



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**

**CAMPUS I – CAMPINA GRANDE POLO 48**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**JÚLIO CÉSAR SANTOS NASCIMENTO**

**A INSTRUÇÃO POR MODELAGEM COMO METODOLOGIA NORTEADORA  
PARA INVESTIGAR O ACENDIMENTO DE UM LED À LUZ DA FÍSICA  
MODERNA E CONTEMPORÂNEA**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2025**

**JÚLIO CÉSAR SANTOS NASCIMENTO**

**A INSTRUÇÃO POR MODELAGEM COMO METODOLOGIA NORTEADORA  
PARA INVESTIGAR O ACENDIMENTO DE UM LED À LUZ DA FÍSICA  
MODERNA E CONTEMPORÂNEA**

Dissertação apresentada à Coordenação do Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

**Linha de pesquisa:** Física no Ensino Médio.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Mirleide Dantas Lopes

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2025**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em versão impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que, na reprodução, figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

N244i Nascimento, Julio Cesar Santos.

A instrução por modelagem como metodologia norteadora para investigar o acendimento de um led à luz da física moderna e contemporânea [manuscrito] / Julio Cesar Santos Nascimento. - 2025.

113 f. : il. color.

Digitado.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2025.

"Orientação : Prof. Dra. Mirleide Dantas Lopes, Professora".

1. Física moderna e contemporânea,. 2. Instrução por modelagem. 3. Diodo emissor de luz. I. Título

21. ed. CDD 530.7

JULIO CESAR SANTOS NASCIMENTO

A INSTRUÇÃO POR MODELAGEM COMO METODOLOGIA NORTEADORA  
PARA INVESTIGAR O ACENDIMENTO DE UM LED À LUZ DA FÍSICA  
MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Dissertação apresentada à  
Coordenação do Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Linha de Pesquisa: Física no Ensino Médio.

Aprovada em: 08/08/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado eletronicamente por:

- **Mirleide Dantas Lopes** (\*\*\*.278.144-\*\*), em **19/09/2025 19:51:44** com chave **37574a4e95ab11f0869b768824720cb4**.
- **Ana Raquel Pereira de Ataide** (\*\*\*.970.704-\*\*), em **19/09/2025 20:04:00** com chave **ee135c3695ac11f0ae6f0af146e34404**.
- **José Wagner Cavalcanti Silva** (\*\*\*.629.544-\*\*), em **19/09/2025 21:23:57** com chave **18e860cc95b811f0a72d8ebbc98a71e3**.

Documento emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QrCode ao lado ou acesse [https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar\\_documento/](https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar_documento/) e informe os dados a seguir.

**Tipo de Documento:** Folha de Aprovação do Projeto Final

**Data da Emissão:** 09/10/2025

**Código de Autenticação:** d16dc0



## AGRADECIMENTOS

A conclusão desta dissertação representa não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas também a materialização de um esforço coletivo, por isso, é com gratidão que reconheço todos que, de alguma forma, contribuíram para este momento.

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, saúde e perseverança ao longo desta jornada.

A minha orientadora, Mirleide Dantas Lopes, meu sincero agradecimento pela orientação segura, pela paciência e por acreditar no meu potencial mesmo nos momentos mais desafiadores. Sua dedicação e conhecimento foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos professores e professoras do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da UEPB, agradeço pelas valiosas contribuições ao meu desenvolvimento acadêmico e pessoal, bem como pela excelência no ensino e no incentivo à pesquisa.

Ao gestor da escola em que atuo, Cicero Emiliano Pereira e a professora de língua portuguesa, Andrea Grace, pela parceria estabelecida durante esta caminhada.

Aos meus colegas e amigos(as) que trilharam esse caminho ao meu lado, meu carinho e reconhecimento. Os momentos de troca, apoio e companheirismo foram essenciais para manter a motivação e o ânimo.

A minha família, especialmente a minha mãe, meu pai, minhas irmãs e a minha companheira, Aluska Evny Lopes da Silva, minha eterna gratidão pelo amor incondicional, pelo apoio nos momentos de dificuldade e por sempre acreditarem em mim. Sem vocês, esta conquista não teria o mesmo significado.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação. Cada gesto de incentivo, cada palavra de apoio, teve um papel importante neste processo.

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

Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, elas são a abertura para achar as que estão certas.

Carl Sagan

## RESUMO

A prática docente na educação básica é repleta de inúmeros desafios, exigindo de quem leciona criatividade e empenho para buscar estratégias inovadoras. No contexto da Física, a predominância de aulas expositivas faz com que o envolvimento ativo dos estudantes seja um ponto a ser constantemente aprimorado. Em meio a essa realidade, torna-se fundamental que a escola forme indivíduos críticos, capazes de reconhecer o valor da ciência e se apropriar dos seus saberes para fazer escolhas conscientes diante do avanço das tecnologias. Com essa perspectiva, propusemos uma atividade que explora uma metodologia voltada ao desenvolvimento da argumentação e à construção de modelos matemáticos para a compreensão de fenômenos físicos, incentivando uma aprendizagem mais participativa. Desse modo, a proposta deste trabalho é apresentar uma sequência de ensino desenvolvida e ministrada em uma turma da 3<sup>a</sup> Série do ensino médio. A atividade consistiu em uma investigação acerca do acendimento de um LED, dispositivo constituído por um material semicondutor, e seu funcionamento é explicado por meio da Física Moderna e Contemporânea. Para realizar tal investigação, foi utilizada como metodologia norteadora a Instrução por Modelagem, que, apesar de ainda ser pouco difundida no Brasil, é muito utilizada nos Estados Unidos, onde foi desenvolvida. O objetivo da pesquisa foi fazer com que os(as) estudantes conseguissem reconhecer as grandezas físicas envolvidas no experimento e descrevessem as relações entre elas, através da elaboração de um modelo matemático que lhes permitisse compreender a natureza do fenômeno observado. Com a aplicação da sequência, a partir dos ciclos de modelagem, foi possível observar o engajamento dos(as) estudantes e também o grande empenho para produzirem todo o material durante a atividade, como: tabelas, gráficos, apresentações em quadros brancos e argumentações, a partir das discussões. Com isso, esta pesquisa traz resultados positivos quanto à prática investigativa realizada pelos(as) estudantes durante toda a atividade e também um gradativo avanço em suas argumentações, desde o início da sequência de ensino até o seu encerramento. Contudo, a utilização da metodologia está intimamente ligada ao seu planejamento, que demanda um bom tempo, e isso pode ser muito desafiador para professores e professoras. Dito isto, acreditamos que o produto educacional desenvolvido através desta pesquisa em sua sala de aula seja de grande valia para os(as) professores(as) da educação básica que queiram trabalhar com a Instrução por Modelagem.

**Palavras-chave:** física moderna e contemporânea; instrução por modelagem; diodo emissor de luz.

## ABSTRACT

Teaching practice in basic education is marked by numerous challenges, requiring educators to exercise creativity and commitment in the search for innovative strategies. In the context of Physics education, the predominance of lecture-based instruction often limits active student engagement, which remains a critical aspect to be continually developed. In light of this, it becomes essential for schools to foster critical thinking, enabling students to recognize the value of scientific knowledge and to apply it consciously in the face of rapid technological advancement. From this perspective, we proposed an activity based on a methodology that promotes the development of scientific argumentation and the construction of mathematical models to explain physical phenomena, thereby encouraging a more participatory learning process. This study presents a teaching sequence designed and implemented with a third-year high school class. The activity involved an investigation into the lighting of an LED, a device composed of semiconductor material whose operation is explained by principles of Modern and Contemporary Physics. The guiding methodology adopted was Modeling Instruction, a pedagogical approach widely applied in the United States—where it was originally developed—but still scarcely adopted in Brazil. The objective of the study was to enable students to identify the physical quantities involved in the experiment and to describe the relationships among them through the development of a mathematical model that would support their understanding of the observed phenomenon. During the implementation of the sequence, through successive modeling cycles, it was possible to observe strong student engagement and active participation, as evidenced by the production of various materials such as data tables, graphs, whiteboard presentations, and argumentative discussions. The results of this research highlight the effectiveness of investigative practices conducted by students throughout the activity, as well as a gradual and noticeable improvement in the quality of their scientific argumentation from the beginning to the end of the instructional sequence. However, it is important to note that the successful implementation of this methodology requires thorough planning and significant time investment, which can pose challenges for teachers. Nevertheless, we believe that the educational product developed through this classroom-based research may serve as a valuable resource for basic education teachers interested in incorporating Modeling Instruction into their pedagogical practice.

**Keywords:** modern and contemporary physics; modeling instruction; light emitting diode.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação de whiteboards (quadros brancos) elaborados pelos(as) estudantes, durante a execução da IpM. a) Sequência de ensino abordando o princípio de Arquimedes. b) Sequência de ensino abordando o lançamento horizontal.....	22
Figura 2 – Alargamento dos níveis de energia e formação das bandas de energia.....	39
Figura 3 – Potencial periódico hipotético de uma rede cristalina.....	40
Figura 4 – Representação das bandas de energia, de diferentes tipos de materiais.....	41
Figura 5 – Representação da estrutura atômica do Silício.....	42
Figura 6 – Impureza sendo adicionada ao Silício.....	43
Figura 7 – Material do tipo P.....	43
Figura 8 – Representação do material do tipo N.....	44
Figura 9 – Representação do material do tipo N.....	44
Figura 10 – Representação da junção PN.....	45
Figura 11 – Barreira de potencial na junção PN. Em a) a junção está “neutra”, em b) está polarizada.....	46
Figura 12 – Polarização direta.....	46
Figura 13 – Polarização reversa.....	47
Figura 14 – Simbologia do Diodo.....	48
Figura 15 – Representação do funcionamento do LED.....	49
Figura 16 – Representação do circuito do grupo 1.....	62
Figura 17 – Representação do circuito do grupo 2.....	62
Figura 18 – Representação do circuito do grupo 3.....	63
Figura 19 – Tabela do potencial de acendimento.....	64
Figura 20 – Tabela do potencial de acendimento dos LEDs do grupo 1.....	65
Figura 21 – Tabela do potencial de acendimento dos LEDs do grupo 2.....	65
Figura 22 – Tabela do potencial de acendimento dos LEDs do grupo 3.....	66
Figura 23 – Representação da curva obtida pelo grupo 1.....	67
Figura 24 – Representação da curva obtida pelo grupo 2.....	68
Figura 25 – Representação da curva obtida pelo grupo 3.....	69
Figura 26 – Quadro branco apresentado pelo grupo 1.....	70
Figura 27 – Quadro branco apresentado pelo grupo 2.....	70
Figura 28 – Quadro branco apresentado pelo grupo 3.....	71

Figura 29 – Tabela para preenchimento das equipes.....	72
Figura 30 – Tabela que relaciona o comprimento de onda, a frequência e o potencial de acendimento de cada LED, preenchida pelo G1.....	72
Figura 31 – Tabela que relaciona o comprimento de onda, a frequência e o potencial de acendimento de cada LED, preenchida pelo G2.....	73
Figura 32 – Tabela que relaciona o comprimento de onda, a frequência e o potencial de acendimento de cada LED, preenchida pelo G3.....	73
Figura 33 – Gráfico e equação obtidos pelo G1.....	74
Figura 34 – Gráfico e equação obtidos pelo G2.....	74
Figura 35 – Gráfico e equação obtidos pelo G3.....	75
Figura 36 – Representação do gráfico do G1 com o ponto de intersecção do LED violeta. Este ponto apresenta comprimento de onda (ordenada) igual a 390 nm e o potencial elétrico (abscissa) igual a 2,8 V.....	77
Figura 37 – Representação do gráfico do G2 com o ponto de intersecção do LED violeta. Este ponto apresenta comprimento de onda (ordenada) igual a 380 nm. O grupo não estabeleceu os valores para o potencial elétrico.....	78
Figura 38 – : Representação do gráfico do G3 com o ponto de intersecção do LED violeta. Este ponto apresenta comprimento de onda (ordenada) igual a 400 nm e para o potencial elétrico (abscissa) próximo a 3V.....	79
Figura 39 – Argumento do G1 para explicar a razão de a lâmpada de LED emitir luz branca	
81	
Figura 40 – Argumento do G2 para explicar a razão de a lâmpada de LED emitir luz branca	
82	
Figura 41 – Argumento do G3 para explicar a razão de a lâmpada de LED emitir luz branca	
82	
Figura 42 – Espectro eletromagnético.....	113
Imagen 1 – Estudantes manipulando o experimento, utilizando o LED vermelho.....	59
Imagen 2 – Estudantes manuseando o experimento.....	61
Imagen 3 – Estudantes manuseando a lâmpada de LED.....	80
Imagen 4 – Montagem do Kit experimental com a fonte de potencial.....	108
Imagen 5 – Quadro branco.....	111

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Trabalhos encontrados na pesquisa bibliográfica realizada a nível nacional.....	25
Quadro 2 – Síntese das etapas dos ciclos de modelagem.....	56
Quadro 3 – Síntese das etapas dos ciclos de modelagem.....	98
Quadro 4 – Dicas de como organizar o estágio inicial.....	100
Quadro 5 – Dicas de como organizar o estágio I.....	102
Quadro 6 – Dicas de como organizar o estágio II.....	103
Quadro 7 – Dicas de como organizar o estágio III.....	105
Quadro 8 – Dicas de como organizar o estágio IV .....	106

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Potencial elétrico capaz de acionar o LED.....	109
Tabela 2 – Comprimento de onda e frequência do espectro visível.....	110

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO EM ENSINO E APRENDIZAGEM .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Desenvolvimento histórico da Instrução por Modelagem .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Instrução por Modelagem (IpM) .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Ciclos de modelagem .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>IpM no Brasil: uma revisão da literatura .....</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO EM FÍSICA .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1</b>	<b>O átomo .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2</b>	<b>Estrutura de Bandas .....</b>	<b>38</b>
<b>3.3</b>	<b>Semicondutores.....</b>	<b>41</b>
<b>3.4</b>	<b>LEDs .....</b>	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da pesquisa .....</b>	<b>51</b>
<b>4.2</b>	<b>Público alvo .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3</b>	<b>Descrição da Sequência de Ensino .....</b>	<b>54</b>
<b>4.4</b>	<b>Avaliação da Proposta.....</b>	<b>57</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>58</b>
<b>5.1</b>	<b>A sequência .....</b>	<b>58</b>
5.1.1	Estágio Inicial (Apresentando o problema).....	58
5.1.2	Estágio I (Conhecendo o fenômeno) .....	60
5.1.3	Estágio II (Manipulando e construindo o modelo).....	63
5.1.4	Estágio III (Validando o modelo).....	76
5.1.5	Estágio IV (Analizando a proposta em outros contextos) .....	80
5.1.6	Estágio Final (Discussão com toda turma sobre os conceitos) .....	83
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>85</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>87</b>
	<b>APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL .....</b>	<b>94</b>
	<b>APÊNDICE B - MATERIAIS PARA A SEQUÊNCIA .....</b>	<b>108</b>
	<b>ANEXOS - ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO .....</b>	<b>113</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física na contemporaneidade ainda é marcado por aulas tradicionais, nas quais os professores muito frequentemente se limitam a fazer exposições sobre os conteúdos conceituais, enquanto os estudantes se colocam em uma postura passiva, portando-se, muitas vezes, apenas como meros expectadores das aulas que estão sendo ministradas (Moreira, 2018). No entanto, vivemos em uma sociedade cujo conhecimento científico e tecnológico tem moldado a forma como nos relacionamos com o mundo. Os estudantes cada vez mais cedo têm tido acesso a esse conhecimento e é papel da escola exercer a função de mediadora na formação de pessoas que saibam lidar com tais mudanças.

O uso consciente dos artefatos tecnológicos é importante não apenas para fins utilitários, mas também para que possamos ter uma postura crítica e reflexiva em relação aos impactos positivos e negativos que eles costumam acarretar (Chassot, 2003). Nesta perspectiva, a formação escolar pode se valer da tecnologia como saber de referência para explorar os conhecimentos científicos e assim viabilizar um processo de ensino e aprendizagem que seja capaz de dialogar com os desafios contemporâneos da sociedade. Desse modo, é possível trabalhar em sala de aula com dispositivos que sejam familiares aos estudantes e assim promover aulas mais dinâmicas e interativas, na perspectiva de instigar o interesse dos alunos pela Ciência (Ricardo; Custódio; Rezende Júnior, 2007).

Um exemplo de tecnologia muito presente no cotidiano e que tem passado por inúmeras transformações são as lâmpadas. A princípio, era muito comum encontrar nas residências lâmpadas incandescentes. Com o avanço da ciência e da tecnologia, foi observado que esta lâmpada consumia muita energia elétrica, perdendo parte de sua eficiência luminosa pelo que chamamos de efeito Joule. Neste sentido, outros tipos de lâmpadas foram desenvolvidas, a exemplo das lâmpadas fluorescentes, que são mais eficientes quanto a sua luminosidade. Contemporaneamente, têm sido desenvolvidas lâmpadas ainda mais eficazes que utilizam materiais semicondutores em sua constituição e são conhecidas como *Light Emitting Diodes* (LEDs), que consistem basicamente em um diodo emissor de luz (Valadares; Alves; Chaves, 2005). Todos estes dispositivos passaram por muitas transformações e a Física tem sido protagonista nesse cenário de mudanças.

Sabendo que o uso dos LEDs é bastante disseminado no dia a dia das pessoas, acreditamos que é fundamental discutir em sala de aula os conceitos físicos envolvidos no funcionamento deste dispositivo, essencialmente porque em sua constituição existem materiais semicondutores, cuja dinâmica de funcionamento é descrita por princípios da Física Moderna

e Contemporânea (FMC), área ainda pouco explorada na educação básica (Silveira; Girard, 2017).

A escola tem o importante papel de formar cidadãos e cidadãs críticas, objetivando contribuir com a construção de uma sociedade mais igualitária e reflexiva, entretanto, para se alcançar tal feito é necessário uma educação de qualidade e isso requer métodos de ensino que sejam eficazes para nossos estudantes. Assim, perguntamo-nos: existe uma receita para se educar? É sabido que a resposta a esta pergunta é não, mas ao buscar uma maneira de potencializar, de forma mais satisfatória, a aprendizagem dos estudantes, podemos fazer uso de métodos já desenvolvidos ou até criar um método próprio para tentar melhorar o processo ensino e aprendizagem. Desse modo, na presente pesquisa será desenvolvido um produto educacional, no qual utilizaremos uma metodologia conhecida como Instrução por Modelagem (IpM), pois acreditamos que ela seja potencializadora da aprendizagem dos estudantes.

A IpM é uma metodologia ainda pouco difundida no Brasil, apesar de ter sido desenvolvida no final dos anos 80, nos Estados Unidos (Silva; Ataíde, 2020). As primeiras ideias associadas à IpM foram desenvolvidas por Malcom Wells, mas foi o professor David Hestenes quem deu continuidade às pesquisas e difundiu amplamente esta metodologia, especialmente nos Estados Unidos. Hestenes, afirma em (Wells; Hestenes; Swackhamer, 1995) que Malcom Wells não trabalhava com métodos tradicionais de ensino, mas sim com aulas investigativas, com centralidade nos estudantes, a partir de ciclos de aprendizagem.

Segundo Souza e Rozal (2016), a IpM é uma metodologia cognitiva que busca interligar modelos mentais a modelos conceituais. Isto se dá a partir de alguns estágios, a saber: construção, análise, validação e aplicação de um modelo matemático. Neste modelo, os estudantes trabalham em grupo, de forma colaborativa, com o intuito de manipular grandezas físicas e, a partir desta manipulação, realizar um levantamento de hipóteses, a fim de responder a um problema inicial que será levantado no início da atividade, sendo este de caráter experimental ou não.

Feitas estas considerações, podemos observar que a IpM se apresenta como uma boa alternativa para trabalhar temas de Física. Desta forma, a nossa pergunta de pesquisa se resume a: em que medida uma sequência de ensino ancorada na Instrução por Modelagem promove a compreensão dos conceitos físicos envolvidos na produção de luz por um LED?

O objetivo da intervenção proposta foi fazer com que os(as) estudantes conseguissem reconhecer as grandezas físicas envolvidas no experimento de acendimento de um LED, descrevendo as relações entre elas através de um modelo matemático que lhes permitam compreender a natureza quântica do fenômeno observado. A princípio, isto será realizado

através da investigação de um problema inicial que será apresentado aos(as) estudantes e que estará relacionado ao experimento. Na ocasião, os(as) alunos(as) deverão refletir sobre este problema e registrar suas reflexões sob orientação do professor, que irá conduzir as diferentes etapas de manipulação deste experimento, a fim de auxiliar os(as) estudantes na construção do modelo matemático, que irá fundamentar as respostas ao problema inicial. Por fim, em um momento de culminância, os(as) alunos(as) deverão apresentar a síntese de seus modelos através de quadros brancos. Neste momento, o professor irá, a partir do que foi construído, discorrer sobre os conceitos físicos identificados pelos estudantes e a importância deles para o desenvolvimento da Física Moderna e Contemporânea, especialmente no que diz respeito à Física dos materiais semicondutores.

A sequência de ensino ora mencionada privilegia a abordagem dos conteúdos procedimentais que, conforme Zabala, (1998, p. 58) consiste em “um conjunto de ações ordenadas e com um fim, quer dizer, dirigidas para a realização de um objetivo”. Tais ações favorecem o desenvolvimento de diferentes habilidades, através da utilização de instrumentos de medidas, manipulação dos materiais para a realização de experimentos e análise de dados, atendendo ao que preconiza a Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2018), no que diz respeito à utilização na Educação Básica de procedimentos próprios das Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

No texto que segue, apresentamos no capítulo 2 o referencial teórico relacionado ao ensino de Física. Nesta perspectiva, abordaremos a Instrução por Modelagem, inicialmente através de um breve histórico sobre a metodologia, em seguida apresentaremos alguns conceitos que fundamentam a IpM e, por fim, definiremos os ciclos de modelagem. No capítulo 3, trabalharemos o referencial teórico em Física que fundamenta a sequência de ensino aplicada. Deste modo, abordaremos o princípio de funcionamento de um LED, bem como toda a teoria de semicondutores, que permeia esta tecnologia. No capítulo 4, será descrito o percurso metodológico, tanto relativo à pesquisa quanto à sequência de ensino aplicada. Por fim, no capítulo 5, apresentaremos os resultados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO EM ENSINO E APRENDIZAGEM

### 2.1 Desenvolvimento histórico da Instrução por Modelagem

A IpM iniciou a partir de um programa desenvolvido por D. Hestenes, mas teve como idealizador Malcolm Wells, que trabalhava em turmas do ensino médio, com uma metodologia ativa, que colocava os estudantes na centralidade no desenvolvimento do conhecimento (Wells; Hestenes; Swackhamer, 1995). As aulas eram dinâmicas e a turma era dividida em grupos, os quais eram encarregados de realizar uma investigação acerca de um experimento que era levado para a aula. A partir de uma agenda pedagógica, os estudantes eram capazes de seguir uma sequência investigativa e consequentemente apresentar as hipóteses desenvolvidas com base na investigação realizada sobre o experimento.

David Orlin Hestenes, nasceu em Chicago, nos Estados Unidos em 1933. Atualmente é professor emérito na Universidade Estadual do Arizona. Ele é conhecido por desenvolver a Instrução por Modelagem, mas também atua na área da álgebra geométrica como uma linguagem unificada para Física e Matemática. Hestenes foi professor de pós-graduação e nesta época conheceu Malcom Wells. Foi neste período que eles começaram a desenvolver uma metodologia voltada à participação dos estudantes, contemplando a modelagem matemática. (Taşar; Bilici; Turkey, 2012).

A Instrução por modelagem foi amplamente disseminada nos Estados Unidos, como sendo eficaz no que diz respeito ao processo de ensino e aprendizagem. Segundo Jakson; Dukerich e Hestenes, (2007, p. 10, tradução nossa): “Instrução por modelagem é um programa em evolução, baseado em pesquisa para a reforma do ensino de ciências do ensino médio que foi apoiado pela National Science Foundation (NSF) de 1989 a 2005”. Este programa ofereceu workshops para professores de diferentes regiões dos Estados Unidos e objetivava divulgar a IpM como uma metodologia inovadora no ensino de ciências.

De acordo com Hestenes (1997), uma das razões para o fracasso da instrução tradicional (aula de demonstração) é que ela não leva em consideração o que os alunos já sabem. Isso pode interferir na aprendizagem dos estudantes, pois parece que os conhecimentos escolares estão muito distantes da vida cotidiana. Na IpM são levadas em consideração todas as experiências trazidas pelos alunos, buscando conectar os modelos mentais a modelos conceituais, problematizando os saberes que os estudantes já têm, com os novos saberes.

## 2.2 Instrução por Modelagem (IpM)

A Instrução por Modelagem ou IpM, como também é conhecida, consiste em uma metodologia de ensino que foi desenvolvida com foco em uma abordagem investigativa centrada no estudante e orientada pelo(a) professor(a). Todos os estágios da investigação são baseados em modelagem e a isso, Hestenes e Malcom, batizaram com o termo, ciclos de modelagem (Hestenes, 2010).

Segundo Taşar, Bilici e Turke (2012, p. 150, tradução nossa), em entrevista realizada com Hestenes e publicada em artigo científico,

A ideia central na abordagem de modelagem é que você entende um fenômeno criando ou adaptando um modelo para descrevê-lo. A sutileza no ensino está em como fazer os alunos desenvolverem isso por si mesmos, para que se tornem aprendizes autônomos. A investigação científica começa com a especificação do sistema de interesse e das variáveis envolvidas. A representação do sistema e suas variáveis é o primeiro passo na construção de um modelo. O próximo passo é especificar as relações entre as variáveis e como elas mudam. Finalmente, a validade do modelo é estabelecida comparando-o com dados empíricos sobre como o sistema se comporta.

Observando a afirmação acima, percebemos que a IpM desenvolve a modelagem partindo do que os estudantes podem interpretar de um fenômeno, e eles devem criar ou adaptar um modelo para descrevê-lo. Este processo se dá em fases bem definidas, a saber: construção do modelo, análise, validação e aplicação. Cada uma destas fases pode variar muito dentro do ciclo de modelagem, dependendo dos objetivos da investigação. É importante ressaltar que elas não necessariamente precisam acontecer de maneira linear, por exemplo, algumas questões levantadas durante a fase de análise, validação ou qualquer outra podem fazer com que sintamos a necessidade de retornar uma fase anterior (Hestenes, 2010). Estas fases serão discutidas adiante no subtópico de ciclos de modelagem.

Como é perceptível, a Instrução por Modelagem está baseada em uma abordagem modeladora, assim as atividades são sempre voltadas a desenvolver um modelo que consiga descrever um fenômeno. Contudo é importante que seja discutido o porquê de utilizar uma abordagem deste tipo, afinal, por que trabalhar com modelos? Para Hestenes (1987, p. 4, tradução nossa), “Um modelo é um objeto substituto, uma representação conceitual de uma coisa real. Os modelos em física são modelos matemáticos, o que significa que as propriedades físicas são representadas por variáveis quantitativas nos modelos.” Na IpM os estudantes devem manipular em grupos um experimento/simulação e construir hipóteses para elaborar um

modelo (conceitual ou matemático), a fim de representar um fenômeno (real). Hestenes (1987, p. 4, tradução nossa) ainda aponta que para desenvolver um modelo matemático, ele deve ter quatro componentes, a saber:

- (1) Um conjunto de nomes para o objeto e agentes que interagem com ele, bem como para qualquer parte do objeto representado no modelo.
- (2) Um conjunto de variáveis descritivas (ou descritores) representando propriedades do objeto.
- (3) Equações do modelo, descrevendo sua estrutura e evolução temporal.
- (4) Uma interpretação relacionando as variáveis descritivas às propriedades de algum objeto que o modelo representa.

Percebemos que na visão Hestenesiana, um modelo é uma representação de algo real e a Física é feita a partir de modelos matemáticos. Hestenes (2010) ressalta que frequentemente identificamos um modelo com sua representação em uma descrição concreta de palavras, símbolos ou figuras (como gráficos, diagramas ou esboços). Assim, a representação do fenômeno deve ser feita a partir de uma modelagem matemática.

Em uma vertente próxima a visão Hestenesiana, temos a epistemologia de Bunge que, conforme Moreira e Massoni (2011), este epistemólogo acredita que o homem constrói simplificações a partir de idealizações para apreender a realidade e a isso ele chama de objeto-modelo ou modelo conceitual da coisa, fato ou fenômeno. Assim percebemos que para Bunge, no processo de ensino aprendizagem as pessoas desenvolvem seu próprio modelo. O epistemólogo ainda aponta que estes modelos conceituais são uma aproximação da realidade que pode ser feita a partir de uma imagem simbólica para tentar explicar o real. Ele afirma ainda que a este modelo conceitual podem ser atribuídas certas propriedades, em geral não sensíveis, a fim de desenvolvê-lo teoricamente e matematicamente. Esta é a parte teórico-matemática do modelo conceitual.

