz de Fora

**Prof. Dr. Paulo Victor Santos Souza**  
Instituto Federal do Rio de Janeiro

**Prof. Dr. Wilson de Souza Melo**  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Juiz de Fora, 28/08/2024.

---



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Victor Santos Souza, Usuário Externo**, em 25/09/2024, às 12:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Wilson de Souza Melo, Professor(a)**, em 25/09/2024, às 16:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Giovana Trevisan Nogueira, Professor(a)**, em 27/09/2024, às 17:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1951559** e o código CRC **1C9D2A1D**.

---

Dedico este trabalho à minha filha, Júlia, para que ela sempre se lembre de que o conhecimento é o bem mais precioso que temos. Ao meu esposo, Fabrício, por estar sempre ao meu lado, apoiando meus sonhos. Dedico também aos colegas de profissão que, mesmo diante das dificuldades, continuam a almejar um ensino de qualidade.

## AGRADECIMENTOS

O mestrado sempre foi um sonho profissional, muitas vezes adiado devido ao caminhar da vida. Para que ele se concretizasse, meu primeiro agradecimento vai ao meu esposo, meu companheiro de vida Fabricio, que foi fundamental para a realização deste projeto. Ele, que diversas vezes abdicou de seus momentos para viajar comigo para as aulas, ajudou-me em todas as etapas do mestrado e me substituiu nas demandas familiares durante os momentos de estudo. Sem seu apoio, este mestrado não teria sido possível.

Agradeço também à nossa filha, Júlia, que, mesmo tão pequena, me deu forças e incentivo desde o seu nascimento. Seu sorriso, carinho e seus primeiros anos de escola foram motivadores constantes para que eu me dedicasse cada vez mais à minha formação.

Agradeço à nossa família pelo suporte, especialmente à minha mãe e aos meus avós, que sempre me mostraram o valor da educação.

Sou grata aos colegas de turma pelas partilhas e aprendizados. Em especial, agradeço ao meu grupo de amigas: Débora, Isabela e Raquel, pela amizade e companheirismo.

Meus mais sinceros agradecimentos à minha orientadora, Giovana, pelos valiosos ensinamentos e pela orientação durante a construção e execução deste projeto. Agradeço também a todos os professores do MNPEF Polo 24. Vocês foram essenciais para a minha formação, tanto pessoal quanto profissional. Cada um de vocês contribuiu para a transformação do meu eu professora, e foi um privilégio conviver e aprender com todos durante este período.

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

“Ensinar é um exercício de imortalidade.” (Rubens Alves, 2001, p.17)

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a aplicação de um produto educacional interdisciplinar que explora a interação da luz com a matéria e sua influência na fotossíntese, utilizando o método POE (Predizer, Observar, Explicar) e um dispositivo experimental baseado na plataforma Arduino. O ensino de física enfrenta desafios significativos, como a desmotivação dos alunos e a falta de recursos práticos. A metodologia POE envolve os estudantes em atividades investigativas que promovem a curiosidade e o pensamento crítico, permitindo-lhes prever resultados, observar fenômenos e explicar discrepâncias entre o previsto e o observado. O produto educacional foi projetado para facilitar a compreensão de conceitos físicos como cores dos corpos, espectro eletromagnético, o efeito fotoelétrico e a natureza dual da luz. Para isso, foi utilizado um experimento com sensor de gás MQ135 e uma placa Arduino para medir a variação de dióxido de carbono em plantas expostas a diferentes espectros de luz, destacando como diferentes cores de luz podem afetar a taxa de fotossíntese. Os resultados indicam que a abordagem investigativa e interdisciplinar não apenas enriquece o aprendizado de conceitos físicos, mas também tem potencial de tornar o aprendizado significativo para os estudantes. Conclui-se que o produto educacional desenvolvido pode ser uma ferramenta útil para professores de diversas disciplinas, contribuindo para um ensino de ciências da natureza mais integrado e aplicado.

Palavras-chave: ensino de física; fotossíntese; metodologia POE; ensino investigativo; interdisciplinaridade.

## ABSTRACT

This work presents the development and application of an interdisciplinary educational product that explores the interaction of light with matter and its influence on photosynthesis, using the POE (Predict, Observe, Explain) method and an experimental device based on the Arduino platform. Physics education faces significant challenges, such as student demotivation and a lack of practical resources. The POE methodology engages students in investigative activities that promote curiosity and critical thinking, allowing them to predict results, observe phenomena, and explain discrepancies between what was predicted and what was observed. The educational product was designed to facilitate the understanding of physical concepts such as the colors of bodies, the electromagnetic spectrum, the photoelectric effect, and the dual nature of light. To achieve this, an experiment was conducted using an MQ135 gas sensor and an Arduino board to measure the variation in carbon dioxide in plants exposed to different light spectra, highlighting how different light colors can affect the rate of photosynthesis. The results indicate that the investigative and interdisciplinary approach not only enriches the learning of physical concepts but also makes classes more meaningful for students. It is concluded that the developed educational product can be a valuable tool for teachers of various disciplines, contributing to a more integrated and applied approach to science education.

Keywords: physics education; photosynthesis; POE methodology; investigative teaching; interdisciplinarity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Método de Fizeau para medir a velocidade da luz.....	17
Figura 2 - Desenho simplificado do método de Foucault para medir a velocidade da luz.....	18
Figura 3 - Método de Michelson para medir a velocidade da luz .....	19
Figura 4 - O espectro eletromagnético .....	20
Figura 5 - Onda Eletromagnética.....	21
Figura 6 - Dispersão das cores no prisma.....	24
Figura 7 - O efeito fotoelétrico .....	25
Figura 8 - Relação Entre comprimento de onda e frequência .....	26
Figura 9 - Diagrama de níveis de energia para o átomo de hidrogênio.....	28
Figura 10 - Espectro de absorção da clorofila .....	29
Figura 11 - Complexo coletor de luz.....	31
Figura 12 - Eficiência quântica da fotossíntese da alga Chlorella em função do comprimento de onda da luz.....	32
Figura 13 - Transferência por ressonância .....	33
Figura 14 - Pirâmide representativa - níveis cognitivos da Taxonomia do Domínio Cognitivo de Bloom .....	40
Figura 15 - Versão inicial da taxonomia e sua versão revista .....	43
Figura 16 - Experimento da Elodea.....	47
Figura 17 - Esquema do experimento.....	48
Figura 18 - Itens do experimento.....	49
Figura 19 - Caixa branca lâmpadas disponíveis no experimento .....	49
Figura 20 - Placa Arduino .....	50
Figura 21 - Sensor MQ135 .....	50
Figura 22 - Cabos jumpers de conexão .....	50
Figura 23 - Esquema de montagem .....	51
Figura 24 - Geração de CO <sub>2</sub> caseira para teste do sensor.....	52
Figura 25 - Espectroscópios construídos pelos estudantes.....	56
Figura 26 - Hipóteses levantadas pelos estudantes.....	61
Figura 27 - Hipóteses levantadas pelos estudantes.....	61
Figura 28 - Manuseio do aparato experimental .....	63
Figura 29 - Fase das pesquisas .....	64
Figura 30 - Mapas mentais confeccionados por um estudante .....	67
Figura 31 - Mapas mentais confeccionados por um estudante.....	68
Figura 32 -Mapas mentais confeccionados por um estudante.....	68
Figura 33 - Imagens da feira científica.....	70
Figura 34 - Imagens da feira científica.....	72
Figura 35 - Projeto: Pegada de Carbono como Instrumento de Avaliação e Sustentabilidade	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxonomia do Domínio Cognitivo de Bloom - revisada .....	41
Tabela 2 - Planejamento da sequência didática .....	53
Tabela 3 - Preferência dos estudantes quanto a cor da lâmpada para fotossíntese.....	61

## LISTA DE QUADROS

Quadros 1 - Estrutura do processo cognitivo na Taxonomia do Domínio Cognitivo de Blomm .....	42
---	----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS GERAIS .....	15
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>2</b>	<b>CONCEITOS FÍSICOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE FOTOSSÍNTESE</b> 16	
2.1	A FOTOSSÍNTESE .....	16
2.2	A ÓPTICA .....	16
2.3	AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS .....	19
2.4	A NATUREZA DA LUZ E O EFEITO FOTOELÉTRICO.....	24
2.5	A FÍSICA E A FOTOSSÍNTESE .....	27
2.5.1	A Estrutura Molecular E Processo De Absorção De Energia Solar Pela Clorofila.....	30
2.5.2	Transporte Fotossintético De Elétrons .....	32
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO METODOLÓGICO</b> .....	<b>34</b>
3.1	MUDANÇAS NA EDUCAÇÃO COM O NOVO ENSINO MÉDIO.....	34
3.2	O MÉTODO POE .....	36
3.3	TAXONOMIA DOS OBJETIVOS EDUCACIONAIS DE BENJAMIN BLOOM .....	38
3.4	A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, ENSINO INVESTIGATIVO E TAXONOMIA DE BLOOM.....	43
3.5	ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA.....	45
<b>4</b>	<b>O PRODUTO EDUCACIONAL</b> .....	<b>47</b>
4.1	MONTAGEM DO PRODUTO E PROGRAMAÇÃO .....	50
4.2	A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	52
<b>5</b>	<b>A APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA</b> .....	<b>55</b>
5.1	DESCRIÇÃO DA AULA 1: LEVANTAMENTO DE HIPÓTESES.....	56
5.2	DESCRIÇÃO DA AULA 2: REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS .....	57
5.3	DESCRIÇÃO DA AULA 3: FASE DAS PESQUISAS .....	58
5.4	DESCRIÇÃO DA AULA 4:EXPLORANDO OS CONCEITOS FÍSICOS .....	58
5.5	DESCRIÇÃO DA AULA 5: ANÁLISE DAS HIPÓTESES.....	59
<b>6</b>	<b>ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA</b> .....	<b>60</b>
6.1	AULA 1: LEVANTAMENTO DE HIPÓTESES .....	60
6.2	AULA 2: REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS .....	61
6.3	AULA 3: FASE DAS PESQUISAS .....	63

6.4	AULA 4: EXPLORANDO OS CONCEITOS FÍSICOS.....	65
6.5	AULA 5: ANÁLISE DAS HIPÓTESES .....	66
6.6	ACONTECIMENTOS APÓS A SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....	69
7	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>74</b>
8	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>76</b>
9	<b>APÊNDICE A – CÓGIDO UTILIZADO NO PRODUTO .....</b>	<b>79</b>
10	<b>APÊNDICE B – MANUAL DO PRODUTO EDUCACIONAL .....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O ensino de física enfrenta desafios constantes, alunos desmotivados, uma grade curricular extensa, poucas aulas, falta de laboratórios e material didático com poucas aplicações práticas. A educação científica, no entanto, está em constante evolução, buscando novas metodologias que tornem a aprendizagem mais significativa e engajadora para os estudantes.

No Brasil, a implementação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) trouxe uma reformulação substancial no ensino de física, desafiando os educadores a adotarem abordagens interdisciplinares, investigativas e tecnológicas. Conforme a BNCC destaca, há uma “necessidade de articulação horizontal entre as áreas do conhecimento, possibilitando que as competências específicas conectem os diferentes componentes curriculares”. (BNCC, 2018, p. 28)

Durante a educação básica, muito se fala sobre tópicos científicos, mas pouco se aborda sobre o processo científico e como ele acontece. É essencial que os estudantes entendam como as hipóteses são levantadas, testadas e comprovadas. Esse entendimento não só facilita a aprendizagem dos conceitos científicos, mas também promove uma visão mais crítica e reflexiva sobre o mundo.

Logo o ensino investigativo é uma abordagem pedagógica que visa promover a curiosidade e o pensamento crítico dos estudantes, incentivando-os a desenvolverem habilidades de pesquisa e resolução de problemas. A BNCC enfatiza que o ensino investigativo é essencial para o desenvolvimento das competências gerais, especialmente no que diz respeito à promoção de uma atitude investigativa e questionadora. De acordo com o referido documento:

“O ensino do componente deve promover situações nas quais crianças e jovens possam se envolver em todas as etapas do processo de investigação científica: observar, perguntar, analisar demandas, propor hipóteses, elaborar modelos e explicações, desenvolver, divulgar e implementar soluções para resolver problemas cotidianos.” (BNCC, 2018, p. 337)

Carvalho (2018), reforça que o ensino investigativo incentiva os estudantes a desenvolverem um pensamento crítico e autônomo, criando um ambiente de aprendizagem onde a curiosidade e a argumentação são constantemente estimuladas. Essa abordagem metodológica permite que os alunos se tornem protagonistas do seu próprio aprendizado, investigando questões e desafios que requerem uma análise cuidadosa e a formulação de conclusões baseadas em evidências.

No entanto, ainda há uma carência de materiais didáticos que permitam essa implementação e uma preparação insuficiente dos professores para utilizarem abordagens interdisciplinares, investigativas e tecnológicas.

Para atender a essas necessidades, foi desenvolvido um produto educacional que permite aos estudantes explorem a interação da luz com a matéria e sua influência na fotossíntese, facilitando a compreensão de conceitos como cores dos corpos, espectro eletromagnético, efeito fotoelétrico e natureza da luz. As características principais do produto incluem interatividade, interdisciplinaridade e investigação científica.

Além de enriquecer o ensino de Física, o produto é projetado para ser utilizado por professores de outras disciplinas, permitindo a exploração de conceitos relacionados às suas áreas de conhecimento. Dessa forma, pode ser adaptado para ensinar temas como reações químicas, processos biológicos e até mesmo conceitos de engenharia e tecnologia.

### 1.1 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver um produto didático para explorar conceitos físicos através do estudo da fotossíntese, utilizando uma metodologia investigativa.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender conceitos físicos, como interação da luz com a matéria, cores dos corpos, espectro eletromagnético, efeito fotoelétrico e natureza da luz, e aplicar esse conhecimento no estudo do processo da fotossíntese.
- Implementar o uso de tecnologias durante as aulas de física para facilitar a aprendizagem.
- Estimular a curiosidade e proporcionar oportunidades para que os estudantes avaliem e reflitam sobre conceitos de física, promovendo uma postura ativa no processo de aprendizagem.
- Integrar conhecimentos de Física, Química e Biologia através de uma abordagem interdisciplinar para sintetizar diferentes perspectivas e resolver problemas de forma mais abrangente e profunda.
- Desenvolver habilidades críticas e reflexivas nos estudantes, preparando-os para enfrentar os desafios da sociedade contemporânea.

## 2 CONCEITOS FÍSICOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE FOTOSSÍNTESE

A fotossíntese é um processo essencial para a vida na Terra, sendo responsável pela conversão da energia solar em energia química. Este fenômeno biológico é influenciado por diversos conceitos físicos, especialmente relacionados à interação da luz com a matéria. A luz, ao incidir sobre os organismos fotossintéticos, é absorvida por pigmentos específicos, desencadeando uma série de reações fotoquímicas que permitem a transformação da energia luminosa em energia utilizável para os processos celulares das plantas.

### 2.1 A FOTOSSÍNTESE

O termo fotossíntese significa, “síntese usando a luz”. Os organismos fotossintéticos captam e utilizam a energia solar para oxidar água  $H_2O$ , liberando o gás oxigênio  $O_2$ , e para reduzir o dióxido de carbono  $CO_2$ , produzindo compostos orgânicos, primariamente açúcares. Esta energia estocada nas moléculas orgânicas é utilizada nos processos celulares da planta e serve como fonte de energia para todas as formas de vida. (Duarte, 2003)

No processo de fotossíntese, a absorção de energia eletromagnética pela planta é regida pela física. A fase clara da fotossíntese ocorre nas membranas dos tilacóides, onde um conjunto de componentes moleculares acoplados converte a energia solar em energia fotoquímica, dando início ao processo fotossintético. (Duarte, 2003)

No processo de fotossíntese, a luz exibe um comportamento dual, atuando tanto como onda quanto como partícula. Enquanto a natureza ondulatória da luz permite a absorção de energia solar de forma ampla e eficiente pelos pigmentos fotossintéticos, como as clorofilas, dentro dos complexos antena nos cloroplastos, a natureza corpuscular da luz, representada pelos fótons, é essencial para os eventos fotoquímicos que ocorrem nos centros de reação da fotossíntese. Nesses centros, fótons individuais são absorvidos, o que resulta na excitação dos elétrons da clorofila, iniciando a cadeia de transferência de elétrons que converte energia luminosa em energia química.

### 2.2 A ÓPTICA

Óptica é o ramo da ciência que estuda as propriedades da luz e suas interações com objetos e consigo mesma, preocupando-se com o comportamento da luz. (Tipler, 2012)

Duas questões sobre luz despertavam a curiosidade desde a época dos primeiros filósofos gregos quanto a sua natureza e sua velocidade. Antes do século XVII, muitas pessoas

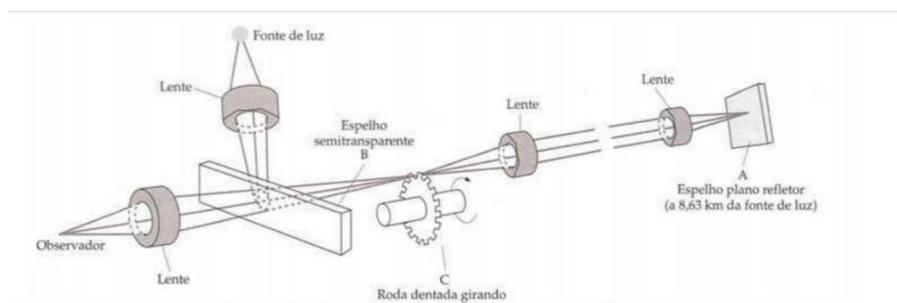
pensavam que a velocidade da luz visível era infinita, e um esforço para medir a velocidade da luz foi feito por Galileu.

Após Galileu, o astrônomo dinamarquês Ole Rømer fez, em 1676, uma das primeiras estimativas quantitativas da velocidade da luz, baseando-se nas observações das luas de Júpiter. Rømer observou que os intervalos entre os eclipses de Io, uma das luas de Júpiter, variavam dependendo da distância entre a Terra e Júpiter. Ele corretamente deduziu que isso se devia ao tempo que a luz levava para viajar do planeta até a Terra. Embora sua estimativa não fosse exatamente precisa segundo os padrões modernos, foi um avanço significativo na época. (Tipler, 2012)

Posteriormente, no século XVIII, James Bradley ofereceu outra abordagem para a medição da velocidade da luz. Em 1728, ele descobriu o fenômeno da aberração da luz, observando as estrelas através de um telescópio. Bradley percebeu que a posição aparente das estrelas mudava devido ao movimento da Terra em torno do Sol, permitindo-lhe calcular a velocidade da luz com maior precisão. (Tipler, 2012)

Porém, a medição mais precisa da velocidade da luz veio no século XIX com o físico francês Hippolyte Fizeau, que, em 1849, usou um método envolvendo um feixe de luz refletido entre um espelho rotativo e um espelho estacionário a uma distância conhecida. A velocidade de rotação na qual o feixe de luz refletido podia ser visto novamente no ponto de partida foi usada para calcular a velocidade da luz. Posteriormente, Léon Foucault aprimorou o método de Fizeau (Figura 1), utilizando um espelho rotativo para determinar a velocidade da luz com ainda mais precisão. (Tipler, 2012)

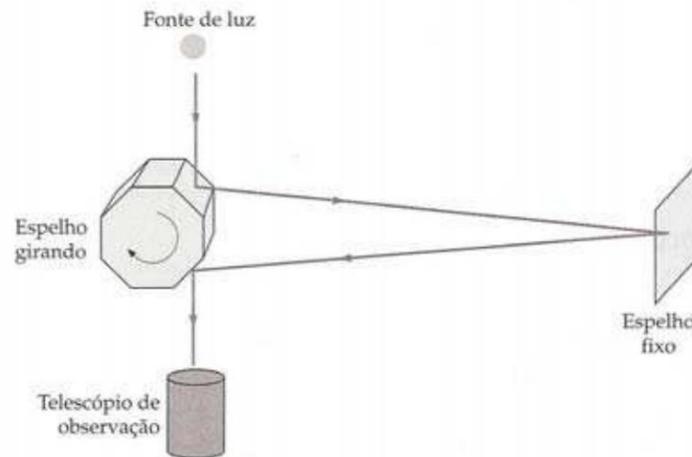
Figura 1 - Método de Fizeau para medir a velocidade da luz



Fonte: (Tipler 2012)

O método de Fizeau foi aprimorado por Jean Foucault que substituiu a correia dentada por um espelho giratório, como mostrado na Figura 02.

Figura 2 - Desenho simplificado do método de Foucault para medir a velocidade da luz

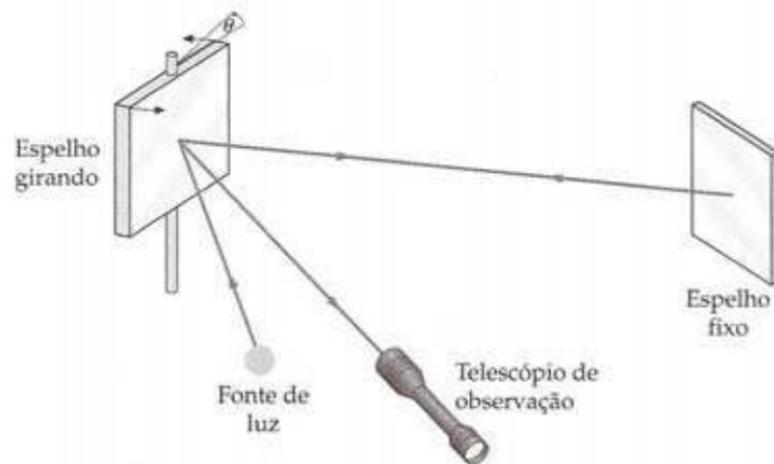


Fonte: (Tipler 2012)

Em 1850, Foucault mediu a velocidade da luz no ar e na água, mostrando que a velocidade da luz na água é menor do que no ar. O método de Foucault mede a velocidade da luz utilizando um aparato que consiste em uma fonte de luz, um espelho rotativo, um espelho fixo e uma lente. A luz da fonte é focada por uma lente e direcionada para o espelho rotativo. Quando o espelho rotativo gira, a luz refletida passa por um caminho específico e atinge o espelho fixo, que a reflete de volta para o espelho rotativo. Devido à rotação do espelho, o ponto onde a luz é refletida se desloca ligeiramente. Medindo este deslocamento e conhecendo a velocidade de rotação do espelho, é possível calcular a velocidade da luz.

Utilizando o mesmo método, Albert Michelson levou a precisão da medição da velocidade da luz a novos patamares no final do século XIX e início do século XX. Michelson fez uso de um aparato mais sofisticado e preciso para realizar suas medições, conforme Figura 3. O experimento de Michelson mede a velocidade da luz usando um interferômetro. O aparato inclui uma fonte de luz, um divisor de feixe, espelhos fixos e um detector. A luz da fonte é dividida em dois feixes pelo divisor de feixe. Esses feixes viajam por caminhos diferentes e são refletidos de volta pelos espelhos fixos. Quando os feixes retornam ao divisor, eles se recombinam e criam um padrão de interferência que é detectado. Ao ajustar a distância dos espelhos e analisar o padrão de interferência, é possível calcular a velocidade da luz com alta precisão. Seu interesse pela velocidade da luz era parte de uma pesquisa mais ampla que visava investigar as propriedades fundamentais da física. (Tipler, 2012)

Figura 3 - Método de Michelson para medir a velocidade da luz



Fonte: (Tipler 2012)

Os diversos métodos empregados para medir a velocidade da luz convergem harmoniosamente, consolidando o valor de 299.792.458 metros por segundo como uma medida precisa e universal. Esta velocidade é uniformemente aplicável a todas as ondas eletromagnéticas, incluindo a luz visível. (Tipler, 2012)

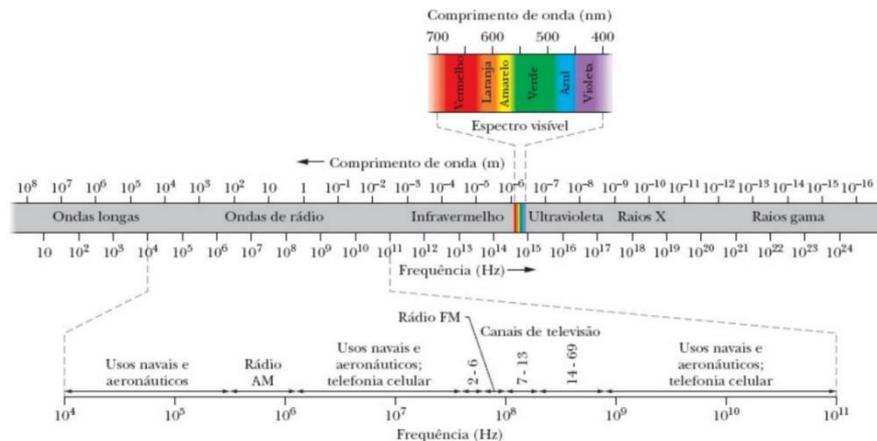
### 2.3 AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

A contribuição de James Clerk Maxwell para a Física estabeleceu que os feixes de luz são, de fato, a variação de campos elétricos e magnéticos. Logo o estudo da óptica é dedicado ao estudo da luz visível e constitui um ramo do eletromagnetismo. (Halliday, Resnick e Walker)

Maxwell havia realizado uma das grandes unificações da física. Antes dele, havia luz, eletricidade e magnetismo. Os dois últimos haviam sido unificados através do trabalho experimental de Faraday, Oersted e Ampère. E então, de repente, a luz não era mais uma “outra coisa”, mas era simplesmente eletricidade e magnetismo nesta nova forma – pequenos pedaços de campos elétricos e magnéticos que se propagam sozinhos pelo espaço. (Feynman; Leighton; Sands, 2008, p.249)

No entanto, em meados do século XIX, a compreensão humana sobre as ondas eletromagnéticas estava limitada à luz visível, aos raios infravermelhos e aos ultravioletas. Foi a inspiração derivada dos trabalhos de Maxwell que conduziu Heinrich Hertz à descoberta das ondas de rádio, demonstrando que estas se propagam pelo espaço à mesma velocidade que a luz visível. A Figura 4 ilustra o que hoje conhecemos como um vasto espectro de ondas eletromagnéticas, que Halliday denomina de "arco-íris de Maxwell". Estamos imersos em ondas eletromagnéticas pertencentes a esse espectro.

Figura 4 - O espectro eletromagnético



Fonte: (Halliday, Resnick e Walker 2016)

As ondas eletromagnéticas, conforme mostrado na figura anterior, são classificadas em ondas longas, ondas de rádio, infravermelho, visível, ultravioleta, raios X e raios gama. Suas aplicações abrangem diversos campos, como comunicação de rádio por modulação em amplitude (AM), modulação em frequência (FM), telefonia celular e sistemas de navegação naval e aeronáutica. Além disso, em energias acima do visível, temos a utilização dos raios X em radiografias e tomografias para diagnóstico médico, bem como os raios gama em tratamentos de radioterapia e em técnicas de imagem para estudos médicos.

No vácuo, as ondas eletromagnéticas se propagam com a mesma rapidez e diferem entre si nas suas frequências. A classificação das ondas eletromagnéticas, baseada na frequência, constitui o espectro eletromagnético. Ondas eletromagnéticas com frequências de vários milhares de hertz (kHz) são classificadas como ondas de rádio de frequência muito baixa. Uma frequência de milhão de hertz (MHz) situa-se no meio da banda de rádio AM. A banda de frequências muito altas das ondas de televisão começa em cerca de 50 MHz, e a de rádio FM vai de 88 a 108 MHz. (Hewitt, 2000)

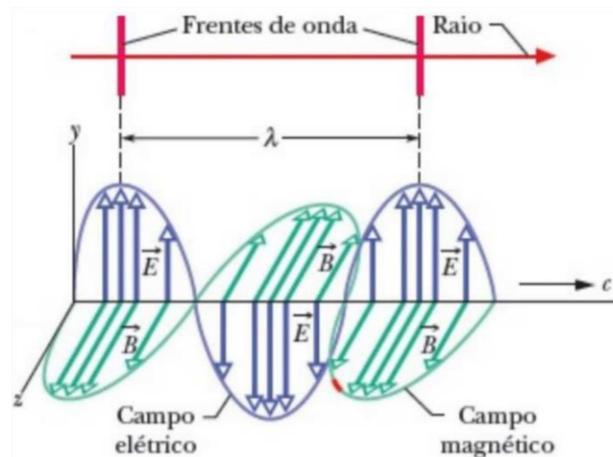
Logo, no centro do espectro eletromagnético encontram-se as ondas infravermelhas e as do espectro visível. Uma das aplicações práticas que utilizam o infravermelho é a comunicação entre dispositivos eletrônicos, como a interação entre uma televisão e seu controle remoto. Ao pressionar um botão no controle, uma onda portando uma assinatura eletrônica específica é transmitida à televisão. Essa assinatura, carregada pela frequência da onda, é então interpretada pela TV como um comando específico a ser realizado.

Hewitt (2000) descreve que, no espectro eletromagnético, encontram-se inicialmente as frequências ultra-altas, e logo após, as micro-ondas. Prosseguindo, situam-se as ondas infravermelhas, frequentemente referidas como "ondas de calor". Mais adiante no espectro, localizam-se as frequências correspondentes à luz visível, que representam uma fração minúscula, menos de um milionésimo de 1% do espectro eletromagnético total.

Nas regiões do espectro eletromagnético próximas ao violeta, as ondas apresentam níveis mais altos de energia, capazes de provocar queimaduras ou ionizar partículas. Essa faixa do espectro é amplamente empregada em diversas aplicações, incluindo a medicina, além de ser utilizada nos campos da física, química e engenharia nuclear.

Como abordado anteriormente, a onda eletromagnética consiste em dois campos: o elétrico e o magnético (Figura 5). Porém, experimentos com luz, sejam eles na Fisiologia, na Química ou mesmo na Física, mostram que nossas células, as substâncias químicas e sistemas físicos de interesse reagem por ação dos campos elétricos. Assim, quando se fala em óptica de luz, e dos efeitos dela sobre a matéria inerte ou viva, está se pensando apenas no campo elétrico  $E$  e o campo magnético  $B$  é desprezível para as situações de interesse.

Figura 5 - Onda Eletromagnética



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016)

Como já apresentado, qualquer onda eletromagnética tem a mesma velocidade de propagação no espaço livre (vácuo de aproximadamente),  $c = 3,00 \cdot 10^8$  m/s, dada por:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (1)$$

Onde:  $\mu^\circ$  é a permeabilidade do vácuo e vale  $4\pi \times 10^{-7} H/m$ , e,  $\varepsilon^\circ$  é a permissividade do vácuo e vale  $8,854 \times 10^{-12} F/m$ .

Ondas eletromagnéticas, ao contrário das ondas mecânicas, não dependem de um meio material para se propagar. Elas podem se deslocar através do vácuo e também atravessar diversos materiais, tais como ar, água e vidro.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2016), a onda eletromagnética, que se propaga ao longo de um eixo x, tem seus módulos de campos elétrico e magnético dependentes de x e t, dados por:

$$\begin{aligned} E &= E_m \text{sen}(kx - \omega t) \\ B &= B_m \text{sen}(kx - \omega t) \end{aligned} \quad (2)$$

$E_m$  e  $B_m$  são as amplitudes de E e B, i.e.,  $\omega$  e k são, respectivamente, a frequência angular e o número de onda.

Para entender como Maxwell concluiu que a luz é uma onda eletromagnética, a seguir será demonstrado o tratamento matemático, derivado de suas equações, que mostra a natureza tridimensional da onda.

De acordo com Feynman, Leighton e Sands (2008, p. 242), as equações de Maxwell que explicam o comportamento de campos elétricos e magnéticos que podem variar em função do tempo são dadas por:

$$\begin{aligned} I - \nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\varepsilon_0} & III - \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ II - \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} & IV - c^2 \nabla \times \mathbf{B} &= \frac{\mathbf{j}}{\varepsilon_0} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \end{aligned} \quad (3)$$

Onde: B é o vetor indução magnética, E é o vetor campo elétrico,  $\varepsilon_0$  é uma constante que depende do meio,  $\rho$  é a densidade de carga elétrica, c é a velocidade da luz, J é a densidade de corrente elétrica, e  $\nabla$  é um operador vetorial definido, em coordenadas cartesianas, por  $\nabla =$

$$\hat{x} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial}{\partial z} \quad (4)$$

Se considerarmos uma região do espaço livre (vácuo) onde não exista densidade de carga elétrica ( $\rho$ ) ou densidade de corrente elétrica (J), as equações de Maxwell apresentam-se:

$$\begin{aligned} I - \nabla \cdot \mathbf{E} &= 0 & II - \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ III - \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 & IV - c^2 \nabla \times \mathbf{B} &= \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \end{aligned} \quad (5)$$

Segundo Feynman, Leighton e Sands (2008, p. 275), tem-se que o vetor  $E$  satisfaz a equação da onda. Para demonstrar, primeiramente, toma-se o rotacional nos dois lados da segunda equação de Maxwell para o espaço livre:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\frac{\partial}{\partial t}(\nabla \times \mathbf{B}) \quad (6)$$

Sabe-se que o rotacional do rotacional de qualquer vetor pode ser escrito como a soma de dois termos que envolvem o divergente e o laplaciano. Assim, tem-se que:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E} \quad (7)$$

Como o divergente de  $E$  é zero no vácuo, tem-se que:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\nabla^2 \mathbf{E} \quad (8)$$

Isso implica que a derivada de  $c^2 \nabla \times \mathbf{B}$  em relação a  $t$  é igual à derivada segunda de  $E$  em relação a  $t$ .

Igualando as equações, chega-se a:

$$-\nabla^2 \mathbf{E} = -\frac{\partial}{\partial t}(\nabla \times \mathbf{B}) \quad (09)$$

Derivando os dois lados da quarta equação de Maxwell no espaço livre, chega-se que:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\nabla \times \mathbf{B}) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (10)$$

Chegamos então na equação da onda no espaço livre:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \quad (11)$$

Retomando a mesma demonstração para o campo magnético  $B$ , com a quarta equação de Maxwell, chega-se ao mesmo resultado:

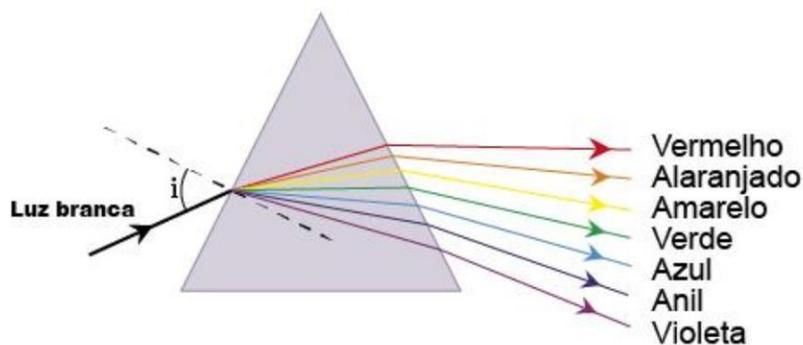
$$\nabla^2 \mathbf{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} \quad (12)$$

Maxwell demonstrou assim que a onda eletromagnética viaja no espaço livre à velocidade da luz  $c$ , e, como consequência, a luz visível seria uma onda eletromagnética.

## 2.4 A NATUREZA DA LUZ E O EFEITO FOTOELÉTRICO

O entendimento sobre a natureza da luz evoluiu ao longo dos séculos. Inicialmente com Newton utilizando um prisma, conforme Figura 6, demonstrou há cerca de 300 anos que a luz branca é composta por diversas cores, e apoiava a teoria corpuscular da luz, embora tenha adotado uma concepção corpuscular para a luz ele nunca a defendeu abertamente em seus escritos. (Moura, 2016)

Figura 6 - Dispersão das cores no prisma



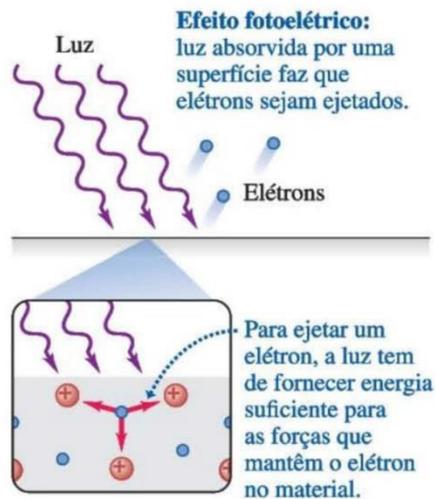
Fonte: Xavier (2020)

No final do século XVII, Christian Huygens propôs que a luz se comportava como uma onda, uma ideia que antecipava conceitos futuros, mas que inicialmente ganhou pouca aceitação.

A visão de partícula predominou durante o século XVIII. No entanto, os trabalhos de Young e Fresnel introduziram o conceito de interferência, desafiando o modelo corpuscular ao descrever a luz como vibrações que se propagam em um meio.

Avançando para o início do século XX, a compreensão da luz tomou um novo rumo com Albert Einstein. Em 1905, ele retomou a ideia corpuscular para explicar o efeito fotoelétrico, observado inicialmente por Heinrich Hertz em 1887, conforme Figura 7. Einstein propôs que a luz consistia em "quanta" ou fótons, cuja energia é determinada pela frequência, uma ideia que desafiou a interpretação puramente ondulatória anterior. (Young & Freedman, 2009)

Figura 7 - O efeito fotoelétrico



Fonte: Young e Freedman (2009)

Experimentos adicionais realizados anteriormente por Wilhelm Hallwachs e Philipp Lenard entre 1886 e 1900, explorando a geração de correntes elétricas em metais sob a incidência de luz, destacaram fenômenos que não podiam ser explicados apenas pela teoria das ondas, como a existência de uma frequência de corte que determinava a emissão de elétrons. (Young & Freedman, 2009)

Young e Freedman (2009) destacam que a luz não pode ser plenamente compreendida apenas como onda, enfatizando a complexidade de sua natureza que combina características tanto ondulatórias quanto corpusculares. Assim, a luz é identificada como uma forma de energia eletromagnética, caracterizada pela frequência que determina a energia de cada quantum de luz.

[...] Fótons não são “partículas” no sentido usual [...] É comum, porém impreciso, visualizar fótons como se fossem bolas de bilhar em miniatura. Bolas de bilhar possuem uma massa de repouso e viajam em uma velocidade mais lenta que a velocidade da luz, enquanto fótons viajam na velocidade da luz e possuem zero massa de repouso. Além do mais, os fótons possuem características de onda (frequência e comprimento) que são facilmente observáveis. O conceito de fóton é muito estranho, e a verdadeira natureza dos fótons é difícil de visualizar de um jeito simples. (Young; Freedman, 2009, p.204)

Dentro desse quadro, a dualidade onda-partícula surge como um tema central, propondo um debate histórico se a luz possui uma natureza mais corpuscular ou ondulatória. Esta dualidade sugere que, enquanto a luz se propaga, evidencia-se sua característica ondulatória; no entanto, ao interagir com a matéria, essa interação acontece de maneira que

sugere a presença de partículas, cuja energia é precisamente determinada por suas frequências (os quantum de energia, ou corpúsculos).

Os pacotes de energia que compõem um feixe de luz, denominados fótons ou quanta, possuem energia dadas pela expressão:

$$E = h \cdot \nu = hc / \lambda \quad (13)$$

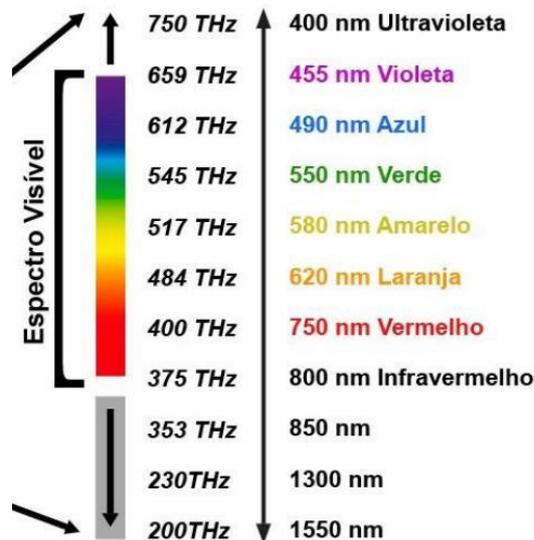
onde  $h$  é uma constante universal, conhecida por constante de Planck, cujo valor é  $h = 6,6260693 \times 10^{-34}$  J.s,  $f$  é a frequência do fóton,  $\lambda$  seu comprimento de onda, e  $c$  é a velocidade da luz no vácuo. (Young & Freedman, 2009)

A onda eletromagnética é caracterizada pelo seu comprimento de onda  $\lambda$  ou por sua frequência  $f$ , lembrando que:

$$c = \lambda \cdot f \quad (14)$$

Como podemos ver na Figura 8, a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda, ou seja, quando a frequência cresce, o comprimento de onda decresce. A relação,  $c = \lambda f$ , caracteriza que a velocidade da luz no vácuo,  $c$ , é a constante que equilibra essa relação de inversamente proporcional entre frequência e comprimento de onda.

Figura 8 - Relação Entre comprimento de onda e frequência



Fonte: Xavier (2020)

Por outro lado, de acordo com o conceito corpuscular da radiação eletromagnética, tem-se a seguinte equação:

$$E = m \cdot c^2 \quad (15)$$

Sendo  $m$  a massa corpuscular e  $c$  a velocidade da luz.

Então, é possível estabelecer o seguinte conceito dual energia-massa, isto é, uma relação onda-partícula para a radiação eletromagnética (equivalência em energia-massa e vice-versa):

$$h \cdot f = m \cdot c^2 \quad (16)$$

considerando que  $c = \lambda \cdot f$  e  $v = 1/T$ , tem-se que  $c = \lambda \cdot f$ ;  $f = c/\lambda$  então

$$h \cdot c/\lambda = m \cdot c^2 \quad (17)$$

$$h/\lambda = m \cdot c \quad (18)$$

A equação acima, agora, uma relação de comprimento de onda da luz (propriedade ondulatória) com a respectiva massa (propriedade corpuscular).

## 2.5 A FÍSICA E A FOTOSSÍNTESE

Quando elétrons na molécula de clorofila absorvem luz de um comprimento de onda específico, ele passa do estado fundamental para o estado excitado. Após a absorção, a energia é reemitida em um comprimento de onda diferente, completando o processo de excitação e reemissão.

O modelo de Bohr para um átomo constituído de um núcleo de carga  $+Ze$  e massa  $M$ , prevê que um elétron de carga  $-e$ , e massa  $m$ , girando numa órbita circular em torno do núcleo só pode se mover numa órbita na qual seu momento angular orbital  $L$  é um múltiplo inteiro de  $\hbar$ .

$$L = n\hbar, \hbar = h/2\pi \quad (18)$$

Esta fórmula explica a quantização de Bohr do momento angular orbital de um elétron atômico que se desloca sob a influência de uma força que é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

O terceiro postulado de Bohr assegura a estabilidade atômica ao declarar que um elétron, ao percorrer qualquer uma dessas órbitas permitidas e estar em constante aceleração, não irradia energia, mantendo assim sua energia total  $E$  inalterada.