A IpM faz uma conexão entre as duas visões sobre modelos, pois a mesma está voltada para a representação de modelos conceituais que os estudantes podem desenvolver, a partir das representações que eles já têm. A ideia principal da metodologia é auxiliar os estudantes a sistematizar seus modelos mentais de modo a transformá-los em modelos conceituais, aproximando assim o que o estudante já sabe com os saberes obtidos a partir da construção da ciência.

Hestenes (2010, p. 19, tradução nossa) define modelos conceituais e modelos mentais da seguinte forma:

Um modelo conceitual é uma representação da estrutura em um modelo mental. Como antes, a representação em um modelo conceitual é uma inscrição concreta que codifica a estrutura do mesmo. No entanto, não nos comprometemos com o que a estrutura de

um modelo mental pode representar. Doravante, modelos científicos e matemáticos devem ser considerados modelos conceituais. Mas o referente de um modelo conceitual é sempre um modelo mental, então sua estrutura na mente é inacessível à observação direta.

Podemos observar que a proposta de Hestenes está relacionada a construir um modelo conceitual “científico” a partir do modelo mental que os estudantes já têm de acordo com suas experiências. Essa passagem entre modelo mental e conceitual se dá nos ciclos de modelagem, pois durante os ciclos haverá uma investigação feita pelos estudantes, a fim de responder a uma pergunta/problema inicial que está associada ao fenômeno.

A investigação realizada pelos estudantes deve ser bem articulada pelo(a) professor(a), sendo realizada através de uma agenda pedagógica, que serve como guia de orientação, para que a atividade não fuja do objetivo inicial. O termo agenda pedagógica foi disseminado por Wells, Hestenes e Wackhamer (1995, p. 11, tradução nossa),

A diferença instrucional residia na ênfase sistemática em modelos e modelagem. O ciclo de aprendizagem foi elaborado em um ciclo de modelagem. Embora permanecesse discreto, a orientação do professor foi fortalecida ao focar em uma agenda de modelagem informada pela "taxonomia de equívocos".

A taxonomia de equívocos, segundo, Wells, Hestenes e Wackhamer (1995, p. 8, tradução nossa) é uma forma de “aprimorar suas habilidades para lidar com equívocos dos alunos, Malcolm dominou a taxonomia desenvolvida por Halloun e Hestenes, uma classificação sistemática de crenças ingênuas sobre mecânica.”

A utilização de uma agenda é coerente para articular toda a atividade voltada a uma modelagem matemática. Para Hestenes, é importante que haja controle em todas as fases do ciclo, pois a ciência é sistemática e sem um guia de orientação os estudantes não conseguem ter *insights* científicos (Taşar; Bilici; Turke, 2012). Assim a agenda pedagógica favorece a articulação da abordagem modeladora.

Uma contribuição à IpM, realizada por Jackson, Dukerich e Hestenes (2008, p. 11, tradução nossa) aponta que:

A instrução é organizada em ciclos de modelagem em vez de unidades de conteúdo tradicionais. Isso promove uma compreensão integrada dos processos de modelagem e a aquisição de habilidades de modelagem coordenadas. Os dois estágios principais desse processo são o desenvolvimento do modelo e a implantação do modelo.

Assim, o ciclo tem o papel de fortalecer os processos de modelagem, a partir de dois estágios, são eles: Desenvolvimento do modelo e implantação do modelo. A seguir, uma breve discussão sobre cada um deles, a partir das contribuições de Jackson, Dukerich e Hestenes

(2008).

**Desenvolvimento do modelo:** é realizada uma discussão geral sobre o tema a ser abordado, os estudantes são separados em equipes para trabalhar de forma colaborativa, realizam uma investigação, a fim de esclarecer a questão ou problema associado ao experimento. Por fim os estudantes apresentam suas conclusões de forma oral e escrita utilizando o modelo que desenvolveram durante a investigação.

**Implantação do modelo:** os estudantes utilizam o seu novo modelo que foi desenvolvido para aplicar em outras situações e assim refinar e aprofundar a compreensão. Os estudantes trabalham em planilhas para apresentarem e defenderem os resultados obtidos para toda a classe.

O que vimos até aqui é que a IpM é uma metodologia que utiliza como abordagem a modelagem matemática. Ela é trabalhada através dos ciclos de modelagem, que por sua vez são norteados por uma agenda pedagógica. O foco central é fazer com que os estudantes em pequenos grupos desenvolvam seu próprio modelo matemático para responder a uma questão/problema inicial que está associada a um fenômeno.

Apesar de ser muito utilizada nos Estados Unidos, a literatura aponta que esta metodologia ainda é pouco desenvolvida no Brasil (Silva; Ataíde, 2020). Os trabalhos em Instrução por Modelagem estão crescentes no país, contudo, ainda estamos longe de afirmar que temos localmente uma robusta literatura no que diz respeito à aplicação e contribuições desta metodologia. Desta forma, buscamos utilizá-la na nossa sequência de ensino, a fim de trazer uma abordagem modeladora, utilizando conceitos relacionados à Física Moderna e Contemporânea, com o intuito de realizar discussões com os estudantes acerca de um fenômeno físico que é bastante comum em seu dia a dia, mas não é debatido de forma ampla nas aulas de Física com aulas tradicionais.

### 2.3 Ciclos de modelagem

Como já discutido, a Instrução por Modelagem baseia-se no que Malcolm Wells chamava de ciclos de modelagem (Hestenes, 2010). Cada ciclo tem fases bem definidas no processo, que já foram mencionadas anteriormente neste trabalho, agora faremos uma discussão de cada uma dessas fases.

- 1) **Construção:** nesta fase os estudantes em pequenos grupos têm o primeiro contato com o experimento, é neste momento que todos podem manipular as grandezas físicas

associadas, com o auxílio do professor(a). Além de reconhecer o sistema a ser modelado e também construir um diagrama para representar as informações obtidas a partir deste sistema. Hestenes (1997, p. 13, tradução nossa), aponta que:

A modelagem começa com uma situação física que desejamos entender. A compreensão vem da criação, análise e avaliação de um modelo para a situação. A situação pode ser apresentada a nós em qualquer forma; por exemplo, como um experimento de laboratório ou um problema de livro didático. Seja qual for a situação, podemos precisar desconsiderar algumas informações como irrelevantes ou introduzir informações adicionais (por exemplo, conhecimento físico relevante). Ao examinar a situação, nosso primeiro problema é propor (ou seja, aduzir) um modelo adequado de qualquer maneira que pudermos.

Assim, nesta fase os estudantes iniciam a construção de seus modelos, a partir do reconhecimento do fenômeno e manipulação das grandezas físicas associadas à situação problema.

- 2) **Análise:** nesta etapa há a extração das informações e elaboração do modelo, baseando-se nos diagramas já desenvolvidos no momento da construção. Os estudantes realizam uma análise dos dados que obtiveram durante toda a investigação, que é instigada pelo professor(a). Ocorre também a busca da interpretação das informações coletadas, para formular uma possível resposta a uma pergunta/problema inicial, a partir de um levantamento de hipóteses. Para Hestenes (1997, p. 14, tradução nossa):

Quando um modelo é construído, ele deve ser analisado para entender sua estrutura e implicações. A extração de informações ou implicações de um modelo é chamada de inferência baseada em modelo. Todas as previsões científicas são inferências de modelos. Um mapa de uma cidade comum é um modelo descritivo, e usá-lo para determinar uma rota entre dois lugares é uma inferência baseada em modelo. Isso pode ser considerado como uma forma não proposicional de inferência dedutiva. A análise de modelos explicativos pode ser muito envolvente, mesmo quando a formulação do modelo é bastante simples. Alguns físicos dedicam suas carreiras à análise de modelos.

É percebido que para Hestenes esta fase é a interpretação da construção que foi realizada na fase anterior.

- 3) **Validação:** nesta fase os estudantes avaliam se o modelo matemático desenvolvido por eles(as) caracteriza bem o fenômeno físico em questão. Isso pode ser feito comparando as medidas obtidas por eles, com resultados já aceitos pela comunidade científica. Nesta etapa, é importante que os estudantes respondam questões como: qual o seu modelo?

Como seu modelo funciona?

Contudo é importante salientar sobre as observações que Hestenes (1997, p. 14, tradução nossa), faz sobre a validação:

A validação é o processo de avaliar a adequação de um modelo para representar um sistema e situação específicos. Envolve comparar a estrutura e previsões do modelo com dados empíricos sobre a estrutura e o comportamento do sistema que ele representa. Se uma correspondência for confirmada em algum nível de precisão, o modelo é dito validado nesse grau. Uma correspondência perfeita não é esperada, porque todo modelo é uma representação incompleta, ou seja, sempre há algumas características do sistema que não são representadas pelo modelo. Além disso, o aparato experimental para medir as propriedades de um sistema sempre tem uma precisão limitada. Uma avaliação completa da validade de um modelo incluirá uma avaliação do que é negligenciado no modelo, bem como a precisão da representação.

4) **Aplicação:** os(as) estudantes devem relacionar seu modelo já desenvolvido em outros contextos, o que ajudará a perceber que modelos descrevem fenômenos em situações e contextos distintos. Hestenes (2010, p. 35, tradução nossa) aponta que:

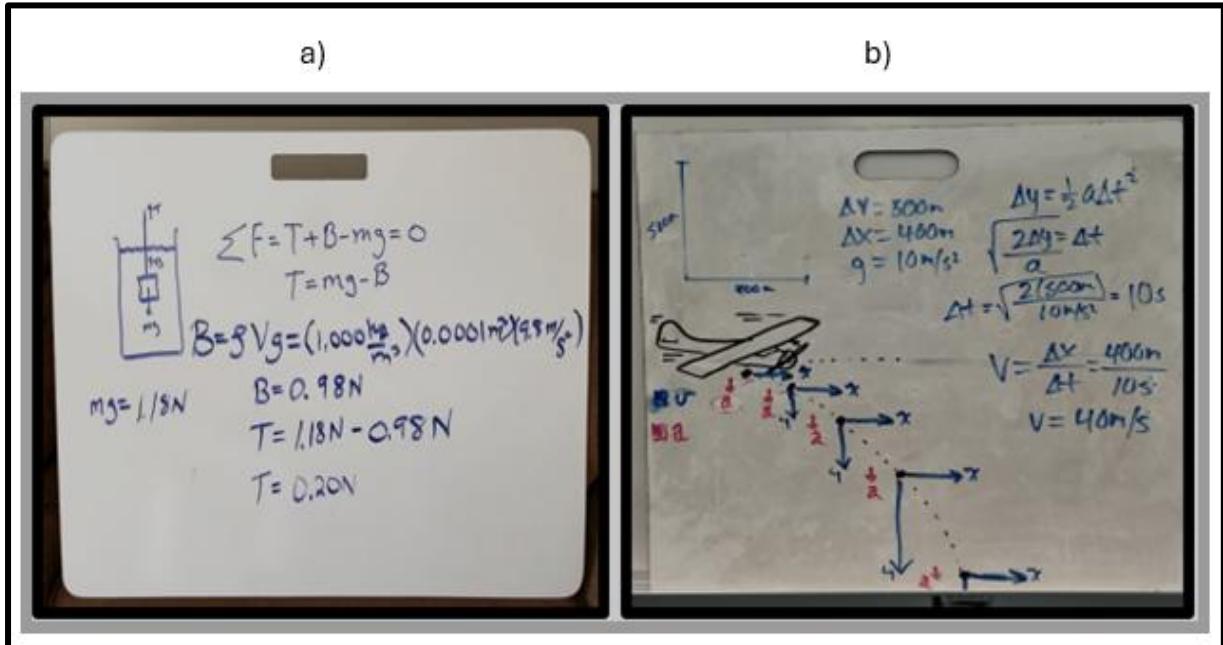
A implantação do modelo consiste em adaptar um modelo desenvolvido em um contexto para caracterizar sistemas ou processos em um contexto totalmente diferente. Isso serve para sensibilizar os alunos para o fato de que os modelos incorporam estruturas universais que podem ser adaptadas à modelagem em um número essencialmente ilimitado de situações.

Por fim, os(as) estudantes apresentam suas conclusões e a este momento, Hestenes (2010) chama de seção de *whiteboard* (quadros brancos). O autor defende que este é o ápice da IpM, pois é aqui que os estudantes defendem suas ideias a partir da argumentação. Todos os grupos apresentam seus modelos nesses quadros para toda a turma. Cada uma das equipes defende seu ponto de vista e a forma como chegou ao modelo. Este momento é finalizado com uma grande discussão orientada pelo(a) professor(a). A seguir, a caracterização do momento dos quadros brancos feita por Hestenes (2010, p 35, tradução nossa):

O ponto culminante das atividades de modelagem dos alunos é relatar e discutir os resultados em uma sessão de quadros brancos. Acredito que é aqui que ocorre o aprendizado mais profundo dos alunos, porque estimula a avaliação e a consolidação de toda a experiência em atividades de modelagem recentes. As sessões de quadros brancos se tornaram uma característica marcante do Método de Modelagem, porque são tão flexíveis e fáceis de implementar, e tão eficazes no suporte a interações ricas em sala de aula.

É notável que este momento é importante para o desenvolvimento das argumentações dos estudantes. Para Souza e Rozal (2016), os *whiteboards* são pequenos quadros brancos (medindo aproximadamente 80 cm x 60 cm), que podem ser apagados a seco. São dinâmicos e fáceis de implementar. São também efetivos, pois permitem diversas interações em sala de aula, como podemos ver na Figura 1.

Figura 1: Representação de whiteboards (quadros brancos) elaborados pelos(as) estudantes, durante a execução da IpM. a) Sequência de ensino abordando o princípio de Arquimedes. b) Sequência de ensino abordando o lançamento horizontal.



Fonte: a) Associação de Professores de Modelagem<sup>1</sup>; b) Nossos quadros brancos<sup>2</sup>.

Uma atividade utilizando a IpM deve ser centrada em torno de uma situação problema que tenha uma pergunta/problema inicial e isso deve ser discutido no primeiro momento do ciclo de modelagem. Quando o professor(a) apresenta a situação problema aos(as) estudantes, eles(as) devem ser induzidos a perceber que existe uma pergunta a ser respondida ou um problema a ser resolvido. O importante é que todos os grupos iniciem a sua investigação, a fim de desenvolver um modelo que consiga responder a pergunta inicial ou resolver o problema.

No decorrer de cada uma das fases do ciclo de modelagem, o(a) professor(a) deve instigar os(as) estudantes a buscar respostas a questões desafiadoras, conduzindo, assim, debates dentro dos grupos para um levantamento de hipóteses. Com isso, a IpM tem como foco desenvolver discussões sobre um determinado assunto e auxiliar cada equipe a desenvolver seu modelo. Desta forma, o(a) professor(a) terá um papel de mediador(a), sem levar respostas ou teorias prontas, mas sim de levantar a curiosidade da turma, de forma que todos(as) se envolvam na busca por respostas a uma pergunta/problema inicial que esteja relacionada à situação problema.

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://www.modelinginstruction.org/what-we-produce/coherent-curriculum/phys-stories/>>. Acesso em : 07 de jul. de 2025.

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://www.whiteboardsusa.com/ourwhiteboards>>. Acesso em : 07 de jul. de 2025.

Inicialmente os(as) estudantes são divididos(as) em equipes e cada uma das equipes têm acesso à situação problema (experimento ou simulação). A primeira parte é para o reconhecimento da situação problema, é neste momento que os estudantes fazem uma investigação do problema ou pergunta inicial. Os(as) alunos(as) podem manusear o experimento, medir grandezas envolvidas, comparar escalas, refletir sobre alguma situação parecida em seu cotidiano, etc. A partir deste primeiro momento, as equipes poderão buscar estratégias para resolver o problema ou a pergunta inicial, relacionada ao fenômeno físico estudado.

Utilizando a agenda pedagógica desenvolvida pelo(a) mediador(a), cada equipe fará sua própria investigação de maneira independente. Nesta agenda estão orientações simples que farão com que a atividade seja controlada e não saia muito do propósito do(a) mediador(a). A agenda deve ser pensada de forma que cada atividade contida nela seja minuciosamente planejada por quem a desenvolve, de tal modo que seja possível se antecipar aos prováveis questionamentos que as equipes poderão fazer em cada uma das etapas do ciclo de modelagem.

A agenda pedagógica é um guia de orientação para que os(as) estudantes conduzam sua investigação de uma maneira mais ordenada. Nela contém algumas questões sobre o que está acontecendo na situação problema, dicas de quais as variáveis podem ser manipuladas e qual o próximo passo a ser discutido. A agenda é importante para que os(as) estudantes sigam na direção de uma construção de hipóteses e, por fim, caracterização de um modelo.

Jackson, Dukerich e Hestenes (2008), corroboram com a eficácia da IpM e descrevem em forma de tabela os momentos dos ciclos de modelagem, como segue;

## **I. Desenvolvimento do modelo**

### **A. Discussão pré-laboratorial**

Os(as) alunos(as) realizam as primeiras observações do fenômeno. O(A) professor(a) orienta cada grupo a uma investigação em busca de um modelo matemático que descreva a situação problema.

### **B. Investigação de laboratório**

Neste momento os estudantes realizam a coleta de dados para que haja uma análise e em seguida o desenvolvimento de um modelo matemático (tabela, diagrama, gráficos), que será exposto nos quadros brancos.

### **C. Discussão pós-laboratório**

Os(as) estudantes apresentam nos quadros brancos os resultados obtidos a partir

da investigação e cada grupo explica seu modelo matemático. Em seguida o(a) professor(a) realiza uma discussão junto aos estudantes para desenvolver um modelo matemático genérico que descreva o fenômeno.

## **II. Implantação do modelo**

### **A. Planilhas**

Neste momento os grupos preenchem planilhas a fim de reproduzir um gráfico, utilizando o modelo matemático que foi desenvolvido pelos mesmos e aplicam em novas situações. Os(as) estudantes preparam apresentações nos quadros brancos com soluções de problemas para apresentar à turma. O(a) professor(a) deve incentivar os(as) alunos(as) a sistematizar o que sabem e como sabem, corrigindo assim, equívocos que podem persistir.

### **B. Questionários**

Os(as) alunos(as) de forma individual respondem a questionários curtos de acordo com o fenômeno relacionado à situação problema. Neste momento os estudantes devem demonstrar sua compreensão acerca do modelo que foi desenvolvido e como se dá a aplicação. Não é uma atividade apenas de resolução de problemas, mas sim, de reflexão sobre o fenômeno físico em questão. Assim todos devem justificar suas respostas e estratégias desenvolvidas para a solução do problema.

### **C. Estágio de laboratório**

Neste momento os(as) estudantes precisam testar o modelo matemático que foi elaborado por eles, assim os grupos discutem sobre uma solução relacionada a um problema no mundo real, envolvendo o fenômeno trazido na situação problema. Os(as) estudantes devem chegar a um acordo sobre a solução trazida ao problema inicial.

### **D. Teste de unidade**

Os(as) estudantes realizam um teste (avaliação) da unidade (ex: velocidade constante) desenvolvida na atividade, e devem utilizar seus modelos desenvolvidos para argumentar e resolver problemas relacionados ao fenômeno estudado.

Feitas essas considerações acerca da IpM, buscamos utilizá-la em uma atividade na qual a situação problema é baseada no funcionamento de um LED. Assim, nossa proposta é que os(as) estudantes, através dos ciclos de modelagem, utilizem uma agenda pedagógica elaborada pelo professor, para desenvolver seus modelos mentais, a fim de responder o problema inicial que é: como identificar e relacionar as variáveis físicas envolvidas no acendimento de um LED? Vamos nos basear em cada fase dos ciclos de modelagem para desenvolver a atividade que será descrita mais à frente neste trabalho.

## 2.4 IpM no Brasil: uma revisão da literatura

A instrução por Modelagem, como já foi mencionada neste trabalho, teve grande repercussão nos Estados Unidos. Neste tópico, estamos interessados em discutir como se deu sua disseminação a nível nacional, pois como desenvolvemos uma sequência de ensino utilizando esta metodologia, é importante termos conhecimento de como ela está sendo trabalhada no país. Para tanto, realizamos pesquisas em diferentes bancos de dados, e os trabalhos identificados serão discutidos a seguir. Contudo, trazemos o Quadro 1, identificando os trabalhos que encontramos, seguindo o que está descrito no capítulo sobre a metodologia utilizada em nossa pesquisa.

Quadro 1: Trabalhos encontrados na pesquisa bibliográfica realizada a nível nacional.

	Autor(a) / Ano	Título	Tipo de trabalho
1	Souza e Santo (2017)	A teoria da modelagem de David Hestenes no ensino de ciências e matemática	Artigo
2	Souza e Rozal (2016)	Instrução por modelagem de David Hestenes: uma proposta de ciclo de modelagem temático e discussões sobre alfabetização científica	Artigo
3	Silva; Dantas e Freire (2021)	Estudo da termodinâmica no ensino médio por meio da modelagem Científica e ciclos de modelagem	Artigo
4	Silva e Ataíde (2020)	Instrução por modelagem de David Hestenes: um olhar categórico sobre as publicações realizadas na área	Artigo
5	Souza (2016)	Registros de representação em instrução por modelagem	Artigo
6	Heidemann; Araujo e Veit (2012)	Ciclos de modelagem: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de Física	Artigo

7	Heidemann; Araujo e Veit (2016)	A Integração de atividades Teóricas e Experimentais no Ensino de Física através de Ciclos de Modelagem: Um Estudo de Caso Exploratório no Ensino Superior	Artigo
8	Heidemann; Araujo; Veit e Silveira (2013)	Um ciclo de modelagem sobre a lei de resfriamento de newton	Artigo
9	Souza (2024)	Competências ao letramento científico emergentes em ciclos de modelagem	Artigo
10	Heidemann; Araujo e Veit (2016)	Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica: Uma alternativa para a ressignificação das aulas de laboratório em cursos de graduação em física	Artigo
11	Silva e Dorneles (2017)	O processo de modelagem científica no laboratório didático de Física da Educação Básica	Artigo
12	Souza (2016)	Instrução por Modelagem ( <i>Modelling Instruction</i> ): percepções docentes	Artigo
13	Souza (2021)	Efeitos de um ciclo de modelagem no contexto do ensino de Física	Artigo
14	Heidemann; Araujo e Veit (2013)	Um estudo exploratório sobre atividades experimentais para graduandos de fisica focadas no processo de modelagem científica	Artigo
15	Corrallo; Junqueira e Schuler (2018)	Ciclo de Modelagem associado à automatização de experimentos com o Arduino: uma proposta para formação continuada de professores	Artigo
16	Heidemann; Araujo e Veit (2018)	Dificuldades e avanços no domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica: um estudo de caso em uma disciplina de física experimental	Artigo
17	Heidemann; Araujo e Veit (2017)	Um estudo de caso explanatório sobre o desenvolvimento de atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica para o ensino de Física	Artigo
		Um estudo sobre indícios de aprendizagem significativa em atividades experimentais com	Artigo

18	Silva; Dornelles e Heidemann (2020)	enfoque no processo de modelagem científica no ensino médio	
19	Santos; Corrallo e Santos (2025)	Explorando a proporcionalidade por meio da modelagem com pluviômetro de báscula automatizado	Artigo
20	Andrade e Corrallo (2022)	Reflexões acerca de um curso de formação continuada docente sobre o Arduino e o ensino de física ofertado na modalidade de ensino remoto emergencial	Artigo
21	Santos (2014)	Uma proposta de uso de modelização no ensino de Física com turmas do primeiro ano do ensino médio	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)
22	Franco (2018)	Modelagem matemática e simulação computacional como estratégias de ensino-aprendizagem aplicadas em um ciclo de modelagem	Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização)
23	Rampeloti (2022)	Uma proposta de sequência didática com o uso de modelagem computacional sobre o tema “doenças contagiosas” para o ensino médio	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)
24	Gonsalves (2017)	O software de modelização <i>Insight Maker</i>	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)
25	Stievem (2016)	Uma proposta para o ensino do modelo do gás ideal em turmas de segundo ano do ensino médio	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)
26	Martendal (2018)	Uma proposta para o ensino de força magnética sobre cargas com o tema auroras polares orientada pela teoria de modelagem de Hestenes	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)
27	Alves (2019)	Modelagem matemática como proposta de metodologia ativa através do ciclo de modelagem de Hestenes	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)
28	Silva (2019)	As leis da Termodinâmica com abordagem da Modelagem Científica de Mario Bunge e uma sequência de Ciclos de Modelagens de David Hestenes desenvolvida em uma turma do ensino médio na cidade de Acopiara.	Dissertação (Mestrado)
29	Fonseca Neto (2021)	Ciclos de modelagem integrados a recursos tecnológicos: uma proposta para o ensino de sistemas de massa mola em aulas remotas.	Dissertação (Mestrado)

30	Ezequiel (2016)	Análise de perfil conceitual em ciclos de modelagem: um estudo sobre o ensino do efeito doppler	Dissertação (Mestrado)
31	Kamada (2018)	Ciclos de modelagens: uma proposta com Arduíno no ensino de física	Dissertação (Mestrado)
32	Melo (2020)	Desvendando o trânsito: uma sequência didática inspirada na metodologia de episódios de modelagem para o ensino de cinemática no ensino fundamental	Dissertação (Mestrado)
33	Selau (2017)	Atividades experimentais e crenças de autoeficácia: um estudo de caso com o método episódios de modelagem	Dissertação (Mestrado)
34	Wagner (2020)	Uma Proposta de Sequência Didática para a Discussão de Conceitos Relacionados à Cinemática e Dinâmica Através da Modelização no Primeiro Ano do Ensino Médio	Dissertação (Mestrado)
35	Souza (2018)	Modelagem matemática gerando ambiente de alfabetização científica: discussões no ensino de física	Tese (Doutorado)
36	Heidemann (2015)	Ressignificação das atividades experimentais no ensino de física por meio do enfoque no processo de modelagem científica	Tese (Doutorado)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Observando o Quadro 1 podemos perceber que nos últimos anos a quantidade de trabalhos que estão relacionados com a Instrução por Modelagem vem crescendo consideravelmente, o que pode caracterizar que essa metodologia pode ser uma boa alternativa para o ensino de Física, adiante vamos discutir um pouco sobre esses trabalhos.

Encontramos duas teses a nível de doutorado em que a IpM foi a metodologia adotada. Em Souza (2018), o autor descreve que a utilização da Instrução por Modelagem é uma excelente alternativa para desenvolver a alfabetização científica entre os estudantes, porém a falta de experiência entre os docentes e o pouco tempo de aulas dificulta a implementação dessa metodologia.

Em sua tese, Heidemann (2015) buscou ressignificar atividades experimentais para

estudantes de graduação em Física. Neste sentido, ele utilizou a IpM como parte do seu estudo para desenvolver uma sequência de ensino. O mesmo aponta que a utilização dessa metodologia é bastante positiva no que diz respeito ao aumento da participação dos estudantes em atividades experimentais. Contudo, os desafios encontrados na educação são muitos, como tempo de sala de aula e uma melhor preparação dos professores em relação a trabalhar com novas metodologias de ensino.

A nível de mestrado, encontramos sete dissertações que utilizaram a IpM como uma metodologia norteadora. Silva (2019), se apropriou da epistemologia de Bunge para adaptar uma sequência de ensino, utilizando os ciclos de modelagem. O objetivo do trabalho foi analisar representações que os estudantes desenvolveram durante uma atividade ministrada pela autora, na qual foram utilizados quadros brancos para a representação do funcionamento do motor de uma moto, através de desenhos. O tema central da atividade foi as leis da termodinâmica e a pergunta a ser respondida durante a sequência de ensino, foi “Como funciona o motor de uma moto?”. A autora aponta que a IpM é uma metodologia com grande potencial para o estudo da termodinâmica.

Durante a pandemia, apesar de as atividades estarem acontecendo de maneira virtual, um outro trabalho de mestrado foi desenvolvido utilizando a IpM. Neste caso, Fonseca Neto (2021) realizou uma atividade utilizando como tema central o sistema massa-mola. O autor adaptou à sua sequência de ensino o aplicativo “Tracker” como uma tecnologia digital aliada à IpM. Na atividade, os estudantes analisaram grandezas físicas relacionadas ao tema central, como: oscilações, período e frequência. O trabalho aponta que a utilização da Instrução por Modelagem foi pertinente, pois auxiliou os estudantes a desenvolverem seus modelos mentais, durante os ciclos de modelagem.

Ezequiel (2016), em seu trabalho de dissertação, desenvolveu uma sequência didática com nove aulas e utilizou a IpM como metodologia para que os estudantes realizassem uma investigação acerca do efeito Doppler e a Física Ondulatória. A pergunta a ser respondida pelos estudantes durante os ciclos de modelagem foi “Como o som se propaga?”. O autor aponta que a utilização da IpM foi bastante positiva, pois auxiliou os estudantes a desenvolverem seus próprios modelos conceituais durante a sequência didática.

Selau (2017) desenvolveu um estudo exploratório com estudantes da graduação, ele estava preocupado em diagnosticar se a autoeficácia dos alunos poderia ser melhorada com a utilização de atividades seguindo as orientações da IpM. O autor aponta que com a utilização da metodologia os estudantes se mostraram mais confiantes em realizar as atividades experimentais, o que aumentou a motivação deles a realizarem a atividade proposta. Com isso,

o trabalho corrobora com outros autores, pois ressalta como a IpM pode ser uma ferramenta positiva em aulas de Física.