Por fim, o quarto postulado, originalmente proposto por Einstein, estabelece que a frequência de um fóton de radiação eletromagnética corresponde à energia transportada pelo fóton dividida pela constante de Planck.

$$\nu = \frac{E_i - E_f}{h} \quad (19)$$

A quantização do momento angular orbital implica na quantização da energia total  $E$  na forma. (Eiseberg, 1979)

$$E = -\frac{mZ^2 e^4}{(4\pi \epsilon_0)^2 2\hbar n^2} \quad (20)$$

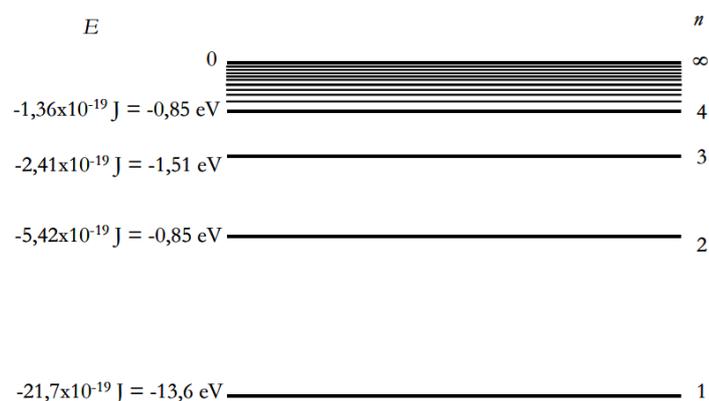
Deste modo, quando o elétron se move de uma órbita inicial de energia total  $E_i$  para uma órbita final  $E_f$  há emissão de radiação eletromagnética igual a quantidade  $(E_i - E_f)$  dividida pela constante de Planck  $h$

$$\nu = \frac{E_i - E_f}{h} = +\left(\frac{1}{4\pi \epsilon_0}\right)^2 Z^2 \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) \quad (21)$$

Assim, utilizando a fórmula acima, podemos representar o diagrama de níveis de energia para o átomo de hidrogênio ( $Z = 1$ ) conforme a Figura 9.

A energia de ligação do átomo de hidrogênio, que une o elétron ao núcleo, é numericamente igual à energia quando  $n = 1$ . O estado mais estável, ou estado fundamental, é alcançado quando o elétron possui a menor quantidade de energia, também em  $n = 1$ . Quando absorve energia, o elétron passa para um estado excitado ou de energia superior, onde  $n > 1$ . Ao regressar ao estado fundamental, o átomo libera o excesso de energia através de uma sequência de transições nas quais o elétron retorna a estados de energia inferior.

Figura 9 - Diagrama de níveis de energia para o átomo de hidrogênio



Fonte: Duarte (2003)

A clorofila, quando absorve energia, deverá fazê-lo sob forma de absorção de fótons com seus respectivos quanta de energia dados por:

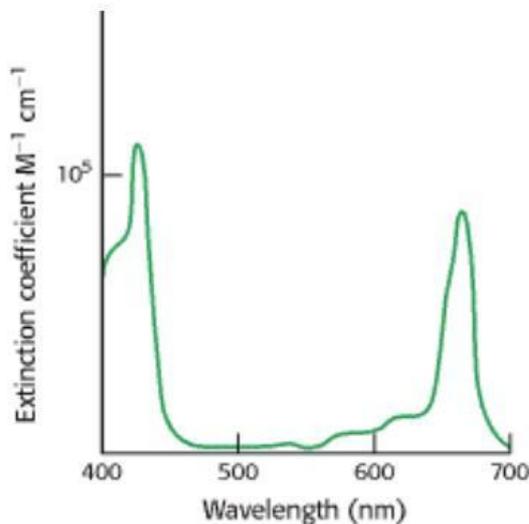
$$E = h \cdot \nu \quad (22)$$

Os elétrons  $\pi$  do sistema conjugado que interagem com o cátion magnésio na clorofila, estão num estado fundamental de nível de energia muito próximo do estado excitado. Desse modo, a energia para os “saltos quânticos” entre os respectivos orbitais moleculares será baixa, correspondendo a fótons com comprimentos de onda maiores, ou seja, na região do espectro eletromagnético da luz visível.

A luz propriamente dita corresponde à faixa que é detectada pelo olho humano, entre 400 nm a 700 nm (um nanômetro vale  $1,0 \times 10^{-9}$  metros).

No espectro observado na Figura 10, destacam-se picos de intensidade nas faixas de 430 nm e 680 nm, localizadas perto das extremidades do espectro de luz visível. Isso indica a eficácia das clorofilas como fotorreceptores, atribuída à presença em sua estrutura de sequências alternadas de ligações duplas ( $\pi$ ) e simples ( $\sigma$ ), características de compostos conhecidos como polienos. Estes compostos exibem fortes bandas de absorção na região visível do espectro, com coeficientes de absorção molar ( $\epsilon$ ) superiores a  $10^3 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ , um dos maiores para compostos orgânicos.

Figura 10 - Espectro de absorção da clorofila



Fonte: Santos Costa e Braun (2020)

A ação da luz solar na fotossíntese coincide com o espectro de absorção da clorofila, cuja pronunciada cor verde é resultado das intensas absorções nas regiões azul (430 nm) e vermelha (680 nm) do espectro eletromagnético. Isso faz com que a luz refletida e transmitida pela clorofila tenha uma aparência verde. A clorofila desempenha um papel crucial ao converter

a energia da luz solar em energia química durante a fotossíntese, transformando dióxido de carbono e água em carboidratos e oxigênio.

### 2.5.1 A estrutura molecular e processo de absorção de energia solar pela clorofila

Segundo Magalhães (1979), cerca de 50% do fluxo de energia solar que chega até as plantas consiste da radiação eletromagnética com comprimentos de onda entre 400 e 700 nm (radiação fotossinteticamente ativa), que é a região do espectro da energia solar que pode ser absorvida pelas plantas. Em biologia a unidade de energia é referida em quilocalorias por mol de fótons. A fotossíntese ocorre quando as clorofilas absorvem um fóton de um dado comprimento de onda e utilizam essa energia para iniciar a reação fotoquímica. Assim, um mol de clorofila, para iniciar a reação, deve absorver  $6.024 \times 10^{23}$  fótons de energia ou  $Nh\nu$ . Temos que:

$$E = N \frac{hc}{\lambda} \text{ J/mol de fótons}$$

Daí, fótons com comprimentos de onda de 400, 500, 600 e 700 nm têm para  $N = 1$ , respectivamente, 71.5, 57.1, 47.6 e 40.9 kcal/einstein de energia. A energia de ligação de compostos orgânicos estáveis varia de 50 a 100 kcal/mol, significando que fótons de 40, 50 ou 70 kcal/einstein podem transferir suas energias para estas moléculas tornando-as excitadas e reativas. Em geral, comprimentos de onda abaixo de 300 nm (ultravioleta) têm energia radiante muito elevada podendo haver decomposição das moléculas. De outro modo, comprimentos de onda acima de 800 nm (infravermelho) não dispõem de energia suficiente para induzir uma diminuição da energia de ligação dos compostos e possibilitar uma reação química. Dessa forma, a clorofila (clo) no seu estado fundamental ao absorver um fóton faz uma transição para um estado excitado de maior energia:



Cabe ressaltar que o simples aumento no número de fótons não implicará em um crescimento linear das reações fotossintetizadoras. Ao contrário, a partir de uma certa irradiação começa a haver saturação.

Segundo Stella (2003), a saturação luminosa é o ponto a partir do qual a taxa fotossintética estabiliza com o aumento da intensidade luminosa. Para a conversão de energia

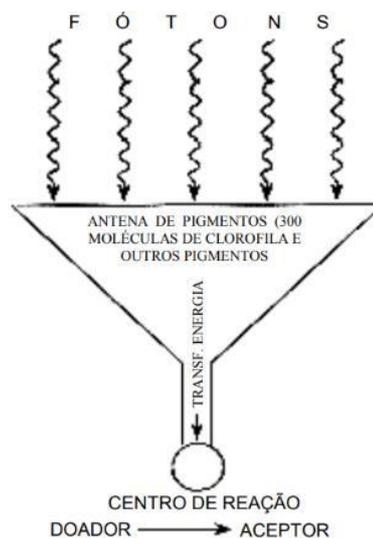
na fotossíntese há uma cooperação de muitas moléculas de clorofila. Sob condições de saturação luminosa, apenas uma molécula de oxigênio é produzida para cada 2500 moléculas de clorofila na amostra.

Funcionalmente, as moléculas de clorofila atuam agrupadas. A luz é coletada por um complexo formado por 200-300 pigmentos, que estão ligados a proteínas formando o complexo coletor de luz (LHC, Light-Harvesting-Complex). Cada antena está associada a um centro de reação ao qual provê a energia coletada. (Martinez, 2002)

Segundo Borisov (1989), a energia absorvida é transportada por ressonância. Neste processo, a energia de excitação da clorofila para o centro de reação é transferida de uma molécula para outra por um processo não radiativo.

Os fótons incidentes, conforme Figura 11, são transferidos de molécula para molécula, sendo a energia concentrada num pigmento aprisionador. Como resultado, a energia captada pela antena nos diversos comprimentos de onda converge para um único ponto focal, chamado pigmento aprisionador. Deste modo, o pigmento aprisionador pode receber 200 vezes mais fótons/segundo do que se absorvesse luz isoladamente.

Figura 11 - Complexo coletor de luz



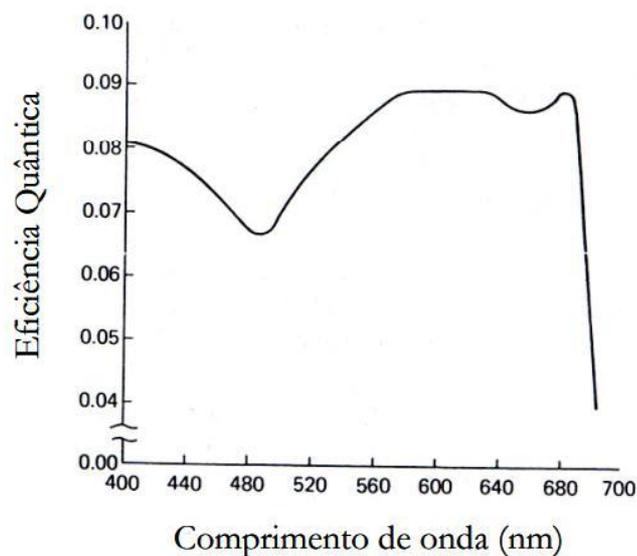
Fonte: Duarte ( 2003)

A eficiência quântica de um processo, como a fotossíntese, é, matematicamente, definida pela equação abaixo: (Taiz e Zeiger, 1991)

$$\Phi_{\text{fotoquímica}} = \frac{\text{produção de produtos fotoquímicos}}{\text{número total de fótons absorvidos}} \quad (24)$$

O recíproco da eficiência quântica é a exigência quântica. Para a produção de uma molécula de O<sub>2</sub> a máxima eficiência quântica medida é de aproximadamente 0.1, significando que 10 (dez) fótons são absorvidos para cada O<sub>2</sub> desprendido. Os valores encontrados para a eficiência quântica, na faixa dos comprimentos de onda nos quais a clorofila absorve luz, são aproximadamente constantes, conforme indicado na Figura 12. Contudo, acima de 680 nm a eficiência cai drasticamente, demonstrando que a luz de comprimentos de onda maiores do que 680 nm são menos eficientes do que comprimentos de onda mais curtos.

Figura 12 - Eficiência quântica da fotossíntese da alga *Chlorella* em função do comprimento de onda da luz



Fonte: Duarte (2003)

### 2.5.2 Transporte fotossintético de elétrons

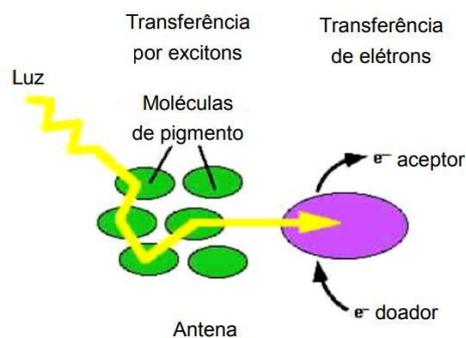
Uma molécula de clorofila da antena ao ser excitada pela luz, transfere diretamente sua energia para uma molécula vizinha e retorna ao seu estado fundamental. Este processo é repetido para uma terceira, uma quarta e, assim sucessivamente, até finalmente excitar a

molécula da clorofila do centro de reação, pelo processo de transferência por ressonância. (Borisov, 1989)

Com isso a Figura 13 ilustra esta transferência de energia. Neste processo, fótons não são simplesmente emitidos por uma molécula e absorvidos por outra; a energia de excitação é transferida de uma molécula para outra por um processo não-radiativo. Como as moléculas estão fortemente agregadas, 95-99% dos fótons absorvidos pela antena de pigmentos têm suas energias transferidas para o centro de reação onde serão usadas na fotoquímica. (Taiz e Zeiger, 1991)

Na molécula transdutora do centro de reação, a excitação promove um elétron para um orbital de maior energia. Um receptor de elétron vizinho, que é parte da cadeia transportadora de elétrons do cloroplasto, adquire este elétron, ficando a molécula de clorofila excitada com um orbital vazio. O elétron doado pela clorofila do centro de reação é substituído por outro de uma molécula doadora de elétrons vizinha, que se torna positivamente carregada.

Figura 13 - Transferência por ressonância



Fonte: Duarte(2003)

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO METODOLÓGICO

Neste capítulo, exploraremos os fundamentos teóricos e metodológicos que embasam a pesquisa. A abordagem adotada visa proporcionar uma compreensão das mudanças educacionais recentes e das suas implicações práticas no contexto do ensino médio. Para tanto, serão analisadas teorias educacionais relevantes, bem como metodologias de pesquisa que permitam uma investigação das questões em foco.

#### 3.1 MUDANÇAS NA EDUCAÇÃO COM O NOVO ENSINO MÉDIO

A educação brasileira passou por uma reformulação significativa no Ensino Médio, em resposta à implementação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Homologada pelo Ministério da Educação em duas etapas – inicialmente para a educação infantil e o ensino fundamental em 20 de dezembro de 2017 e, posteriormente, para o ensino médio em 14 de dezembro de 2018 –, essa mudança visa reorganizar a distribuição da carga horária e introduzir itinerários formativos, alinhando os planos educacionais das escolas às competências e habilidades que os estudantes devem desenvolver, conforme as diretrizes da BNCC. Este movimento marca o início da transição para o chamado Novo Ensino Médio.

Na teoria, o Novo Ensino Médio parece ser uma iniciativa positiva. No entanto, sua implementação enfrenta desafios significativos, conforme analisado por Branco (2018). Os principais desafios incluem a redução de conteúdos, devido à diminuição de horas dedicadas a certas disciplinas, com particular destaque para a física; a reconfiguração de áreas do conhecimento em "estudos e práticas"; obstáculos relacionados aos Itinerários Formativos, decorrentes da escassez de recursos e da falta de mão de obra qualificada; preocupações com a formação de docentes que não possuem especialização pedagógica; a necessidade de adaptação das licenciaturas às normas da BNCC; a definição de padrões de desempenho; o incentivo ao ensino integral; e alterações na legislação trabalhista que afetam os professores. Esses fatores ilustram a complexidade e os possíveis impactos dessa legislação na educação brasileira.

Neste contexto desafiador, é preciso desenvolver estratégias pedagógicas que engajem os estudantes na pesquisa científica e no desenvolvimento de competências analíticas e críticas, conforme proposto pela BNCC, especificamente, no que se refere às Ciências da Natureza, uma das competências a serem desenvolvidas indica que o estudante tenha a capacidade de “colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.” (BNCC, 2018, p. 9)

Para enfrentar os desafios mencionados e alinhar-se às diretrizes do documento orientador, é importante destacar a relevância do ensino investigativo e interdisciplinar como facilitadores do desenvolvimento de competências essenciais no ensino de física. A implementação de uma metodologia interdisciplinar, que fomenta a transversalidade e a integração entre as disciplinas, aliada ao incentivo de uma aprendizagem fundamentada na investigação são estratégias que promovem um aprendizado mais significativo e relevante para os estudantes.

A BNCC destaca a importância da transversalidade e da integração entre diferentes áreas do conhecimento. Essa perspectiva é reconhecida como uma das dez estratégias fundamentais para promover um ambiente de aprendizado mais rico e inclusivo. Ao encorajar a interdisciplinaridade, a BNCC visa não apenas enriquecer a experiência educativa dos estudantes, mas também prepará-los de maneira mais efetiva para os desafios do mundo contemporâneo. Essa abordagem estimula uma compreensão integrada dos saberes, promovendo habilidades críticas e criativas essenciais para a formação de cidadãos ativos e reflexivos.

Decidir sobre formas de organização interdisciplinar dos componentes curriculares e fortalecer a competência pedagógica das equipes escolares para adotar estratégias mais dinâmicas, interativas e colaborativas em relação à gestão do ensino e da aprendizagem. (BNCC, 2018, p.12)

O ensino investigativo é uma importante ferramenta para compreensão da ciência e seus processos. Carvalho (2018) enfatiza esta abordagem como uma maneira de instigar os estudantes a pensar de forma crítica e autônoma, promovendo um ambiente de aprendizado onde a curiosidade e a argumentação são estimuladas. Na prática, isso significa que o docente facilita experiências de aprendizagem que convidam os alunos a questionar, analisar criticamente os textos, desenvolver suas próprias ideias com clareza e expressá-las com propriedade. Ampliando esta visão, o ensino por investigação não apenas encoraja os alunos a se engajarem ativamente na construção do conhecimento, mas também os prepara para solucionar problemas de forma criativa, fortalecendo suas habilidades de pesquisa, análise e síntese. Ao criar um espaço dinâmico que valoriza a investigação e a troca de ideias, os professores podem estimular uma aprendizagem mais significativa e duradoura.

A BNCC orienta o ensino por investigação como uma estratégia para aprofundar a compreensão dos alunos sobre o processo científico, encorajando sua participação ativa no desenvolvimento do conhecimento. Esta metodologia visa engajar os estudantes na exploração de questões e desafios que exigem uma investigação rigorosa, a análise de dados e a formulação

de conclusões baseadas em evidências. Desse modo, estimula-se o pensamento crítico e fortalece-se a habilidade dos alunos em resolver problemas de forma criativa e embasada.

Além disso, a abordagem de ensino de ciências baseada em investigação destaca-se por promover o envolvimento dos estudantes através de práticas pedagógicas que incitam a exploração ativa de questões complexas, demandando uma investigação detalhada para sua resolução. Esse processo engloba desde a coleta até a análise e interpretação de dados, culminando na formulação e compartilhamento de conclusões apoiadas por evidências. Tal abordagem transcende a simples técnica educacional, constituindo-se como uma filosofia de ensino na qual o papel do educador é fundamental para guiar a investigação dos alunos (Melville et al., 2008; Sasseron, 2015). Ao adotar este modelo, o ensino investigativo se afirma não apenas como uma metodologia eficaz, mas como um pilar para o desenvolvimento de uma aprendizagem profunda e reflexiva.

### 3.2 O MÉTODO POE

No âmago deste paradigma educacional, a investigação se apresenta como um vetor crucial para o sucesso na assimilação do saber, estimulando a exploração de novas áreas por meio da indagação, análise crítica e síntese de conhecimentos. A metodologia POE (Predizer - Observar - Explicar), conforme descrito por Sasaki (2015), embora inicialmente concebida por White e Gunstone em 1992 com um propósito avaliativo, visa fomentar um ambiente de aprendizado investigativo. Este processo, apoiado por um conjunto experimental e perguntas cuidadosamente formuladas, se distingue pela sua estrutura tripartida: antecipação, observação e interpretação. Tal abordagem diminui o foco na transmissão convencional do conteúdo pelo educador, priorizando a participação ativa dos estudantes, o desenvolvimento do pensamento crítico e a capacidade de expressar ideias de forma independente e precisa, promovendo assim a reavaliação ou reafirmação de concepções prévias.

A metodologia POE (Previsão, Observação e Explicação) é uma abordagem que envolve a utilização de experimentos qualitativos, vídeos ou simulações em sala de aula. Dividida em três etapas principais, essa metodologia visa engajar os estudantes em um processo de reflexão sobre os fenômenos observados. Inicialmente, os alunos são incentivados a fazer previsões com base em seus conhecimentos prévios, o que os desafia a aplicar seu entendimento de forma prática. Em seguida, durante a fase de observação, eles analisam os resultados obtidos, comparando-os com suas previsões iniciais. Por fim, na etapa de explicação, os alunos são

orientados a integrar suas observações com as teorias científicas, buscando justificar possíveis discrepâncias entre o previsto e o observado. (Sasaki e Jesus, 2017)

De acordo com Santos e Sasaki (2015), a metodologia POE conduz os estudantes por um ciclo de aprendizagem ativo, estruturado em torno de uma problemática a ser resolvida. A fase de previsão envolve a formulação de hipóteses baseadas nas intuições dos alunos, que são testadas através de uma simulação ou experimento. Durante a observação, os estudantes coletam dados que são então analisados e comparados com suas previsões. Esse confronto entre a teoria e a prática culmina na fase de explicação, onde os alunos devem interpretar os resultados à luz das teorias científicas pertinentes, sempre sob a supervisão do professor.

As três etapas do POE podem ser descritas da seguinte maneira:

1. Predizer: nesta ação, no caso da situação apresentada, o aluno por meio de perguntas foi estimulado a prever os resultados sem que haja uma interação com o sistema. Isto permitirá ao aluno buscar soluções explorando seu conhecimento acerca do assunto, apresentando previsões com base em seu raciocínio e confrontando suas previsões com as de outros. Dando origem à discussão grupal na disputa pela defesa da previsão.

2. Observar: nesta ação, o aluno observa o que de fato acontece no sistema, operando o experimento neste caso. Ao verificar os dados, o aluno é levado a observar se suas predições são compatíveis ou contradizem a realidade que acaba de ser realizada e visualizada. Nesta etapa, o aluno descreve suas observações de forma direta e levanta informações que contribuirão para o próximo passo.

3. Explicar: neste último momento, o aluno deve buscar explicações sobre as divergências entre as suas predições e os resultados observados, buscando enfim compatibilizar as suas previsões com a observação. Aqui, pode ocorrer o confronto de suas eventuais concepções alternativas com o conhecimento científico. Neste processo, um resultado mais próximo do científico pode ser formulado.

Um dos desafios dessa metodologia é a limitação do professor em restringir a explicação de conceitos, permitindo que os alunos tragam suas respostas de acordo com seu conhecimento prévio e incentivando a participação dos estudantes. Nesse primeiro momento, o professor deve se atentar às perguntas, onde cada resposta e questionamento dos estudantes geram novas questões para discussão. Segundo Santos e Sasaki (2015), é fundamental que o educador reconheça como as observações de alguém são profundamente influenciadas por seu conhecimento prévio e expectativas.