Kamada (2018) desenvolveu uma atividade envolvendo Arduíno e os ciclos de modelagem. O autor combinou alguns conteúdos de Termodinâmica, Eletricidade e Calorimetria. Os resultados apontados foram positivos, pois segundo o autor os estudantes mostraram um crescimento na aprendizagem durante os ciclos de modelagem.

Outro autor que relaciona uma tecnologia digital aos ciclos de modelagem foi Wagner (2020). No trabalho foi utilizado o *software Modellus*, que serviu para a coleta de dados referentes às grandezas físicas presentes em uma corrida de 100 metros rasos. Os estudantes realizaram uma investigação passando pelos estágios dos ciclos de modelagem, como: descrição, formulação, ramificação e validação. O trabalho traz aspectos positivos quanto aos dois primeiros estágios, entretanto quanto ao terceiro e quarto estágios o autor aponta alguns equívocos por parte dos estudantes e afirma que alguns elementos destes estágios não apareceram com frequência durante os ciclos .

Diferente de autores anteriores, Melo (2020) desenvolveu uma atividade utilizando a IpM baseada no trabalho de Heidemann (2015) que por sua vez é baseado nos ciclos de modelagem de Hestenes, em uma turma do ensino fundamental. A autora trabalhou com as grandezas físicas relacionadas ao trânsito, como: posição, velocidade, referencial, entre outras. O trabalho traz evidências que com o uso da modelagem os estudantes desenvolveram uma aprendizagem significativa, a autora usa esse termo, pois utilizou como referencial teórico o autor David Ausubel. Assim, o trabalho contribui de forma positiva para a utilização dos ciclos de modelagem.

Nesta pesquisa, encontramos sete Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) que fazem menção ao uso da Instrução por Modelagem, sendo seis a nível de graduação e um a nível de especialização. Santos (2014) desenvolveu uma sequência didática utilizando a IpM como metodologia, associando-a ao uso de uma tecnologia digital, o aplicativo Modellus. O tema central da sequência foi o plano inclinado e a pergunta norteadora que os estudantes responderam durante os ciclos de modelagem foi “Como as coisas caem?”. O autor aponta que a utilização dos ciclos de modelagem auxiliaram na modelização conceitual realizada pelos estudantes.

É perceptível que alguns trabalhos buscam realizar uma ligação da IpM com tecnologias digitais, como Franco (2018), que aliou uma simulação computacional ao uso da Instrução por Modelagem. O problema proposto na atividade foi sobre como descrever a órbita de estrelas próximas a um buraco negro. A atividade foi realizada com estudantes em nível de

graduação. O autor buscou associar a IpM à Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e afirma que, a partir dos indicadores observados, houve aprendizagem significativa. Stievem (2016) também trabalhou com simulação computacional, mas, neste caso, abordando conceitos da termodinâmica. Ele aponta que os resultados foram positivos quanto à compreensão dos estudantes sobre a modelização, porém o autor relata que estes apresentaram muita dificuldade ao relacionar os modelos a novos contextos.

Outro trabalho que buscou unir a IpM com novas tecnologias digitais é o de Gonsalves (2017), que utilizou o *insight maker* para desenvolver uma atividade envolvendo os ciclos de modelagem. A autora aponta que o software contemplou todas as fases dos ciclos de modelagem e isso é um indicativo de que a IpM pode ser desenvolvida aliada a uma tecnologia digital.

Rampeloti (2022) também utilizou o software *insight maker* para desenvolver uma atividade seguindo as fases dos ciclos de modelagem. O autor utilizou como motivação a Pandemia da Covid-19 e desenvolveu nove aulas para modelar quatro cenários de transmissão de doenças. O autor afirma que trabalhar com a modelização ajuda os estudantes a relacionarem um modelo a uma situação-problema real.

Um dos trabalhos de TCC encontrado fez uma discussão para avaliar se a IpM poderia ser considerada uma metodologia ativa. Neste caso, Alves (2019) chegou a conclusão que esta metodologia poderia sim ser enquadrada no rol das metodologias ativas, pois durante os ciclos de modelagem os estudantes assumem um papel dinâmico e autônomo no desenvolvimento das atividades. A autora ministrou oficinas nas quais os estudantes realizaram uma investigação sobre o comportamento de funções matemáticas, a partir de figuras geométricas.

Martendal (2018) trabalhou auroras polares, a partir dos ciclos de modelagem. A autora traz a importância da modelização em Física e busca orientar os estudantes sobre o papel da ciência na sociedade. O trabalho traz uma contribuição sobre a importância de os estudantes relacionarem fenômenos físicos à vida real.

Identificamos, além das teses, dissertações e TCCs, artigos que também utilizavam a IpM como metodologia a ser investigada. Conseguimos encontrar vinte artigos de autores(as) brasileiros(as) que desenvolveram atividades ou fizeram alguma pesquisa bibliográfica acerca da metodologia. Souza e Santo (2017) realizaram uma pesquisa bibliográfica em âmbito nacional sobre a utilização da IpM. Os autores dialogam com alguns trabalhos que encontraram em sua pesquisa e apontam que a metodologia se mostra eficiente quanto à promoção da argumentação durante os ciclos de modelagem.

Souza e Rozal (2016) realizaram uma investigação, a fim de verificar se com o uso da

InSTRUÇÃO por modelagem os estudantes poderiam desenvolver em seu repertório teórico aspectos relacionados à Alfabetização Científica (AC). Os autores constataram que existem indicadores de que com o uso da IpM a AC pode ser desenvolvida durante os ciclos de modelagem. Tal constatação se deu a partir de uma atividade que eles desenvolveram e aplicaram em uma turma.

Silva, Dantas e Freire (2021) fizeram uma adaptação de uma dissertação já mencionada neste subtópico (Silva (2019)), e a transformaram em artigo. O tema central da atividade realizada foi o funcionamento do motor de uma moto e, através dos ciclos de modelagem, os estudantes elaboraram modelos mentais para representar o funcionamento deste dispositivo, por meio dos desenhos em quadros brancos.

Silva e Ataíde (2020) realizaram uma pesquisa bibliográfica e, como os(as) autores(as) anteriores, também constataram que a IpM ainda é pouco investigada no Brasil. As autoras reconhecem que existe um número crescente de trabalhos relacionados à InSTRUÇÃO por Modelagem, contudo a maioria destes trabalhos é teórico e apontam que é preciso ampliar a quantidade de atividades práticas utilizando essa metodologia.

Souza (2016) realizou uma pesquisa com docentes em formação, ele desenvolveu uma atividade utilizando a IpM como metodologia norteadora para analisar os discursos dos docentes durante os ciclos de modelagem. O problema que norteou a atividade foi como os participantes poderiam calcular o peso de uma folha de papel A4. Ao final da atividade, o autor considera os ciclos de modelagem como uma prática eficaz no que diz respeito à argumentação dos estudantes.

Heidemann, Araujo e Veit (2012) desenvolveram uma atividade utilizando os ciclos de modelagem associados ao uso de simulações computacionais com estudantes do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. A atividade consistia em os estudantes desenvolverem um modelo para evidenciar as limitações da lei de resfriamento de Newton. Em outro ciclo de modelagem, os estudantes desenvolveram um modelo para explicar o modelo do pêndulo simples. Os autores defendem que a experiência com os ciclos de modelagem foi proveitosa, pois os participantes se mostraram muito motivados a participarem da atividade e que a aprendizagem por parte dos estudantes durante os ciclos acontecia de forma mais sólida.

Heidemann, Araujo e Veit (2015) trouxeram os resultados de um trabalho exploratório acerca da influência de atividades experimentais com enfoque na modelagem científica com estudantes de graduação. Para isso, eles se apoiaram em uma atividade baseada nos ciclos de modelagem e descreveram que o enfoque na modelagem científica em atividades de caráter experimental gerou atitudes positivas por parte dos estudantes no que diz respeito à

experimentação.

Silva, Dorneles e Heidemann (2020), Heidemann, Araujo e Veit (2018) e Heidemann, Araujo e Veit (2016) corroboram com Heidemann, Araujo e Veit (2015), pois os autores realizaram atividades utilizando a Modelagem Científica (MC) como metodologia central em atividades experimentais. Em todas essas pesquisas os autores perceberam que a utilização da IpM gerou atitudes positivas no que diz respeito à participação dos estudantes nas práticas experimentais, além disso, eles perceberam que os alunos conseguiram solucionar as situações-problema a partir da MC.

Heidemann, Araujo e Veit (2017) desenvolveram uma atividade utilizando como referencial metodológico a Modelagem Didático-Científica de Brandão, Araujo e Veit (2011), que é inspirada nos ciclos de modelagem de Hestenes. A atividade foi ministrada a cinco estudantes do ensino superior, de uma disciplina de práticas experimentais. Os autores alegam que os estudantes não demonstraram afínco às atividades e tiveram bastante dificuldade em relacionar os modelos teóricos presentes em sua investigação com a experimentação.

Corrallo, Junqueira e Schuler (2018) trazem uma discussão acerca da inserção dos ciclos de modelagem associados ao uso do Arduino. O artigo traz um relato de experiência de uma atividade em um curso de extensão universitário com professores da educação básica e estudantes universitários. Foi realizada uma atividade em que os cursistas participantes desenvolveram projetos utilizando o Arduino associado aos ciclos de modelagem. Os autores apontam que os cursistas participantes tiveram uma boa impressão da metodologia associada às novas tecnologias, todavia enfatizaram que alguns desafios são importantes de serem destacados, como a forma tradicional dos cursos universitários e também o pouco tempo de aulas de Física na educação básica.

Durante a Pandemia Andrade e Corrallo (2022) desenvolveram uma atividade muito semelhante a atividade desenvolvida por Corrallo, Junqueira e Schuler (2018), mas de forma remota, já que estávamos em meio ao distanciamento social, e com a inserção do simulador *Tinkercad*. Os autores apontaram que obtiveram bons resultados, nos quais os estudantes valorizaram a utilização da metodologia empregada. Além destes, o trabalho de Santos, Corrallo e Santos (2025) também aliou o uso do Arduíno aos ciclos de modelagem. Estes autores apresentam resultados satisfatórios quanto à aceitação e participação dos estudantes nas atividades.

Outro trabalho que relacionou os ciclos de modelagem às novas tecnologias digitais foi o de Heidemann, Araujo, Veit e Silveira (2013). Os autores apresentaram resultados relevantes quanto à utilização da IpM associada ao uso do *Software Modellus* para o estudo do

resfriamento de Newton.

Com essa investigação, percebemos que há um número ainda pequeno de trabalhos que tratam da IpM como metodologia de ensino no Brasil. Contudo, é importante salientar que nos últimos anos essa quantidade de trabalhos vem aumentando significativamente e todos os resultados apontam que esta metodologia é promissora para o ensino de ciências/ matemática.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO EM FÍSICA

#### 3.1 O átomo

A estrutura da matéria é objeto de questionamento da humanidade desde tempos muito remotos, compreender como as coisas são feitas sempre intrigou os pensadores. Conforme registros históricos, é provável que os gregos tenham sido os primeiros a propor a ideia da existência de uma partícula elementar que constitui toda a matéria conhecida e a chamaram de átomo (Porto, 2013). O atomismo, portanto, constituiu-se por uma doutrina filosófica grega que surgiu no século V a.C e foi seguida por diferentes filósofos gregos, dentre eles: Leucipo, Demócrito, Empédocles e Epicuro (Rocha, 2015). Todos estes compartilhavam a ideia de que o átomo consistia em uma partícula indivisível.

O atomismo grego atravessou muitos séculos sem grandes reformulações. Filósofos naturais, como Isaac Newton, acreditavam na corpuscularidade fundamental da matéria, concepção bastante semelhante à filosofia atomista. No entanto, apesar de ter sido uma filosofia adotada por um longo período, o conceito de átomo passou por importantes transformações nos últimos séculos (Marchesi; Custódio, 2023).

Apenas no início do século XIX é possível perceber propostas um pouco diferentes para o modelo atômico. Para o físico e químico britânico John Dalton, os átomos seriam as partículas últimas de todas as substâncias, sendo iguais em tamanhos e pesos, quando as substâncias eram iguais. Neste sentido, influenciado por diferentes estudos quantitativos de sua época, Dalton definiu a ideia de molécula como sendo a combinação destes diferentes átomos (Rocha, 2015). Em seu modelo, segundo Melzer e Aires (2015, p. 67), o átomo consistia em: “um corpúsculo esférico de tamanho variável que era envolvido por uma “atmosfera”, denominada de calórico (heat), responsável pela atração e repulsão entre os elementos, medido e variável entre diferentes elementos químicos e quantificado através do valor de calor específico”. Dessa forma, o modelo de Dalton, hoje conhecido como modelo da bola de bilhar, conseguiu explicar fenômenos de sua época e perdurou por algum tempo.

Outro importante físico inglês e amplo conhecedor dos trabalhos de Dalton foi Joseph John Thomson. Por volta de 1897, ele também desenvolveu uma relevante teoria atômica para sua época. Conforme Valadares, Chaves e Alves (2005), Thomson propôs a hipótese de que as partículas de raios catódicos, posteriormente denominadas de elétrons, moviam-se ao redor de uma nuvem desprovida de massa, mas que continha carga positiva, de modo que esta configuração seria eletricamente neutra. Este modelo atômico ficou conhecido como “pudim

com massas”, mas ao contrário do modelo de Dalton, não perdurou por muito tempo. Apesar disso, Thomson recebeu o prêmio Nobel em 1906 por suas pesquisas que resultaram na descoberta do elétron (Lopes, 2009).

Ernest Rutherford, um físico britânico que assim como Thomson também trabalhou no Laboratório Cavendish, na Inglaterra, mostrou, através da realização de experimentos com finas folhas de ouro, que o modelo de Thomson tinha alguns problemas. Desse modo, ele desenvolveu um modelo atômico, no qual átomo possuía um pequeno núcleo com carga positiva e em seu entorno apenas alguns elétrons, algo parecido com o sistema solar. Contudo, este modelo ainda apresentava problemas, pois conforme a teoria eletromagnética os elétrons em movimento circular deveriam perder energia e assim espiralar até o centro do átomo, fazendo-o colapsar (Rocha, 2015).

Niels Henrik David Bohr (1885 - 1962) também deu sua contribuição, propondo mais um modelo para tentar descrever o comportamento do átomo. Mas, neste caso, ele se apoiou nas ideias de quantização da luz que começaram a ser desenvolvidas no início do Século XX. Bohr defendeu que as leis da Física que descrevem o mundo macroscópico não se aplicam da mesma forma quando tratamos de dimensões atômicas. Desse modo, ele propôs que o único elétron presente no átomo de hidrogênio só poderia ocupar certas órbitas circulares que estão associadas a um número inteiro ( $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$ ) e a emissão de um fóton (partícula de luz com massa zero) seria possível apenas quando este elétron passasse de uma órbita de maior energia para uma órbita de menor energia. A energia desse fóton seria igual a diferença de energia entre estas duas órbitas e a absorção da luz se daria pelo processo inverso. Com isso, temos que o espectro de luz emitido e absorvido por um átomo funciona de forma discreta, em que as linhas espectrais dependem da quantidade de energia recebida ou cedida por este átomo. Deste modo, quando um átomo emite um fóton, a frequência da luz emitida dependerá dessa diferença de energia entre as órbitas. Ou seja, o que definirá a cor da luz que será transmitida ao final deste fenômeno é justamente a quantidade de energia necessária para que o elétron consiga realizar o salto quântico (Nusseizveig, 2014).

O modelo atômico elaborado por Bohr foi estendido por Arnold Sommerfield. Sua proposta era de que as órbitas ao invés de circulares eram elípticas. Isso era possível, pois como a lei de interação entre os elétrons e núcleo é inversamente proporcional ao quadrado da distância, órbitas elípticas eram previsíveis. Dessa forma, Sommerfield foi capaz de explicar a estrutura fina das linhas espectrais do hidrogênio. Além disso, previu a existência de outro número quântico. No entanto, ambos os modelos foram alvos de inúmeras críticas, especialmente por não serem capaz de descrever átomos com um número maior de elétrons e

estarem vinculados a ideia de salto quântico, que ainda não era amplamente aceita pela comunidade de físicos da época (Marchesi; Custódio, 2023).

Baseando-se na ideia de quantização da luz por meio dos fótons, em 1912, o físico francês Louis de Broglie iniciou uma série de especulações sobre a possibilidade de os elétrons, que até então eram considerados corpúsculos, pudessem ser também representados como ondas, uma vez que os números inteiros associados a estas partículas talvez estivessem ligados aos estados estacionários, assim como ocorrem com os modos normais de vibração de uma onda (Nusseizveig, 2014). Desse modo, de Broglie foi capaz de encontrar uma equação para o comprimento de onda do elétron, em função de sua energia.

As ideias de de Broglie não tiveram muita repercussão quando foram publicadas, mas alguns anos adiante, mais precisamente em 1926, o físico austríaco Erwin Schrödinger, que tinha uma ótima formação em física matemática, resolveu obter a equação de onda para a onda de matéria de de Broglie, iniciando pelas ondas estacionárias de energia  $E$ . Posteriormente ele percebeu que seria possível obter uma mecânica ondulatória, partindo de uma analogia com a Hamiltoniana do sistema. Desse modo, para o caso que  $\Delta$  representa uma derivada segunda da função onda do sistema e  $(\mathbf{X})$  é um vetor em três dimensões, Schrödinger obteve,

,

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + V(\mathbf{x}) \psi = E \psi(\mathbf{x}) , \quad (01)$$

em que,

$$\hbar \equiv \frac{h}{2\pi} \approx 1,0546 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \approx 6,582 \times 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

A equação (01) é conhecida como equação de Schrödinger para estados estacionários com energia  $E$ , quando o sistema está sujeito a um potencial  $V(\mathbf{X})$  (Nusseizveig, 2014). Se esse sistema, por exemplo for o átomo de hidrogênio, o potencial será:

$$V(\mathbf{x}) = -\frac{q^2}{r} . \quad (02)$$

A entidade matemática  $\Psi$ , que surge na equação de Schrödinger, a priori, não tem interpretação física. É o físico Max Born que vai sugerir uma interpretação para ela. Tomando

como referência a teoria eletromagnética para a luz, em que o quadrado da amplitude da onda está relacionado à probabilidade de encontrar o elétron naquela região do espaço, Born propõe que o quadrado da função de onda de um sistema de  $N$  partículas fornece a probabilidade de encontrar estas partículas em um determinado ponto do espaço que está sendo analisado (Eisberg; Resnick, 1979).

A partir da equação de Schrödinger (Equação 01) e da interpretação proposta por Max Born, o átomo de hidrogênio passou a ser descrito por uma estrutura cuja carga positiva se concentrava em seu centro e o elétron se distribuía ao seu redor, como uma nuvem esférica, que apresentava maior densidade nas regiões de maior probabilidade, previstas através da função de onda. Este modelo concordou com a proposta de Bohr para o átomo de hidrogênio, mas ainda foi além, uma vez que foi capaz de descrever a dinâmica de átomos com mais de um elétron e considerar a existência das ligações químicas e moléculas, sendo atualmente o modelo atômico admitido pela comunidade científica (Custódio; Gomes; Martins, 2018).

### 3.2 Estrutura de Bandas

A equação de Schrödinger apesar de ser aparentemente simples, torna-se extremamente difícil de ser resolvida para átomos não hidrogenóides. O átomo de Hélio, por exemplo, que contém apenas dois elétrons, já não possui solução analítica a partir desta equação, sendo resolvido apenas numericamente (Griffths, 2005).

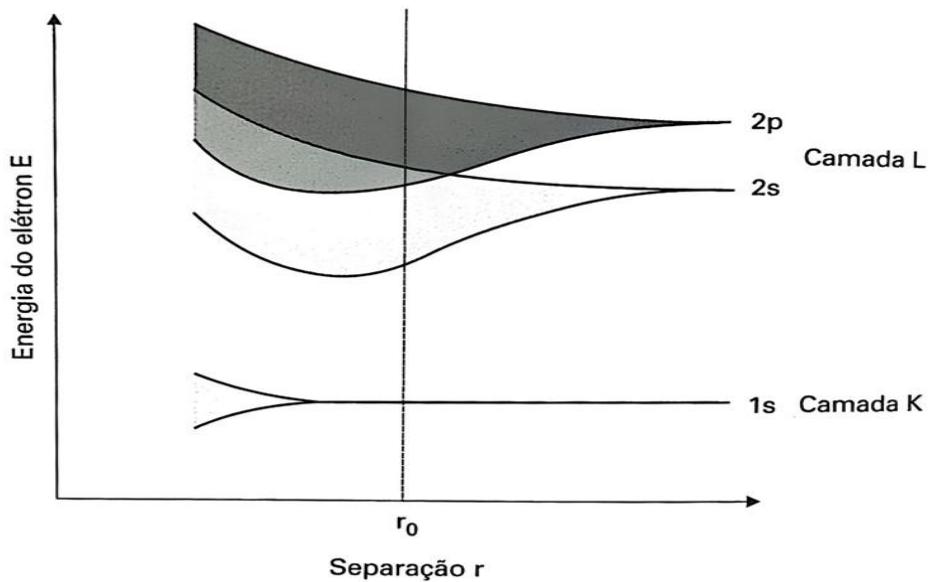
Para átomos com muitos elétrons ( $Z$  elétrons), é possível encontrar uma solução aproximada, a partir da teoria de campo médio de Hartree. Nesta teoria, analisá-se a princípio apenas um elétron interagindo com o núcleo e os demais elétrons ( $Z-1$  elétrons). Após encontrar a função de onda para este elétron, o procedimento é repetido para os demais, até que as diferenças entre as funções de onda encontradas nos ciclos sucessivos sejam insignificantes (Rezende, 2015). Uma vez conhecidos os orbitais atômicos, os elétrons passam a ser distribuídos a partir do estado de menor energia, respeitando o princípio de exclusão de Pauli, que vai impedir que dois elétrons ocupem o mesmo estado, ou seja, que tenha os mesmos números quânticos. Essa distribuição eletrônica explica os diferentes níveis de energia em um átomo, que estão diretamente associados às linhas espectrais obtidas para as diferentes espécies atômicas.

É evidente o grau de dificuldade para se resolver a equação de Schrödinger quando estamos trabalhando com um átomo que tenha muitos elétrons. Esta dificuldade se acentua ainda mais quando se trata de um sólido, que possui uma quantidade de átomos da ordem de

$10^{23}/\text{cm}^3$ , todos eles sendo constituídos de diversas cargas com naturezas diferentes (Oliveira; Jesus, 2011). No entanto, a compreensão desses sistemas a partir da escala atômica nos leva a caracterização dos materiais quanto à sua condutividade elétrica, discriminando-os como condutores, isolantes e semicondutores.

Em um sólido com estrutura cristalina, um número muito grande de partículas passam a interagir, o que faz com que suas funções de onda se superponham. O resultado é que não se observa mais os níveis discretos e sim uma estrutura contínua, separada por *gaps* de energia, que seriam regiões onde não existem estados eletrônicos ocupados. Por isso, quando nos referimos aos sólidos, não falamos em níveis de energia e sim bandas de energia. A Figura 2 ilustra o que ocorre com a distribuição eletrônica do material, é como se houvesse um alargamento dos estados eletrônicos, para comportar todos os elétrons, ao mesmo tempo respeitando o princípio da exclusão de Pauli. O grau de superposição das funções de onda eletrônica irá definir o alargamento das bandas.

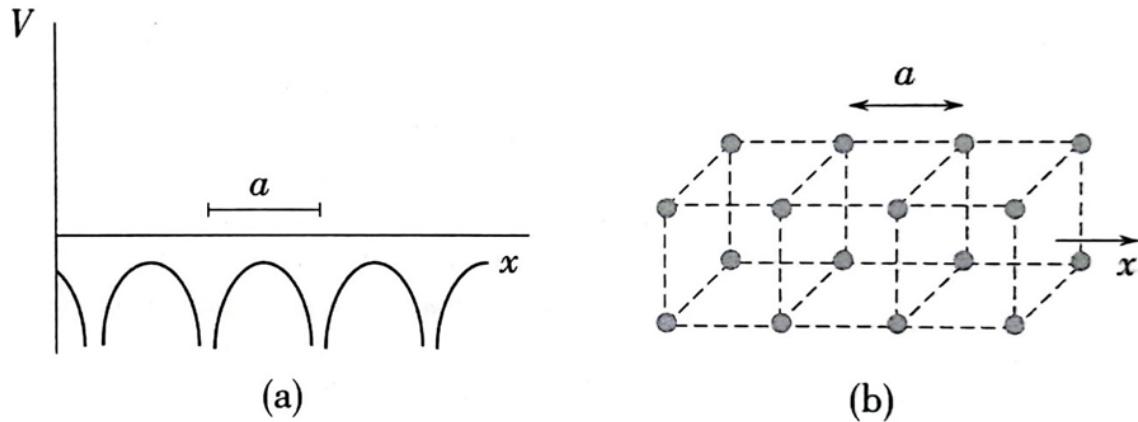
Figura 2: Alargamento dos níveis de energia e formação das bandas de energia.



Fonte: Oliveira e Jesus (2011).

Do ponto de vista do formalismo matemático, as bandas irão surgir a partir da interação dos elétrons com o potencial periódico da rede cristalina, que resulta em um espectro de energia com regiões permitidas (as bandas) e regiões proibidas (os *gaps*), definindo, respectivamente, as energias que os elétrons podem e que não podem assumir (Kittel, 2016). Na Figura 3 é mostrada qualitativamente como seria esse potencial e sua relação com a rede cristalina.

Figura 3: Potencial periódico hipotético de uma rede cristalina.

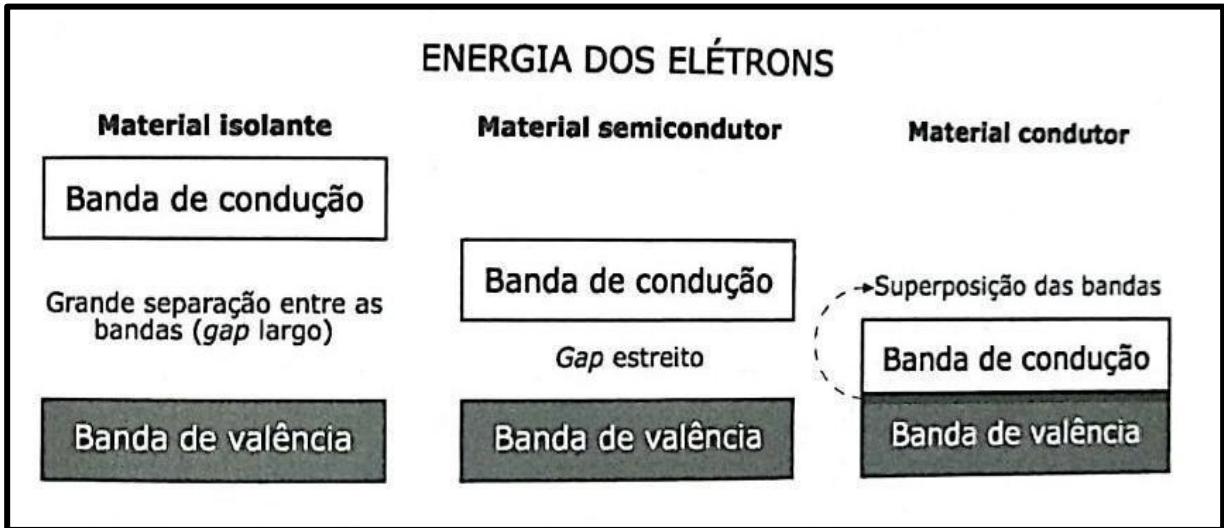


Fonte: Kittel (2016).

Mesmo em se tratando de bandas de energia e não mais níveis de energia, os elétrons irão continuar ocupando os níveis mais fundamentais, respeitando o princípio de exclusão de Pauli. Desse modo, na medida em que uma banda fica completamente cheia, os elétrons passam a ocupar a seguinte (Valadares; Chaves; Alves, 2005). Dizemos que, em 0k, a última banda totalmente cheia é chamada de banda de valência, e a subsequente vazia, banda de condução. Assim, a “distância” entre o ponto mais baixo da banda de condução e o ponto mais alto na banda de valência informará o tamanho do *gap* de energia (Kittel, 2016).

A condutividade elétrica de um material estará relacionada a sua capacidade de permitir que um elétron transite da banda de valência para a banda de condução. Isto, obviamente, dependerá do tamanho do *gap* de energia entre estas bandas. Para materiais isolantes, o *gap* de energia é tão grande que os elétrons não conseguem ir de uma banda para a outra. No caso dos condutores, a situação é o extremo oposto, não há separação entre as bandas de valência e condução, de tal modo que os elétrons podem transitar quase que livremente pelo material. Por fim, os materiais semicondutores revelam uma situação intermediária entre estes dois últimos citados, apresentando um *gap* pequeno que pode ser superado a partir da aplicação de um campo elétrico externo sobre o material. A Figura 4 ilustra estas assertivas.

Figura 4: Representação das bandas de energia, de diferentes tipos de materiais.



Fonte: Valadares; Chaves; Alves, 2005.