No segundo momento, acontece uma alta chance de divergências entre as hipóteses e o experimento realizado e oferece uma oportunidade para, além de fomentar a criatividade e

subjetividade dos estudantes, realizar um processo de ensino dinâmico e interativo, onde as ideias pré-concebidas são testadas e questionamentos ou comentários se tornam cruciais para o desenvolvimento do conhecimento sobre o tema tratado. Sasaki e Jesus (2016) argumentam que o conflito cognitivo é significativo para estimular a curiosidade e o interesse dos alunos, criando condições para ajustar as concepções anteriores.

Após a troca de ideias e debates feitos pelos estudantes, resultantes da observação do fenômeno gerado, inicia-se a terceira e última etapa deste método de ensino investigativo, quando os grupos ou seus representantes expressam verbalmente suas conclusões, tentando formular a melhor resposta para a questão proposta. Para isso, é necessária uma organização básica para assegurar que todos os grupos tenham a chance de expor suas conclusões ou pontos de vista, isto é, uma sequência e tempo definidos pelo professor ou, em acordo mútuo, pelos participantes da aula para fazer suas explicações. Além disso, espera-se que, neste momento, as divergências de opiniões sejam interpretadas e contextualizadas em relação ao fenômeno discutido, visando assim correlacionar as considerações dos diferentes grupos e concluir o raciocínio com a maior compreensão possível do conteúdo programático abordado na questão proposta.

Na fase final, a valorização dos estudantes se manifesta pela atenção dada às suas expressões, que podem se dar não só por palavras, mas também por outros meios, como gestos e expressões faciais. Isso requer uma atenção especial do educador para reconhecer esses sinais e usá-los como estímulo para formular declarações ou perguntas que incitem curiosidade, dúvida e debate sobre o fenômeno examinado, promovendo autonomia e propriedade no raciocínio dos alunos.

### 3.3 TAXONOMIA DOS OBJETIVOS EDUCACIONAIS DE BENJAMIN BLOOM

A Taxonomia de Bloom para Objetivos Educacionais, ou simplesmente Taxonomia de Bloom, foi criada com o propósito de simplificar a complexa tarefa de organizar os procedimentos de seleção para universidades nos Estados Unidos.

A obra de Bloom, conforme Conklin (2005) apud Ferraz e Belhot (2010), aponta que alunos expostos às mesmas condições educacionais exibem resultados variados, refletindo diferenças em graus de aprendizado, abstração e profundidade no conteúdo absorvido, antes acreditava-se que esse fato se dava por questões extra classe, porém após Bloom, observou-se que esse fato dava se ao nível cognitivo dos estudantes. Os autores indicam que a Taxonomia de Bloom e sua estrutura hierárquica de objetivos de aprendizagem representam um avanço

significativo para educadores em busca de fomentar raciocínios e abstrações avançadas (pensamento de ordem superior) em seus alunos, alinhando-se aos objetivos instrucionais estabelecidos.

Ferraz e Belhot (2010) argumentam que a Taxonomia de Bloom permitiu a padronização da linguagem acadêmica, facilitando novas discussões sobre a definição de objetivos instrucionais. Esse cenário propiciou o desenvolvimento de instrumentos de aprendizagem de maneira mais integrada e estruturada, levando em conta também os avanços tecnológicos que oferecem diversas ferramentas para aprimorar o ensino e o aprendizado.

Conforme Amauro (2010), a Taxonomia de Bloom foi estruturada em torno de três eixos principais: cognitivo, afetivo e psicomotor, essenciais para o desenvolvimento educacional dos alunos.

(i) domínio cognitivo: objetivos atrelados à memória e ao desenvolvimento de capacidades e habilidades intelectuais;

(ii) domínio afetivo: objetivos que abrangem mudanças de interesse, atitudes e valores;

(iii) domínio psicomotor: objetivos que compreendem habilidades de manipulação ou motoras.

Predominantemente utilizada na educação, a taxonomia tem um papel crucial no ensino e na aprendizagem, especialmente no âmbito cognitivo. Amauro (2010) destaca, contudo, que apesar de sua ampla aplicação em pesquisas educacionais, a taxonomia enfrenta limitações na distinção precisa dos processos cognitivos dentro de sua hierarquia proposta. Ainda assim, os resultados obtidos em diversas pesquisas conferem à taxonomia uma confiabilidade notável, evidenciando que ela transcende o status de mera ferramenta metodológica.

Santana Junior, Pereira e Lopes (2008) abordam em suas pesquisas que o domínio cognitivo tem um significativo grau de complexidade, pois envolve processos e produtos mentais, e lembram que a classificação apresentada por Bloom et al. (1972) é uma simplificação que facilita a tentativa de perceber quanto o estudante conseguiu obter de aprendizado, considerando-se processos intelectuais crescentes.

O domínio cognitivo, conforme descrito por Bloom et al. (1972), é organizado em seis níveis que se escalonam em complexidade crescente. Esta estrutura varia do básico ao avançado, exigindo que o estudante domine competências em níveis mais elementares antes de avançar para habilidades mais desenvolvidas, como demonstrado na Figura 14.

Figura 14 - Pirâmide representativa - níveis cognitivos da Taxonomia do Domínio Cognitivo de Bloom



Fonte: adaptada de Bloom et al. (1972)

Bloom et al. (1972) apresentam os níveis de aprendizado cognitivo detalhadamente:

- **Conhecimento:** Este nível envolve a capacidade de identificar e memorizar informações, exigindo do aluno a habilidade de reconhecer e lembrar fatos ou conceitos.
- **Compreensão:** Aqui, o estudante deve ser capaz de entender o significado das informações, podendo expressar conceitos com suas próprias palavras, demonstrando compreensão.
- **Aplicação:** Refere-se à habilidade de usar conhecimento adquirido em situações novas e específicas, aplicando conceitos e técnicas a casos práticos.
- **Análise:** Neste nível, o foco está em decompor informações em partes para entender sua estrutura e as relações entre elas.
- **Síntese:** Envolve a junção de partes de conhecimento para formar um todo novo, criando soluções inéditas ou propondo novas ideias a partir do que foi aprendido.
- **Avaliação:** O estudante deve ser capaz de fazer julgamentos baseados em critérios definidos, avaliando a qualidade ou valor de ideias, soluções ou métodos.

Cada nível se constrói sobre o anterior, requerendo uma compreensão e domínio progressivos para desenvolvimento de habilidades cognitivas mais complexas.

Jesus e Raabe (2009) explicam que a Taxonomia de Bloom et al. (1972) define verbos que estão ligados a cada um dos níveis: (i) lembrar; (ii) entender; (iii) aplicar; (iv) analisar; (v)

criar; (vi) avaliar e que contribuem para a elaboração e classificação de uma questão de avaliação considerando essa metodologia.

Quatro décadas após a publicação original, Anderson (1999) revisou a Taxonomia de Bloom no Domínio Cognitivo, introduzindo novos conceitos, teorias e recursos. Essa atualização considerou os avanços psicopedagógicos e tecnológicos, além de avaliar a eficácia da classificação original de Bloom ao longo dos anos.

Tavares et al. (2007) traz uma revisão da Taxonomia original de Bloom et al. (1972), graças aos resultados do trabalho publicado por Anderson (2001), e fazem os seguintes alinhamentos:

Os autores combinaram o tipo de conhecimento a ser adquirido (dimensão do conhecimento) com o processo utilizado para a aquisição desse conhecimento (dimensão do processo cognitivo). Houve algumas mudanças na nomenclatura dos processos cognitivos, que passaram a ser descritos com verbos em vez de substantivos, como na taxonomia original. Os níveis de Conhecimento, Compreensão e Síntese foram renomeados para Relembrar, Entender e Criar, respectivamente. (Tavares et al., 2007)

Na atualização, introduziu-se um eixo vertical representando a "dimensão do conhecimento", enquanto o eixo horizontal continua a hierarquizar a "dimensão do processo cognitivo". A intersecção dessas dimensões forma uma matriz utilizada para catalogar objetivos de aprendizagem, assegurando sua adequação ao método de avaliação conforme a revisão da Taxonomia de Bloom, detalhada na Tabela 1.

Tabela 1 - Taxonomia do Domínio Cognitivo de Bloom - revisada

Dimensão do conhecimento	Dimensão dos processos cognitivos					
	1 Relembrar	2 Entender	3 Aplicar	4 Analisar	5 Avaliar	6 Criar
A. Conhecimento factual						
B. Conhecimento conceitual						
C. Conhecimento procedimental						
D. Conhecimento metacognitivo						

Fonte: Tavares et al. (2007, p.128)

A revisão da Taxonomia de Bloom por Bloom et al. (1972) fornece base metodológica essencial para criar instrumentos de avaliação alinhados com os objetivos de aprendizagem,

segundo Tavares et al. (2007). Rodrigues e Santos (2013) destacam que o alinhamento proposto pela Taxonomia Revisada clarifica e adequa o planejamento educacional aos fins de ensino estabelecidos. Com isso abre caminho para novos métodos de aprendizado e simplifica para os professores a formulação de objetivos, conforme apresentado por Ferraz e Belhot (2010) no Quadro 1.

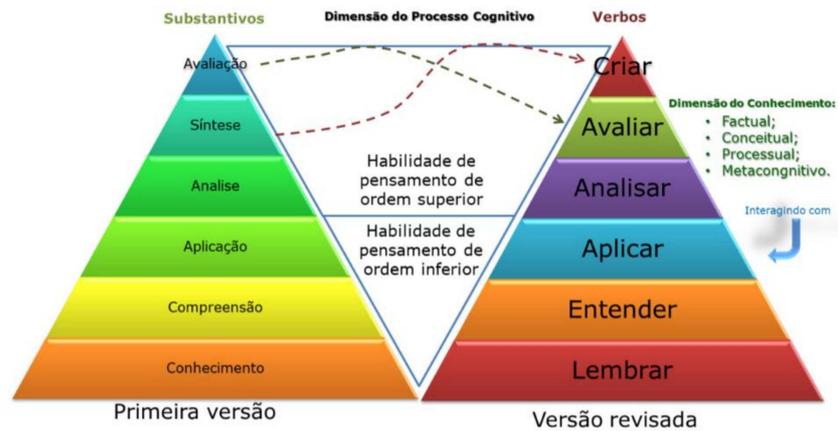
#### Quadros 1 - Estrutura do processo cognitivo na Taxonomia do Domínio Cognitivo de Blomm

<p><b>1. Lembrar:</b> relacionado com reconhecer e reproduzir ideias e conteúdo. Reconhecer requer distinguir e selecionar uma determinada informação, e reproduzir ou recordar está mais relacionado com a busca por uma informação relevante memorizada. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Reconhecendo e Reproduzindo</p> <p><b>2. Entender:</b> relacionado com estabelecer uma conexão entre uma situação nova e o conhecimento previamente adquirido. A informação é entendida quando o aprendiz consegue reproduzi-la com suas "próprias palavras". Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Interpretando, Exemplificando, Classificando, Resumindo, Inferindo, Comparando e Explicando</p> <p><b>3. Aplicar:</b> relacionado com executar ou usar um procedimento em uma situação específica, mas pode também abordar a aplicação de um conhecimento em uma situação nova. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Executando e Implementando</p> <p><b>4. Analisar:</b> relacionado com dividir a informação em partes relevantes e irrelevantes, importantes e menos importantes, e entender a relação existente entre as partes. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Diferenciando, Organizando, Atribuindo e Concluindo</p> <p><b>5. Avaliar:</b> relacionado com realizar julgamentos com base em critérios e padrões qualitativos e quantitativos ou de eficiência e eficácia. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Checando e Criticando</p> <p><b>6. Criar:</b> significa colocar elementos junto com o objetivo de criar uma nova visão, uma nova solução, estrutura ou modelo utilizando conhecimentos e habilidades previamente adquiridos. Envolve o desenvolvimento de ideias novas e originais, produtos e métodos por meio da percepção da interdisciplinaridade e da interdependência de conceitos. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Generalizando, Planejando e Produzindo</p>
---

Fonte: Ferraz e Belhot, 2010

Na ilustração da Figura 15, é apresentado um comparativo entre a versão inicial da taxonomia e sua versão revista. Através das análises realizadas por Anderson et al. (2001) e Krathwohl (2002), sob a perspectiva de Tavares e Carvalho (2010, p. 5), a discussão se expande para além da mera aquisição de conhecimentos. Ela abrange a habilidade de aplicar tais conhecimentos em contextos novos, enfatizando as dimensões "do conhecimento" e "dos processos cognitivos estruturados". Essa abordagem introduz um sistema bidimensional representado por um sistema de eixos cartesianos, evidenciando a riqueza e a complexidade da aprendizagem.

Figura 15 - Versão inicial da taxonomia e sua versão revista



Fonte: <https://www.editalis.uff.br/sites/default/files/arquivos/Subprojeto%2015%20-%20Jos%C3%A9%20Rodrigues.pdf>

### 3.4 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, ENSINO INVESTIGATIVO E TAXONOMIA DE BLOOM

A aprendizagem significativa, conforme proposta de David Ausubel, é um processo de construção de conhecimento que se diferencia pela conexão entre novos conteúdos e os conceitos previamente adquiridos pelo estudante. Ausubel argumenta que “a essência do processo de aprendizagem significativa é que as ideias simbolicamente expressas sejam relacionadas de maneira substantiva (não-literal) e não arbitrárias ao que o aprendiz já sabe” (Ausubel, 1978, p. 41). Em contraste com a aprendizagem mecânica, que se caracteriza por uma simples memorização de fatos e informações, a aprendizagem favorece significativamente uma assimilação rigorosa, em que o aluno integra os conhecimentos ao seu repertório cognitivo e cultural de forma permanente.

A teoria da aprendizagem significativa está intimamente ligada ao cognitivismo construtivista, especialmente à medida que valoriza a interação ativa do estudante com o conteúdo a ser aprendido, considerando os conhecimentos prévios como um subsunçor. Esse é essencial para a ancoragem de novos conceitos, promovendo uma estrutura hierárquica de significados dentro da mente do aprendiz (Moreira, 1999). No contexto do ensino de física, o cognitivismo construtivista é uma base para metodologias como o ensino por investigação, que não visa apenas a aquisição de conteúdos, mas também o desenvolvimento de habilidades críticas e investigativas.

A prática do ensino investigativo é fundamental para consolidar a aprendizagem de forma significativa, uma vez que o processo investigativo exige que o estudante utilize seus conhecimentos prévios e conecte novas informações a eles.

A compreensão sobre a relação entre aprendizagem significativa e ensino investigativo, é pertinente integrar o método POE (Predição, Observação e Explicação). Esse método tem um potencial de promoção da aprendizagem significativa, pois coloca o estudante em um processo de investigação onde ele deve, inicialmente, fazer uma previsão sobre o que está sendo analisado, posteriormente observar o resultado do experimento e, por fim, formular uma explicação baseada nas discrepâncias (ou confirmações) entre sua previsão e o que foi observado.

No método POE, cada uma das etapas contribui para o desenvolvimento da aprendizagem significativamente, pois o aluno não apenas recebe a informação, mas participa ativamente de sua construção. Ao fazer uma previsão, o estudante mobiliza conhecimentos prévios (subsúcores), refletindo sobre aquilo que já sabe e levantando hipóteses que serão testadas durante a observação. Esse processo de previsão é importante para estimular o aluno a formular ideias de maneira autônoma, característica fundamental para o desenvolvimento cognitivo em consonância com a teoria de Ausubel.

Na última fase, a explicação, o estudante organiza o que aprendeu e construiu um significado a partir da experiência, solidificando o conhecimento de maneira significativa. Essa etapa se assemelha ao processo de sistematização do ensino investigativo, onde o aluno é incentivado a reorganizar e integrar as informações adquiridas ao seu repertório cognitivo, passando a utilizar esses conceitos em contextos variados, o que Ausubel define como “assimilação obliteradora”, em que o torna o conhecimento menos dissociável das ideias ancoradas na estrutura cognitiva do estudante.

Assim, o método POE, ao complementar o ensino investigativo, fortalece a aprendizagem significativa, pois cada etapa exige que o aluno interaja com o conteúdo de forma crítica e reflexiva, promovendo a construção ativa de conceitos e o desenvolvimento de habilidades investigativas. A efetivação da aprendizagem significativa no contexto escolar depende de metodologias que promovam o engajamento ativo dos estudantes com o conhecimento e permitam a exploração, organização e aplicação desse conhecimento em diferentes contextos (Costa, 2023).

Ao relacionar a aprendizagem significativa com a Taxonomia de Bloom, observa-se que ambos os conceitos visam estruturar o aprendizado de forma para promover uma compreensão por parte do estudante. A Taxonomia de Bloom organiza os processos cognitivos

em níveis crescentes de complexidade – conhecimento, compreensão, aplicação, análise, síntese e avaliação – que, assim como a aprendizagem significativa, incentivam o aluno a ultrapassar a simples memorização e a alcançar níveis mais avançados de pensamento crítico e aplicabilidade prática. Na aprendizagem significativa, o objetivo é que o aluno assimile novos conhecimentos integrando-os aos seus subsunçores, estabelecendo conexões contextualizadas. Da mesma forma, a Taxonomia de Bloom conduz o estudante a um processo em que ele não apenas aprende um conceito, mas é capaz de aplicá-lo, analisá-lo e avaliá-lo em situações variadas, promovendo uma compreensão alinhada aos objetivos da aprendizagem significativa.

### 3.5 ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA

Na sociedade e também no ambiente educacional, a pesquisa serve como um reflexo da realidade específica de um determinado contexto.

Entendemos por pesquisa a atividade básica da Ciência na sua indagação e construção da realidade. É a pesquisa que alimenta a atividade de ensino e a atualiza frente à realidade do mundo. Portanto, embora seja uma prática teórica, a pesquisa vincula o pensamento e ação. Ou seja, nada pode ser intelectualmente um problema, se não tiver sido, em primeiro lugar, um problema da vida prática (MINAYO, 2009 p. 17)

Gatti (2004), ao tratar da utilização das metodologias em Educação, pontua que, geralmente, há duas considerações importantes:

...primeiro, os números, frequências, medidas, tem algumas propriedades que delimitam as operações que se podem fazer com eles, e que deixam claro seu alcance; segundo, que as boas análises dependem de boas perguntas que o pesquisador venha a fazer, ou seja, da qualidade teórica e perspectiva epistêmica na abordagem do problema, as quais guiam as análises e as interpretações. (Gatti, 2004 p.13)

Para Brandão (2001), uma pesquisa qualitativa está relacionada aos significados que os indivíduos atribuem às suas experiências no mundo social e à maneira como compreendem esse ambiente. Ela busca interpretar características sociais, como interações e comportamentos, com base no sentido que os sujeitos lhes atribuem, sendo, por isso, frequentemente denotado de pesquisa interpretativa.

Realizar uma pesquisa qualitativa envolve analisar, observar, descrever e empregar práticas interpretativas sobre um específico com o intuito de compreender seu. Mayring (2002) descreveu uma pesquisa qualitativa como um processo adaptável e não padronizado, adequado ao objeto de estudo, com caráter comunicativo e fundamentado em métodos e técnicas que favorecem uma abordagem processual e reflexiva. Creswell (2007) observa que esse tipo de investigação adota perspectivas reivindicatórias, participativas e autorreflexivas.

Enquanto a pesquisa qualitativa valoriza a proximidade com o objeto de estudo, a pesquisa quantitativa utiliza métodos e materiais rigorosos e precisos. Minayo (2009) aponta que, ao passo que os cientistas sociais com abordagem em estatísticas buscam desenvolver modelos para descrever e explicar especificidades com padrões recorrentes, uma abordagem qualitativa se aprofunda na exploração dos significados.

A pesquisa quantitativa adota uma perspectiva centrada na quantificação, projetada para mensurar a intensidade e a aplicabilidade de técnicas ou recursos, possibilitando a introdução de variações para um registro quantitativo de dados. Esse tipo de pesquisa exige que o pesquisador mantenha um distanciamento em relação ao contexto, estabelecendo uma separação entre ele e o objeto de estudo.

Knechtel (2014) explica que a pesquisa quantitativa, fundamentada em uma quantificação rigorosa e sem controle dos dados, sustentou o pensamento científico até meados do século XX, caracterizando-se pela neutralidade do pesquisador frente ao objeto estudado. Além disso, ao utilizar dados quantificados, esta pesquisa busca medir opiniões e informações por meio de recursos estatísticos, como porcentagens, médias e desvios-padrão, os quais podem ser apresentados em tabelas, gráficos ou textos.

Para Silva e Simon (2005), uma pesquisa quantitativa só possui validade quando o problema investigado é claramente definido, apoiando-se em fundamentos teóricos e práticos que orientam o foco da investigação. Assim, esse tipo de pesquisa exige um conhecimento aprofundado das características e o controle sobre o que será investigado.

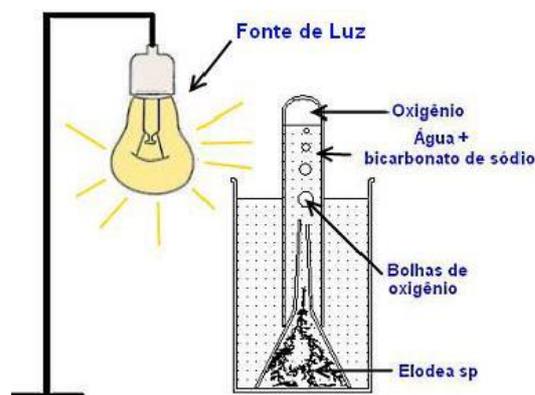
Conforme exposto e considerando o contexto em que a pesquisa se insere, optamos pela análise qualitativa dos dados. Essa escolha se justifica pelo papel do professor como questionador, onde as perguntas dos estudantes desencadeiam reflexões e abrem múltiplas possibilidades de exploração. Nesse processo, o controle sobre a situação torna-se mais fluido, com variações e interpretações surgindo de maneira espontânea. Devido ao tempo restrito do mestrado, dedicamos grande parte do tempo ao desenvolvimento do produto educacional e da sequência didática, o que nos levou a focar, na análise qualitativa, e na Taxonomia de Bloom apenas a dimensão cognitiva. Assim, uma análise qualitativa se apresenta como a abordagem mais adequada para interpretar os dados encontrados.

#### 4 O PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional, elaborado para fins deste trabalho, foi desenvolvido com base em um experimento comumente utilizado nas aulas de Biologia, conforme ilustrado na Figura 16. O objetivo foi adaptá-lo para as aulas de Física, visando estabelecer a interdisciplinaridade e explorar os conceitos físicos envolvidos no processo da fotossíntese.

Segundo Fazenda (2008), o processo de interdisciplinaridade passa por várias etapas, destacando a importância de integrar diferentes discursos e estabelecer uma terminologia ou quadro conceitual compartilhado entre as disciplinas. Além disso, ela enfatiza a necessidade de desenvolver uma metodologia que transcenda as epistemologias específicas de cada campo ou que opere na interface entre eles. Essas estratégias são fundamentais para a geração de novos conhecimentos.

Figura 16 - Experimento da Elodea

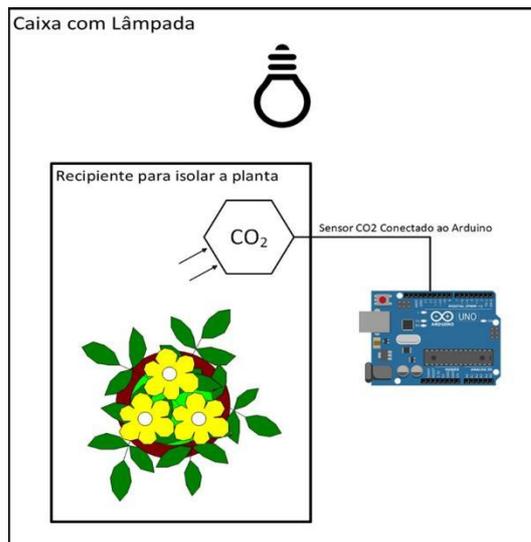


Fonte: <http://quartzodeplasma.wordpress.com/2012/10/22/fotossintese-no-laboratorio>. Acesso em 13/12/2023

O método empregado para aplicação do produto didático foi a metodologia POE. (Prever, Observar e Explicar). Esta abordagem conduz o estudante a formular hipóteses sobre como o espectro da luz incidente pode afetar a taxa de fotossíntese em plantas, realizar experimentos para testar essas hipóteses e, por fim, explicar os resultados observados.

Para a quantificação dos dados, utilizou-se a placa Arduino e o sensor MQ135, a fim de medir a variação dos níveis de dióxido de carbono em um ambiente isolado, contendo uma planta terrestre ou aquática. O foco do produto é investigar a possível alteração na taxa de dióxido de carbono em função do espectro de luz incidente sobre a planta, conforme esquema da Figura 17.

Figura 17 - Esquema do experimento



Fonte: Elaborada pela autora (2023)

Para simular um ambiente controlado em nosso estudo, optamos por utilizar uma jarra de suco de plástico, de tamanho apropriado para acomodar plantas de pequeno porte, conforme Figura 18. Em nossos testes, escolhemos espécies como suculentas e mini espadas de São Jorge, demonstrando que o experimento pode ser eficaz com qualquer planta que possua folhas verdes.

A jarra, contendo a planta escolhida, conforme mostrado na Figura 18, foi selada com plástico filme e fita isolante. Esse processo assegura a criação de um ambiente hermético, essencial para prevenir qualquer troca de gases com o exterior e, conseqüentemente, para manter a integridade dos dados coletados.

Após a selagem, a jarra foi colocada dentro de uma caixa de papelão, Figura 19, que havia sido previamente revestida com plástico adesivo autocolante branco. Esta etapa foi para assegurar uma reflexão uniforme da luz no interior da caixa. Um orifício cortado na caixa permitiu a inserção de diversas lâmpadas, que podem ser conectadas a uma tomada. As lâmpadas foram escolhidas por fornecerem uma gama variada de espectros de luz, permitindo-nos avaliar o impacto desses diferentes espectros nas taxas de dióxido de carbono emitidas pelas plantas.

Figura 18 - Itens do experimento



Fonte: Acervo da autora (2023)

Figura 19 - Caixa branca lâmpadas disponíveis no experimento

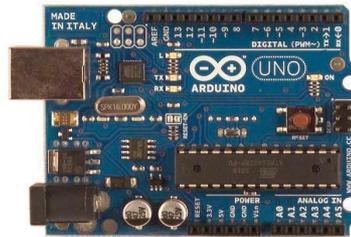


Fonte: Acervo da autora (2023)

#### 4.1 MONTAGEM DO PRODUTO E PROGRAMAÇÃO

Para a montarmos o aparato experimental, utilizamos uma placa Arduino (Figura 20), um sensor MQ135, que deve ser fixado com fita isolante na tampa da jarra (Figura 21) e três cabos jumper de conexão (Figura 22).

Figura 20 - Placa Arduino



Fonte: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2013/10/o-que-e-um-arduino-e-o-que-pode-ser-feito-com-ele.ghtml>

Figura 21 - Sensor MQ135



Fonte: <https://quartzcomponents.com/products/mq-135-air-quality-gas-sensor-module>

Figura 22 - Cabos jumpers de conexão



Fonte: <https://www.masterwalkershop.com.br/cabo-jumper-macho-femea-20cm-kit-com-40pcs>

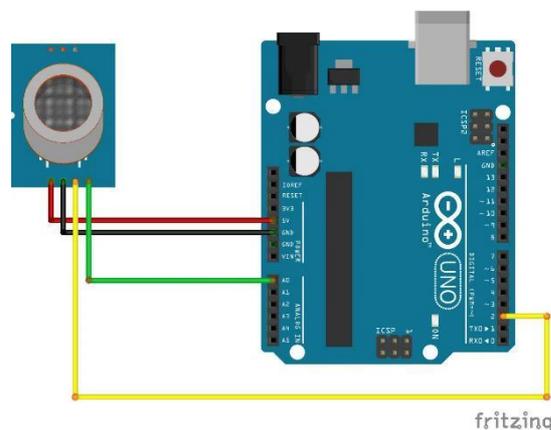
O componente principal do produto didático é o sensor MQ135. Este módulo é equipado com um sensor sensível aos gases benzeno, álcool, fumaça e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). No protótipo desenvolvido para este estudo, a funcionalidade do sensor foi especificamente aplicada à detecção de CO<sub>2</sub>.

O sensor possui vida útil longa, baixo custo, resposta rápida e estabilidade nas leituras (Hanwei Electronics, 201-a). Ele opera por meio de um aquecimento interno, que é alimentado por uma tensão elétrica de 5V.

De acordo com o manual do fabricante, a faixa de medição de concentração específica do sensor não é explicitamente detalhada. No entanto, seu funcionamento interno baseia-se em uma resistência que é alimentada pelos pinos de 5V e GND. Essa resistência varia inversamente com a concentração de gases tóxicos no ambiente: quanto maior a concentração de gás, menor será a resistência. Como resultado, a tensão na saída do sensor é diretamente proporcional à concentração de gás detectada – uma maior concentração de gás resulta em uma tensão de saída mais alta, enquanto uma menor concentração resulta em uma tensão mais baixa.

A montagem experimental ocorre de acordo com a Figura 8:

Figura 23 - Esquema de montagem



Disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/como-funciona-o-sensor-de-gas-mq-135>

Utilizamos o código que consta no Apêndice A para lermos as taxas de variação de dióxido de carbono, em um ambiente isolado quando a planta era exposta a diferentes espectros de luz.

Para assegurar a medição correta do sensor MQ135, o fabricante sugere um processo de pré-aquecimento, frequentemente referido como 'queima' do sensor. Este procedimento implica em manter o sensor em funcionamento contínuo, realizando leituras e mantendo-se aquecido, por um período mínimo de 24 horas antes de sua aplicação em experimentos.

Após a conclusão deste período de queima, e com o objetivo de testar a eficácia do sensor na detecção de variações nos níveis de CO<sub>2</sub>, foi preparada uma mistura para gerar dióxido de carbono. Esta mistura consistiu em 1 litro de água, 400 gramas de açúcar, 10 gramas de fermento biológico e 1 colher de bicarbonato. A solução foi colocada no recipiente isolado, onde ficaria a planta, conforme ilustrado na Figura 9 juntamente com o sensor MQ135 conectado ao Arduino. Durante o experimento, foi possível observar uma significativa variação nos dados capturados pelo sensor, evidenciando um aumento na taxa de CO<sub>2</sub> no ambiente.

Figura 24 - Geração de CO<sub>2</sub> caseira para teste do sensor



Fonte: Acervo da autora (2023)

## 4.2 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática, elaborada para a aplicação do produto, foi planejada para cinco aulas de 45 minutos cada, conforme resumido na Tabela 2.

Tabela 2 - Planejamento da sequência didática

Aula	Objetivo	Duração	Local da aula
Início das atividades	Sondar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre fotossíntese, lâmpadas e cores dos corpos. Levantamento de hipóteses sobre quais cores de lâmpadas seriam mais efetivas para realizar fotossíntese.	1 aula 35 minutos de discussão 10 minutos de desafio das cores	Fora da sala de aula, sentados em círculo.
O espectro de Luz influencia na taxa de fotossíntese?	Através do aparato experimental, verificar de acordo com as hipóteses se o tipo de lâmpada influencia na taxa de fotossíntese.	1 aula 45 minutos	Dentro da sala de aula
Pesquisas sobre o tema	Fazer pesquisas sobre o que de fato ocorreu no experimento e aplicação do conhecimento.	1 aula 45 minutos	Sala de informática
Discussão sobre conceitos físicos	De posse do experimento trabalhar conceitos físicos envolvidos no processo.	1 aula 45 minutos	Sala de aula

Análise final	Analisar as hipóteses com os dados obtidos e construção de mapa conceitual.	1 aula 45 minutos	Sala de aula
---------------	---	----------------------	--------------

Fonte: Elaborada pela autora (2023)

O detalhamento e a aplicação da sequência didática serão apresentados no próximo capítulo.

## 5 A APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A aplicação da sequência didática ocorreu em três turmas do terceiro ano do Ensino Médio, cada uma com cerca de 33 alunos, em uma escola pública na região central de Barbacena, Minas Gerais. A escola não possui um laboratório de física, mas conta com um laboratório de informática e televisões em todas as salas. As aulas foram registradas em áudio e vídeo para análise.

Embora a mesma sequência didática tenha sido aplicada às turmas do primeiro e segundo anos na disciplina de Laboratório de Física, este relato foca especificamente na análise das turmas do terceiro ano, destacando a viabilidade da aplicação em diferentes níveis de ensino.

Aproximadamente um mês antes do início da sequência didática, os estudantes receberam a tarefa de construir espectroscópios em casa. Para introduzir a tarefa, foi levado um espectroscópio para a sala, permitindo que os alunos o manuseassem e compreendessem seu funcionamento. A proposta foi intencionalmente aberta, sem fornecer instruções detalhadas ou recursos adicionais, como vídeos explicativos. Os alunos foram incentivados a usar materiais simples e acessíveis, como pedaços de canos, rolos de papel higiênico ou papel toalha, fomentando a curiosidade, a criatividade e a aplicação prática dos conhecimentos.

A resposta dos estudantes foi positiva. Praticamente todos aceitaram o desafio de construir seus próprios espectroscópios. Utilizando uma variedade de materiais, conforme ilustrado na Figura 25, os alunos demonstraram uma grande diversidade de abordagens criativas. Muitos utilizaram materiais recicláveis e recursos que tinham em casa, evidenciando a capacidade de adaptação e inovação.

Figura 25 - Espectroscópios construídos pelos estudantes



Fonte: Acervo da autora.

A seguir faremos a descrição aula a aula da aplicação da sequência didática.

### 5.1 DESCRIÇÃO DA AULA 1: LEVANTAMENTO DE HIPÓTESES

O objetivo inicial desta aula foi verificar o conhecimento prévio dos estudantes sobre a fotossíntese e promover a formulação de hipóteses através de um diálogo investigativo.

#### *Momento 1: Preparação do Ambiente*

Os alunos foram direcionados a um ambiente diferente dentro da escola, onde as cadeiras estavam dispostas em círculo, com uma planta Elodea no centro. A Elodea é uma planta aquática comum, encontrada em lojas de aquários. Ao lado da planta, havia uma caixa branca fechada, contendo balões vazios de diferentes cores.

#### *Momento 2: Introdução à Dinâmica da Aula*

No início da aula, foi explicado que o formato seria diferente do habitual: seriam feitas perguntas e não haveria respostas imediatas. O intuito era dialogar sobre o tema e deixar claro que não se tratava de uma avaliação e não haveriam correções. Os estudantes deveriam anotar todas as suas hipóteses baseadas nas perguntas feitas. A partir dessas anotações, formularíamos novas perguntas. Portanto, esta primeira aula não incluía um questionário formal. Com base no conhecimento dos estudantes, foram desenvolvidas as perguntas juntos.

### *Momento 3: Perguntas Investigativas*

As perguntas iniciais para introduzir o tema foram:

*Você conhece a plantinha Elodea ali no meio da sala?*

*Você acha que em uma floresta todas as plantas recebem a mesma quantidade de luz?*

*Sabe o que são aquelas bolhas próximas à planta?*

*Você acha que no sol ou sob uma lâmpada uma planta realizaria fotossíntese da mesma maneira?*

*Se você pudesse escolher uma cor de lâmpada para a planta realizar fotossíntese, qual seria mais efetiva?*

*Por que as plantas são verdes?*

### *Momento 4: Atividade Final*

Nos minutos finais, após a dinâmica de perguntas e anotações de previsões, foi proposta uma atividade aos estudantes: descobrir as cores dos balões dentro da caixa enquanto as cores da lâmpada eram trocadas pelo controle. A intenção era criar um momento de desafio, já preparando a base para o estudo das cores dos corpos.

## 5.2 DESCRIÇÃO DA AULA 2: REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O objetivo desta aula foi realizar o experimento, permitindo aos estudantes testarem suas hipóteses através da experimentação e observação direta dos resultados.

### *Momento 1: Introdução ao Arduino e ao Sensor MQ135*

A aula começou com uma breve explicação sobre a placa Arduino e suas possibilidades de aplicação. Em seguida, foi apresentado o sensor MQ135, com uma explicação sobre seu funcionamento e como realizava as medições.

Os estudantes foram incentivados a interagir com o sensor, soprando sobre ele e umedecendo as mãos com álcool para observar as variações nas leituras.

Os dados coletados pelo sensor eram exibidos em tempo real na TV da sala através da porta serial do Arduino, permitindo que todos os estudantes acompanhassem.

### *Momento 2: Preparação do Ambiente para Coleta de Dados*

Foi apresentado o ambiente onde a planta deveria ser posicionada para garantir o isolamento adequado durante a coleta de dados.

### *Momento 3: Teste de Hipóteses com Diferentes Lâmpadas*

Foram colocadas à disposição diferentes lâmpadas para que os estudantes pudessem testar suas hipóteses formuladas durante a aula anterior. Eles deveriam verificar se suas hipóteses sobre a influência da luz na taxa de fotossíntese se confirmavam.

## 5.3 DESCRIÇÃO DA AULA 3: FASE DAS PESQUISAS

O objetivo desta aula foi incentivar os estudantes a pesquisarem sobre o tema trabalhado e explorarem a ideia de florestas verticais iluminadas com LED.

Na terceira aula, os estudantes foram direcionados à sala de informática para realizar pesquisas relacionadas ao tema explorado anteriormente. Os alunos receberam a tarefa de investigar as razões pelas quais suas hipóteses iniciais, formuladas na primeira aula, foram ou não confirmadas durante o experimento prático.

Além disso, os estudantes foram incentivados a considerar possíveis aplicações práticas do experimento que poderiam contribuir para a sociedade. Houve uma ênfase especial na ideia das florestas verticais iluminadas com LED, um tópico relevante no contexto atual.

## 5.4 DESCRIÇÃO DA AULA 4: EXPLORANDO OS CONCEITOS FÍSICOS

Na quarta aula, o objetivo foi explorar conceitos físicos utilizando itens do experimento. Inicialmente, a caixa branca foi escolhida para desafiar os estudantes a entenderem como as cores dos corpos são percebidas sob diferentes espectros de luzes, colocando objetos de diferentes cores dentro da caixa e trocando as cores das lâmpadas, esse momento foi planejado para promover uma discussão sobre cores dos corpos, levando assim ao espectro eletromagnético e trabalhando conceitos com frequência, comprimento de onda e os tipos de radiação.

O segundo segmento da aula foi dedicado à exibição de dois vídeos curtos sobre a dualidade onda-partícula e a leitura do texto do material complementar do livro didático, com o intuito de promover uma discussão que revelasse a complexidade da ciência e aprofundar a compreensão crítica da natureza da luz.

Na fase final da aula, planejamos redirecionar o foco para o experimento da fotossíntese, visando estabelecer uma ligação entre ela e o efeito fotoelétrico. Utilizamos um protótipo de poste com um LDR (Resistor Dependente de Luz), uma pequena placa solar, um LED e um multímetro, para correlacionar os dois fenômenos enfatizando a interação da luz com a matéria.

## 5.5 DESCRIÇÃO DA AULA 5: ANÁLISE DAS HIPÓTESES

A quinta aula da sequência didática foi estruturada com o intuito de concluir o tema abordado, criando um ambiente propício para discussões, reflexões e análises críticas. A ideia principal foi proporcionar aos estudantes a oportunidade de confrontar suas hipóteses iniciais com os resultados obtidos durante os experimentos, permitindo-lhes articular explicações baseadas nos dados coletados.

Adicionalmente, como parte do processo de revisão e síntese do aprendizado, os alunos receberam a tarefa de construir mapas conceituais. Esses mapas deveriam abranger todos os temas explorados até então, servindo tanto como ferramenta de avaliação do entendimento dos alunos quanto como meio de reforçar a integração e a aplicação dos conhecimentos adquiridos.

## 6 ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Neste capítulo, apresentamos uma análise e reflexão da sequência didática desenvolvida. A análise das aulas e atividades visa identificar as percepções dos estudantes, suas hipóteses iniciais, o desenvolvimento de suas compreensões e a eficácia das metodologias aplicadas. A seguir, descrevemos cada uma das aulas da sequência, destacando os objetivos, as estratégias pedagógicas utilizadas e as observações feitas durante a execução.

### 6.1 AULA 1: LEVANTAMENTO DE HIPÓTESES

A primeira aula da sequência didática foi planejada para explorar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre fotossíntese e a influência da cor da luz nesse processo. Realizada em outra sala, os estudantes foram organizados em um círculo, criando um ambiente colaborativo para discussão. No centro, posicionamos uma planta aquática *Elodea*, bicarbonato de sódio, água e a caixa branca, com a lâmpada RGB. Esses elementos serviram de base para debates sobre a fotossíntese, incentivando os estudantes a formularem hipóteses sobre a eficácia das diferentes cores de luz no processo. Durante a aula, uma dinâmica interativa de perguntas foi adotada, onde as respostas dos alunos evoluíam para novos questionamentos. Foi enfatizado que o objetivo da aula não era avaliar, mas sim levantar hipóteses, que naquele momento eles seriam “cientistas” e iríamos investigar a situação.

A integração da atividade prática da caixa de cores, que ocupou os últimos 10 minutos da aula, envolveu colocar balões coloridos dentro da caixa iluminada, desafiando os estudantes a identificarem as cores dos objetos, conforme as cores da lâmpada eram trocadas.

Os alunos se engajaram ativamente nas discussões, a maioria acreditando que a luz solar é mais eficiente para a fotossíntese do que luzes artificiais. A cor amarela foi frequentemente citada por sua semelhança com a luz solar, enquanto alguns alunos mencionaram a luz branca, representando todas as cores. A eficácia da luz verde gerou opiniões divididas, sem justificativas robustas para as posições assumidas, conforme exemplificada nas Figuras 26 e 27.

De acordo com a Taxonomia de Bloom, nessa etapa os estudantes no domínio cognitivo, demonstraram a recordação de conhecimentos prévios sobre fotossíntese e luz (nível 1: Lembrar), enquanto a discussão em grupo estimulou a análise das diferentes opiniões e hipóteses apresentadas (nível 4: Analisar).

À luz da metodologia POE, essa aula focou na etapa de previsão, em que os estudantes foram encorajados a levantar hipóteses sobre o efeito das diferentes cores de luz na fotossíntese.

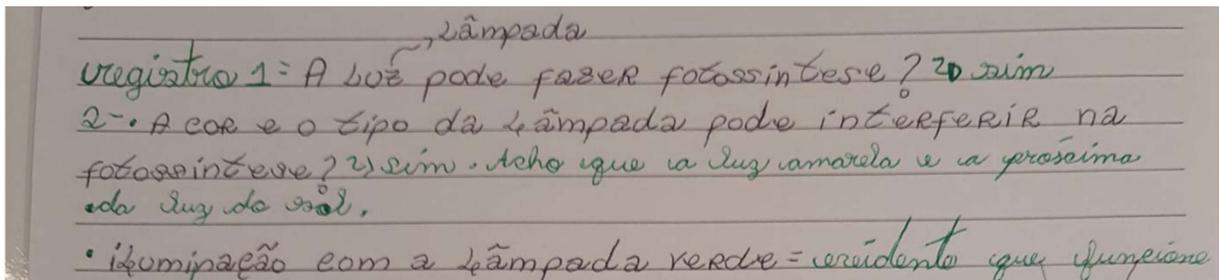
A Tabela 3 apresenta as preferências dos alunos quanto à cor da lâmpada para a fotossíntese:

Tabela 3 - Preferência dos estudantes quanto a cor da lâmpada para fotossíntese

Cor da Lâmpada	Porcentagem de Escolha
Amarela	70%
Branca	25%
Verde	4%
Outras Cores	1%

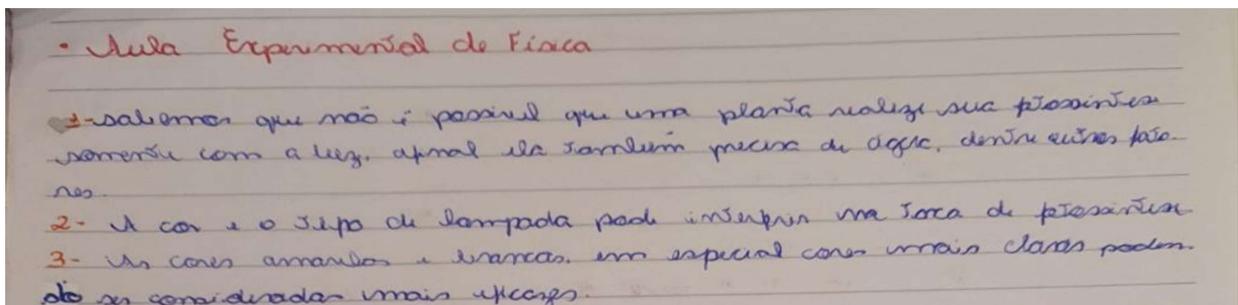
Fonte: Elaborada pela autora (2023)

Figura 26 - Hipóteses levantadas pelos estudantes



Fonte: Acervo da autora (2023)

Figura 27 - Hipóteses levantadas pelos estudantes



Fonte: Acervo da autora (2023)

## 6.2 AULA 2: REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Na segunda aula, o foco foi a realização do experimento. Inicialmente foi feita uma breve explicação sobre a placa Arduino e as vastas possibilidades de aplicação. Em seguida, foi

apresentado o sensor MQ135, explicando seu funcionamento e como realizava as medições, os estudantes foram incentivados a interagir com o sensor, soprando sobre ele e umedecendo as mãos com álcool para observar as variações nas leituras do sensor.