Os materiais semicondutores são extremamente interessantes para a indústria eletrônica, pois a partir deles é possível construir diferentes dispositivos eletrônicos que podem controlar os circuitos elétricos, por meio da diferença de potencial aplicada ao sistema, grandeza física demasiadamente simples de ser manipulada. No próximo tópico eles serão abordados em maior profundidade.

### 3.3 Semicondutores

Nos dias atuais utilizamos dispositivos eletrônicos em várias atividades cotidianas, muitos destes dispositivos são construídos com materiais conhecidos como semicondutores. Apesar de serem muito difundidos na eletrônica, as pessoas de um modo geral não conhecem a importância destes materiais. Contudo, hoje é quase impossível pensar em uma sociedade sem as tecnologias eletrônicas, a seguir trataremos dos conceitos fundamentais dos semicondutores, como segue.

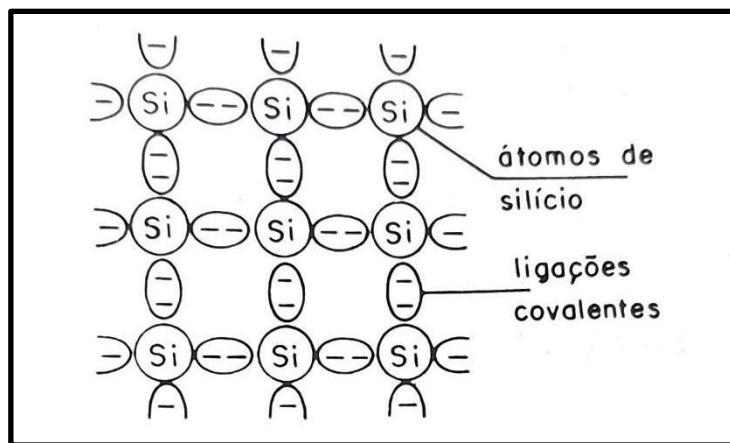
Segundo, Valadares, Chaves e Alves (2005), é praticamente impossível controlar o grande número de elétrons livres nos materiais condutores. Contudo, existem os materiais semicondutores, que podem modificar suas propriedades para se comportarem como isolantes ou condutores. Isto é possível porque eles oferecem uma enorme precisão para controlar os seus elétrons livres em áreas previamente definidas. Assim, ora um semicondutor pode se comportar como um isolante (sem a passagem de corrente elétrica), ora como um condutor (permitindo passagem de corrente elétrica).

Como já foi discutido anteriormente, os semicondutores oferecem um *gap* estreito, podendo assim ser vencido pelos elétrons, a partir de um potencial fornecido ao material. Segundo Valadares, Chaves e Alves (2005), é possível controlar a largura do *gap* a partir da introdução de impurezas no material. Neste sentido, os semicondutores são classificados em intrínsecos (puros) e extrínsecos, sendo estes caracterizados pelo processo de dopagem, que acontece quando é adicionada uma substância diferente ao material (impureza), a fim de controlar tanto as bandas de valência como as de condução (Rezende, 2015). Deste modo, é possível estimar com boa precisão a quantidade de elétrons livres no material, o que irá determinar o quanto largos ou estreitos poderão ser os *gaps*.

Segundo Valadares, Chaves e Alves (2005), o controle da quantidade de elétrons pode ser realizado de forma bastante precisa. Assim, o *gap* será estreito o suficiente para ser vencido quando submetido a uma diferença de potencial, ou largo o suficiente para que os elétrons não consigam passar da banda de condução para a banda de valência.

O material semicondutor mais utilizado na eletrônica é o Silício (Si), o mesmo é composto por uma estrutura cristalina, como podemos ver na Figura 5.

Figura 5: Representação da estrutura atômica do Silício



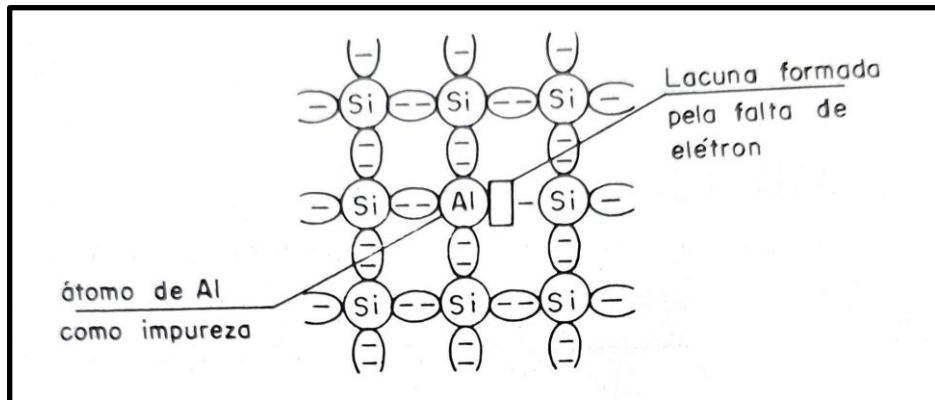
Fonte: Capuano e Marino (1998)

De acordo com Capuano; Marino (1998), o silício tem uma ligação tetravalente e a 0K não há elétrons livres ou fracamente ligados, assim o silício se comporta como um isolante, mas ao alterar sua temperatura, a agitação térmica permite o rompimento das ligações covalentes, com isso há espaço para que os elétrons sejam liberados, originando assim, lacunas ou buracos.

Para produzir um semicondutor extrínseco, precisamos adicionar uma impureza ao

semicondutor puro, como por exemplo a inserção de Alumínio (Al), uma substância trivalente, ao Silício (Si). Ao inserir o Alumínio ao Silício temos uma nova configuração na estrutura do material, assim, podemos formar o que Capuano e Marino (1998) denominam como junção tipo P e junção tipo N. Observe na Figura 6.

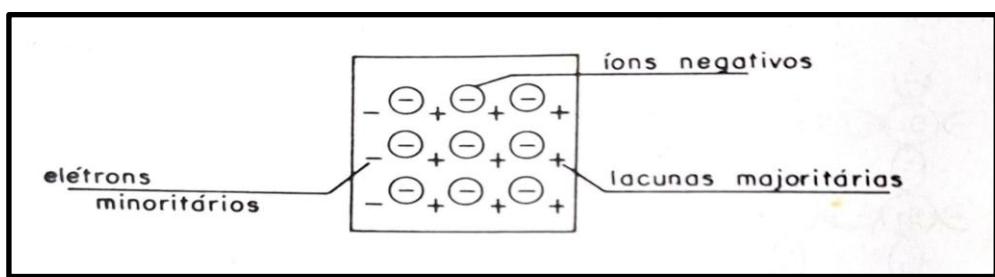
Figura 6: Impureza sendo adicionada ao Silício



Fonte: Capuano e Marino (1998)

Podemos observar três ligações completas e uma incompleta, com um espaço vazio (lacuna), assim, percebemos que falta um elétron, dando uma característica receptiva ao material, já que o mesmo terá facilidade em receber elétrons, isso se dará em toda a estrutura do material. Com isso teremos um material do tipo P, pois terá em sua maioria lacunas que, segundo Capuano e Marino (1998, p. 212), “[...] são denominadas de portadores majoritários”, estes autores ainda apontam que neste material “[...] existirão também elétrons como portadores minoritários que aparecerão pelo rompimento das ligações covalentes, provocadas pelo fornecimento de energia ao material.”. Na Figura 7, representamos um material do tipo P.

Figura 7: Material do tipo P



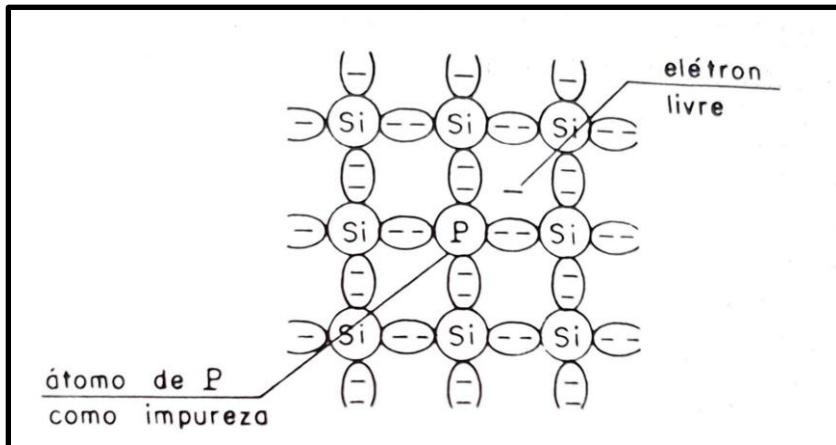
Fonte: Capuano e Marino (1998)

É possível perceber que no material do tipo P, existem cargas positivas em sua maioria, fazendo assim com que a estrutura receba elétrons das camadas de valência.

Para formar um material do tipo N, segundo Capuano e Marino (1998, p. 212), “[...]

adicionamos ao cristal de Silício impurezas pentavalentes, como por exemplo o fósforo (P).”, representado na Figura 8.

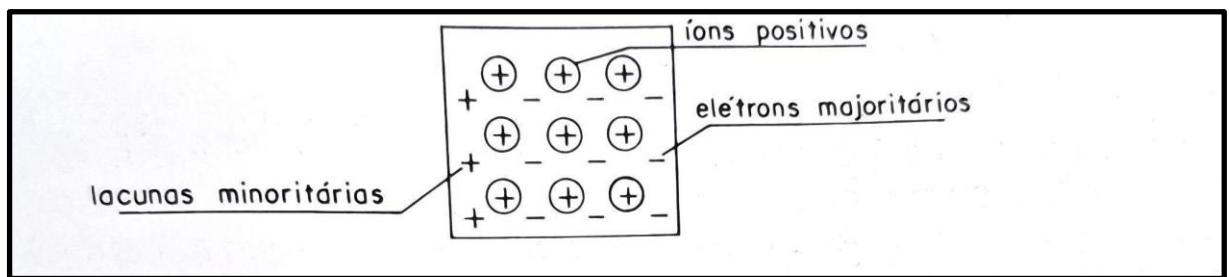
Figura 8: Representação do material do tipo N



Fonte: Capuano e Marino (1998)

Analisando a Figura 8, percebemos que existem quatro ligações completas, contudo um elétron livre e um íon positivo preso à estrutura do material. Esta configuração, diferente da anterior, tende a doar elétrons, sendo assim, doadora. O elétron que está “sobrando” será doado para que haja estabilidade no cristal. Isso vai acontecer em toda a estrutura do material. Segundo Capuano e Marino (1998, p. 212), “[...] os elétrons serão portadores majoritários e as lacunas os minoritários.”, como vemos na Figura 8.

Figura 9: Representação do material do tipo N

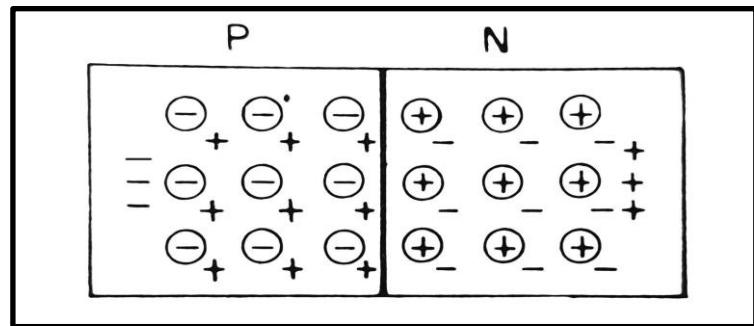


Fonte: Capuano e Marino (1998)

Com isso teremos um material do tipo N, no qual haverá um número muito grande de elétrons sobrando, podendo assim, dependendo das condições, doar estes elétrons.

Para produzir um dispositivo semicondutor, precisamos unir os materiais do tipo P e do tipo N, assim é formado o que chamamos de uma junção PN, que está ilustrada na Figura 10.

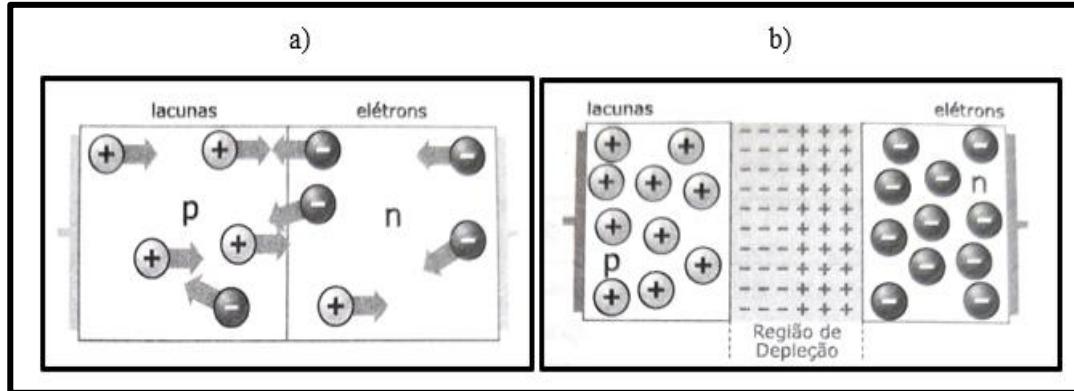
Figura 10: Representação da junção PN



Fonte: Capuano e Marino (1998)

Nesta configuração haverá um deslocamento de elétrons da região N, para a região P, do mesmo jeito haverá um deslocamento de lacunas da região P, para a região N. Com estes deslocamentos se originará uma corrente elétrica, que segundo Capuano e Marino (1998, p. 213) é chamada de “corrente de difusão”. Durante este processo, os portadores de carga (elétrons e lacunas) ao abandonarem as impurezas originam íons positivos e negativos na região da junção, que por esta razão a chamamos de junção PN. Nesta região surge o que Capuano e Marino (1998), denominam de “[...] barreira de potencial (B.P.) ou camada de carga espacial (C.C.E.)”. De acordo com a combinação entre os elétrons e as lacunas, a barreira de potencial aumenta, até alcançar o equilíbrio, que acontece quando ela é suficiente para barrar o movimento dos portadores de carga. Na Figura 11 é representada a junção PN e a barreira de potencial de um dispositivo semicondutor.

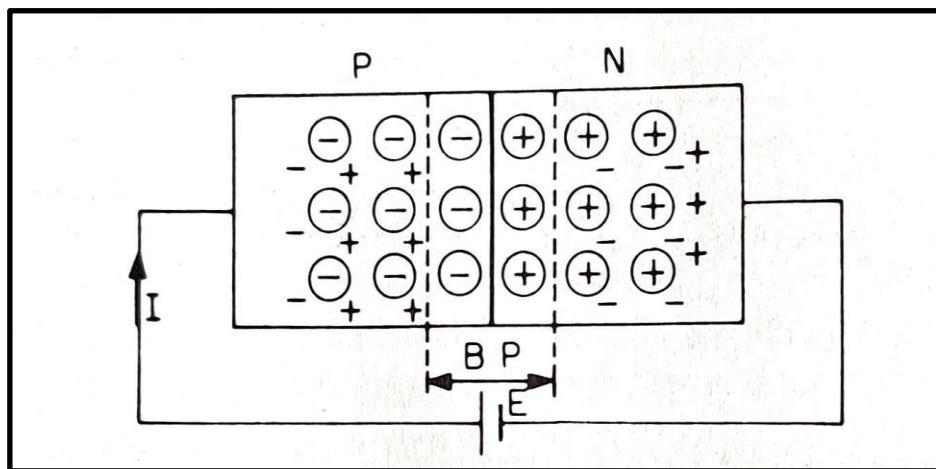
Figura 11: Barreira de potencial na junção PN. Em a) a junção está “neutra”, em b) está polarizada



Fonte: Valadares; Chaves; Alves, 2005.

Segundo Capuano e Marino (1998), existem duas formas de polarizar uma junção PN, que são: diretamente ou reversamente. No processo direto, ligamos o pólo positivo de uma fonte ao lado do material tipo P, da junção, e o negativo do lado N. Observe a Figura 12.

Figura 12: Polarização direta

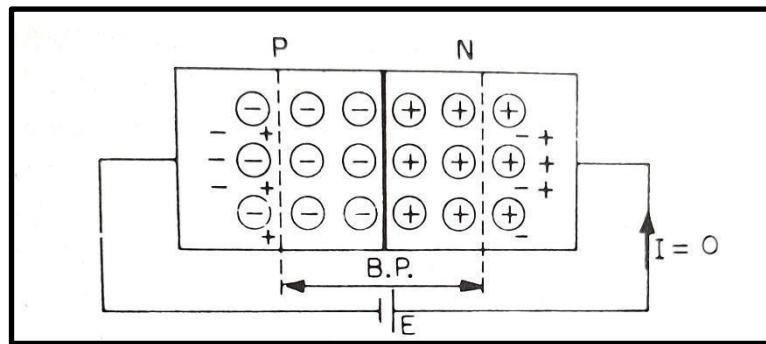


Fonte: Capuano e Marino (1998)

Quando realizamos uma polarização deste tipo, o pólo positivo atrai os elétrons livres do lado N, assim a barreira potencial é vencida, havendo então, uma corrente elétrica de elétrons, do pólo negativo, para o pólo positivo da bateria. Ao mesmo tempo desloca-se uma corrente de lacunas do pólo positivo para o pólo negativo.

Para gerar uma polarização reversa, ligamos o pólo positivo de uma fonte no lado N e o pólo negativo no lado P, do semicondutor. Observe a Figura 13.

Figura 13: Polarização reversa



Fonte: Capuano e Marino (1998)

Observamos que nesta polarização o pólo positivo da bateria atrai os elétrons e o pólo negativo atrai as lacunas, o que faz a barreira de potencial aumentar, assim não há fluxo de corrente elétrica. Contudo, existe uma corrente muito baixa devido aos portadores minoritários, e a isso Capuano e Marino (1998), chamam de “[...] Corrente de fuga, que para o semicondutor de silício é da ordem de (nA), tornando-se desprezível.[...]”. Neste caso o semicondutor se comporta como um material isolante, devido ao fato de os elétrons não conseguirem vencer ao aumento da barreira de potencial para gerar uma corrente elétrica.

### 3.4 LEDs

Neste trabalho desenvolvemos uma atividade que tem como um de seus objetivos analisar um circuito elétrico responsável pelo acendimento de um LED. Assim, é importante realizarmos um estudo sobre o funcionamento deste dispositivo, desde as primeiras ideias, até as aplicações na eletrônica nos dias atuais. Dessa forma, discutiremos neste tópico aspectos gerais sobre o LED.

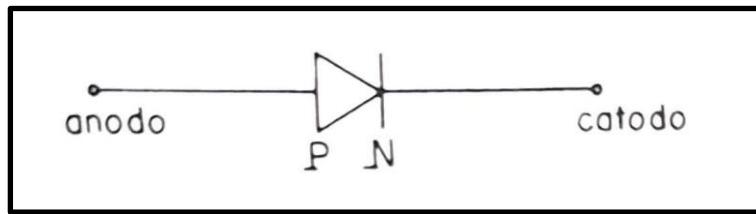
Segundo Oliveira et. al (2020), a descoberta dos LEDs está relacionada a dois nomes, Henry Joseph, que em 1907 observou a eletroluminescência de um material, usando um cristal de carboneto de silício e um detector; e o cientista russo Oleg Vladimirovitch Losev, que publicou artigos entre 1924 e 1930, descrevendo o comportamento de um LED. Losev foi mais a fundo e em seus trabalhos, discutindo o funcionamento deste dispositivo, ele chegou a se referir ao processo que acontece no LED, como “efeito fotoelétrico inverso”.

Ainda de acordo com Oliveira et. al (2020), apesar de Losev ter escrito vários artigos acerca do funcionamento dos LEDs, os trabalhos naquela época não foram desenvolvidos por outros pesquisadores, fazendo com que esta tecnologia não se desenvolvesse de maneira mais

eficaz naquelas décadas. Hoje sabemos que os LEDs são importantíssimos na eletrônica moderna e sua fabricação é realizada a partir de um dispositivo conhecido como diodo, que veremos no parágrafo que segue.

Vimos anteriormente as características de um material do tipo P e um material do tipo N. De acordo com Capuano e Marino (1998), se esses materiais forem encapsulados e conectados aos terminais corretamente, dão origem a um componente eletrônico, conhecido como diodo semicondutor ou simplesmente diodo. Sua simbologia está ilustrada na Figura 14, que segue.

Figura 14: Símbologia do Díodo

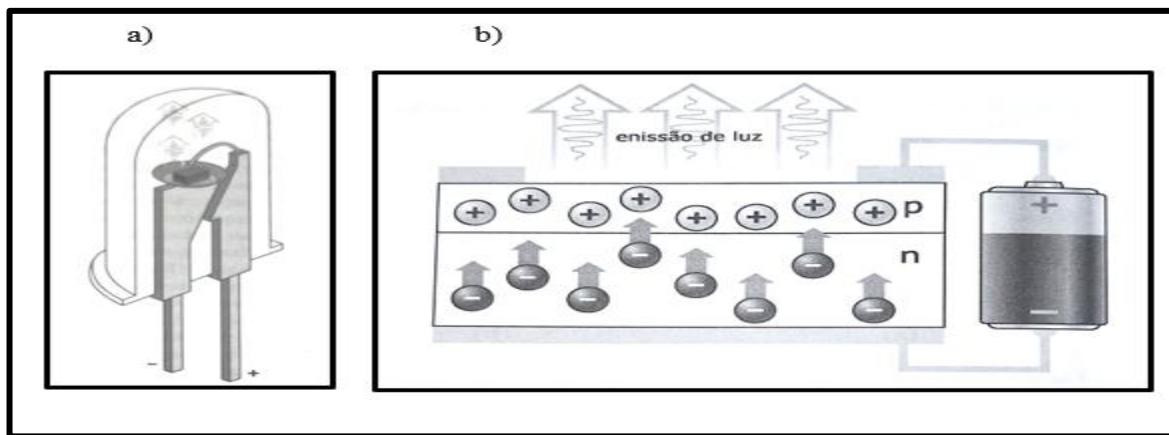


Fonte: Capuano e Marino (1998).

Conforme pode ser observado na Figura 14, que representa o diodo, e segundo Capuano e Marino (1998) “[...] o lado P da junção PN é conhecida como ânodo (A) do diodo e lado N como cátodo (K).”. Com esta configuração, percebemos que quando é realizada a polarização direta no diodo, é criada uma corrente elétrica do ânodo para o cátodo.

De acordo com Valadares, Chaves e Alves (2005), LEDs são diodos emissores de luz e se comportam como um diodo comum, a diferença é que um em um LED o processo de recombinação entre elétrons livres e lacunas, gera luz. Oliveira et. al (2020) afirmam que a transformação da energia elétrica em radiação caracteriza o funcionamento de um LED, que pode estar entre a luz visível e o infravermelho. Observe na Figura 15 a representação do funcionamento do LED.

Figura 15: Representação do funcionamento do LED



Fonte: Valadares; Chaves; Alves, 2005.

Na Figura 15 a), temos a ilustração do LED, em que podemos observar o cátodo (-) e o ânodo (+), que são os terminais metálicos, onde será ligada uma diferença de potencial que seja suficiente para vencer a barreira de potencial associada ao semicondutor presente no LED. Já na Figura 15 b), está representada a diferença de potencial associada ao circuito. Quando este potencial elétrico é suficiente para vencer a barreira de potencial da junção PN, acontece o que Valadares, Chaves e Alves (2005) chamam de “[...]processo de recombinação (aniquilamento mútuo de elétrons e lacunas)[...]" do par elétron-coluna, gerando a emissão de fôtons, e assim, luz.

Conforme já foi discutido, o LED é um dispositivo fabricado com um material semicondutor. Este material ao receber uma diferença de potencial suficiente para vencer a barreira de potencial transforma energia elétrica em radiação, que pode estar no espectro visível ou não. De acordo com Valadares, Chaves e Alves (2005), o que vai definir em que posição do espectro eletromagnético o LED vai emitir radiação, é o tamanho do *gap* do semicondutor que é utilizado na fabricação dele. Este *gap*, por sua vez, irá depender da natureza das impurezas inseridas no semicondutor. Assim, o processo de dopagem é fundamental para definir a cor que será emitida pelo LED

Segundo Rezende (2015), apenas na década de 1990 foi desenvolvida a tecnologia para a fabricação de LEDs eficientes, sendo a partir de então possível controlar o *gap* por meio do processo de dopagem. Como já foi discutido neste trabalho, quanto maior o *gap*, maior o potencial elétrico necessário para superar a barreira de potencial. Assim, cada LED terá um potencial de acionamento diferente, a depender das impurezas inseridas no material semicondutor da junção PN.

Na continuidade deste trabalho, descreveremos a metodologia desenvolvida nesta

pesquisa. Desse modo, investigaremos como os estudantes se relacionam com um circuito de acendimento de diferentes LEDs, observando seus modelos mentais iniciais em relação ao fenômeno analisado e a construção de modelos conceituais a partir destes.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Caracterização da pesquisa

Em nossa pesquisa propomos uma atividade utilizando a Instrução por modelagem como metodologia norteadora da intervenção didática, a fim de investigar se através dela é possível estimular os estudantes a identificarem e analisarem as grandezas físicas associadas ao acendimento de um LED.

Nosso objetivo foi fazer com que os(as) estudantes conseguissem reconhecer e modelar matematicamente as grandezas físicas envolvidas no fenômeno estudado, a partir da manipulação do experimento. Este experimento consistia em um circuito elétrico, equipado com um potenciômetro que controlava o acendimento de um LED.

Durante a pesquisa, buscamos inicialmente analisar artigos publicados pelo próprio autor da metodologia, o físico norte americano David Hestenes. Posteriormente, para uma melhor adaptação da IpM a nossa realidade, também procuramos trabalhos desenvolvidos no Brasil e que investigassem de alguma forma a utilização desta metodologia. Neste sentido, tomando como referência a literatura internacional, no que diz respeito à IpM, buscamos no âmbito nacional realizar uma pesquisa bibliográfica, na perspectiva de identificar trabalhos que estivessem relacionados ao problema de pesquisa ora proposto.

Como a Instrução por Modelagem surgiu nos anos 80 nos EUA, relativamente recente, realizamos uma pesquisa bibliográfica sem um recorte temporal. Com isso, buscamos em diferentes bases de dados por trabalhos produzidos sobre a temática, a nível nacional, desde o seu desenvolvimento, até os dias atuais. Neste sentido, investigamos inicialmente o catálogo de teses e dissertações da CAPES, em seguida o banco de dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, posteriormente a Plataforma Scielo e, finalmente, o Google Acadêmico; utilizando os descritores “Instrução por Modelagem” e “Ciclos de modelagem”.

No catálogo de teses e dissertações da CAPES, utilizamos “Instrução por Modelagem” e isso nos trouxe três trabalhos, sendo duas dissertações a nível de mestrado e uma tese de doutorado. Contudo, a tese não se tratava da Instrução por modelagem, para chegar a essa conclusão, realizamos a leitura do resumo dos trabalhos encontrados. Quando utilizamos o descritor “Ciclos de modelagem” a plataforma nos trouxe vinte e um trabalhos, mas apenas três deles estavam relacionados à IpM, entretanto dois desses trabalhos já tinham sido encontrados quando utilizamos o descritor “Instrução por modelagem”.

Em se tratando do banco de dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino

de Física, pesquisamos o primeiro descritor previamente definido, “Instrução por Modelagem”, mas não encontramos nenhum trabalho. Desta forma, mudamos o descritor para “Ciclos de modelagem”, a busca nos trouxe dois resultados e eram trabalhos que já tinham sido encontrados na plataforma da CAPES.

Continuando a busca, acessamos a plataforma SciELO, porém o descritor “Instrução por Modelagem” não nos trouxe nenhum trabalho. Após isso, modificamos o descritor para “Ciclos de modelagem”, porém também não foi identificado nenhum trabalho com esse descritor.

Por fim, pesquisamos no Google acadêmico. O descritor utilizado foi novamente “Instrução por Modelagem”, o que nos trouxe vinte e cinco trabalhos. Realizamos a leitura dos resumos e detectamos cinco artigos que tratavam da Instrução por modelagem. Encontramos também uma dissertação, mas que já estava no nosso banco de dados, pois a encontramos no banco de dissertações da CAPES e ainda, três Trabalhos de Conclusão de Curso. Em seguida pesquisamos por “Ciclos de modelagem”, o que nos trouxe duzentos e vinte e dois resultados. Com a leitura dos resumos, identificamos que vinte e seis deles estavam relacionados à Instrução por modelagem, sendo quinze artigos, quatro dissertações a nível de mestrado, quatro TCCs a nível de graduação e um a nível de especialização e duas teses de doutorado. Um dos TCCs já havia sido identificado com o primeiro descritor

Observamos que a quantidade de trabalhos desenvolvidos no Brasil que abordam a IpM ainda é pequena, porém é perceptível que os diferentes referenciais discriminados no Quadro 1 apresentam interessantes alternativas para se trabalhar esta metodologia em turmas do ensino básico. Além disso, o conjunto de referenciais teóricos analisados contribuiu para fundamentar melhor o desenvolvimento da sequência de ensino que será descrita adiante.