Além disso, foi mostrado o ambiente onde a planta deveria ser posicionada para garantir o isolamento adequado durante a coleta de dados. Vale ressaltar que, embora os testes tenham sido inicialmente planejados com plantas terrestres, os estudantes manifestaram o desejo de realizar experimentos com plantas aquáticas, o que acabou se mostrando uma decisão interessante para a coleta de dados.

Os estudantes tiveram a oportunidade de escolher diferentes lâmpadas e, por meio do experimento, investigar se o tipo de lâmpada influencia na taxa de fotossíntese, testando assim a hipótese formulada na aula anterior.

O ponto de partida notável foi a resposta dos alunos à introdução dos componentes tecnológicos. Ao interagir com o sensor e observar suas medições rápidas, os estudantes demonstraram um elevado grau de interesse e curiosidade. Ficaram entusiasmados quando sopraram no sensor e observaram a concentração de gás aumentada. Da mesma forma, ao molhar a mão com álcool e aproximá-la do sensor, eles perceberam que as leituras também variavam. Essa ocorrência destacou a capacidade da aula em despertar o interesse dos alunos e direcioná-los para explorar as implicações práticas dos conceitos teóricos que seriam trabalhados.

Na fase subsequente da aula ocorreu o surgimento de questionamentos por parte dos estudantes. Uma questão notável foi a indagação sobre a possibilidade de utilizar o sensor como um bafômetro.

Uma característica interessante dessa etapa foi a autonomia dos estudantes, Figura 28. Eles selecionaram a cor e o tipo da lâmpada, para testar suas hipóteses. Essa participação ativa na experimentação permitiu que os estudantes assumissem um papel ativo em seu próprio aprendizado.

Figura 28 - Manuseio do aparato experimental



Fonte: Acervo da autora (2023)

À medida que os alunos avançavam em seus experimentos, surgia um momento de confronto entre suas hipóteses e os resultados reais. Foi notável que muitos estudantes perceberam que suas expectativas não se alinhavam com os resultados obtidos. A abertura da porta serial do Arduino na tela do computador e sua projeção na TV permitiu que todos os estudantes acompanhassem os dados coletados em tempo real.

De acordo com a Taxonomia de Bloom, os estudantes inicialmente recordaram os conceitos de fotossíntese e espectro de luz, demonstrando a habilidade de recordar informações (nível 1: Lembrar). Em seguida, seguiram os procedimentos experimentais e explicaram as etapas do experimento, evidenciando sua compreensão dos conceitos (nível 2: Compreender). A montagem do experimento, juntamente com o uso do Arduino e dos sensores de luz, exemplificou a aplicação dos conhecimentos teóricos em um contexto prático (nível 3: Aplicar). Durante a coleta de dados, os estudantes analisaram os resultados obtidos, identificando padrões e variáveis que influenciam a taxa de fotossíntese (nível 4: Analisar). Além disso, eles avaliaram a precisão e a confiabilidade dos dados coletados, discutindo possíveis fontes de erro e a validade das hipóteses iniciais (nível 5: Avaliar). Finalmente, a experimentação proporcionou aos estudantes a oportunidade de criar novas aplicações, como quando levantaram a hipótese da construção de um bafômetro (nível 6: Criar).

De acordo com a metodologia POE, essa aula representou a etapa de Observação.

### 6.3 AULA 3: FASE DAS PESQUISAS

Na terceira aula os estudantes foram direcionados à sala de informática para realizar pesquisas relacionadas ao tema explorado anteriormente. Nesta etapa, os alunos receberam a

tarefa de investigar as razões pelas quais suas hipóteses iniciais, formuladas na primeira aula, não foram confirmadas durante o experimento prático. Além disso, eles foram incentivados a considerar possíveis aplicações práticas do experimento que poderiam contribuir para a sociedade, com ênfase especial na ideia das florestas verticais iluminadas com LED, um tópico relevante no contexto atual.

No decorrer da pesquisa, um evento interessante ocorreu quando um aluno encontrou um artigo que comparava o crescimento de plantas expostas à luz solar com aquelas expostas apenas a uma combinação de LEDs azuis e vermelhos. O artigo relatou que as plantas expostas aos LEDs cresceram significativamente mais do que as plantas expostas apenas à luz solar. Essa descoberta gerou grande interesse e discussão entre os alunos, com muitos deles compartilhando os links e explorando as implicações dessa pesquisa.

O segundo objetivo da aula, relacionado às aplicações práticas do experimento, buscou expandir a visão dos estudantes além do contexto da sala de aula. Ao direcioná-los para considerar como o conhecimento adquirido poderia ser aplicado para beneficiar a sociedade, os alunos foram incentivados a conectar o conteúdo com desafios contemporâneos e soluções inovadoras, é possível observar através da Figura 29, as telas dos estudantes pesquisando sobre as florestas verticais de LED.

Figura 29 - Fase das pesquisas



Fonte: Acervo da autora (2023)

Durante a pesquisa, os alunos aplicaram conhecimentos teóricos ao buscar informações relevantes (nível 3: Aplicar) e analisaram os dados encontrados em artigos científicos, como o que comparava o crescimento de plantas expostas à luz solar e LEDs (nível 4: Analisar). Essa análise levou a uma discussão crítica e ao compartilhamento de descobertas, promovendo a avaliação (nível 5: Avaliar) das implicações dos diferentes tipos de iluminação no crescimento das plantas.

De acordo com a metodologia POE, com essa aula já demos início a etapa da explicação.

#### 6.4 AULA 4: EXPLORANDO OS CONCEITOS FÍSICOS

Na quarta aula, estabelecemos como objetivo explorar conceitos físicos utilizando itens do experimento. Inicialmente, a caixa branca foi escolhida para desafiar os estudantes a entenderem como as cores dos corpos são percebidas sob diferentes espectros de luzes.

Essa abordagem desencadeou um engajamento dos estudantes quando foi proposto se trabalhar as cores dos corpos. Eles não apenas manusearam os materiais fornecidos, mas também expressaram desejo de testar seus próprios objetos sob diferentes cores de luz da lâmpada RGB.

O segundo segmento da aula foi dedicado à exibição de dois vídeos curtos sobre a dualidade onda-partícula e a leitura do texto do material complementar do livro didático, com o intuito de promover uma discussão que revelasse a complexidade da ciência e aprofundasse a compreensão crítica da natureza da luz. Esta abordagem visava não apenas ao aprendizado teórico, mas também à conexão destes conceitos com o contexto histórico e filosófico da ciência, as questões levantadas pelos alunos revelaram uma apreciação da complexidade da ciência. Os estudantes mostraram uma compreensão crítica da natureza da luz e sua discussão histórica sobre ser onda ou partícula.

Na fase final da aula, planejamos redirecionar o foco para o experimento da fotossíntese, visando estabelecer uma ligação entre ela e o efeito fotoelétrico. Utilizamos um protótipo de poste com um LDR (Resistor Dependente de Luz), e uma pequena placa solar, um LED e um multímetro.

No momento da interação com o experimento, os estudantes questionaram se seria possível uma placa solar acender um LED sob luz artificial. Esta linha de indagação, surgida naturalmente das observações no experimento de fotossíntese com diferentes espectros de luz, foi um marco no aprendizado. Ao testar a hipótese, os alunos não somente aplicaram conceitos teóricos em um cenário experimental real, mas também demonstraram um pensamento crítico e analítico notável.

A atividade proporcionou uma excelente oportunidade para explorar o espectro eletromagnético, suas frequências associadas e sua aplicabilidade em contextos do cotidiano.

De acordo com a Taxonomia de Bloom, os estudantes transitaram entre os níveis de recordação (nível 1: Lembrar), compreensão (nível 2: Compreender) e aplicação (nível 3: Aplicar), à medida que lembravam conceitos fundamentais, compreendiam as relações entre os elementos estudados e aplicavam esses conhecimentos em situações práticas.

Nessa aula, de acordo com a metodologia POE, demos sequência à fase de Explicação.

## 6.5 AULA 5: ANÁLISE DAS HIPÓTESES

A quinta aula da sequência didática foi estruturada com o intuito de concluir o tema abordado, criando um ambiente propício para discussões, reflexões e análises críticas. A ideia principal é que os estudantes teriam a oportunidade de confrontar suas hipóteses iniciais com os resultados obtidos durante os experimentos, permitindo-lhes articular explicações baseadas nos dados coletados. Adicionalmente, como parte do processo de revisão e síntese do aprendizado, os alunos receberam a tarefa de casa a construção de mapas conceituais. Esses mapas deveriam abranger todos os temas explorados até então, servindo tanto como ferramenta de avaliação do entendimento dos alunos quanto como meio de reforçar a integração e a aplicação dos conhecimentos adquiridos.

No primeiro momento foi realizado um ambiente rico em discussões, em que os estudantes puderam comparar suas hipóteses iniciais com os resultados observados, oferecendo explicações sobre os dados encontrados. Um aspecto particularmente notável foi a evolução do vocabulário científico utilizado pelos estudantes. No início, eles se referiam à “cor da lâmpada”, uma expressão mais cotidiana e menos técnica. Com o passar do tempo e aprofundamento no tema, começaram a usar termos como “espectro da lâmpada”, indicativo de um entendimento mais profundo e especializado. Essa transição de linguagem não é apenas uma mudança superficial, mas reflete um aprofundamento significativo na compreensão científica, sinalizando a eficácia da metodologia de ensino adotada.

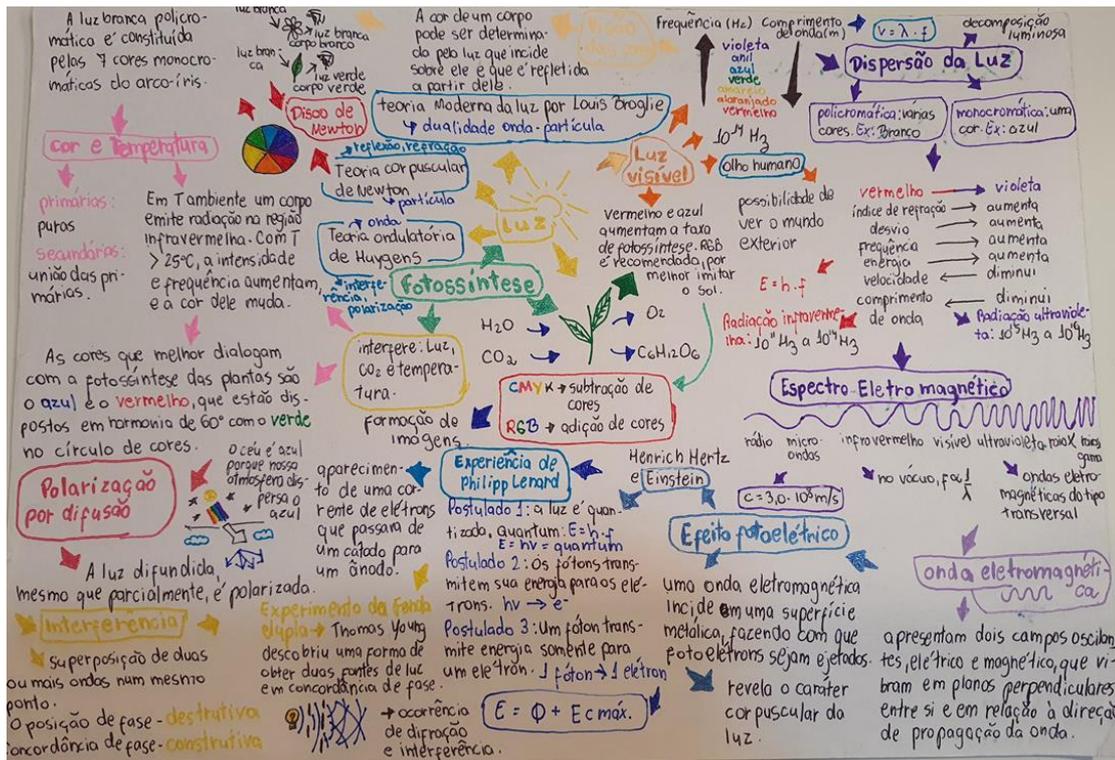
Uma discussão bastante relevante dessa aula foi sobre florestas verticais iluminadas por LED. Os alunos debateram os prós e contras desta abordagem de produção de alimentos, ligando-a a tópicos discutidos em aulas de geografia, como o aumento populacional. Esse momento de interdisciplinaridade evidenciou uma compreensão integrada do conhecimento, enfatizando a importância de conectar conceitos científicos a questões globais e atuais.

No aspecto referente aos mapas conceituais, ao analisar os trabalhos entregues, observou-se que a maioria dos alunos desenvolveu mapas mentais ao invés de mapas conceituais Figuras 30, 31 e 32. Essa discrepância entre a tarefa proposta e a execução dos estudantes sinaliza uma oportunidade de aprimoramento. A estrutura dos mapas apresentados pelos estudantes indicou que, embora houvesse um esforço na realização da tarefa, houve uma falta de compreensão clara sobre o que constitui um mapa conceitual e como ele deveria ser estruturado.

Este resultado aponta para a necessidade de dedicar mais tempo à explicação e exemplificação do que é um mapa conceitual, enfatizando sua estrutura e propósito. A

discrepância observada também pode refletir no desafio inerente ao trabalho com conteúdo que se desviam da linearidade típica dos livros didáticos. Tal constatação reforça a importância de adaptar as estratégias para garantir que os alunos não apenas absorvam o conhecimento, mas também desenvolvam habilidades essenciais de organização e síntese de informações.

Figura 30 – Mapas mentais confeccionados por um estudante



Fonte: Acervo da autora (2023)



De acordo com a Taxonomia de Bloom, os estudantes nesta aula demonstram o nível de recordação (nível 1: Lembrar) dos conceitos discutidos. Eles foram capazes de listar e identificar os elementos trabalhados em aula. Observamos que todos os estudantes conseguiram incluir componentes principais, como clorofila, luz, dióxido de carbono e oxigênio, evidenciando uma boa retenção de informações básicas.

Ao organizar os conceitos em seus mapas, os estudantes demonstraram compreensão (nível 2: Compreender) ao explicar as relações entre os diferentes elementos. Muitos alunos conectaram a luz e os conceitos de física abordados com as etapas da fotossíntese, indicando um entendimento integrado dos tópicos.

A análise dos mapas mentais revela que os alunos aplicaram (nível 3: Aplicar) o conhecimento teórico em um novo formato de apresentação. Apesar de não serem mapas conceituais, a criação dos mapas exigiu que eles utilizassem suas habilidades de organização e representação visual para transformar as informações discutidas em sala de aula em um diagrama estruturado.

## 6.6 ACONTECIMENTOS APÓS A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática foi aplicada no terceiro ano, em junho de 2023. Em setembro do mesmo ano, ocorreu a feira de ciências da escola, onde a participação dos alunos do terceiro ano era facultativa. Motivados pelos temas abordados durante a sequência didática, os estudantes expressaram interesse em desenvolver um projeto para a feira. Este entusiasmo ganhou um impulso adicional com a colaboração das professoras de geografia e literatura, que se mostraram interessadas em integrar as perspectivas de suas disciplinas ao trabalho.

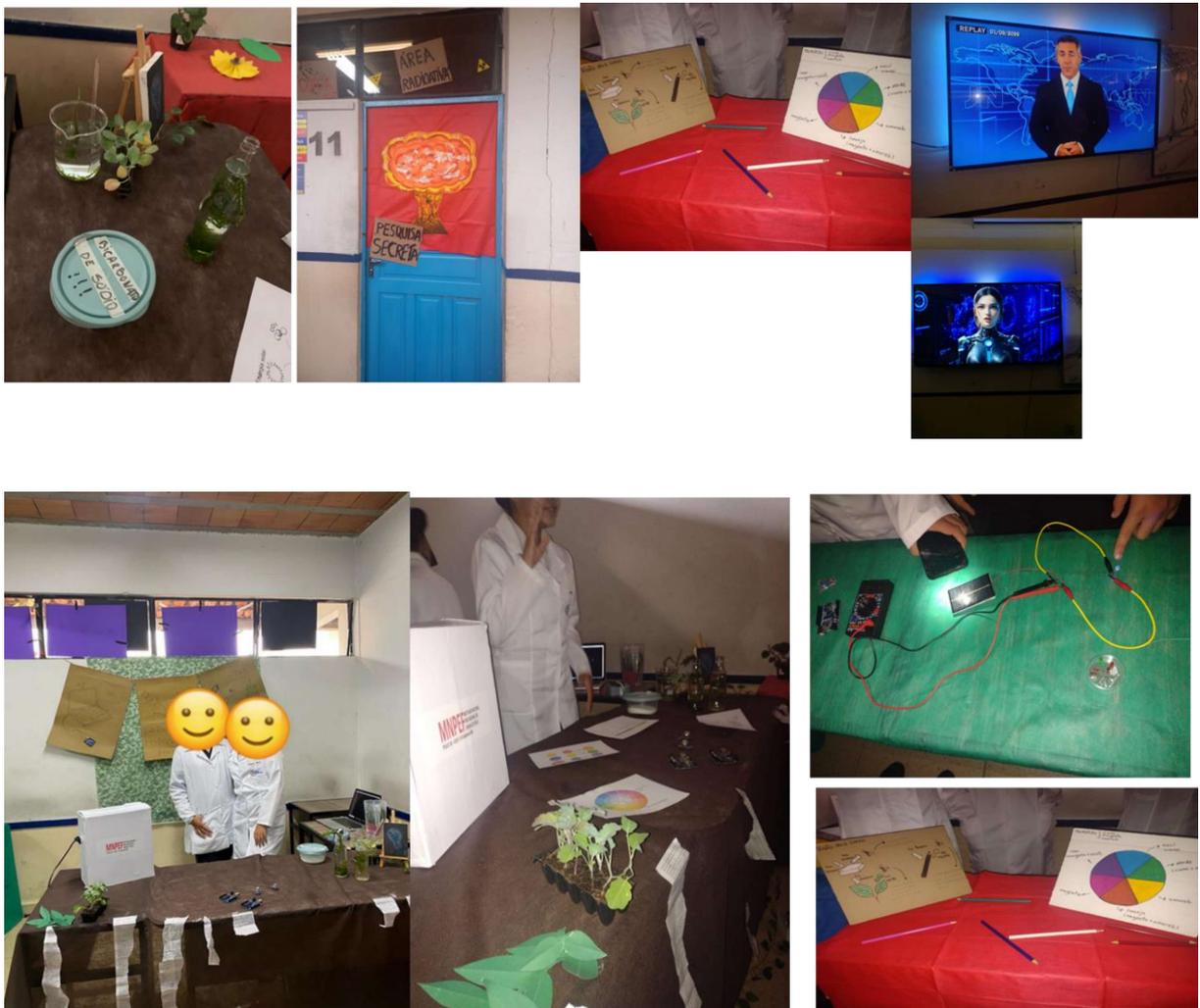
A professora de geografia contribuiu com discussões sobre o aumento populacional esperado no futuro e formas alternativas de gerar alimentos. Por sua vez, a professora de literatura enriqueceu o projeto com textos que retratavam cenários apocalípticos, servindo de inspiração para o tema do trabalho.

O resultado foi um jogo de escape room Figura 33, ambientado em um bunker abandonado num futuro distópico. Os alunos criaram a narrativa de um cientista que realizava experimentos com luz no bunker, com o objetivo de fazer alfaces crescerem em um cenário de guerra nuclear. Para desvendar os mistérios e cultivar a alface, os participantes deveriam ao final responder se a luz era onda ou partícula. O jogo consistia em quatro experimentos: o primeiro utilizava espectroscópios para demonstrar que a luz branca contém todas as cores do espectro visível; o segundo desafiava os participantes a identificar as cores de um objeto

iluminado por diferentes luzes; o terceiro envolvia um experimento de fotossíntese para determinar a melhor cor de luz para o crescimento do alface; e o último conectava fotossíntese e o efeito fotoelétrico, mostrando que era possível acender um LED uma placa solar e lâmpadas.

Os estudantes exibiram um alto grau de protagonismo no desenvolvimento do projeto. Eles pensaram em detalhes criativos para a decoração da sala, como cartazes, maquiagens e performances para se transformarem em robôs do futuro. O resultado foi um trabalho organizado e criativo. Os visitantes da feira teceram muitos elogios ao projeto, destacando sua originalidade e interatividade.

Figura 33 - Imagens da feira científica



Fonte: Acervo da autora (2023)

Nessa etapa, observa-se que os estudantes transitaram por todas as etapas da Taxonomia de Bloom, desde lembrar até criar. O trabalho desenvolvido durante a feira de

ciências mostrou que os alunos foram capazes de lembrar conceitos fundamentais, compreender as relações entre os elementos estudados, aplicar conhecimentos teóricos em práticas experimentais, analisar dados coletados, avaliar hipóteses e resultados, e, finalmente, criar novas ideias e aplicações práticas baseadas nos conceitos explorados.