De acordo com Moreira (2018), a pesquisa básica no ensino de Física não deve ficar apenas na academia, mas sim ser transladada para a prática e isso deve ser realizado pelos professores e professoras da educação básica. Desta forma, o presente trabalho apresenta elementos da dimensão translacional, uma vez que construímos uma sequência de ensino, tomando como base a literatura, e a aplicamos no ambiente escolar. Ademais, realizamos uma análise de resultados após a aplicação dessa sequência e a materializamos sob a forma de um produto educacional, que poderá ser utilizado como ferramenta no ensino básico.

Do ponto de vista da abordagem, a nossa pesquisa é qualitativa, pois não está preocupada em quantificar, mas sim em analisar como a IpM contribuiu para motivar os(as) estudantes a realizarem uma investigação acerca do funcionamento de um LED. Minayo (2001) defende que a pesquisa qualitativa ocupa-se com os aspectos que não podem ser

quantificados e nem ser reduzidos a operacionalizações. A autora ainda ressalta que a pesquisa qualitativa está preocupada com o significado das ações e relações humanas e isso não pode ser contabilizado. Desse modo, é perceptível que nossa pesquisa tem essa abordagem, já que analisamos se a partir do uso da IpM os estudantes foram instigados a realizar uma investigação.

Em relação ao nível da pesquisa, a nossa pode ser caracterizada como exploratória, pois, Gil (2008, p. 27) aponta que “Pesquisas exploratórias são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato.”. Como nosso intuito foi analisar se a metodologia utilizada seria capaz de instigar os(as) estudantes a realizar uma investigação e, a partir de então, modelar matematicamente um fenômeno físico, caracterizamos nosso trabalho como uma pesquisa exploratória, uma vez que as relações estabelecidas nos fornecerão elementos para formular hipóteses para pesquisas futuras.

Thiollente (1986) afirma que a pesquisa-ação é um tipo de pesquisa social que relaciona a resolução de um problema coletivo, em que tanto os pesquisadores como os participantes estão envolvidos, trabalhando de forma colaborativa. Nesta perspectiva, do ponto de vista dos procedimentos técnicos, caracterizamos nosso trabalho como uma pesquisa-ação, uma vez que envolveu uma investigação que buscou modelar matematicamente um fenômeno físico, em que tanto o pesquisador como os participantes da pesquisa se envolveram na resolução do problema.

#### 4.2 PÚBLICO ALVO

A presente proposta foi desenvolvida na ESCOLA CIDADÃ INTEGRAL TÉCNICA ESTADUAL WILLIAMS DE SOUSA ARRUDA, situada na cidade de Campina Grande / PB, no Bairro dos Cuités. A turma na qual foi desenvolvida a sequência de ensino foi a 3º Série de ensino médio, que é composta por 10 (dez) estudantes, sendo 6 (seis) meninos e 4 (quatro) meninas. Esta turma já havia participado de uma atividade utilizando a metodologia em questão, quando ainda estavam na primeira série do ensino médio, o que facilitou a aplicação da sequência de ensino ora proposta.

A turma foi dividida em três grupos, contendo três alunos cada, Grupo 1 (G1), Grupo 2 (G2) e Grupo 3 (G3), os estudantes de cada grupo foram chamados de A, B e C. Assim, os estudantes do G1 foram denominados de (G1A), (G1B) e (G1C), respectivamente. Isso vale para os grupos G2 e G3. Apesar de não ter nenhum laudo que comprove alguma deficiência intelectual, uma das estudantes da turma não realiza atividades em grupo, isso se repete em

todas as outras disciplinas, com isso, ela não participou de nenhum dos estágios dos ciclos de modelagem.

A escola está situada em um bairro da zona rural, onde a economia é basicamente sustentada a partir da agricultura familiar. É uma comunidade humilde e afastada do centro industrial da cidade, com muitos desafios, sejam econômicos, educacionais ou sociais. A gestão escolar é composta pelo gestor escolar, a coordenadora administrativo-financeira e a coordenadora pedagógica, que buscam sempre gerenciar a escola da melhor forma possível, aproximando família e comunidade da escola, cuidando da parte financeira e organizando o ambiente pedagógico.

Conhecendo um pouco da realidade escolar, desenvolvemos uma sequência de ensino que foi ministrada no segundo semestre do ano de 2024. Os horários utilizados foram os da disciplina de Pós-médio, que também está sob a responsabilidade do professor de Física responsável pela aplicação da sequência e faz parte da base diversificada do currículo da escola. A atividade ocorreu nesses horários devido ao curto espaço de tempo para as aulas de Física, que tem apenas uma aula por semana. Já a disciplina de Pós-Médio dispõe de duas aulas semanais, que foram suficientes para o desenvolvimento das atividades planejadas.

#### **4.3 Descrição da Sequência de Ensino**

Nesta sequência de ensino foi realizada uma atividade, envolvendo uma situação problema, que foi desenvolvida inicialmente através da manipulação do potencial elétrico fornecido a um circuito para acender um LED. Desse modo, os(as) estudantes foram instruídos(as) a desenvolver um modelo matemático que venha elucidar a situação problema apresentada inicialmente.

Através de um potenciômetro os(as) alunos(as) manipularam o potencial fornecido ao circuito. No experimento utilizamos LEDs de diferentes cores, a saber: vermelho, amarelo, verde, azul e violeta; cada um deles acende apenas quando o potencial fornecido ao circuito é suficiente para que a barreira de potencial seja vencida. Os(as) estudantes realizaram medidas do potencial elétrico, a partir de um multímetro, e fizeram os registros seguindo as etapas do ciclo de modelagem.

Ao controlar o potencial elétrico fornecido ao sistema, os(as) estudantes foram instruídos(as) pelo professor a perceber que os LEDs acendem com diferentes potenciais, a depender da cor que cada um emite. Assim, mediante as observações realizadas, foi apresentado o problema a ser investigado: Como identificar e relacionar as variáveis físicas

envolvidas no acendimento de um LED? A exploração deste problema objetivou fazer com que, ao final da implementação da sequência de ensino, os(as) estudantes fossem capazes de compreender o princípio de funcionamento deste dispositivo, bem como os conceitos físicos a ele associados.

A turma foi dividida em 3 (três) grupos, identificados como Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3, cada um contendo 3 (três) pessoas. Cada equipe ficou responsável por fazer uma investigação acerca do experimento, que foi norteada pelo professor. Ao final da investigação cada equipe fez uma apresentação nos quadros brancos dos resultados obtidos, momento em que foi realizado um aprofundamento da temática trabalhada. Os quadros brancos foram produzidos com materiais de baixo custo, cuja descrição está no apêndice B deste trabalho.

É importante registrar que antes de iniciarmos a aplicação da sequência de ensino desenvolvida, foi ministrada para os(as) alunos(as) uma aula sobre o espectro contínuo e discreto da luz, na qual foram trabalhadas as principais características desse fenômeno físico, a saber: velocidade da luz, frequência e comprimento de onda.

O conteúdo físico subjacente a esta sequência de ensino consiste em compreender o comportamento de materiais semicondutores, que são explicados a partir da Física Moderna e Contemporânea. Os semicondutores são importantíssimos no desenvolvimento da eletrônica moderna e têm características especiais quanto a sua condutividade elétrica, pois ora podem se comportar como condutores elétricos, ora podem se comportar como isolantes. O que vai definir a condutividade do material é a dopagem realizada no mesmo (Capuano; Marino, 1998).

Toda a turma foi informada de que estaria participando de uma pesquisa científica voluntária e que os nomes dos(as) participantes foram mantidos em sigilo, assegurando assim a privacidade de todos(as) os(as) envolvidos(as).

Seguindo as etapas dos ciclos de modelagem, os(as) estudantes foram orientados pelo professor a buscar uma solução para o problema descrito anteriormente. A atividade foi baseada nos ciclos de modelagem, assim passou por todos os estágios necessários, como está descrito no Quadro 2, que apresenta um esquema de como se deu cada etapa dos ciclos.

Quadro 2: Síntese das etapas dos ciclos de modelagem.

Estágio	Objetivos	Desenvolvimento	Tempo
Estágio Inicial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conhecer o tema, o problema e o experimento que serão trabalhados no decorrer do ciclo de modelagem.</li> </ul>	Inicialmente os(as) estudantes devem ser divididos em grupos e cada grupo ficará com um exemplar do experimento para que possam realizar suas próprias investigações. Na sequência, o professor deve fazer uma discussão inicial, apresentando o problema e o experimento, e orientando como deve ser a manipulação deste, durante todos os estágios do ciclo de modelagem.	50 min
I Conhecendo o fenômeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manipular o experimento;</li> <li>Reconhecer as grandezas físicas envolvidas;</li> <li>Esboçar um esquema representando o circuito elétrico manipulado</li> </ul>	Neste momento os(as) estudantes devem ser orientados a conhecer e manipular o experimento. Assim, o professor deve instigar as equipes a realizar as primeiras observações, começando com o LED que apresenta luz de menor frequência e estendendo posteriormente aos demais.	100 min
II Manipulando e construindo o modelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar medidas com o multímetro;</li> <li>Anotar os dados obtidos e organizar em uma tabela.</li> <li>Esboçar um gráfico a partir de dados obtidos em uma tabela.</li> <li>Elaborar um modelo conceitual.</li> </ul>	Com todas as equipes conhecendo o experimento, cada uma delas deverá fazer anotações acerca dos diferentes potenciais necessários para o acendimento dos LEDs. Os dados coletados serão organizados em uma tabela, que posteriormente serão utilizados para a construção de gráficos.	100 min
III Validando o modelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Testar as previsões feitas a partir do modelo matemático construído;</li> <li>Avaliar a consistência do modelo.</li> </ul>	Trabalhar com o LED violeta, buscando validar o modelo que foi encontrado através dos dados levantados e da tecnologia digital utilizada.	100 min
IV Analizando a proposta em outros contextos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar as observações realizadas para investigar uma nova situação;</li> <li>Discutir o novo fenômeno físico, apontando semelhanças e diferenças com o experimento trabalhado.</li> </ul>	Trabalhar com a luz branca, questionando os estudantes sobre o seu princípio de funcionamento, bem como a diferença de potencial para seu acionamento.	100 min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Discutir sobre a evolução das lâmpadas;</li> </ul>	Nesta sessão os estudantes deverão fazer apresentações nos quadros	

Estágio Final	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Refletir sobre o princípio de funcionamento de diferentes lâmpadas;</li> <li>● Dialogar sobre o processo de dopagem nos materiais semicondutores existentes nos LEDs.</li> </ul>	brancos acerca do modelo que eles desenvolveram. Na sequência, o professor discutirá o modelo conceitual já conhecido na literatura. Neste sentido, será feita uma discussão geral acerca do princípio de funcionamento de diferentes tipos de lâmpadas, ocasião em que será discutido de forma mais profunda o processo de dopagem dos materiais semicondutores que compõem os LEDs.	100 min
---------------	---	---	---------

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

#### 4.4 Avaliação da Proposta

As atividades realizadas nos diferentes momentos desta sequência de ensino nos forneceram diversos elementos para proceder com a avaliação desejada. Todos os materiais produzidos pelos(as) estudantes foram registrados, por meio de fotografias, e analisados no decorrer dos diferentes estágios da sequência. Desse modo, foi possível observar o desenvolvimento progressivo dos(as) discentes envolvidos(as), em relação à temática abordada.

Além disso, a partir da observação sistemática do trabalho em grupo, pudemos avaliar as ações realizadas pelos(as) discentes, bem como as interações coletivas no âmbito da sala de aula, que favoreceram uma resposta contundente ao problema inicial apresentado. Desse modo, todas as ações/diálogos realizados pelos grupos também foram minuciosamente observados e, quando relevantes, registrados.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A busca por metodologias que aprimorem o processo de ensino-aprendizagem no ensino de Física é uma tarefa constante entre professores e professoras. Com isso, almejamos com este trabalho apresentar uma proposta que seja eficaz no que diz respeito a uma atividade de teor investigativo. Assim, optamos trabalhar com a IpM, que apesar de ser uma metodologia ainda pouco explorada no Brasil, pode ter uma contribuição significativa nas aulas de Física.

Através da IpM, foram trabalhados conceitos físicos relacionados à Física Moderna, que, apesar de já serem bastante comuns no cotidiano das pessoas, são geralmente pouco debatidos em sala de aula (Montibeller, 2016). Com isso, desenvolvemos uma sequência de ensino capaz de abordar esses conceitos. Adiante, faremos uma discussão sobre os resultados da pesquisa.

### 5.1 A sequência

A sequência de ensino ora analisada foi desenvolvida em onze aulas de cinquenta minutos cada. Estas aulas contemplaram os seis estágios da IpM planejada, cada um com seus próprios objetivos, que serão descritos adiante, bem como os principais resultados obtidos.

#### 5.1.1 Estágio Inicial (Apresentando o problema)

A primeira atividade aconteceu no dia 19/11/2024 e tinha como objetivo apresentar aos(as) estudantes o tema, o problema e o experimento que seriam trabalhados no decorrer do ciclo de modelagem.

A aula teve início com uma discussão sobre as grandezas físicas estudadas até o momento. Foi solicitado aos(as) estudantes que mencionassem as grandezas físicas das quais se recordavam, enquanto isso o professor as escrevia no quadro. As respostas apresentadas por eles(as) foram: eletrostática, elétrons, Ampere, corrente elétrica, potencial elétrico, campo elétrico e Volts.

Após essa discussão, os(as) discentes foram instruídos com relação à interação com o experimento, que consistia em manipular o potenciômetro, a fim de acender o LED que estava conectado ao circuito. Em seguida, o professor expôs o problema inicial a ser resolvido pelos(as) estudantes ao longo da sequência de ensino, qual seja: Como identificar e analisar as

variáveis físicas envolvidas no acendimento de um LED? Eles(as) entenderam rapidamente a dinâmica da aula.

Dando continuidade às atividades, foi realizada a divisão dos grupos e entregue um exemplar do experimento a cada equipe. Após isso, foi entregue a cada equipe um LED vermelho, para que fizessem o primeiro teste. As equipes também foram informadas que deveriam ter bastante cautela ao manusear o potenciômetro, girando o cursor de maneira delicada até o LED acender e tomando cuidado para não queimá-lo.

Os grupos iniciaram a manipulação do potenciômetro e logo perceberam que o LED não estava acendendo, perguntaram se poderia estar queimado, então o professor questionou se eles poderiam mudar algo no circuito. Os(As) estudantes tentaram inicialmente conectar o LED em terminais mais próximos do potenciômetro, mas perceberam que nada mudou. Desse modo, resolveram mudar a posição do LED em relação aos terminais (cátodo e ânodo), assim perceberam que os LEDs acenderam. Essa atitude já era esperada, pois sabemos que o LED só acende quando conectado corretamente, ou seja, na polarização direta. Com o manuseio do experimento, todos os grupos perceberam que existia uma forma correta de conectar os terminais do LED ao circuito. Isso foi bastante positivo, pois os(as) estudantes puderam resolver seu primeiro desafio de forma colaborativa no começo da atividade.

Cada grupo manuseou um pouco mais o experimento e percebeu que o LED poderia aumentar o brilho ao girar o cursor do potenciômetro, então cada equipe mencionou que a intensidade da luz dependia da energia fornecida ao circuito. Essa resposta foi satisfatória, evidenciando que todas as equipes estavam engajadas na investigação e já começavam a levantar as primeiras hipóteses sobre o funcionamento do LED. Podemos observar isso na Imagem 1, que ilustra o momento em que os estudantes interagiram com o experimento.

Imagen 1 : Estudantes manipulando o experimento, utilizando o LED vermelho



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Ao final da aula foi observado pelo professor que todos os estudantes já se sentiam

confiantes em manusear o experimento, e isso foi bastante positivo, pois a atividade dependia de que todas as equipes tivessem conhecimento de como manipulá-lo. Assim, o primeiro estágio foi finalizado.

### 5.1.2 Estágio I (Conhecendo o fenômeno)

O estágio I teve início na segunda aula destinada à sequência de ensino, ela aconteceu no dia 21/11/2024 e tinha como objetivo manipular e reconhecer as grandezas físicas envolvidas no circuito elétrico do experimento. A aula iniciou com a distribuição dos kits experimentais. As equipes da aula anterior se formaram, mas alguns estudantes faltaram. Contudo, demos continuidade à atividade.

Nesta etapa, como os grupos já sabiam manusear o experimento, os estudantes iniciaram as atividades acionando o LED vermelho. Em seguida, o professor solicitou aos grupos que quando encontrassem o ponto do acendimento do LED, parassem de girar o cursor do potenciômetro. Assim, cada equipe manuseou o cursor, a fim de encontrar o exato ponto de acendimento. Feito isso, foi pedido para que todas as equipes deixassem o potenciômetro na posição que estava (no ponto de acendimento do LED vermelho), que agora iriam testar outro LED. Como os LEDs que foram utilizados na atividade tinham a parte plástica transparente, os estudantes não sabiam qual era a cor da luz, antes de acender.

Dando continuidade ao experimento, foi entregue aos(as) estudantes o LED de luz amarela e solicitado que o conectasse ao circuito. Todos os grupos perceberam que o LED não acendeu e questionaram o porquê disto ter acontecido. Esse questionamento era aguardado, afinal eles(as) esperavam que a luz acendesse, já que o circuito estava funcionando com o LED vermelho. Desta forma, o professor perguntou às equipes se elas poderiam resolver esse “problema” manuseando o experimento. Assim, elas iniciaram sua investigação.

O grupo 1 tentou inicialmente colocar o LED em terminais mais próximos do potenciômetro, mas não teve sucesso, em seguida eles giraram o cursor do potenciômetro e perceberam que acendeu, assim concluíram sua investigação. O grupo 2 imediatamente girou o cursor do potenciômetro e percebeu que conseguiu acender o LED. O grupo 3 seguiu a mesma lógica do grupo 2.

Em seguida, foi realizada a mesma atividade de troca dos LEDs. Neste caso, para o verde, quando o potenciômetro estava no limiar do acendimento do LED amarelo. Já conhecendo a atividade, todos os grupos foram girando o cursor do potenciômetro. Por fim, foi realizado o mesmo exercício com o LED azul.

Quando todas as equipes já haviam conseguido acender todos os LEDs, elas foram questionadas a respeito do que haviam observado nas trocas dos LEDs. Todas elas responderam que cada cor exigia uma quantidade de energia diferente, então o professor questionou se elas sabiam a razão desse comportamento, todas as equipes responderam que não sabiam. Neste momento o professor esclareceu que a atividade consistia em investigar o porquê de LEDs de diferentes cores necessitarem de diferentes potenciais para acender. A Imagem 2 ilustra os(as) estudantes estão manuseando o experimento.

Imagen 2: Estudantes manuseando o experimento



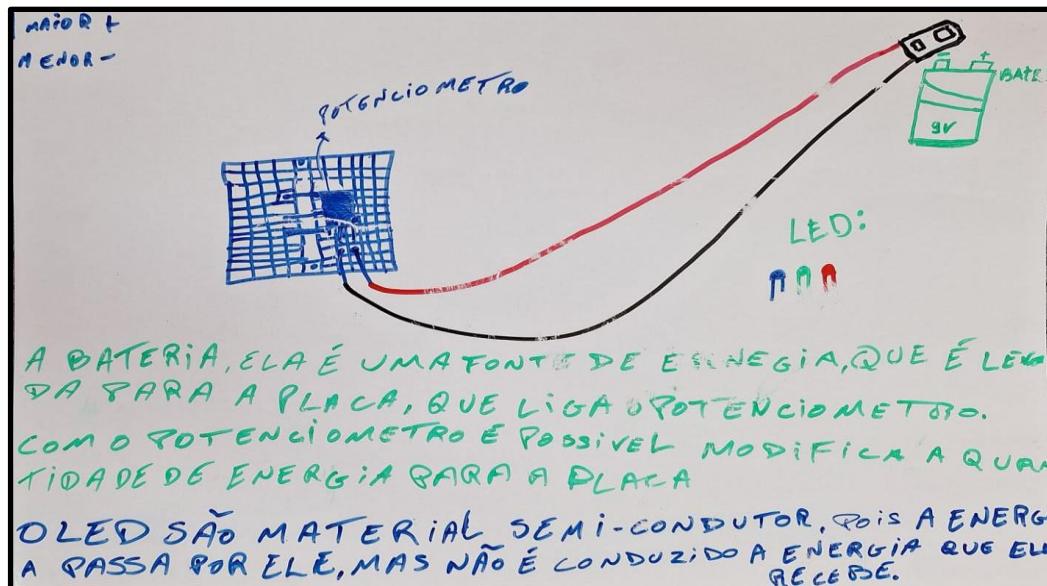
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

No passo seguinte, o professor solicitou que todas as equipes registrassem no seu quadro branco a representação de como o circuito funcionava em forma de imagem, para que apresentassem para os outros grupos. Para Hestenes (2010), a modelização passa por uma representação simbólica. Assim, esta etapa da atividade está de acordo com os ciclos de modelagem, já que traz uma representação em forma de imagem do funcionamento do circuito, a partir do que os estudantes compreenderam. Foi solicitado também que respondessem durante sua apresentação se o material que compõe o LED é um condutor, isolante ou semicondutor.

Podemos observar na Figura 16 que o G1 trouxe uma representação simbólica de como eles observaram o circuito. A equipe representou a fonte, a protoboard, o potenciômetro e os jumpers. Esse grupo respondeu que o LED é feito de um material semicondutor. Segundo (o) estudante G1A “Os semicondutores são materiais que recebem energia elétrica” e o LED estava recebendo a energia da bateria.

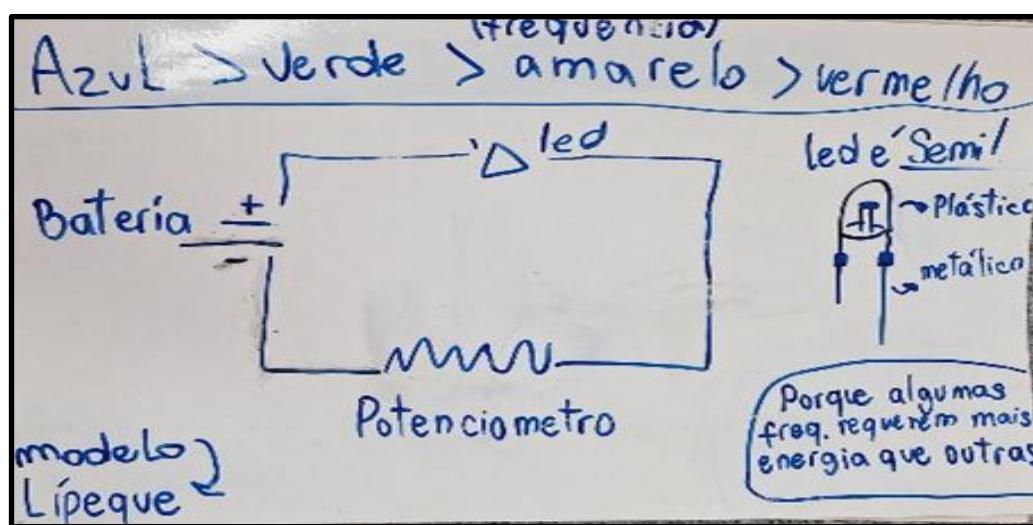
Por outro lado, o grupo 2 trouxe uma representação do circuito mais próxima da que vemos em livros de eletrônica, podemos observar isso na Figura 17. Esse grupo respondeu que os LEDs são compostos de materiais semicondutores, pois, segundo eles: “cada LED precisa de uma quantidade de energia diferente, que caracteriza o funcionamento de um semicondutor, já que ele está entre os materiais condutores e isolantes”

Figura 16 : Representação do circuito do grupo 1



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

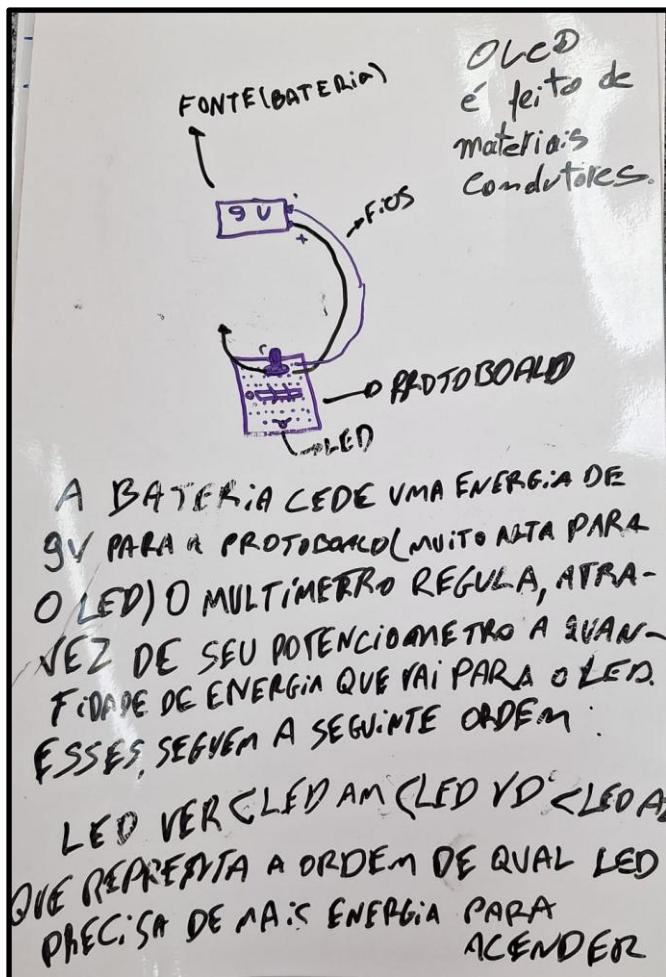
Figura 17: Representação do circuito do grupo 2.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O grupo 3 fez uma representação simbólica de como o circuito era representado, conforme podemos observar na Figura 18. A equipe respondeu que o LED é feito de material condutor. De acordo com o(a) estudante que representou o grupo, “os terminais eram feitos de metal” que é um material condutor.

Figura 18: Representação do circuito do grupo 3



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O momento das apresentações foi de grande aprendizado, o professor observou que todos os estudantes foram participativos e se envolveram na atividade. Cada equipe expôs no quadro branco suas interpretações acerca do funcionamento do circuito e do LED. Com isso, finalizamos o estágio I, o que impulsionou o desenvolvimento dos outros estágios. Para Hestenes (2010), é nesta fase de construção em que os estudantes têm o primeiro contato com o experimento e manipulam as variáveis.

### 5.1.3 Estágio II (Manipulando e construindo o modelo)

O estágio II começou a ser desenvolvido nas aulas quatro e cinco, que aconteceram no dia 04/12/2024 e tinha como objetivos: realizar medidas com o multímetro, organizar os dados

em uma tabela, esboçar um gráfico e elaborar um modelo conceitual.

A aula começou com a distribuição dos kits experimentais, acompanhado de um multímetro para cada equipe. O professor iniciou a atividade falando sobre como a investigação se daria neste momento. Na ocasião, ele questionou os estudantes, perguntando se eles se recordavam de como tinha sido a última aula e todos afirmaram que sim. Na sequência, foi comunicado às equipes que o experimento seria realizado da mesma maneira da aula anterior. Nesta etapa, os estudantes utilizariam um multímetro para medir o potencial fornecido ao circuito mediante a manipulação do potenciômetro. Dessa forma, os estudantes registraram o potencial limiar de acendimento de cada LED.

Todas as equipes já imaginavam que cada cor de LED iria acender com um potencial distinto, pois na análise qualitativa, na aula anterior, perceberam que para cada cor de LED era necessário girar mais o potenciômetro, oferecendo assim, mais “energia” para acendimento. Logo, as equipes manipularam o experimento e foram anotando o potencial de acendimento de cada LED em uma tabela que foi disponibilizada no início da aula (ver Figura 19).

Figura 19: Tabela do potencial de acendimento

<b>Potencial elétrico capaz de acionar o LED</b>					
<b>Luz emitida</b>					
<b>Potencial (V) de acendimento</b>					
<b>Média de V</b>					

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

No campo “Luz emitida” os estudantes colocaram qual a cor que o LED emitia ao acender, no campo “Potencial (V) de acendimento” os estudantes preencheram com o potencial limiar de acendimento de cada cor de LED e no campo “Média de V” os(as) estudantes preencheram com a média dos potenciais que coletaram. O cálculo da média foi necessário, pois foi solicitado aos(as) estudantes que fizessem três medidas para o potencial de acionamento dos LEDs. Nas Figuras 20, 21 e 22, é possível observar os dados que foram levantados.

Figura 20: Tabela do potencial de acendimento dos LEDs do grupo 1

Potencial elétrico capaz de acionar o LED					
Luz emitida	VERMELHO	VERDE	AMARELO	AZUL	Roxo
Potencial (V) de acendimento	1,59	2,08	1,69	2,41	2,80
	1,55	2,06	1,67	2,34	2,7
	1,55	2,06	1,65	2,4 <sup>39</sup>	2,7 <sup>0</sup>
Média de V	1,56	2,06	1,67	2,38	2,73

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Figura 21: Tabela do potencial de acendimento dos LEDs do grupo 2

Potencial elétrico capaz de acionar o LED					
	590	480	510	660	
Luz emitida	Amar. 0	Azul	Verde	Vermelho	Violeta
Potencial (V) de acendimento	1.73	2.36	1.98	1.56	2.92
	1.68	2.40	1.96	1.52	2.83
	1.68	2.34	1.97	1.50	2.86
Média de V	1.69	2.36	1.97	1.52	2.87

Fonte: Próprio autor

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Figura 22: Tabela do potencial de acendimento dos LEDs do grupo 3

Potencial elétrico capaz de acionar o LED					
Luz emitida	AZUL	Vermelho	Amarelo	Verde	Violeta
Potencial (V) de acendimento	2.33	1.54	1.63	1.93	2.75
	2.30	1.53	1.63	1.93	2.74
	2.29	1.50	1.64	1.95	2.79
Média de V	2.3066	1.5166	1.633	1.9366	2.76

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

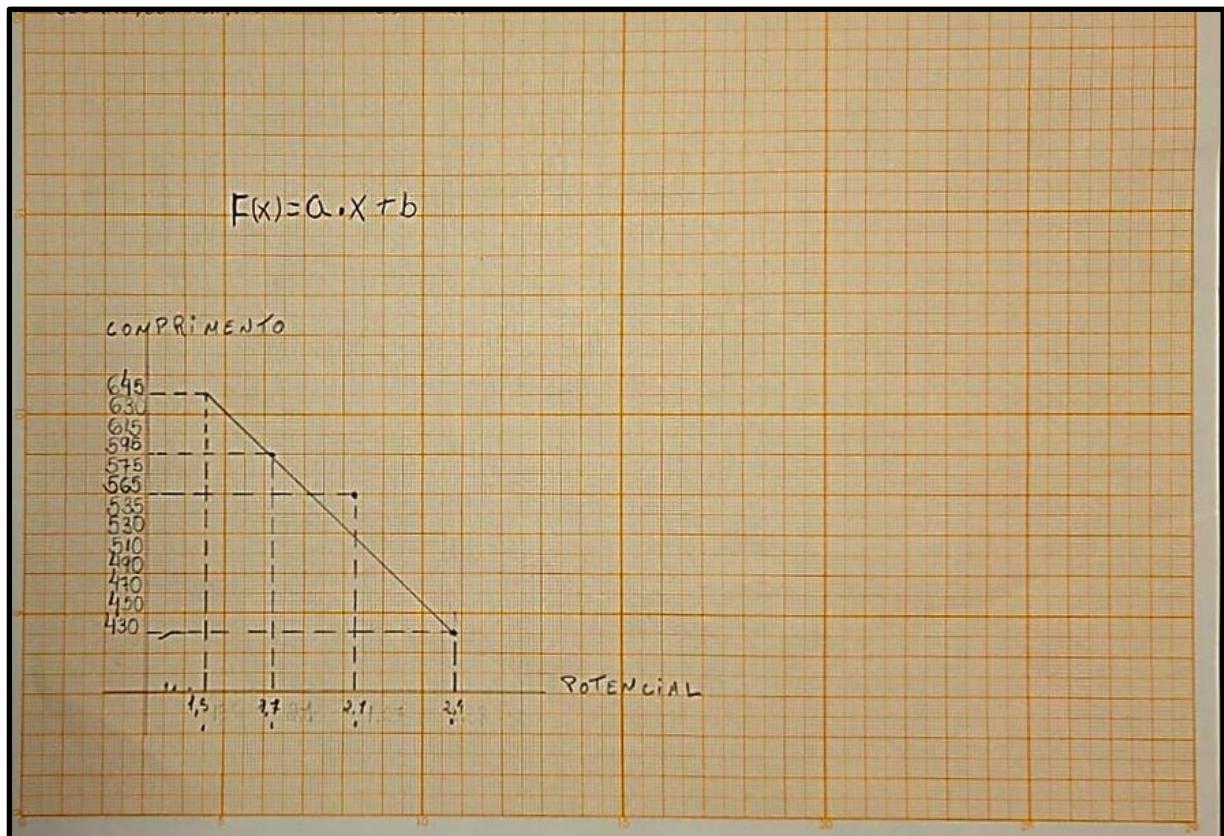
As tabelas nesse estágio foram preenchidas sem a presença do LED violeta, pois só foi trabalhado com ele apenas no estágio IV. Contudo, o registro fotográfico da tabela foi feito depois da finalização da sequência, por este motivo, o LED violeta está presente nas três tabelas.

Com as tabelas devidamente preenchidas (sem o LED violeta), foi solicitado que os estudantes observassem se existia alguma relação entre o acendimento de cada LED, todos os grupos responderam que cada cor precisa de um potencial diferente para acender. Nesse momento, foi lançado o seguinte questionamento: “por que diferentes cores de LEDs, necessitam de potenciais diferentes para acenderem?”. Os estudantes lembraram do espectro eletromagnético que já tinham visto em aulas anteriores e a estudante G2B afirmou que “cada cor precisa de uma quantidade de energia diferente para acender”.

Na sequência, foi exibido na televisão, que fica na sala de aula, o espectro eletromagnético (que se encontra nos anexos deste trabalho) e solicitado aos(as) estudantes que pensassem o que poderia estar relacionado à emissão de cada cor. Nesta etapa, eles(elas) observaram o espectro e tentaram associá-lo ao potencial elétrico necessário para o acendimento de cada LED. Seguidamente, foi solicitado que eles esboçassem um gráfico, relacionando o comprimento de onda ou a frequência emitida por cada cor ao potencial elétrico de acendimento.

Os grupos tiveram 20 minutos para levantar suas hipóteses e esboçar um gráfico no papel milimetrado, para em seguida apresentá-lo nos quadros brancos para toda a turma. Nas Figuras 23, 24 e 25 estão as representações dos gráficos dos grupos.

Figura 23: Representação da curva obtida pelo grupo 1

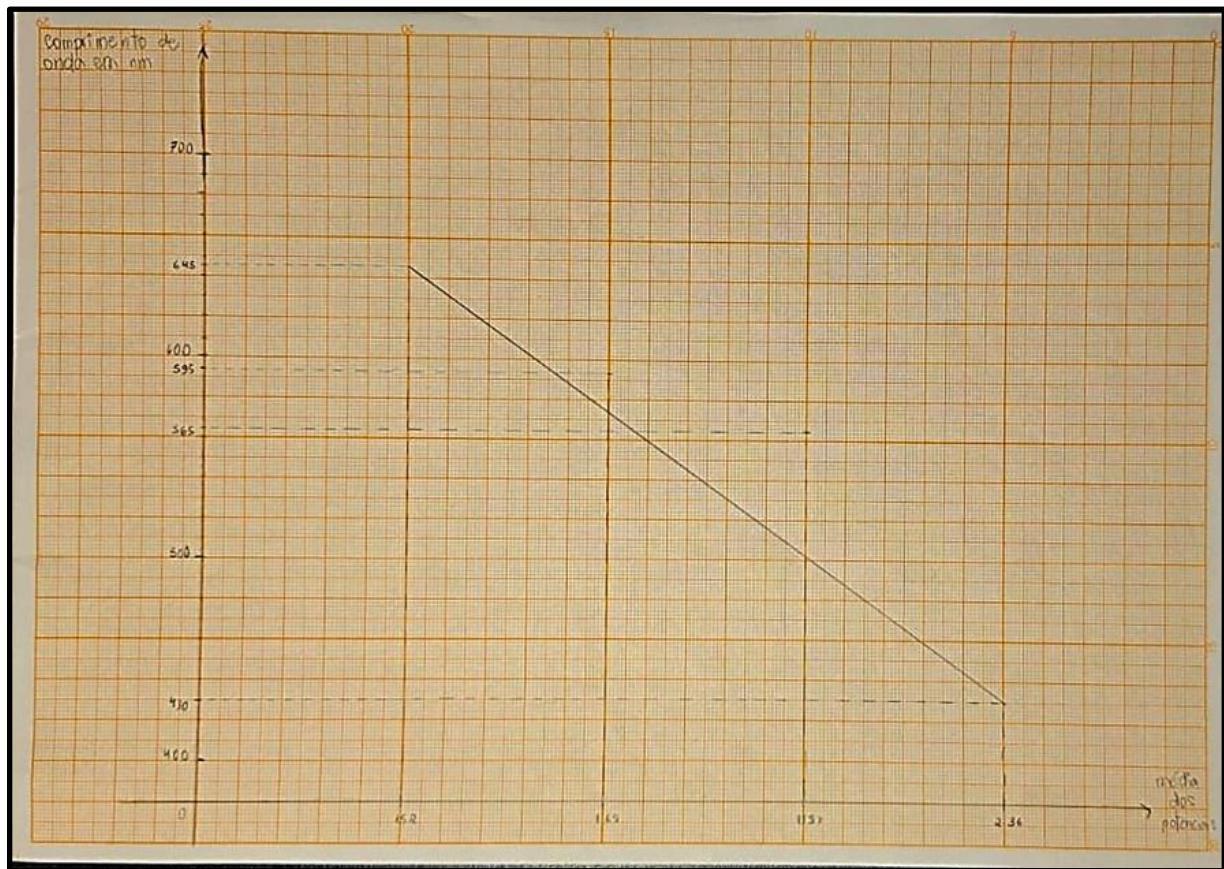


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O G1 optou por relacionar o potencial elétrico de acendimento ao comprimento de onda de cada cor. Com isso, esboçou um gráfico do tipo: comprimento de onda versus potencial elétrico. O esboço do gráfico durante a atividade foi bastante satisfatório, pois a equipe conseguiu relacionar as grandezas físicas presentes no fenômeno.

O grupo 2 também relacionou o potencial elétrico ao comprimento de onda e obteve uma curva muito parecida com a do grupo 1, do ponto de vista qualitativo, como é possível observar na Figura 24.

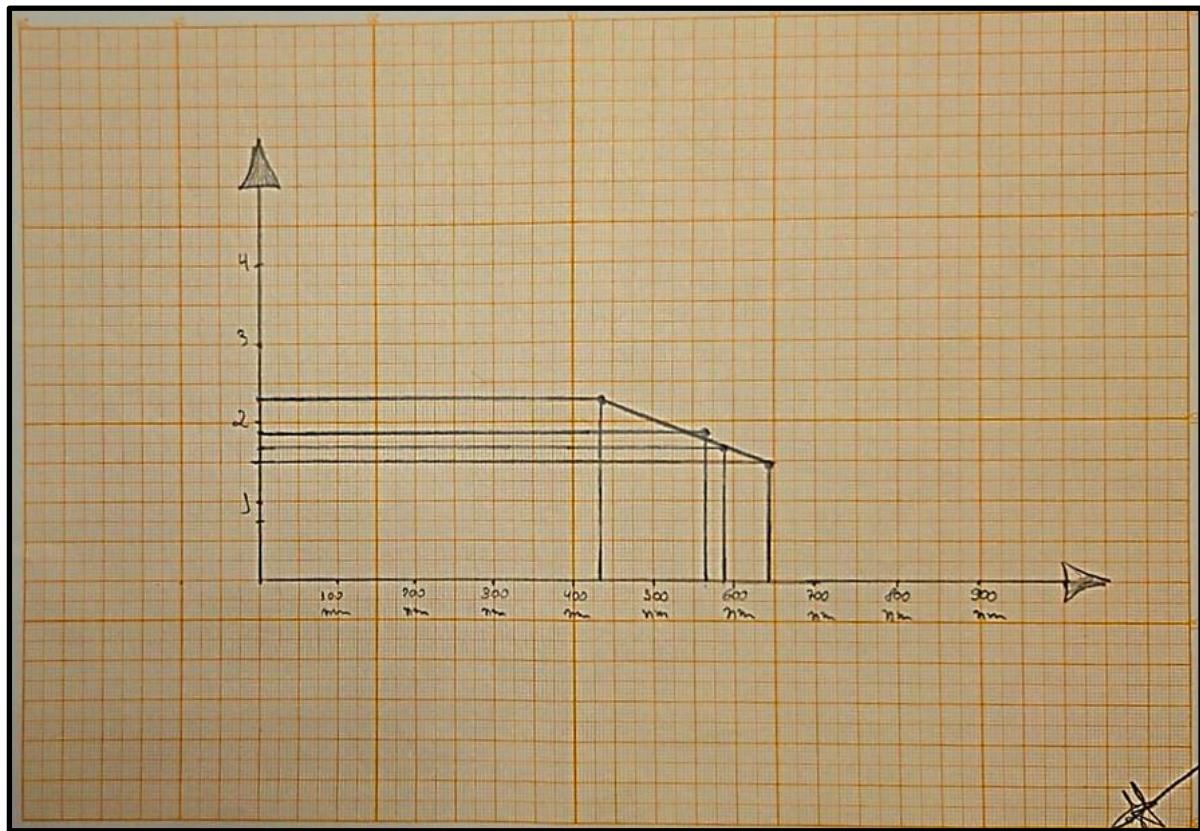
Figura 24: Representação da curva obtida pelo grupo 2



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O grupo 3 também relacionou o potencial elétrico ao comprimento de onda, no entanto, ao esboçar a curva representou um gráfico do potencial elétrico versus comprimento de onda, ou seja, com o potencial na ordenada e o comprimento de onda na abscissa, o que levou a um esboço um pouco diferente, conforme é possível observar na Figura 25. Contudo, a representação do fenômeno físico é equivalente a dos demais grupos. Corrallo, Junqueira e Schuler (2018) apontam que o estudante pode se deparar com conflitos cognitivos a partir de processos de ressignificação e com isso encontrar alternativas diferentes para chegar a solução do problema. Isso pôde ser observado neste momento, já que o grupo buscou uma alternativa que não estava na expectativa do próprio professor.

Figura 25: Representação da curva obtida pelo grupo 3



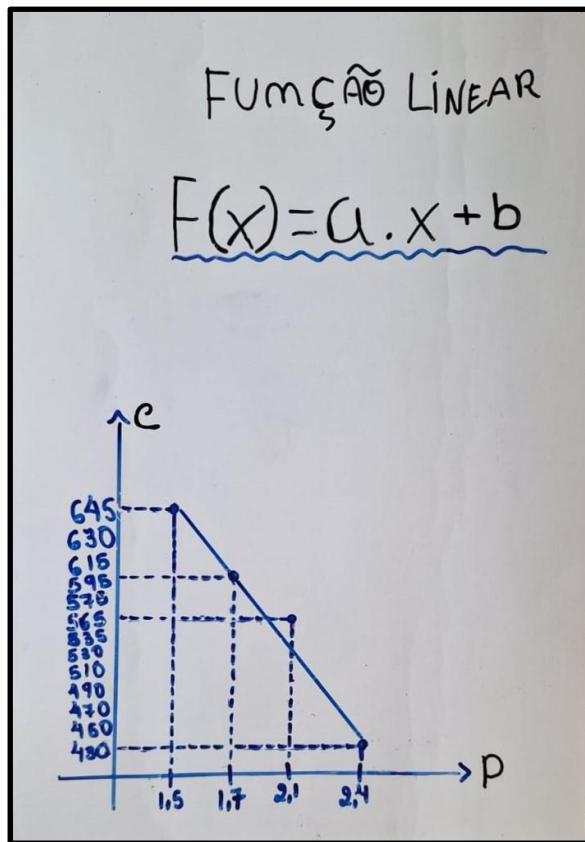
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

As equipes fizeram o esboço da curva nos quadros brancos para apresentarem para os outros grupos. Durante as apresentações, os estudantes explicaram como chegaram ao esboço do gráfico. Porém o G1 e o G2 perceberam que a representação do G3 estava um pouco diferente da representação deles, o que fez os grupos questionarem, imediatamente o professor interveio e mediou uma discussão.

Para Ezequiel (2016) os grupos podem apresentar alguns equívocos, já que estão trabalhando de formas independentes, esses equívocos devem ser formalizados pelo professor para uma discussão com todas as equipes. Com isso, durante as apresentações os grupos perceberam que o G3 tinha esboçado o gráfico de uma forma diferente, mas o professor formalizou as duas formas de representar o mesmo gráfico.

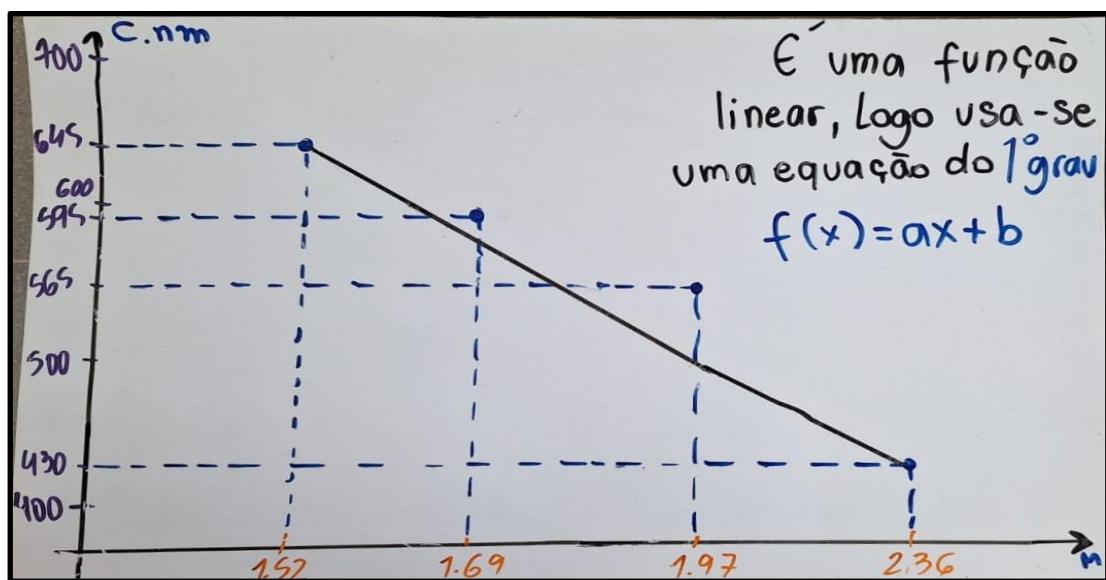
Com o auxílio do professor todos os grupos perceberam que se tratava de um gráfico linear. Assim, rapidamente escreveram uma equação do primeiro grau em suas apresentações, como podemos ver nas Figuras 26, 27 e 28.

Figura 26: Quadro branco apresentado pelo grupo 1



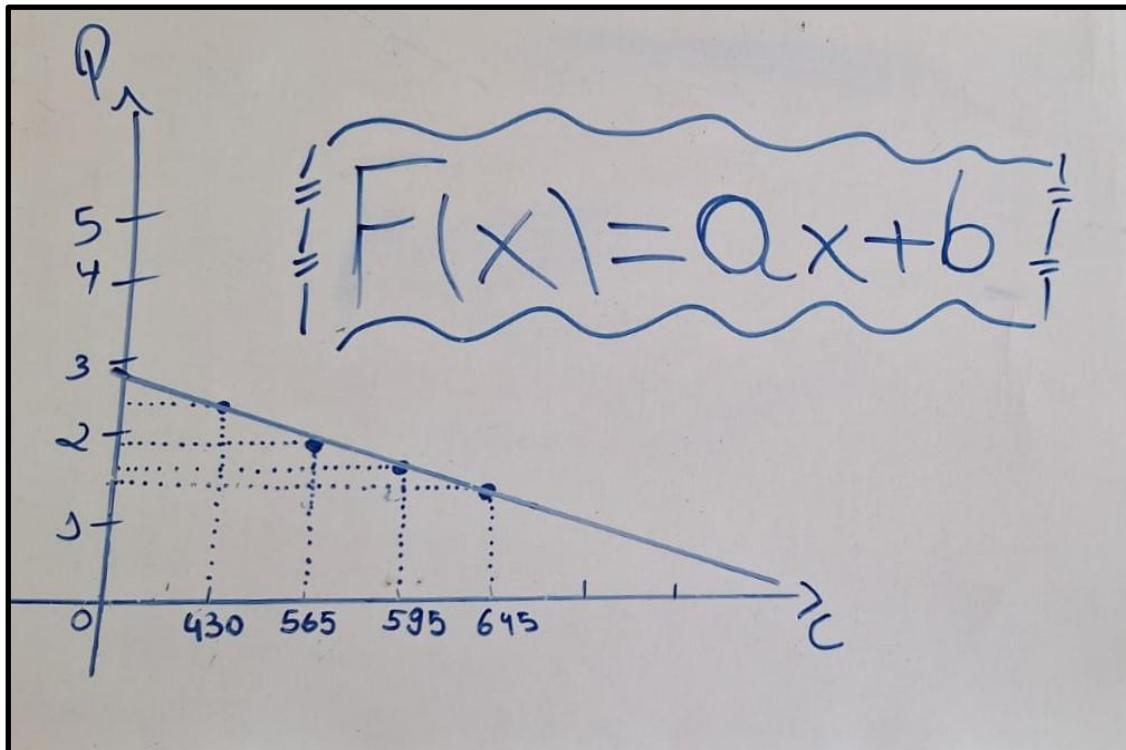
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Figura 27: Quadro branco apresentado pelo grupo 2



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Figura 28: Quadro branco apresentado pelo grupo 3



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para Hestenes (2010), o momento das apresentações dos quadros brancos é de grande aprendizagem, pois neste momento cada equipe expõe a estratégia utilizada para levantar as hipóteses e chegar a uma conclusão. Durante as apresentações, todos(as) os(as) estudantes demonstraram interesse em participar das discussões e todos(as) conseguiram levantar hipóteses e discutir sobre elas. Isso caracteriza que este momento esteve de acordo com a IpM, pois os estudantes apresentaram autonomia e proatividade para resolver o problema apresentado.

Nesta aula não foi possível finalizar toda a proposta estágio II, pois durante a atividade ocorreram algumas interrupções externas. Assim, foi necessário fazer um ajuste no horário para dar continuidade à atividade no dia seguinte.

No dia 05/12/2024 demos continuidade ao estágio II, com a aula seis, que teve duração de 50 minutos. Os estudantes foram conduzidos ao laboratório de informática, lá foi distribuído o material que eles tinham desenvolvido até o momento, a saber: o gráfico em papel milimetrado e as tabelas contendo os potenciais de acendimento do LED.

Nesta etapa também foi entregue uma tabela semi-preenchida com o comprimento de onda e a frequência de cada cor de LED, conforme é ilustrado na Figura 29. Coube aos(as)

estudantes apenas preencher a lacuna do potencial de acendimento com os dados que eles(elas) haviam levantado nas aulas anteriores.

Figura 29: Tabela para preenchimento das equipes

<b>Tabela 2 - Comprimento de onda e frequência do espectro visível</b>			
<b>Cor do LED</b>	<b>V de acendimento</b>	<b>Comprimento de onda em nm</b>	<b>Frequência em THz</b>
<b>Vermelho</b>		<b>645</b>	<b>464</b>
<b>Amarelo</b>		<b>595</b>	<b>503</b>
<b>Verde</b>		<b>565</b>	<b>530</b>
<b>Azul</b>		<b>430</b>	<b>697</b>

**Fonte: Tabela adaptada pelos autores baseada em Villate, 2015.**

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A tabela foi preenchida por todos os grupos, que depois transferiram os dados para uma planilha no Excel. A seguir, nas Figuras 30, 31 e 32, podemos observar o material elaborado pelos(as) estudantes.

Figura 30: Tabela que relaciona o comprimento de onda, a frequência e o potencial de acendimento de cada LED, preenchida pelo G1

<b>Tabela 2 - Comprimento de onda e frequência do espectro visível</b>			
<b>Cor do LED</b>	<b>V de acendimento</b>	<b>Comprimento de onda em nm</b>	<b>Frequência em THz</b>
Vermelho	1,56	645	464
Amarelo	1,67	595	503
Verde	2,06	565	530
Azul	2,38	430	697

**Fonte: Tabela adaptada pelos autores baseada em Villate, 2015.**

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Figura 31: Tabela que relaciona o comprimento de onda, a frequência e o potencial de acendimento de cada LED, preenchida pelo G2

Cor do LED	V de acendimento	Comprimento de onda em nm	Frequência em THz
Vermelho	1.52	645	464
Amarelo	1.69	595	503
Verde	1.97	565	530
Azul	2.36	430	697

Fonte: Tabela adaptada pelos autores baseada em Villate, 2015.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Figura 32: Tabela que relaciona o comprimento de onda, a frequência e o potencial de acendimento de cada LED, preenchida pelo G3

Cor do LED	V de acendimento	Comprimento de onda em nm	Frequência em THz
Vermelho	3,50	645	464
Amarelo	3,63	595	503
Verde	3,83	565	530
Azul	2,30	430	697

Fonte: Tabela adaptada pelos autores baseada em Villate, 2015.

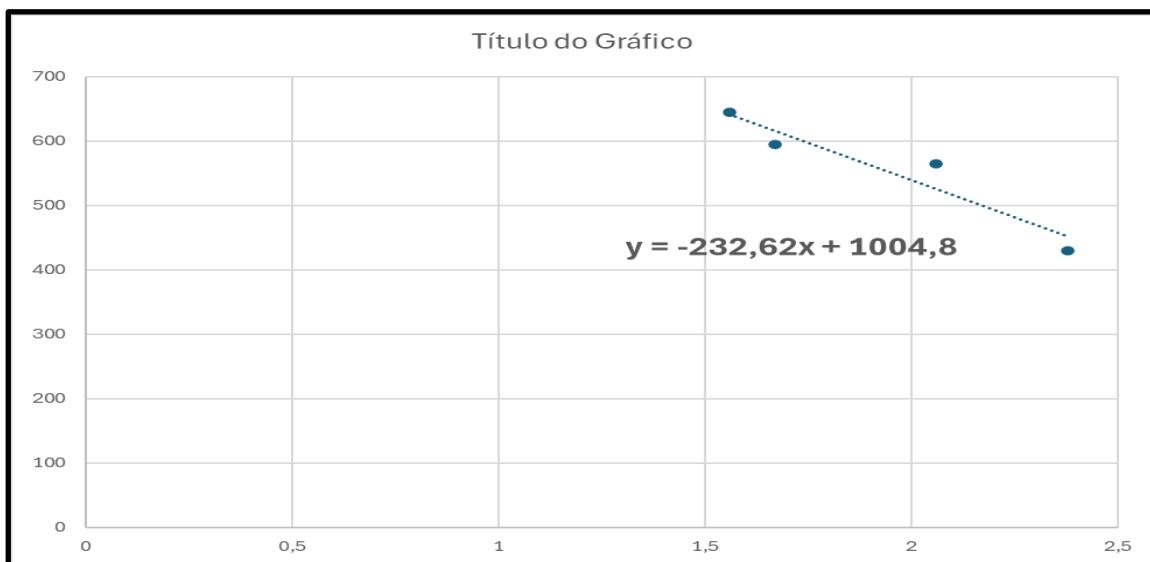
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

De acordo com Jackson, Dukerich e Hestenes (2008) nesta fase os estudantes desenvolvem seus modelos a partir do que interpretam em suas tabelas, diagramas e gráficos. Com isso, na atividade proposta os estudantes puderam realizar a aferição do potencial limiar de acendimento no multímetro, realizar uma média aritmética e preencher na tabela disponibilizada pelo professor.

Com as tabelas devidamente preenchidas, os grupos foram orientados a inserir os dados no Excel e em seguida a realizar uma regressão linear, obtendo assim o gráfico e a equação que

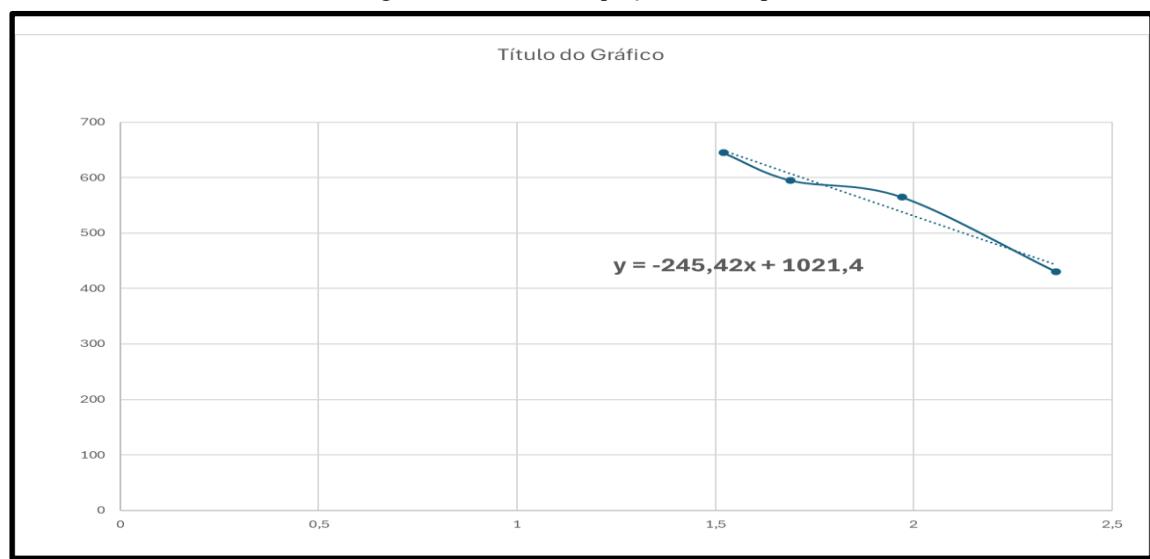
descreve o comportamento dos dados analisados. Cada equipe utilizou um computador. Jackson, Dukerich e Hestenes (2008) apontam que a elaboração de planilhas é um dos momentos dos ciclos de modelagem e isso auxilia na elaboração dos modelos elaborados pelos estudantes. Nas Figuras 33, 34 e 35 estão ilustrados os gráficos obtidos por cada equipe.