Um outro acontecimento foi a feira científica da cidade. Algumas semanas após a feira de ciências escolar, os estudantes, motivados pelo sucesso anterior, optaram por inscrever o trabalho na Feira Científica da cidade de Barbacena (FECIB), um evento organizado pelo Instituto Federal local. Este evento atraiu a inscrição de 70 projetos oriundos de 24 escolas da cidade. O projeto dos alunos, intitulado "A Luz da Salvação: Investigando a Fotossíntese e a geração de energia em um Cenário Apocalíptico", foi uma extensão do trabalho apresentado anteriormente, porém com uma abordagem refinada para compartilhar com a comunidade as descobertas realizadas durante as aulas.

Mesmo com uma equipe menor, os alunos demonstraram um grande protagonismo, evolução na aplicação dos conceitos físicos e uma criatividade ímpar na exposição e interação com o público. Seu estande na feira destacava-se pela forma como apresentavam os experimentos, explicando de maneira clara os dados e as observações realizadas. A combinação de conhecimento e habilidades de comunicação dos alunos impressionou tanto os visitantes quanto os avaliadores da feira.

O trabalho foi reconhecido e foi premiado em primeiro lugar na categoria "Ensino Médio - Trabalho Investigativo", Figura 34.

Além da FECIB, o projeto foi indicado para participar da FEBRACE, a Feira Brasileira de Ciências e Engenharia da USP.

Esta indicação abriu portas para os estudantes participarem das eliminatórias da FEBRACE janeiro de 2024

Figura 34 - Imagens da feira científica

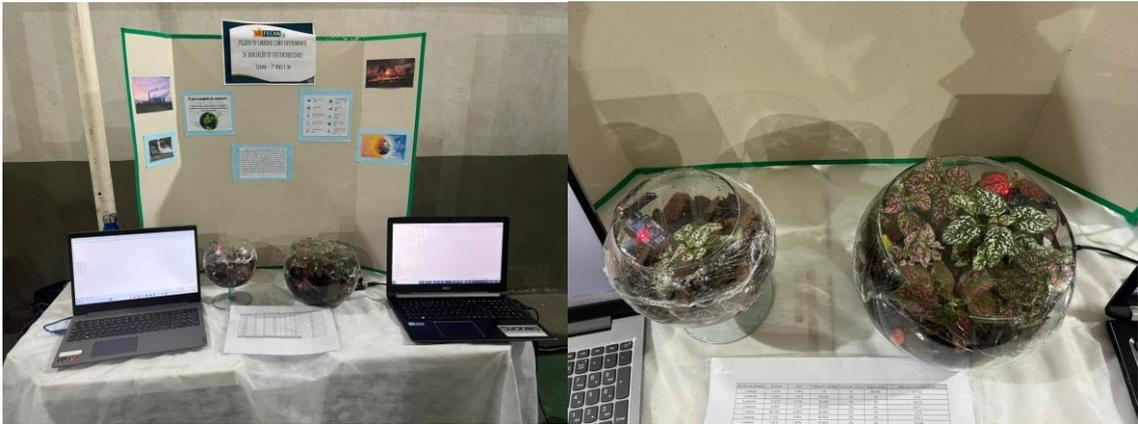


Fonte: Acervo da autora (2023)

Outro aspecto relevante a destacar foi o interesse da professora de Biologia da escola, que gostou da ideia do trabalho e solicitou a utilização do experimento em um projeto sobre pegada de carbono. Apesar de não ter experiência anterior com Arduino, foi fornecido a ela o esquema de montagem, que é bastante simples, juntamente com o código desenvolvido. Isso permitiu a montagem de um novo projeto intitulado "Pegada de Carbono como Instrumento de Avaliação e Sustentabilidade".

Nesse projeto, foram montados dois aquários, conforme ilustrado na Figura 35, um com poucas plantas e outro com várias plantas. Em cada aquário, foi instalado um sensor MQ135 para monitorar os níveis de CO<sub>2</sub>, demonstrando que quanto mais plantas havia, menores eram os níveis de CO<sub>2</sub>.

Figura 35 - Projeto: Pegada de Carbono como Instrumento de Avaliação e Sustentabilidade



Fonte: Acervo da autora (2023)

A replicabilidade do experimento principal foi comprovada pela facilidade com que a professora de Biologia, mesmo sem experiência prévia com Arduino, conseguiu implementar o projeto. Este exemplo evidencia o caráter interdisciplinar do produto, integrando conceitos de Física e Biologia. Além disso, o projeto pode ser facilmente adaptado para diferentes temas relacionados à sustentabilidade e ao meio ambiente, ampliando seu impacto educacional.

## 7 CONCLUSÃO

A presente dissertação teve como objetivo principal investigar a física da fotossíntese através de uma abordagem utilizando o método POE (Predizer, Observar, Explicar) e a tecnologia Arduino. Ao longo do trabalho, foram explorados conceitos de física relacionados à interação da luz com a matéria, espectro eletromagnético, cores dos corpos, natureza da luz e ao efeito fotoelétrico no contexto da fotossíntese, com o intuito de desenvolver um produto educacional que promovesse uma aprendizagem ativa e investigativa entre os estudantes do Ensino Médio.

A implementação da metodologia POE mostrou-se eficaz ao engajar os estudantes em um processo de aprendizagem ativa, incentivando a formulação de hipóteses, a realização de experimentos e a análise crítica dos resultados observados. Os estudantes demonstraram um alto grau de envolvimento e curiosidade, refletindo a eficácia do método em promover a compreensão dos conceitos científicos e a capacidade de resolução de problemas. Além disso, foi possível observar que os alunos transitaram por todos os níveis da Taxonomia de Bloom, desde a recordação e compreensão dos conceitos básicos, passando pela aplicação prática e análise crítica, até a avaliação dos resultados e a criação de novas hipóteses e projetos interdisciplinares.

Os resultados obtidos ao longo das atividades experimentais e após sua realização destacaram a importância do uso de diferentes espectros de luz na taxa de fotossíntese, corroborando a hipótese de que a cor da luz influencia significativamente este processo. Além disso, a integração do Arduino permitiu uma coleta de dados precisa e acessível, facilitando a análise dos resultados e a compreensão dos fenômenos observados.

Uma das contribuições mais significativas deste trabalho foi a demonstração de como a interdisciplinaridade pode enriquecer o ensino e tornar a aprendizagem mais significativa para os estudantes. A abordagem interdisciplinar não apenas facilitou a compreensão dos conceitos científicos, mas também promoveu uma visão integrada do conhecimento, essencial para a formação de cidadãos críticos e reflexivos. No entanto, o estudo também apontou a necessidade de dedicar mais tempo à explicação e formulação de mapas conceituais, ressaltando sua importância e a diferença em relação aos mapas mentais.

Adicionalmente, este estudo abre caminhos para futuras pesquisas que possam explorar outras aplicações da tecnologia Arduino em contextos educacionais, bem como investigar a eficácia de diferentes metodologias investigativas e interdisciplinares no ensino de física. A replicação deste estudo em outros níveis de ensino e contextos escolares também pode

fornecer insights valiosos sobre a adaptabilidade e impacto da metodologia POE em diferentes ambientes educacionais.

Em conclusão, o produto educacional desenvolvido não só facilitou a aprendizagem de conceitos físicos, mas também estimulou a curiosidade e o pensamento crítico dos estudantes. Espera-se que os resultados apresentados neste trabalho possam contribuir para o avanço das práticas educacionais no ensino de física e incentivar a implementação de abordagens pedagógicas que promovam uma aprendizagem ativa e significativa dos estudantes.

## 8 REFERÊNCIAS

ALVES, Rubem. **A alegria de ensinar**. Campinas: Papirus, 2001.

ANDERSON, L. W. et al. **A Taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives**. New York: Longman, 2001.

BELHOT, R. V.; FREITAS, A. A.; VASCONCELLOS D. D. **Requisitos profissionais do estudante de engenharia de produção: uma visão através dos estilos de aprendizagem**. Revista Gestão da Produção e Sistemas, v. 1, n. 2, p. 125-135, 2006.

BLOOM, B. S. **Innocence in education**. The School Review, v. 80, n. 3, p. 333-352, 1972.

BORISOV, A.Y. **Transfer of excitation energy in photosynthesis: Some thoughts**. Photosynth. Res., v. 20, p. 35-58, 1989.

BORGES, A. T. **Novos rumos para o laboratório escolar de ciências**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, p. 291-313, dez. 2002.

BRASIL. Lei nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017. **Institui a reforma do Ensino Médio e altera a Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 17 fev. 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular - BNCC**. Brasília, 2018.

BRANCO, E. P.; BRANCO, A. B. de G.; IWASSE, L. F. A.; ZANATTA, S. C. **Uma visão crítica sobre a implantação da Base Nacional Comum Curricular em consonância com a reforma do Ensino Médio**. Debates em Educação, v. 10, n. 21, p. 47-70, 2018. <https://doi.org/10.28998/2175-6600.2018v10n21p47-70>

CARVALHO, A. M. P. D. **Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 18, n. 3, p. 765-794, 2018.

CONKLIN, J. **Designing for learning: the pursuit of well-being**. In: FERRAZ, A. P. C. M.; BELHOT, R. V. (Org.). Educação, aprendizado e avaliação. São Paulo: Edusp, 2010.

DUARTE, C. H. **Detecção óptica da eficiência quântica da fotossíntese**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, 2003.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: LTC, 1979.

FAZENDA, I. **Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa**. 13. ed. Campinas: Papirus, 2008.

- FERRAZ, A. P. D. C. M.; BELHOT, R. V. **Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais.** *Gestão Produção*, v. 17, n. 2, p. 421-431, 2010.
- FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de física.** Porto Alegre: Bookman, 2008. v. 1.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: óptica e física moderna.** 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 4.
- HEWITT, P. G. **Física conceitual.** 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- MAGALHÃES, M. E. **O fluxo de energia solar e a fotossíntese.** In: FERRI, M. G. (Ed.). *Fisiologia Vegetal.* 2. ed. São Paulo: EPU, 1979. v. 1.
- MARTINEZ, C. A. **Aspectos Básicos da Fotossíntese.** Disponível em: <http://www.ufv.br/DBV/PGFVG/FOTO12.htm#2.CLOROPLASTOS:ESTRUTURAEORGANIZACAO>. Acesso em: 03 ago. 2024.
- MELVILLE, W.; FAZIO, X.; BARTLEY, A.; JONES, D. **Experience and reflection: preservice science teachers' capacity for teaching inquiry.** *Journal of Science Teacher Education*, v. 19, n. 5, p. 477-494, 2008.
- MOURA, B. A. **Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz.** *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 33, n. 1, p. 111-141, 2016. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p111>
- SANTANA JUNIOR, J. J. B.; PEREIRA, D. M. V. G.; LOPES, J. E. G. **Análise das habilidades cognitivas requeridas dos candidatos ao cargo de contador na Administração Pública Federal, utilizando-se indicadores fundamentados na visão da Taxonomia de Bloom.** *Revista Contabilidade e Finanças*, v. 19, n. 46, p. 108-121, 2008.
- SANTOS COSTA, C.; BRAUN, T. **Aspectos físico-químicos da absorção de energia solar na fotossíntese.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020.
- SASSERON, L. H. **A investigação no ensino de ciências: possibilidades e desafios.** São Paulo: Loyola, 2015.
- SASSERON, L. H. **Alfabetização científica, ensino por Investigação e Argumentação: relações entre Ciências da Natureza e Escola.** *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 17, n. espec., 2015.
- SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P de. **Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica.** *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.
- SASAKI, D. G. G., & JESUS, V. L. B. DE .. (2017). **Avaliação de uma metodologia de aprendizagem ativa em óptica geométrica através da investigação das reações dos alunos.** *Revista Brasileira De Ensino De Física*, 39(2), e2403. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0232>

SANTOS, R. J. DOS ., & SASAKI, D. G. G.. (2015). **Uma metodologia de aprendizagem ativa para o ensino de mecânica em educação de jovens e adultos**. Revista Brasileira De Ensino De Física, 37(3), 3506-1-3506-9. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173731955>

STELLA, A.; VALLE, V.; MIELKE, M. S. **Efeitos do ambiente em algumas características fotossintéticas de folhas de *Caesalpinia Echinata lam*, caesalpinaceae**. Disponível em: <http://www.ib.unicamp.br/profs/fsantos/relatorios/ne313-16.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

WHITE, R.; GUNSTONE, R. **Probing Understanding**. London: The Falmer Press, 1992.

XAVIER, A. da C. D. **Introdução a óptica: uso da tecnologia contribuindo para o ensino de física**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, 2020.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV: ótica e física moderna**. 12. ed. Londres: Pearson, 2009.

## 9 APÊNDICE A – CÓGIDO UTILIZADO NO PRODUTO

```
#include <Arduino.h>
#include <SoftwareSerial.h>

#define DELAY_LOOP 30000

const unsigned int SENSOR_GAS = A0;
const unsigned int BAUD_RATE = 9600;

long time_loop = 0;

void setup() {
  pinMode(SENSOR_GAS, INPUT);
  Serial.begin(BAUD_RATE);
}

void loop() {

  int ppm_co2 = analogRead(SENSOR_GAS);
  Serial.println(ppm_co2);
  delay(DELAY_LOOP);

}
```

## **10 APÊNDICE B – MANUAL DO PRODUTO EDUCACIONAL**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**Thaiza Aparecida Lancetti Piccinin**

**PRODUTO EDUCACIONAL**

**Sequência didática para investigar a física da fotossíntese**

JUIZ DE FORA

2024

**Thaiza Aparecida Lancetti Piccinin**

**Sequência didática para investigar a física da fotossíntese**

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: Investigando a física da fotossíntese: uma abordagem utilizando o método POE e Arduino, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 – UFJF / IF Sudeste-MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Dra. Giovana Trevisan Nogueira

JUIZ DE FORA

2024

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, aos professores do MNPEF polo 24 em especial minha orientadora Giovana e aos colegas de profissão envolvidos no projeto.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro oferecido durante a realização deste trabalho.

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

## Lista de figuras

Figura 1 - Espectroscópios construídos pelos estudantes.....	10
Figura 2 - Caixa branca e itens do experimento.....	11
Figura 3 - Esquema do experimento.....	12
Figura 4 - Jarra e planta.....	12
Figura 5 - Sensor preso a tampa da jarra.....	13
Figura 6 - Placa Arduino.....	13
Figura 7 - Sensor MQ135.....	13
Figura 8 - Cabos jumpers de conexão.....	14
Figura 9 - Esquema de montagem.....	14
Figura 10 - Geração de CO <sub>2</sub> caseira para teste do sensor.....	16
Figura 11 - Mini célula Fotovoltaica.....	17
Figura 12 - Espectro eletromagnético.....	20
Figura 13 - Discussão histórica sobre onda ou partícula.....	20
Figura 14 - Natureza da luz.....	21

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Planejamento da sequência didática.....	8
--	---

## Sumário

<b>1 APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2 REFERENCIAL METODOLÓGICO .....</b>	<b>7</b>
<b>3 O PRODUTO EDUCACIONAL.....</b>	<b>8</b>
3.1 CONSTRUÇÃO DE ESPECTROSCÓPIOS CASEIROS .....	9
3.2 EXPERIMENTOS COM UMA CAIXA DE COR .....	10
3.2 EXPERIMENTO COM A PLANTA, ARDUINO E O SENSOR MQ 135.....	11
3.4 EXPERIMENTO QUE CONECTE A FOTOSSÍNTESE AO EFEITO FOTOELÉTRICO.....	16
<b>4 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....</b>	<b>17</b>
4.1 DESCRIÇÃO DA AULA 1.....	17
4.2 DESCRIÇÃO DA AULA 2.....	18
4.3 DESCRIÇÃO DA AULA 3.....	19
4.4 DESCRIÇÃO DA AULA 4.....	19
4.5 DESCRIÇÃO DA AULA 5.....	21
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>23</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>24</b>

## 1 APRESENTAÇÃO

Este produto educacional foi desenvolvido para abordar conceitos de Física através do processo de fotossíntese. A escolha desse tema se justifica pelo cenário atual, no qual a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) foi estabelecida, incentivando uma abordagem contextualizada, a integração de diversas áreas do conhecimento e a valorização da aprendizagem investigativa. Esse produto promove a exploração, a investigação e a experimentação, utilizando métodos científicos para compreender conceitos físicos.

O produto educacional é constituído por um experimento principal em que uma planta é colocada em um ambiente isolado e exposta a diferentes cores de lâmpadas. Um sensor conectado ao Arduino mede os níveis de variação de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), permitindo identificar quais cores são mais adequadas ao processo de fotossíntese. A ideia é utilizar esse experimento, comumente adotado em aulas de Biologia, para trabalhar conceitos físicos como cores dos corpos, espectro eletromagnético, frequência, comprimento de onda, natureza da luz e efeito fotoelétrico.

A metodologia POE (Prever, Observar, Explicar) é empregada, onde o estudante levanta hipóteses baseado em seus conhecimentos prévios, realiza um experimento para comprová-las e, ao final, tenta explicar o que ocorreu. Espera-se que, ao aplicar a metodologia, surjam discrepâncias entre as previsões do estudante e o resultado observado.

Destacamos que este produto educacional foi aplicado em turmas do terceiro ano do ensino médio, que estão em um sistema de revisão de conteúdos para o ENEM. Contudo, também testamos sua aplicação para alunos do primeiro e segundo anos, adequando a linguagem aos diferentes níveis de compreensão dos estudantes.

A expectativa é que, através da aplicação deste produto educacional, os alunos possam compreender e aplicar conceitos de Física no contexto do processo de fotossíntese, integrando conhecimentos interdisciplinares de Biologia e Química.

Outro objetivo importante é a aprendizagem do uso de tecnologias, como o Arduino, para medir e analisar dados, promovendo a alfabetização científica e tecnológica. A reflexão sobre a importância da luz no processo de fotossíntese e sua aplicação em contextos reais, como a otimização da iluminação para o crescimento de plantas em diferentes ambientes, também é uma expectativa deste produto educacional. A implementação deste produto visa não apenas a preparação dos alunos para exames como o ENEM, mas também a formação de cidadãos críticos e conscientes da importância da ciência e da tecnologia no mundo contemporâneo.

## 2 REFERENCIAL METODOLÓGICO

O ensino de Física enfrenta desafios constantes, alunos desmotivados, uma grade curricular extensa, poucas aulas, falta de laboratórios e material didático com poucas aplicações práticas. A educação científica, no entanto, está em constante evolução, buscando novas metodologias que tornem a aprendizagem mais significativa e engajadora para os estudantes.

No Brasil, a implementação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) trouxe uma reformulação substancial no ensino de Física, desafiando os educadores a adotarem abordagens interdisciplinares, investigativas e tecnológicas.

Logo o ensino investigativo é uma abordagem pedagógica que visa promover a curiosidade e o pensamento crítico dos estudantes, incentivando-os a desenvolverem habilidades de pesquisa e resolução de problemas. A BNCC enfatiza que o ensino investigativo é essencial para o desenvolvimento das competências gerais, especialmente no que diz respeito à promoção de uma atitude investigativa e questionadora. (BNCC, 2018)

A metodologia POE demanda necessariamente a demonstração de um experimento qualitativo ou vídeo ou simulação pelo professor em sala de aula. Na primeira etapa, a da previsão, pede-se ao estudante que faça suas previsões acerca de um determinado evento e as justifique de acordo com seus conhecimentos prévios. Então, numa segunda etapa, a da observação, o estudante irá realizar e/ou observar o evento, sendo instigado a comparar as suas previsões anteriores à realização do mesmo com o resultado observado por ele. Por último, na terceira etapa, a da explicação, o estudante deverá tentar explicar as diferenças entre o previsto e o observado, caso existam. Assim, espera-se que ao se aplicar a metodologia POE, surjam discrepâncias entre as previsões do estudante e o resultado observado daquele evento. (Sasaki e Jesus, 2016)

Na metodologia P.O.E., conforme descrito, envolve-se os estudantes em um ciclo de três etapas fundamentais diante de uma problemática. Os alunos são confrontados com um desafio que demanda resolução. Essa abordagem se desdobra em: 1) a formulação de previsões baseadas em intuições ou conhecimentos prévios; 2) a observação atenta durante a simulação para coleta de dados; e 3) a explicação dos resultados, integrando observações às teorias científicas aplicáveis, sob orientação docente. (Santos e Sasaki, 2015)

### 3 O PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional é composto por uma sequência didática orientada por alguns experimentos, conforme descritos na tabela 1.

Tabela 1 – Planejamento da sequência didática

Aula	Objetivo	Duração	Local da aula
Início das atividades	Sondar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre fotossíntese, lâmpadas e cores dos corpos. Levantamento de hipóteses sobre quais cores de lâmpadas seriam mais efetivas para realizar fotossíntese.	1 aula 35 minutos de discussão 10 minutos de desafio das cores	Fora da sala de aula, sentados em círculo.
O espectro de Luz influencia na taxa de fotossíntese?	Através do aparato experimental, verificar de acordo com as hipóteses se o tipo de lâmpada influencia na taxa de fotossíntese.	1 aula 45 minutos	Dentro da sala de aula
Pesquisas sobre o tema	Fazer pesquisas sobre o que de fato ocorreu no experimento e aplicação do conhecimento.	1 aula 45 minutos	Sala de informática
Discussão sobre conceitos físicos	De posse do experimento trabalhar conceitos físicos envolvidos no processo.	1 aula 45 minutos	Sala de aula

Análise final	Analisar as hipóteses com os dados obtidos e construção de mapa conceitual.	1 aula 45 minutos	Sala de aula
---------------	---	----------------------	--------------

Fonte: Elaborada pela autora (2023)

A seguir vamos descrever com maiores detalhes a construção de cada um.

### 3.1 CONSTRUÇÃO DE ESPECTROSCÓPIOS CASEIROS

Para dar início, é importante que, algumas aulas antes da aplicação do produto, você, professor, leve um espectroscópio para a sala de aula. Permita que os alunos manuseiem o equipamento e peça, como tarefa de casa, a construção de espectroscópios pelos estudantes.

A construção do espectroscópio é uma atividade simples que gera bastante participação e curiosidade dos alunos. Para a construção, são necessários um pedaço de CD e uma estrutura que pode ser feita com um rolo de papel, uma caixa de pasta de dente ou um cano de PVC.