Figura 33: Gráfico e equação obtidos pelo G1



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

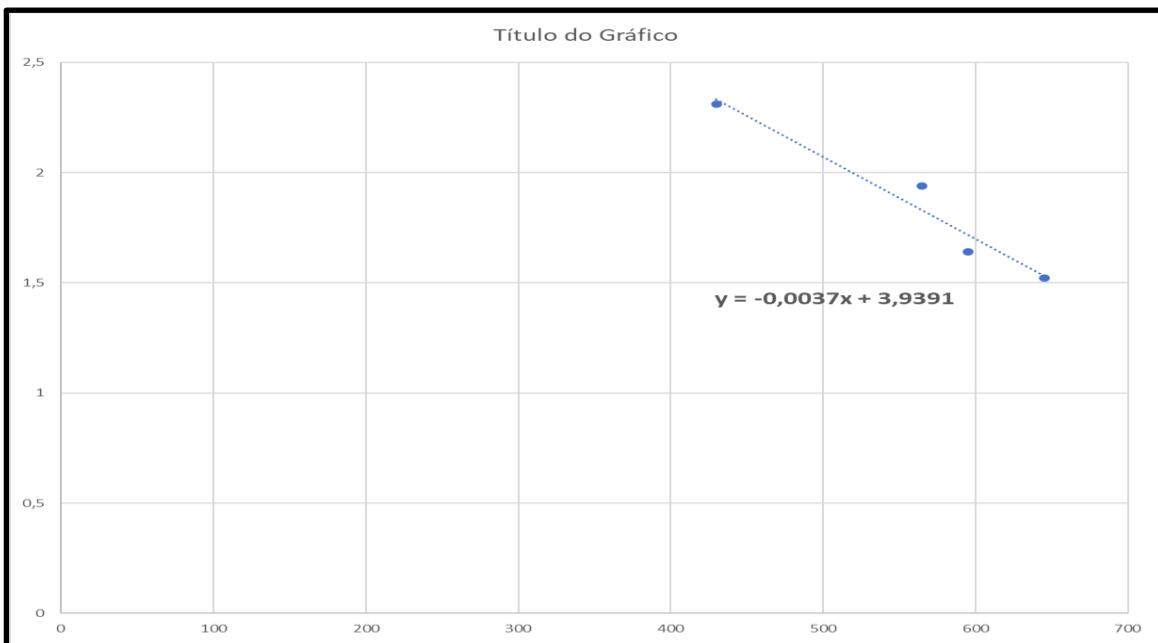
Figura 34: Gráfico e equação obtidos pelo G2



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

]

Figura 35: Gráfico e equação obtidos pelo G3



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Todos os grupos obtiveram gráficos muito parecidos. Contudo, o G3 obteve um gráfico do tipo Potencial elétrico versus Comprimento de onda, o que os trouxe coeficiente angular distante dos gráficos obtidos por G1 e G2. Mas, o próprio grupo ao perceber que houve essa diferença sugeriu que a forma que estavam representando o gráfico era diferente dos outros grupos. O que mostra que todos estavam buscando entender o comportamento dos gráficos que eles conseguiram esboçar.

Um fato importante é que o coeficiente angular em todas as equações obtidas veio acompanhado de um sinal negativo. Todos os grupos perceberam isso e questionaram o professor a razão disso ter acontecido. Seguindo as orientações da IpM, o professor não respondeu diretamente e devolveu a pergunta aos grupos. O estudante G3C afirmou que era devido ao gráfico ser decrescente. O professor perguntou se os outros estudantes concordavam com a hipótese e todos disseram que sim. Isso foi um indicativo que os estudantes estavam conseguindo compreender a relação existente entre os dados analisados e o modelo matemático obtido.

Jackson, Dukerich e Hestenes (2008) descrevem os momentos dos ciclos de modelagem e afirmam que um desses momentos é a representação dos gráficos a partir de planilhas. Eles defendem que este momento é importante para a discussão de modelos matemáticos. O que foi percebido em sala de aula corrobora com a IpM, pois os estudantes sentiram-se entusiasmados com os resultados que estavam alcançando.

A aula foi encerrada e todos os grupos se mostraram motivados a continuarem a atividade. O professor informou que a aula posterior seria para aprofundar a investigação realizada por todas as equipes. Os estudantes ficaram curiosos para participarem e assim foi finalizado o estágio II.

#### 5.1.4 Estágio III (Validando o modelo)

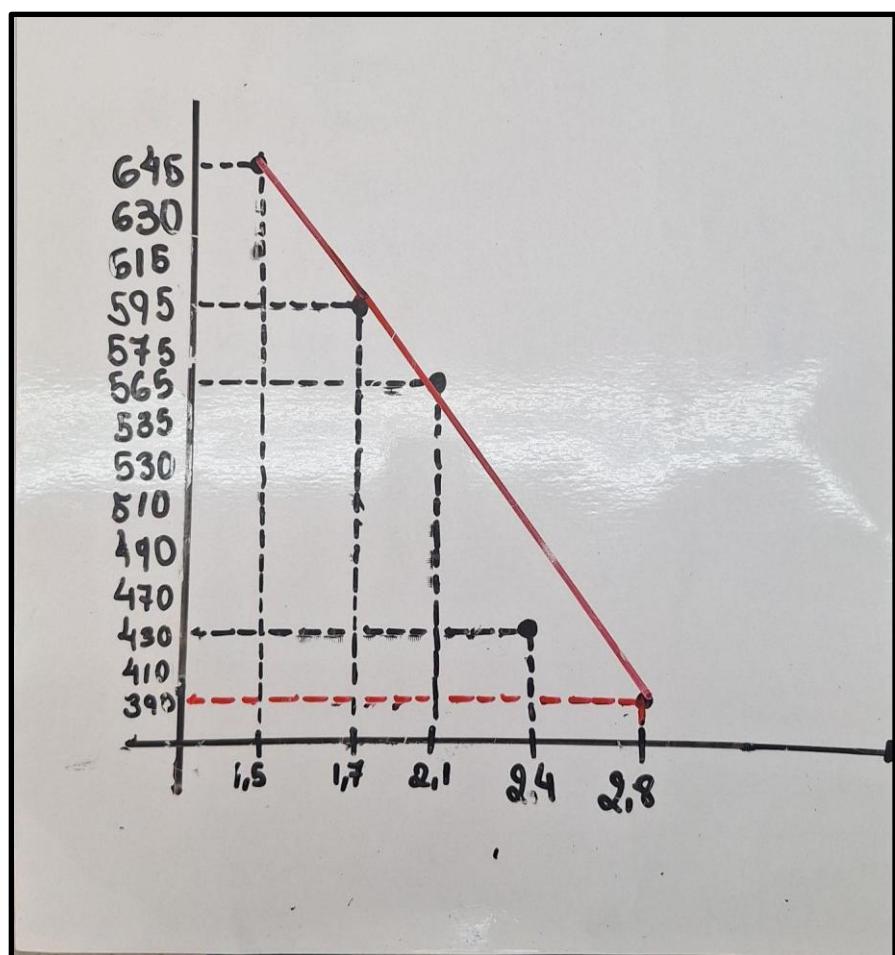
O estágio III foi desenvolvido nas aulas sete e oito, que aconteceram no dia 13/12/2024 e tinha como objetivos: testar e avaliar as previsões feitas a partir do modelo matemático construído.

Nestas aulas os estudantes realizaram uma investigação acerca do LED violeta. Inicialmente foram distribuídos os kits experimentais, mas sem entregar o LED da cor violeta. Em seguida foi questionado se o modelo que cada grupo desenvolveu poderia predizer onde se encontrava o ponto de interseção da cor violeta no gráfico. Foi apresentado novamente o espectro eletromagnético aos(as) estudantes e solicitado que cada equipe investigasse onde estaria posicionado o ponto que representa a cor violeta em seus gráficos. O professor orientou as equipes a realizarem uma apresentação nos quadros brancos. O tempo proposto para esta investigação foi de 20 minutos. Desse modo, cada grupo iniciou o levantamento de hipóteses, enquanto o professor caminhava pela sala, a fim de orientar as equipes.

Após todos os grupos finalizarem sua investigação, houve a apresentação nos quadros brancos da representação da cor violeta. Todas as equipes chegaram a propostas muito semelhantes e valores muito próximos do que temos experimentalmente. Além disso, eles descreveram como chegaram às suas conclusões, apontando as observações e considerações realizadas.

O estudante G1B apontou que seu grupo relacionou o potencial elétrico ao comprimento de onda e afirmou que a equipe percebeu que a diferença entre os potenciais medidos anteriormente era em média de 0,3 V. Isto evidencia que o discente percebeu o comportamento linear do gráfico. Já o estudante G1C argumentou que a equipe observou que o comprimento de onda do violeta estava um pouco abaixo do comprimento de onda do azul, assim, escolheu o ponto igual a 390 nm. Com isso, representaram o gráfico que se encontra na Figura 36.

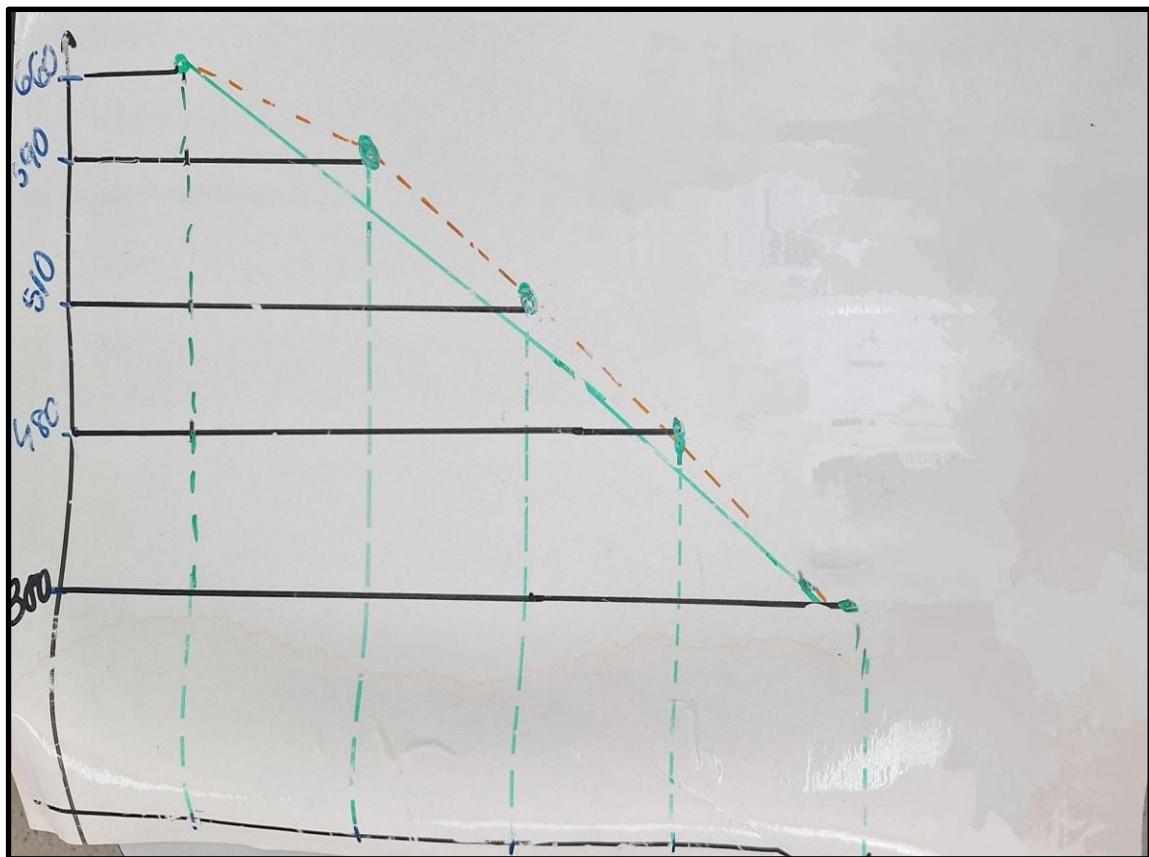
Figura 36: Representação do gráfico do G1 com o ponto de intersecção do LED violeta. Este ponto apresenta comprimento de onda (ordenada) igual a 390 nm e o potencial elétrico (abscissa) igual a 2,8 V



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Na apresentação do grupo do G2, o estudante G2A apontou que o grupo relacionou o potencial elétrico ao comprimento de onda. O grupo observou o comportamento da curva no gráfico e conhecendo a faixa do violeta no espectro eletromagnético conseguiu estipular o ponto de intersecção, como está na Figura 37.

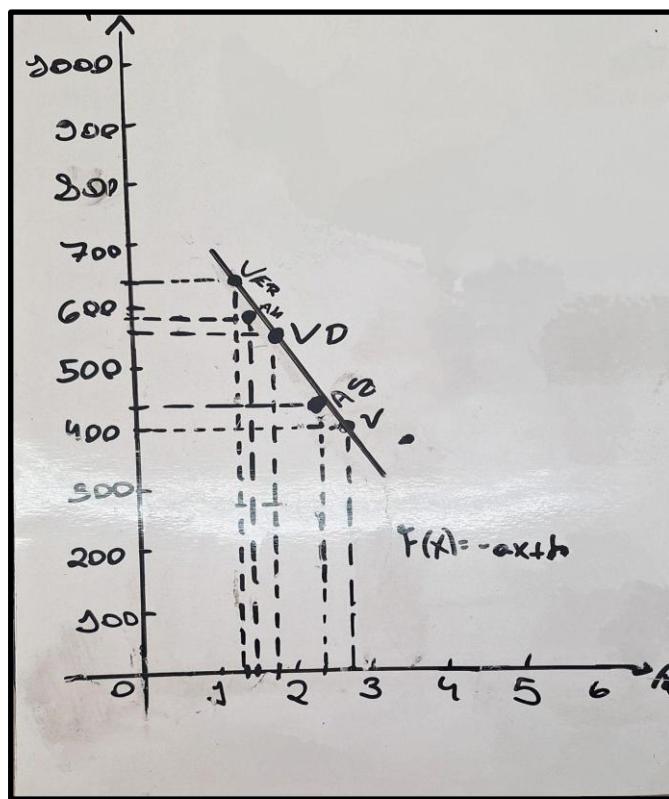
Figura 37: Representação do gráfico do G2 com o ponto de intersecção do LED violeta. Este ponto apresenta comprimento de onda (ordenada) igual a 380 nm. O grupo não estabeleceu os valores para o potencial elétrico



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O grupo G3 representou o gráfico do tipo comprimento de onda versus potencial elétrico. O estudante G3B também informou que seu grupo percebeu que o gráfico era do tipo decrescente e que a média de diferença entre os potenciais era aproximadamente 0,3 V. Este discente continuou seu argumento afirmando que a curva do gráfico apontava para um ponto no eixo do potencial, próximo a 3 V, assim conhecendo o comprimento de onda do violeta, conseguiram chegar ao gráfico representado na Figura 38

Figura 38: Representação do gráfico do G3 com o ponto de intersecção do LED violeta. Este ponto apresenta comprimento de onda (ordenada) igual a 400 nm e para o potencial elétrico (abscissa) próximo a 3V



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Ao final das apresentações o professor apontou os avanços das equipes na investigação e frisou que todos os grupos estavam se saindo muito bem. De antemão o professor orientou que o próximo passo seria para verificar se a proposta dos grupos estava coerente com a realidade e que a próxima atividade seria para medir o potencial elétrico de acendimento do LED violeta com o multímetro.

Foi entregue aos estudantes o LEDs na cor violeta e todas as equipes conectaram ao circuito e aferiram com a ajuda do multímetro o limiar de acendimento. As equipes realizaram a medida de três LEDs na cor violeta e calcularam a média aritmética entre eles, como pode ser visto nas Figuras 20, 21 e 22. Todos os estudantes ficaram muito surpresos, pois os valores obtidos se aproximaram muito do que as equipes estipularam com seus modelos.

Para Hestenes (1997) esse estágio é a validação do modelo desenvolvido pelos estudantes e, é importante, pois existe uma comparação entre as previsões de um modelo desenvolvido pelas equipes com dados empíricos já conhecidos na literatura. Além disso, Hestenes (1997) afirma ainda que uma correspondência perfeita não deve ser esperada entre o modelo proposto e os dados empíricos, pois um modelo não é uma representação perfeita.

### 5.1.5 Estágio IV (Analisando a proposta em outros contextos)

O estágio IV foi desenvolvido nas aulas nove e dez, que aconteceram no dia 13/12/2024 e tinha como objetivos: utilizar as observações realizadas para investigar uma nova situação e discutir um novo fenômeno físico, relacionado às investigações já realizadas.

Nesse estágio foi entregue uma lâmpada de LED (que geralmente é utilizada nas iluminações das residências). O professor mostrou-a aos estudantes e perguntou “como vocês acham que funciona uma lâmpada de LED?”, “por que ela emite luz branca?”, e “por que essa lâmpada funciona com um potencial de 220V?”. A partir destes questionamentos os estudantes iniciaram suas investigações.

Para a pergunta sobre o porquê de a lâmpada funcionar com o potencial de 220 V o a estudante G2A respondeu que isso é possível porque (dentro da lâmpada tem resistores e que têm vários LEDs conectados”, o estudante G3A respondeu que isso era possível porque “tem uma sequência de LEDs que vai dividindo”, certamente o estudante se referia ao potencial elétrico.

Referente à pergunta de o porquê a lâmpada emite luz branca, as equipes tentaram responder e o estudante G1A argumentou que era a união de todas as cores do espectro, já a estudante G2A mencionou que o LED poderia funcionar como o sistema RGB (*Red, Green and Blue*), unindo as cores de acordo com a energia fornecida ao circuito. Assim, as equipes foram orientadas a realizar uma investigação acerca do acendimento da lâmpada LED. Todos os grupos puderam manusear a lâmpada que estava aberta, como segue na Imagem 3.

Imagen 3: Estudantes manuseando a lâmpada de LED

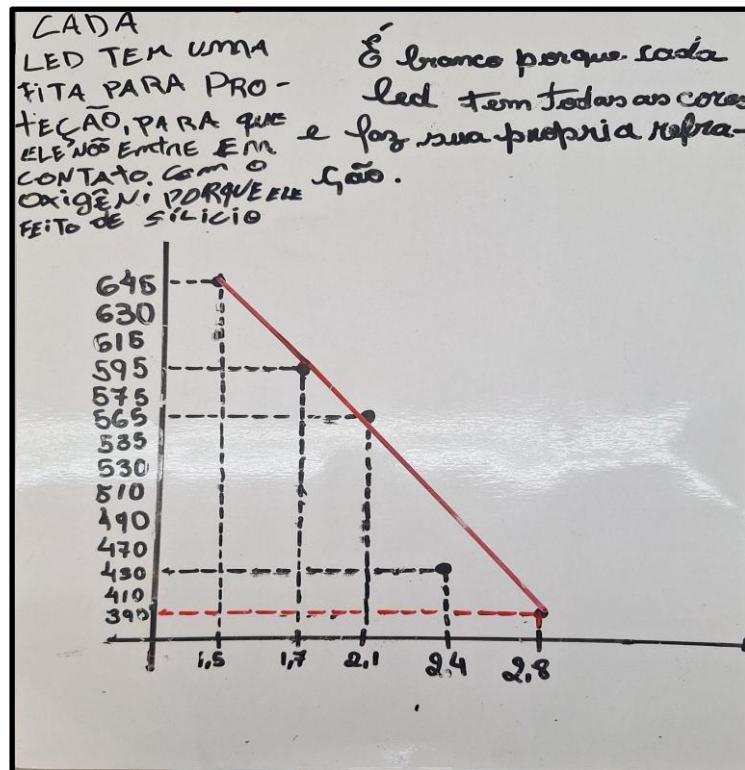


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

As equipes tiveram 20 minutos para realizar a investigação e após isso apresentaram

suas hipóteses nos quadros brancos, cada uma delas teve 3 minutos para realizar sua apresentação. Na Figura 39, o G1 defendeu que a lâmpada emite luz branca porque os LEDs conseguem combinar todas as cores que compõem o espectro de luz visível.

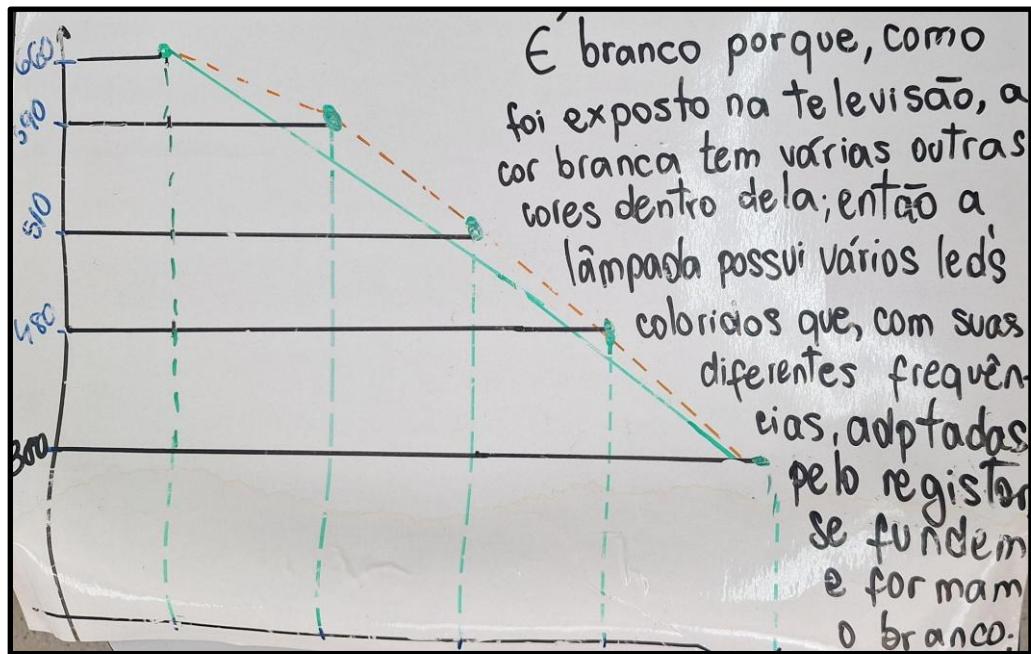
Figura 39: Argumento do G1 para explicar a razão de a lâmpada de LED emitir luz branca



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Na Figura 40, o G2 desenvolveu um argumento devido a um evento acontecido na sala. Quando o grupo estava manuseando a lâmpada, involuntariamente apontou a luz emitida para a TV de LED que fica na sala de aula e observaram que a TV refletia todas as cores do espectro eletromagnético, desta forma, o grupo defendeu que a lâmpada branca era constituída de LEDs de várias cores que são controlados por resistores e quando as cores se fundiam geravam a luz branca.

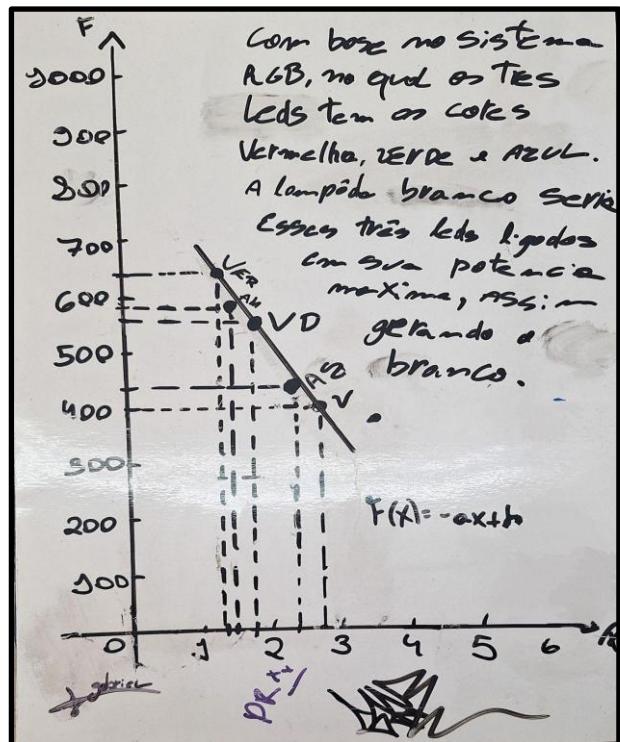
Figura 40: Argumento do G2 para explicar a razão de a lâmpada de LED emitir luz branca



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O G3 defendeu que os LEDs combinavam as cores vermelho, verde e azul, para assim formar a luz branca, como no sistema RGB. Tal afirmação pode ser observada na Figura 41.

Figura 41: Argumento do G3 para explicar a razão de a lâmpada de LED emitir luz branca



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Com a apresentação dos quadros brancos, ficou evidente que houve uma evolução na argumentação dos estudantes, pois todos os grupos conseguiram desenvolver hipóteses plausíveis que poderiam responder à pergunta inicial. Souza e Santo (2017) defendem que o momento de apresentação dos quadros brancos favorece a argumentação científica, pois esse momento é de socialização dos modelos que é feito de maneira compartilhada e isso auxilia os estudantes a relacionarem seus modelos mentais aos modelos conceituais.

A ideia deste estágio foi de colocar os estudantes em uma nova situação que pudesse relacionar o fenômeno físico à vida real. Para Hestenes (2010), essa etapa consiste na aplicação do modelo e é de muita importância, pois os(as) estudantes percebem que o modelo desenvolvido por eles(as) pode funcionar em contextos diferentes e responder a diferentes perguntas em diversas situações. Após as apresentações, o estágio IV foi finalizado e foi perceptível como todos os grupos chegaram a argumentos tão parecidos, partindo de investigações independentes, com isso foi dado início ao estágio final.

#### 5.1.6 Estágio Final (Discussão com toda turma sobre os conceitos)

O estágio final foi desenvolvido na aula onze, que aconteceu no dia 13/12/2024 e tinha como objetivos: discutir sobre a evolução das lâmpadas e dialogar sobre o processo de dopagem nos materiais semicondutores.

Nesta etapa estava previsto que todos os grupos apresentariam suas considerações finais em seus quadros brancos. Porém, com o final do ano letivo, os estágios III, IV e o estágio Final tiveram que ser ministrados no mesmo dia, assim, foi realizada apenas uma grande discussão acerca do funcionamento dos LEDs, sem apresentação dos quadros brancos.

Esse estágio foi uma adaptação aos ciclos de modelagem, isso porque durante o planejamento da sequência foi percebido que os estudantes teriam condições de relacionar o potencial elétrico ao comprimento de onda ou a frequência e assim modelar matematicamente a relação existente entre essas grandezas, porém provavelmente não saberiam que existe o processo de dopagem dos semicondutores e isso poderia gerar uma lacuna em seu aprendizado. Como o professor é mediador das discussões foi decidido que seria importante uma formalização dos procedimentos tecnológicos para a confecção dos LEDs, assim a aula seguiu como descrito adiante.

O professor realizou um debate de cunho histórico sobre o uso de lâmpadas, desde as incandescentes até o funcionamento das de LED. Ele explanou para a turma sobre os materiais semicondutores e sobre o processo de dopagem. Esse momento foi muito proveitoso, pois o

professor voltou ao problema inicial e, junto aos estudantes, realizou uma discussão teórica sobre como os LEDs são produzidos.

A ideia desse estágio foi promover uma explanação geral, para que não ficassem lacunas na aprendizagem dos(as) estudantes. Os LEDs são produzidos por materiais semicondutores, mas os(as) estudantes ainda não conheciam como era realizado esse processo. Esse momento foi de extrema importância também para dar um desfecho a toda a sequência de ensino, após onze aulas trabalhando com a temática. Com este desfecho, os(as) estudantes tiveram um parecer do professor, que foi o grande mediador das discussões. Isso fortalece a relação professor-estudante, pois possibilita a visão de que os(as) discentes estão aprendendo junto com o docente e ele é a figura de orientação para o desenvolvimento do pensamento científico dos(as) estudantes. Após esse debate, a sequência de ensino foi finalizada.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Trabalhar com novas metodologias de ensino é muitas vezes uma tarefa árdua, mas que deve ser realizada por professores e professoras da educação básica. A proposta de ensino desenvolvida e aplicada durante este trabalho teve como foco a participação efetiva dos estudantes na construção de um modelo que pudesse explicar um fenômeno físico. Desta forma, foi utilizada a Instrução por Modelagem como metodologia norteadora.

Esta pesquisa teve como objetivo fazer com que os(as) estudantes conseguissem reconhecer as grandezas físicas envolvidas em experimentos que realizavam o acendimento de um LED, além de viabilizar o desenvolvimento de um modelo matemático envolvendo tais grandezas, durante a investigação realizada, a partir dos ciclos de modelagem.