Segue abaixo alguns links que podem ajudar você, professor, a construir seus espectroscópios:

- Construção de um Espectrômetro Caseiro - Física na Lixa - [https://fisicanalixa.blogspot.com/2012/10/construcao-de-um-espectrometro-homemade\\_27.html](https://fisicanalixa.blogspot.com/2012/10/construcao-de-um-espectrometro-homemade_27.html). (Acesso em 16/07/2014)
- Vídeo Tutorial no YouTube - <https://www.youtube.com/watch?v=RNNbrXI5iys>. (Acesso em 16/07/2024)

Para os estudantes, sugere-se não fornecer links diretos para a construção. É importante que eles busquem o conhecimento e utilizem sua criatividade para desenvolverem suas próprias versões do espectroscópio, na Figura 1 segue exemplos de espectroscópios construídos utilizando diferentes materiais.

Figura: 1: Espectroscópios construídos pelos estudantes



Fonte: Acervo da autora (2023)

### 3.2 EXPERIMENTOS COM UMA CAIXA DE COR

A montagem da caixa de cores é um processo simples. Primeiramente, encape uma caixa com plástico adesivo autocolante branco. Essa etapa é importante para assegurar uma reflexão uniforme da luz no interior da caixa.

Também é necessário deixar um buraco para a inserção de um soquete de lâmpada, que permitirá a conexão à tomada e a troca de lâmpadas durante o experimento, conforme Figura 2.

Para a realização do experimento, é necessário utilizar diferentes tipos de lâmpadas. Recomendamos o uso de lâmpadas RGB, que podem ser facilmente encontradas em lojas de materiais elétricos.

Figura 2: Caixa branca e itens do experimento

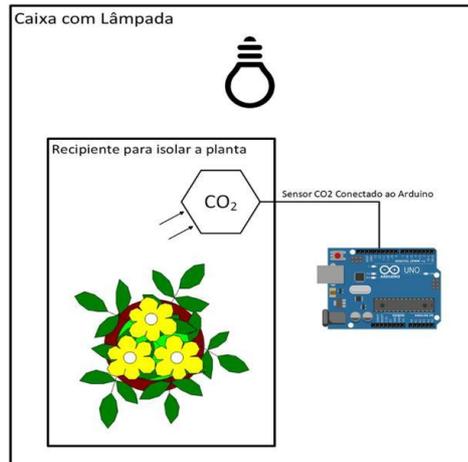


Fonte: Acervo da autora (2023)

### 3.3 EXPERIMENTO COM A PLANTA, ARDUINO E O SENSOR MQ 135

O experimento principal consiste em colocar uma planta em um ambiente isolado, conectado ao sensor MQ135. Este ambiente será a caixa branca, onde a planta será exposta exclusivamente ao espectro da lâmpada selecionada, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Esquema do experimento



Fonte: Elaborada pela autora (2023)

Para simular um ambiente controlado no estudo, deve-se utilizar um pote fechado, optamos uma jarra de suco de plástico, de tamanho apropriado para acomodar plantas de pequeno porte, conforme Figura 4. Para o estudo pode-se escolher espécies como suculentas, mini espadas de São Jorge ou a planta aquática Elodea, encontrada facilmente em lojas de aquário. O experimento pode ser eficaz com qualquer planta que possua folhas verdes.

Figura 4: Jarra e planta



Fonte: Acervo da autora (2023)

A jarra, contendo a planta escolhida, deve ser selada com plástico filme e fita adesiva. Esse processo assegura a criação de um ambiente hermético, essencial para prevenir qualquer troca de gases com o exterior e, conseqüentemente, para manter a integridade dos dados coletados.

Para a montarmos o experimento para medição utilizamos uma placa Arduino (Figura 6), um sensor MQ135 (Figura 7), pode ser fixado com fita isolante na tampa da jarra (Figura 5) e três cabos jumper de conexão (Figura 8).

Figura 5: Sensor preso a tampa da jarra



Fonte: Acervo da autora (2023)

Figura 6: Placa Arduino



Fonte: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2013/10/o-que-e-um-arduino-e-o-que-pode-ser-feito-com-ele.ghtml>

Figura 7: Sensor MQ135



Fonte: <https://quartzcomponents.com/products/mq-135-air-quality-gas-sensor-module>

Figura 8: Cabos jumpers de conexão

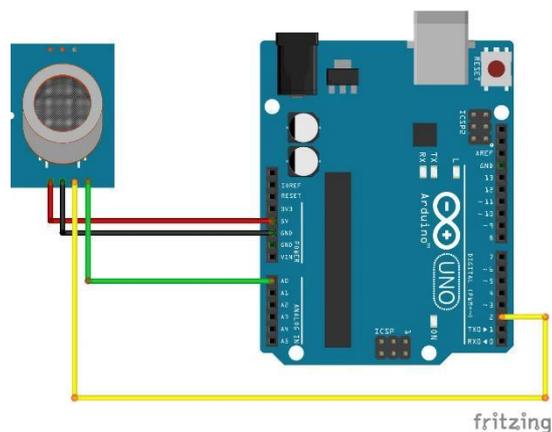


Fonte: <https://www.masterwalkershop.com.br/cabo-jumper-macho-femea-20cm-kit-com-40pcs>

A montagem experimental ocorre de acordo com a Figura 9, onde:

- O fio vermelho liga o pino VCC do sensor ao pino 5V do Arduino, responsável por fornecer energia ao módulo.
- O fio preto liga o pino GND do sensor ao pino GND da placa, responsável pelo aterramento.
- O fio verde liga o pino A0 do sensor à porta analógica do Arduino A0, que fornece tensão de saída analógica proporcional à concentração de gases tóxicos.

Figura 9: Esquema de montagem



Disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/como-funciona-o-sensor-de-gas-mq-135>

Conecte o cabo USB a um computador com o Arduino instalado, foi utilizado o IDE 1.0.5.

Código fonte:

```
#include <Arduino.h>
#include <SoftwareSerial.h>

#define DELAY_LOOP 30000

const unsigned int SENSOR_GAS = A0;
const unsigned int BAUD_RATE = 9600;

long time_loop = 0;

void setup() {
  pinMode(SENSOR_GAS, INPUT);
  Serial.begin(BAUD_RATE);
}

void loop() {

  int ppm_co2 = analogRead(SENSOR_GAS);
  Serial.println(ppm_co2);
  delay(DELAY_LOOP);

}
```

Para assegurar a medição correta do sensor MQ135, o fabricante sugere um processo de pré-aquecimento, frequentemente referido como 'queima' do sensor. Este procedimento implica em manter o sensor em funcionamento contínuo, realizando leituras e mantendo-se aquecido, por um período mínimo de 24 horas antes de sua aplicação em experimentos.

Após a conclusão deste período de queima, e com o objetivo de testar a eficácia do sensor na detecção de variações nos níveis de CO<sub>2</sub>, é interessante testá-lo preparando uma mistura para gerar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esta mistura consiste em:

- 1 litro de água
- 400 gramas de açúcar
- 10 gramas de fermento biológico
- 1 colher de bicarbonato.

A solução deve ser colocada no recipiente isolado que ficaria a planta, conforme ilustrado na Figura 10 juntamente com o sensor MQ135 conectado ao Arduino. Durante o experimento, foi possível observar uma significativa variação nos dados capturados pelo sensor, evidenciando um aumento na taxa de CO<sub>2</sub> no ambiente.

Figura 10: Geração de CO<sub>2</sub> caseira para teste do sensor



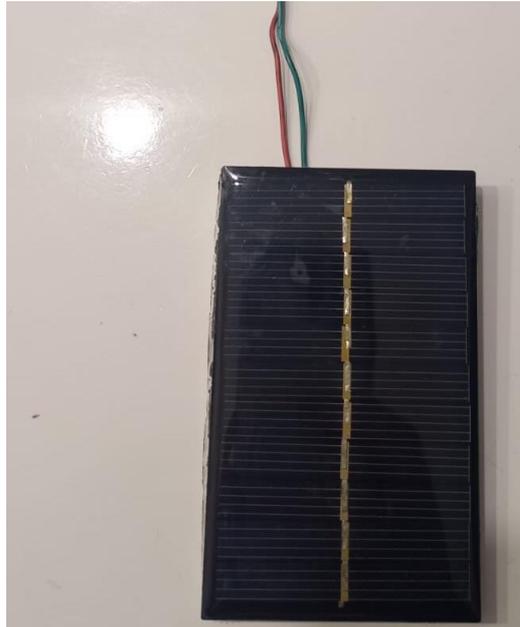
Fonte: Acervo da autora (2023)

### 3.4 EXPERIMENTO QUE CONECTE A FOTOSSÍNTESE AO EFEITO FOTOELÉTRICO

Para realizar um experimento que conecte a fotossíntese ao efeito fotoelétrico, você pode montar um protótipo de poste utilizando uma placa Arduino e um sensor LDR ou uma pequena placa solar.

É recomendável montar um protótipo do poste previamente e levá-lo pronto para a sala de aula. Outra alternativa é adquirir uma pequena placa solar, que tem um preço acessível, em média R\$13,00. Segue link para compra: [Mini Célula Fotovoltaica](#).

Figura 11: Mini Célula Fotovoltaica



Fonte: Acervo da autora (2023)

Para a montagem do protótipo do poste, caso opte por este experimento, siga as instruções no link: [Montagem do Protótipo de Poste](#).

#### 4 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática (SD), foi planejada para cinco aulas de 45 minutos cada.

##### 4.1 DESCRIÇÃO DA AULA 1

###### **Momento 1 – Levantamento de hipóteses**

É interessante que nesse momento os estudantes sejam levados a um ambiente fora da sala de aula e nesse ambiente contenha uma planta aquática Elodea, bicarbonato de sódio e água e a “Caixa de cores”.

Deixar claro que nesse primeiro momento não será uma avaliação e sim vamos “solucionar um problema assim como os cientistas fazem”, incentive que os estudantes façam anotações sobre as questões levantadas e que a ideia é levantar perguntas e não obter respostas, lembrá-los que durante o processo científico é mais importante as perguntas feitas, então os incentive.

Sugestão de perguntas que podem auxiliar na discussão inicial:

*Você conhece a plantinha Elodea ali no meio da sala?*

*Você acha que em uma floresta todas as plantas recebem a mesma quantidade de luz?*

*Sabe o que são aquelas bolhas próximas à planta?*

*Você acha que no sol ou sob uma lâmpada uma planta realizaria fotossíntese da mesma maneira?*

*Se você pudesse escolher uma cor de lâmpada para a planta realizar fotossíntese, qual seria mais efetiva?*

*Por que as plantas são verdes?*

## 4.2 DESCRIÇÃO DA AULA 2

O objetivo desta aula será realizar o experimento, permitindo aos estudantes testarem suas hipóteses através da experimentação e observação direta dos resultados.

A aula deverá começar apresentando o item de medição, que será o Arduino e o sensor. No primeiro momento, faça uma breve explicação sobre a placa Arduino e suas diversas possibilidades de aplicação, destacando sua versatilidade em projetos educacionais e científicos. Em seguida, apresente o sensor MQ135, explicando seu funcionamento e como ele realizará as medições, enfatizando a importância desses dados para o experimento.

Os estudantes deverão ser incentivados a interagir com o sensor, soprando sobre ele e umedecendo as mãos com álcool para observar as variações nas leituras. Esse momento é importante para que compreendam a sensibilidade e o funcionamento do sensor. É interessante que os dados coletados pelo sensor sejam exibidos aos estudantes pela tela do computador, data show ou televisão, permitindo que todos acompanhem as variações nas leituras e entendam a dinâmica dos dados.

Após essa introdução, apresente o ambiente onde a planta deverá ser posicionada para garantir o isolamento adequado durante a coleta de dados. Os estudantes deverão montar o equipamento, colocando a planta no centro da caixa branca e posicionando o sensor MQ135 próximo à planta.

Com tudo pronto, os estudantes podem testar suas hipóteses formuladas durante a aula anterior. Cada grupo escolherá uma lâmpada para realizar o experimento sempre lembrando de utilizar os espectroscópios para visualização do espectro da lâmpada escolhida. Eles ligarão a lâmpada selecionada e começarão a monitorar os níveis de CO<sub>2</sub> através do sensor, observando e registrando os dados de acordo com a cor da lâmpada utilizada.

Durante a coleta de dados, os grupos analisarão se suas hipóteses sobre a influência da luz na taxa de fotossíntese foram confirmadas. Promova a discussão dos resultados em grupo para que os estudantes compartilhem suas descobertas e analisem os resultados de forma coletiva.

### 4.3 DESCRIÇÃO DA AULA 3

O objetivo desta aula será incentivar os estudantes a pesquisarem sobre o tema trabalhado e explorarem a ideia de florestas verticais iluminadas com LED.

Os estudantes deverão ser direcionados à sala de informática para realizar pesquisas relacionadas ao tema explorado anteriormente. Inicialmente, peça aos alunos que investiguem as razões pelas quais suas hipóteses iniciais, formuladas na primeira aula, foram ou não confirmadas durante o experimento prático. Forneça orientações claras sobre como buscar informações relevantes e confiáveis na internet, destacando a importância da pesquisa científica para a compreensão aprofundada do tema.

Além disso, incentive os estudantes a considerar possíveis aplicações práticas do experimento que poderiam contribuir para a sociedade. Coloque uma ênfase especial na ideia das florestas verticais iluminadas com LED, um tópico altamente relevante no contexto atual de sustentabilidade urbana. Incentive a busca pela explicação sobre o conceito de florestas verticais e como a iluminação com LED pode ser utilizada para otimizar o crescimento das plantas em ambientes urbanos.

Durante a pesquisa, circule pela sala para oferecer apoio e orientação, respondendo a perguntas e ajudando os alunos a refinar suas buscas. Encoraje-os a anotar informações importantes e a preparar uma breve apresentação sobre suas descobertas e conclusões.

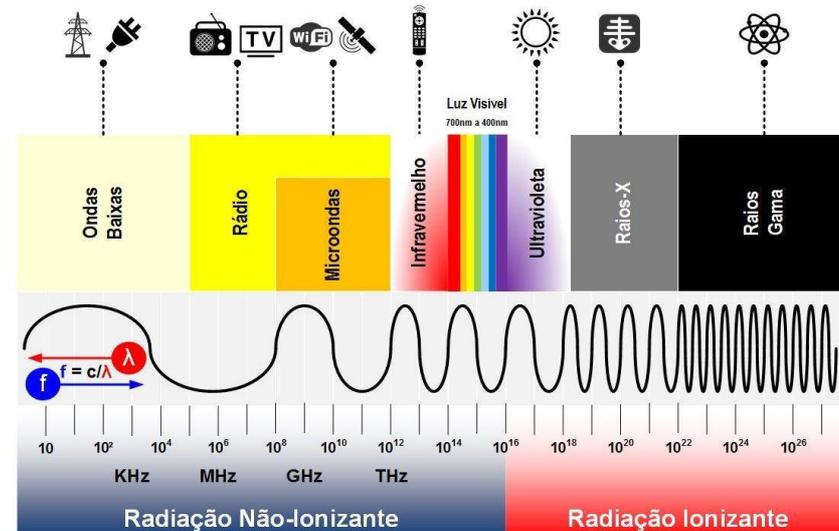
### 4.4 DESCRIÇÃO DA AULA 4

O objetivo desta aula será explorar conceitos físicos utilizando itens do experimento.

Na quarta aula, você começará desafiando os estudantes a entenderem como as cores dos corpos são percebidas sob diferentes espectros de luz. Para isso, utilize a caixa branca do experimento. Coloque objetos de diferentes cores dentro da caixa e troque as cores da lâmpada RGB, incentive os estudantes a colocarem seus próprios objetos na caixa e observar a mudança de cor.

Esse momento foi planejado para promover uma discussão sobre as cores dos corpos, levando os estudantes a compreenderem o espectro eletromagnético e trabalhando conceitos como frequência, comprimento de onda e tipos de radiação, para isso utilize a imagem da figura 11 e discuta as relações.

Figura 12: Espectro eletromagnético



Fonte: <https://labcisico.blogspot.com/2013/03/o-espectro-eletromagnetico-na-natureza.html>

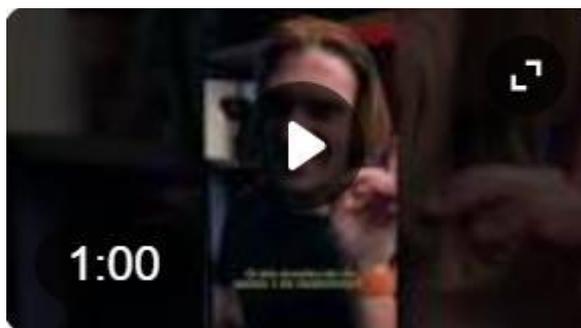
Após essa atividade prática, dedique o segundo segmento da aula à exibição de dois vídeos. O primeiro vídeo detalha a evolução do entendimento científico sobre a luz, desde as teorias corpusculares de Newton até a dualidade onda-partícula proposta por Einstein. Ele cobre experimentos chave como a dupla fenda de Young e o efeito fotoelétrico, mostrando como cada descoberta contribuiu para a compreensão moderna da luz. O segundo vídeo oferece um apanhado geral em formato de "shots", ele apresenta um resumo visualmente dinâmico e conciso sobre a natureza da luz. Ele destaca as principais características e comportamentos da luz, incluindo sua dualidade onda-partícula e os fenômenos de refração, reflexão e dispersão.

Figura 13: Discussão histórica sobre onda ou partícula



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=oSUHXeiaQ98> (Acesso em 16/07/2024)

Figura 14:Natureza da luz



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=3sZ8Yq39cYQ> (Acesso em 16/07/2024)

Em seguida, peça aos estudantes que leiam algum texto, geralmente encontrado nos materiais didáticos sobre a natureza da luz. O objetivo dessa atividade será promover uma discussão que revele a complexidade da ciência e aprofundar a compreensão crítica da natureza da luz, para o enriquecimento da discussão fica a sugestão de leitura: Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n1p111>  
(Acesso em 10/08/2024).

Na fase final da aula, redirecione o foco para o experimento da fotossíntese, estabelecendo uma ligação entre a fotossíntese e o efeito fotoelétrico. Para facilitar o entendimento pode-se utilizar um protótipo de poste com LDR (Resistor Dependente de Luz), ou uma pequena placa solar. Demonstre como esses componentes podem ser usados para correlacionar os dois fenômenos, enfatizando a interação da luz com a matéria.

Durante toda a aula, circule pela sala para oferecer apoio e orientação, respondendo a perguntas e ajudando os estudantes a conectar os conceitos teóricos com as observações práticas. Encoraje-os a participar ativamente das discussões e a compartilhar suas reflexões sobre os conceitos explorados.

#### 4.5 DESCRIÇÃO DA AULA 5

O objetivo desta aula será concluir o tema abordado, criando um ambiente propício para discussões, reflexões e análises críticas. Os estudantes terão a oportunidade de confrontar suas hipóteses iniciais com os resultados obtidos durante os experimentos, articulando explicações baseadas nos dados coletados.

Inicie a aula criando um ambiente rico em discussões. Peça aos estudantes que comparem suas hipóteses iniciais com os resultados observados nos experimentos. Incentive-os a oferecer explicações sobre os dados encontrados, promovendo uma análise crítica e reflexiva. Durante essa atividade, observe a evolução do vocabulário científico utilizado pelos estudantes, incentivando a transição de termos cotidianos para termos científicos mais precisos.

Promova uma discussão sobre florestas verticais iluminadas por LED. Peça aos estudantes que debatam os prós e contras dessa abordagem de produção de alimentos, conectando-a a tópicos discutidos em aulas de geografia, como o aumento populacional. Enfatize que a escolha da luz certa não só influencia o crescimento das plantas, mas também afeta o consumo de energia e a sustentabilidade ambiental.

Para reforçar a síntese do aprendizado, os alunos receberão a tarefa de construir mapas conceituais em casa. Esses mapas devem abranger todos os temas explorados até então, servindo como ferramenta de avaliação do entendimento dos alunos e reforçando a integração e aplicação dos conhecimentos adquiridos. Certifique-se de explicar claramente a estrutura e propósito de um mapa conceitual, utilizando exemplos práticos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este produto educacional foi desenvolvido com o intuito de oferecer aos professores uma ferramenta prática e replicável para explorar conceitos de Física por meio do processo de fotossíntese, utilizando o método POE (Prever, Observar e Explicar) e a tecnologia Arduino.

A abordagem interdisciplinar proposta neste projeto visa integrar conhecimentos de Física, Química e Biologia, proporcionando uma compreensão mais ampla e aplicada dos fenômenos naturais.

Os experimentos detalhados, incluindo a construção de espectroscópios caseiros, a utilização de uma caixa de cores e a implementação de sensores MQ135 conectados ao Arduino, foram concebidos para serem de fácil replicação nas salas de aula. Esses experimentos permitem aos alunos observar e analisar a influência das diferentes cores de luz no processo de fotossíntese, medindo variações nos níveis de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

A metodologia POE empregada no projeto foi eficaz em engajar os alunos, estimulando-os a formular hipóteses, realizar experimentos e refletir criticamente sobre os resultados. Este método não só facilita a compreensão dos conceitos teóricos, mas também promove habilidades investigativas e científicas, essenciais para o desenvolvimento do pensamento crítico.

## 6 REFERÊNCIAS

BRASIL, Ministério D. E. **Base Nacional Comum Curricular** - BNCC, Brasília, 2018

CARVALHO, A. M. P. D. **Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 18, n. 3, p. 765-794, 2018.

MOURA, B. A. (2016). **Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz**. Caderno Brasileiro De Ensino De Física, 33(1), 111–141. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p111>

SANTOS, R. J. DOS ., & SASAKI, D. G. G.. (2015). **Uma metodologia de aprendizagem ativa para o ensino de mecânica em educação de jovens e adultos**. Revista Brasileira De Ensino De Física, 37(3), 3506-1-3506-9. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173731955>

SASAKI, D. G. G., & JESUS, V. L. B. DE .. (2017). **Avaliação de uma metodologia de aprendizagem ativa em óptica geométrica através da investigação das reações dos alunos**. Revista Brasileira De Ensino De Física, 39(2), e2403. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0232>