A turma na qual foi trabalhada a sequência já tinha realizado uma atividade utilizando a metodologia em questão, quando ainda estavam na primeira série do ensino médio, assim eles(as) já tinham um pouco de experiência, e isso foi bastante proveitoso, pois os(as) estudantes já conheciam a metodologia aplicada.

Cada estágio foi minuciosamente pensado com foco na participação dos(as) estudantes, durante os ciclos de modelagem eles(as) foram desenvolvendo seus modelos matemáticos de forma satisfatória. Foi perceptível que com o desenrolar das atividades os(as) estudantes se apropriaram ainda mais da IpM, o que indica que trabalhando de forma rotineira com a Instrução por Modelagem eles(as) devem desenvolver autonomia de realizar todos os estágios, precisando de orientação do(a) professor(a) apenas para auxiliar a tirar dúvidas que vão surgindo de acordo com a investigação.

Desenvolver uma sequência de ensino utilizando a IpM pode ser bastante desafiador, devido ao tempo que professores e professoras desfrutam para seu planejamento de aulas. Durante as atividades o professor(a) será um mediador(a) e os(as) estudantes é quem farão toda a investigação. Com isso, as aulas devem ser cuidadosamente planejadas e alinhadas aos objetivos, e isso requer um bom tempo de preparação. Contudo, durante os ciclos de modelagem os(as) estudantes realizam as investigações de forma autônoma, minimizando o trabalho do(a) professor(a).

É importante salientar que para cada estágio finalizado era feita uma rodada de apresentação dos quadros brancos por cada equipe e esses momentos eram ricos em aprendizagem, pois cada uma delas expunha como estava desenvolvendo seu modelo. Souza e Rozal (2016) defendem que a apresentação dos quadros brancos é um momento de muita interação e aprendizagem, pois todos os(as) estudantes podem ver o que cada equipe produziu

e argumentar sobre os modelos apresentados.

Com as apresentações realizadas, os(as) estudantes se mostraram bastante entusiasmados na participação, o que fortaleceu a sequência de ensino, já que era imprescindível a participação de todos(as). Silva, Dorneles e Heidemann (2020) frisam que em suas atividades os(as) estudantes tiveram grande participação durante os ciclos de modelagem, o que corrobora as atitudes dos(as) alunos na sequência de ensino deste trabalho, pois também houve um grande envolvimento deles(as) no desenvolvimento dos ciclos de modelagem e também no desenvolvimento dos seus modelos matemáticos.

Acreditamos que com a utilização da Instrução por Modelagem como metodologia norteadora da sequência de ensino desenvolvida neste trabalho, os(as) estudantes sentiram-se engajados(as) a participarem da investigação realizada. Percebemos no decorrer das atividades que os grupos trabalharam de forma colaborativa, com o intuito de desenvolver um modelo matemático que fosse capaz de responder a pergunta inicial proposta.

É possível afirmar que o objetivo da pesquisa foi alcançado, pois todo o material produzido pelos(as) estudantes, como: tabelas preenchidas à mão, tabelas produzidas em Excel, gráficos em papel milimetrado, gráficos em Excel, equações, apresentações em quadros brancos e debates, apontam que eles(as) assimilaram as grandezas envolvidas no experimento investigado e conseguiram argumentar sobre a relação existente entre elas, bem como compreenderam o funcionamento dos LEDs.

É importante mencionar que trabalhos relacionados à IpM, apesar de escassos, estão ganhando espaço, o que pode indicar que mais professores(as) estão se engajando nessa metodologia. Esta pesquisa traz consigo um produto educacional que pode ser replicado por outros(as) professores(as), podendo ser adaptado, a depender da realidade. Desse modo, esperamos que este produto educacional encoraje outras pessoas a trabalharem com a experimentação utilizando a Instrução por Modelagem.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, N. P. **Modelagem matemática como proposta de metodologia ativa através do ciclo de modelagem de Hestenes.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pampa. Bagé, p. 46. 2019.
- ANDRADE, A. de; CORRALLO, M. V. Reflexões acerca de um curso de formação continuada docente sobre o Arduino e o ensino de física ofertado na modalidade de ensino remoto emergencial. **Experiências em Ensino de Ciências** V.17, n.2. p. 123 – 135. Julho de 2022.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular.** Brasília: MEC, 2018.
- BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S. e E. A. VEIT. A modelagem científica vista como um campo conceitual. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3: p. 507-545, dez. 2011.
- CARVALHO, T. Espectro Eletromagnético. **Infoescola**, 2025. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>. Acesso em: 30/06/2025.
- CAPUANO, F. G; MARINO, M. A. M. **Laboratório de eletricidade e eletrônica.** 15a. Ed. São Paulo: Érika, 1998.
- CHASSOT, A. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, n. 22, p. 89–100, jan. 2003.
- COHEN, E.; LOTAN, R. A. **Planejando o trabalho em grupo:** estratégias para salas de aula heterogêneas. 3a edição. Porto Alegre: Penso, 2017.
- CORRALLO, M. V.; JUNQUEIRA, A. de C., SCHULER, T. E. Ciclo de Modelagem associado à automatização de experimentos com o Arduino: uma proposta para formação continuada de professores. **Caderno Brasileiro De Ensino De Física**, v. 35, n. 2, p. 634-659, ago. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n2p634>.
- CUSTÓDIO, R.; GOMES, A. S.; MARTINS, L. R. Postulados da mecânica quântica. **Revista Chemkeys**, v. 3, p. 1-5, 2018.
- EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica:** Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas. 24 ed. Editora Campus: Rio de Janeiro, 1979.
- EZEQUIEL, L. F. de C. **Análise de Perfil Conceitual em Ciclos de Modelagem:** um estudo sobre o ensino do Efeito Doppler. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, -.146. 2016.
- FONSECA NETO, A. M. **Ciclos de modelagem integrados a recursos tecnológicos: Uma proposta para o ensino de sistemas massa mola em aulas remotas.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física - PPGPEF) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, p. 70. 2021.

FRANCO, R. da S. **Modelagem matemática e simulação computacional como estratégias de ensino-aprendizagem aplicadas em um ciclo de modelagem.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Federal do Pampa. Bagé, p. 69. 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GONSALVES, J. J. **O Software de Modelização Insight Maker.** Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Física, Florianópolis, p. 99. 2017.

GRIFFTHS, D. I. **Mecânica Quântica.** Tradução de Lara Freitas. 2 ed. São Paulo: Pearson, 2005

HEIDEMANN, L. A., ARAUJO, I. S., VEIT, E. A. A integração de atividades teóricas e experimentais no ensino de física através de ciclos de modelagem: um estudo de caso exploratório no ensino superior. **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.9, n.1, p.151-178, maio, 2016.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.. Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica: Uma alternativa para a ressignificação das aulas de laboratório em cursos de graduação em física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 1, p. 1504, 2016.

HEIDEMANN, L. A., ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Ciclos de modelagem: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 2: p. 965-1007, out. 2012.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Dificuldades e avanços no domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica: um estudo de caso em uma disciplina de física experimental. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 2, p. 352 - 382, 30 ago. 2018. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n2p352>.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A; SILVEIRA, F. L. da. Um ciclo de modelagem sobre a lei de resfriamento de newton. *In: XX SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA: O ENSINO DE FÍSICA NOS ÚLTIMOS 40 ANOS: BALANÇO, DESAFIOS E PERSPECTIVAS*, 20., 2013, São Paulo. **Anais** do XX Simpósio Nacional de Ensino de Física. São Paulo, 2013. p. 1 - 8.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Um estudo exploratório sobre atividades experimentais para graduandos de física focadas no processo de modelagem científica. *In: IX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS*, 11, 2013, Girona. **Anais** do IX Congreso internacional sobre investigación en la didáctica de las ciencias. Girona: Comunicación, 2013. p. 60 - 64.

HEIDEMANN, L. A., ARAUJO, I. S., VEIT, E. A. Um estudo exploratório sobre o desenvolvimento de atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem para o ensino de cinemática no ensino fundamental. **Revista. Bras. Ens. Ci. Tecnol.**, Ponta Grossa,

v. 10, n. 3, p. 379-405, set./dez. 2017.

HEIDEMANN, L. A. **Ressignificação das atividades experimentais no ensino de física por meio do enfoque no processo de modelagem científica.** 2015. 298f. Tese (Doutorado) - Ensino de Física - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

HESTENES, D. **Modeling methodology for physics teachers.** AIP Conference Proceedings. *Anais...* AIP, 1997.

HESTENES, D. Modeling theory for math and science education. In: LESH, R. et al. (Ed.), **Modeling student's mathematical modeling competencies** (pp. 13-41). New York: Springer, 2010.

HESTENES, D. Toward a modeling theory of physics instruction. **American journal of physics**, v. 55, n. 5, p. 440-454, 1987.

JACKSON, J.; DUKERICH, L.; HESTENES, D. Modeling Instruction: An Effective Model for Science Education. **Science Educator** v. 17, n.1, p. 10-17, 2008.

KAMADA, W. **Ciclos de modelagens: uma proposta com arduino no ensino de física.** Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. São Paulo, p.126. 2018.

KITTEL, C. **Introdução à Física do Estado Sólido.** 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

LOPES, C. V. M. **Modelos Atômicos no início do Século XX: da Física Clássica à Introdução da Teoria Quântica.** Tese (Doutorado em História da Ciência) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), p. 185. 2009.

MARCHESI, M. Q.; CUSTÓDIO, R. Evolução histórica dos modelos atômicos. **Rev. Chemkeys**, Campinas, SP, v.5, e 023003, 2023.

MELLO, M. A. M. de. **Desvendando o trânsito: uma sequência didática inspirada na metodologia de episódios de modelagem para o ensino de cinemática no ensino fundamental.** 101f. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Bagé, 2020.

MELZER, E. E. M.; AIRES, J. A. A História do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática.** v.11 (22) Jan-Jun 2015. p.62-77.

MINAYO, M. C. S. (org.). **Pesquisa Social. Teoria, método e criatividade.** 23 ed. Petrópolis: Vozes, 2001.

MONTIBELLER, A. M. **Compreendendo o efeito fotoelétrico com LEDs: um experimento didático de baixo custo ao nível do Ensino Médio.** Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) Universidade Federal do ABC. Santo André, p. 121. 2016.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Epistemologias do século XX**. São Paulo: E.P.U, 2011.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, Sep-Dec 2018.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica, 4: Ótica, Relatividade, Física Quântica**. São Paulo: Blucher, 2014.

OLIVEIRA, I. N. DE; RAMOS, J. A. P.; SILVA, W. L.; CHAVES, V. D.; MELO, C. A.O. Estudo das propriedades do Diodo Emissor de Luz (LED) para a determinação da constante de Planck numa maquete automatizada com o auxílio da plataforma Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020.

OLIVEIRA, I. S.; JESUS, V. L. B. **Introdução à Física do Estado Sólido**. 2 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

OUR WHITEBOARDS — **WhiteboardsUSA**, S/D. Disponível em: <https://www.whiteboardsusa.com/ourwhiteboards>. Acessado em 17 de jun 2025.

PHYSICS STORYLINE, S/D. Disponível em: <https://www.modelinginstruction.org/what-we-produce/coherent-curriculum/phys-stories/>, 2025. Acessado em 17 de jun 2025

PORTO, C. M. O atomismo e a formação do pensamento científico moderno. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, Dez 2013.

RAMPELOTI, G. **Uma proposta de sequência didática com o uso de modelagem computacional sobre o tema "doenças contagiosas" para o ensino médio**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Física, Florianópolis, p. 82. 2022.

REZENDE, S. M. **Materiais e dispositivos eletrônicos**. 4a. ed. - São Paulo : Editora Livraria da Física, 2015.

RICARDO, E. C.; CUSTÓDIO, J. F.; REZENDE JÚNIOR, M. F. A tecnologia como referência dos saberes escolares: perspectivas teóricas e concepções dos professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 01, 2007.

ROCHA, J. F. M (Org.). **Origens e evoluções das ideias da Física**. 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2015.

SANTOS, C. C. M. dos; CORRALLO, M. V.; SANTOS S. C. R. dos. Explorando a proporcionalidade por meio da modelagem com pluviômetro de balança automatizado. *In: XXVI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA – 2025*. 26, 2025, Niterói. **Anais** do XXVI Simpósio Nacional de Ensino de Física – 2025. Niterói. p. 1 – 8.

SANTOS, I. **Uma proposta de uso de modelização no ensino de Física com turmas do primeiro ano do ensino médio**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 53. 2014.

SELAU, F.F. **Atividades experimentais e crenças de autoeficácia: um estudo de caso com o método episódios de modelagem.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 109. 2017.

SILVA, C. B. C. da; DORNELES, P. F. T.; HEIDEMANN, L. A. Um estudo sobre indícios de aprendizagem significativa em atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica no ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências.** V.15, n. 3, p. 166 -187, outubro de 2020.

SILVA, C. B. C. da; DORNELES, P. F. T. O processo de modelagem científica no laboratório didático de Física da Educação Básica. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS – XI ENPEC*, 11. 2017, Florianópolis. **Anais** do XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC, Florianópolis, SC. Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC). 2017. p. 1 - 12.

SILVA, M. E. P; ATAÍDE, A. R. P. . Instrução por modelagem de David Hestenes: um olhar categórico sobre as publicações realizadas na área. *In: V Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências*, 5. 2020, Campina Grande. **Anais** do V Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências. Campina Grande: Editora Realize, 2020. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/73116>>. Acesso em: 28 jan. 2025.

SILVA, M. G. **As leis da Termodinâmica com abordagem da Modelagem Científica de Mario Bunge e uma sequência de Ciclos de Modelagens de David Hestenes desenvolvida em uma turma do ensino médio da cidade de Acopiara.** Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Regional do Cariri. Juazeiro do Norte, p. 83. 2019.

SILVA, M. G.; DANTAS, C.; FREIRE, W. H. C. Estudo da termodinâmica no ensino médio por meio da modelagem científica e ciclos de modelagem. **Revista do Professor de Física**, v. 5, n. 3, p. 64–82, 2021.

SILVEIRA, S.; GIRARDI, M. Desenvolvimento de um kit experimental com Arduino para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 4, p. 1 - 7, abril de 2017.

SOUZA, E. S. R. de; CARMO, E. A. do; SOUSA, O. S. de. Competências ao letramento científico emergentes em ciclos de modelagem. **REVISTA CADERNO PEDAGÓGICO – Studies Publicações e Editora Ltda.**, Curitiba, v.21, n.5, p. 01-18. 2024.

SOUZA, E. S. R. de. Efeitos de um ciclo de modelagem no contexto do ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 38, n. 1, p. 600–627, 2021. DOI: 10.5007/2175-7941.2021.e73139. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/73139>. Acesso em: 3 jun. 2025.

SOUZA, E. S. R. de. **Modelagem matemática gerando ambiente de alfabetização científica: discussões no ensino de física.** 2018. 237f. Tese (Doutorado em Educação em

Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Mato Grosso/Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

SOUZA, E. S. R. de. Instrução por modelagem (*modeling instruction*): percepções docentes. In: VII EPMEM - ENCONTRO PARANAENSE DE MODELAGEM NA EDUCAÇÃO MATEMÁTICA. MODELAGEM MATEMÁTICA EM DEBATE: DIÁLOGOS, REFLEXÕES E DESAFIOS. 7, 2016, Londrina. **Anais** do VII EPMEM - Encontro Paranaense de Modelagem na educação Matemática. Modelagem Matemática em debate: diálogos, reflexões e desafios. Londrina, 2016. p. 325 – 338.

SOUZA, E. S. R de.; ROZAL, E. F. Instrução de modelagem de David Hestenes: uma proposta de ciclo de modelagem temático e discussões sobre alfabetização científica. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, Belém, v. 12, n. 24, p. 99-115, jul. 2016.

SOUZA, E. S. R. de. Registros de Representação em Instrução por Modelagem. In: Seminário Nacional de Linguagem e Educação Matemática. 1. 2016, Belém. **Anais eletrônicos** [...] Belém, 2016. p. 181 - 192. Disponível em: [https://d85502e4-7afb-420e-a171-f259fbaffac1.filesusr.com/ugd/562030\\_1b46ae87019e4733a5f209ae2f2d37fb.pdf](https://d85502e4-7afb-420e-a171-f259fbaffac1.filesusr.com/ugd/562030_1b46ae87019e4733a5f209ae2f2d37fb.pdf). Acessado em: 29 jan. 2025.

SOUZA, E. S. R. de.; SANTO, A. O. do E. A teoria da modelagem de David Hestenes no ensino de ciências e matemática. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 8, n. 3. p. 21-40, 2017.

STIEVEM, P. **Uma proposta para o ensino do modelo do gás ideal em turmas de segundo ano do ensino médio.** 74f. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Florianópolis 2016.

TAÇAR, M.F.; BILICI, SC, & FETTAHİLOĞLU, P. Uma entrevista com David Hestenes: sua vida e realizações. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, v. 8, n. 2, 139-153, 2012.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação.** 2 ed. São Paulo: Cortez, 1986.

VALADARES, E. C.; CHAVES, A.; ALVES, E. G. **Aplicações da física quântica: do transistor à nanotecnologia.** São Paulo: Livraria da Física, 2005.

VILLATE, J. E. **Eletricidade, Magnetismo E Circuitos.** 3 ed. Portugal: Copyright, 2022.

WAGNER, O. R. **Uma Proposta de Sequência Didática para a Discussão de Conceitos Relacionados à Cinemática e Dinâmica Através da Modelização no Primeiro Ano do Ensino Médio.** 207f. 2020. Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Florianópolis, 2020.

WELLS, M.; HESTENES, D.; SWACKHAMER, G. A modeling method for high school physics instruction. **American journal of physics**, v. 63, n. 7, p. 606–619, 1995.

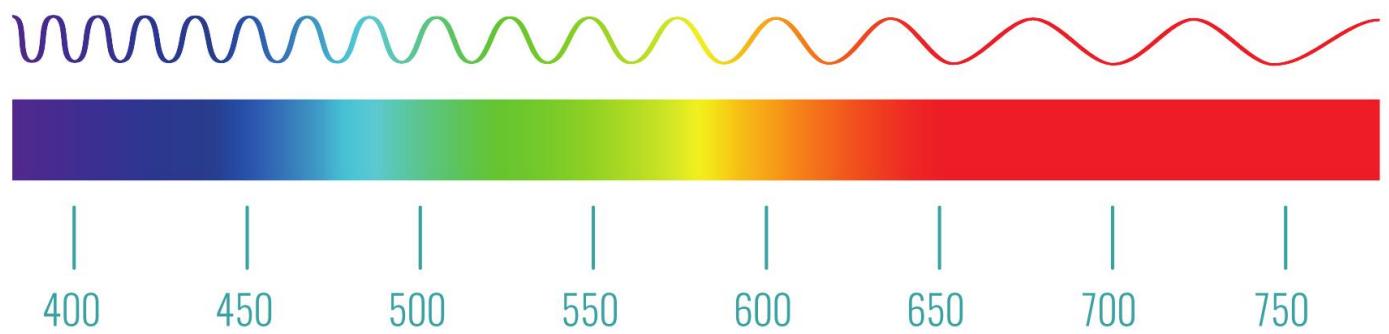
ZABALA, A. **A prática educativa:** como ensinar. Porto Alegre, RS: Artmed, 1998.

## APÊNDICE A: PRODUTO EDUCACIONAL

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
PRÓ - REITORIA DE PÓS - GRADUAÇÃO E PESQUISA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA



### INVESTIGANDO A COR DO LED



Júlio César Santos Nascimento

Orientação: Profª. Dra. Mirleide Dantas Lopes

## Produto Educacional

**Instituição de Ensino:** Universidade Estadual da Paraíba

**Programa:** Programa de Pós-graduação Profissional em Ensino de Física/ Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF

**Nível:** Mestrado

**Área de Concentração:** Ensino de Física

**Linha de Pesquisa:** Física no Ensino Médio

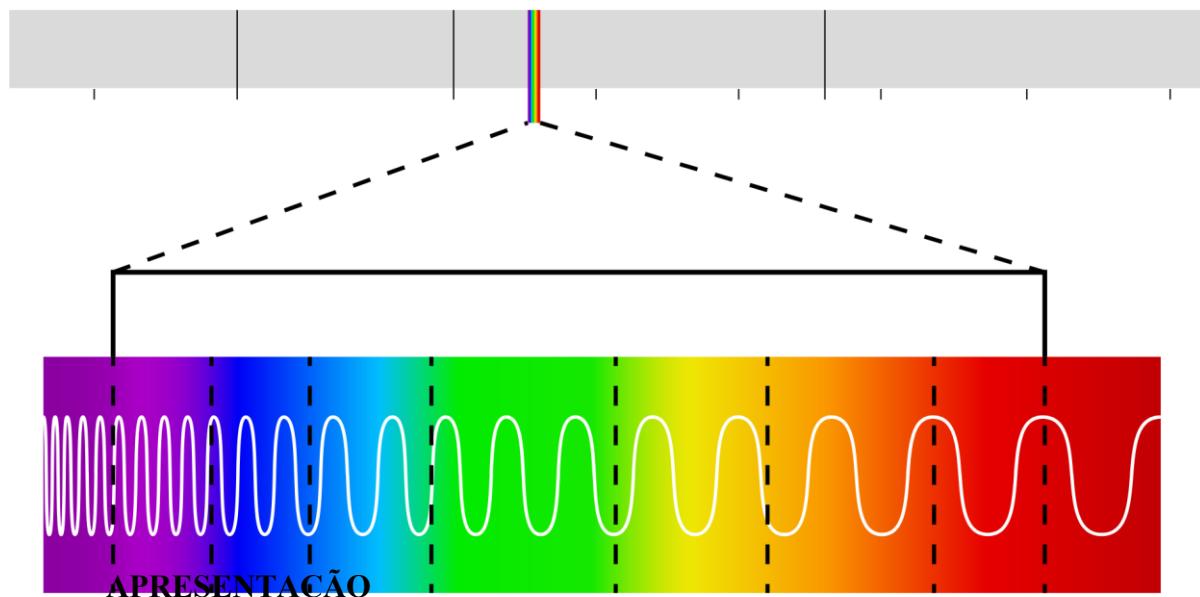
**Título da Dissertação:** A instrução por modelagem como metodologia norteadora para investigar o acendimento de um LED à luz da física moderna e contemporânea

**Produto Educacional:** Investigando a cor do LED

**Autores:** Júlio César Santos Nascimento, Mirleide Dantas Lopes

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Mirleide Dantas Lopes

**Ano:** 2025



Este produto educacional é parte integrante da dissertação: A INSTRUÇÃO POR MODELAGEM COMO METODOLOGIA NORTEADORA PARA INVESTIGAR O

ACENDIMENTO DE UM LED À LUZ DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 48 – UEPB, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Na atualidade, com o avanço tecnológico, é perceptível que os jovens estão imersos em ambientes onde os dispositivos eletrônicos estão cada vez mais presentes, seja em casa, na escola, no trabalho. Estes dispositivos são grandes aliados na praticidade e no conforto das pessoas. Contudo, geralmente quem utiliza essas tecnologias não sabe como elas funcionam.

Preocupados com o uso inadequado de novas tecnologias sem uma consciência crítica, desenvolvemos um produto educacional que traz uma atividade acerca do funcionamento de um LED, que funciona regido pelos princípios estudados pela Física Moderna e Contemporânea e é amplamente utilizado nos mais diversos equipamentos eletrônicos.

O objetivo da atividade é fazer com que os(as) estudantes, trabalhando em equipe, interajam com o experimento, que está descrito no apêndice B, consigam estabelecer relações entre as grandezas presentes no fenômeno e que a partir dessas relações desenvolvam um modelo matemático para ser apresentado para as outras equipes em pequenos quadros brancos, que podem ser confeccionados pelo(a) professor(a) e está descrito no apêndice B.

Aliado ao experimento, trabalhamos com uma metodologia ainda pouco difundida no Brasil, mas de grande aceitação nos Estados Unidos, conhecida como *Modeling Instruction*, em uma tradução livre: Instrução por Modelagem. Assim, os estudantes realizam uma investigação da situação problema (acendimento de um LED), e com isso, estudam a Física que está por trás do funcionamento de um material semicondutor.

A sequência de ensino trazida neste trabalho está organizada para ser ministrada em onze aulas de cinquenta minutos e está dividida em seis estágios. A turma a qual é indicada trabalhar com esta sequência é a terceira série do ensino médio, mas o(a) professor que tem interesse em desenvolvê-la pode fazer na turma que desejar. A atividade está detalhada, porém pode ser modificada, dependendo do contexto onde ela será realizada.

## A SEQUÊNCIA DE ENSINO

### 1.1. Objetivo Geral :



Discutir conceitos de Física Moderna e Contemporânea relacionados ao funcionamento

de um LED a partir de um aparato experimental, seguindo a Instrução por modelagem como metodologia de ensino norteadora para realização da atividade e instigar os estudantes a desenvolverem um modelo matemático que descreva o fenômeno físico associado à situação problema.

### 1.2. Descrição da Sequência de ensino



Nesta sequência de ensino será realizada uma atividade, envolvendo uma situação problema, que é desenvolvida inicialmente através da manipulação do potencial elétrico fornecido a um circuito para acender um LED. Desse modo, os(as) estudantes serão instruídos(as) a desenvolver um modelo matemático que venha elucidar a situação problema apresentada inicialmente.

Através de um potenciômetro os(as) alunos(as) irão manipular o potencial fornecido ao circuito. No experimento utilizaremos LEDs de diferentes cores, a saber: vermelho, amarelo, verde, azul e violeta; cada um deles acende apenas quando o potencial fornecido ao circuito é suficiente para que a barreira de potencial seja vencida. Os(as) estudantes irão realizar medidas do potencial elétrico, a partir de um multímetro, e farão os registros seguindo as etapas do ciclo de modelagem.

Ao controlar o potencial elétrico fornecido ao sistema, os(as) estudantes serão instruídos(as) pelo professor a perceberem que os LEDs acendem com diferentes potenciais, a depender da cor que cada um emite. Assim, mediante as observações realizadas, o problema a ser investigado consiste em: identificar e relacionar as variáveis físicas envolvidas no acendimento de um LED. A exploração deste problema objetiva fazer com que, ao final da implementação da sequência de ensino, os(as) estudantes sejam capazes de compreender a natureza quântica do princípio de funcionamento deste dispositivo.

A turma deve ser dividida em grupos, cada um contendo em média 3 pessoas. Cada equipe ficará responsável por fazer uma investigação acerca do experimento, que será mediada pelo(a) professor(a). Ao final da investigação cada equipe fará uma apresentação nos quadros brancos dos resultados obtidos, momento em que será realizado um aprofundamento da temática trabalhada. Os quadros brancos serão produzidos com materiais de baixo custo, cuja descrição está no apêndice B deste trabalho.

É importante registrar que antes de iniciar a aplicação da sequência de ensino desenvolvida, deve ser ministrada para os(as) alunos(as) uma aula sobre o espectro contínuo e discreto da luz, na qual serão trabalhadas as principais características desse fenômeno físico, a saber: velocidade da luz, frequência e comprimento de onda.

O conteúdo físico subjacente a esta sequência de ensino consiste em compreender o comportamento de materiais semicondutores, que são explicados a partir da Física Moderna e Contemporânea. Os semicondutores são importantíssimos no desenvolvimento da eletrônica moderna e têm características especiais quanto a sua condutividade elétrica, pois ora podem se comportar como condutores elétricos, ora podem se comportar como isolantes. O que vai definir a condutividade do material é a dopagem realizada no mesmo (Capuano; Marino, 1998).

Toda a turma deve ser informada que está participando de uma pesquisa científica voluntária e que os nomes dos(as) participantes serão mantidos em sigilo, assegurando assim a privacidade de todos(as) os(as) envolvidos(as).

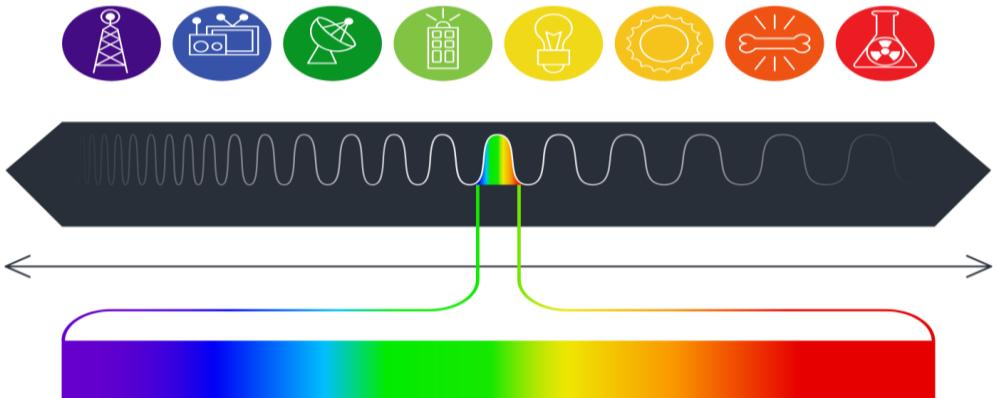
Seguindo as etapas dos ciclos de modelagem, os(as) estudantes devem ser orientados pelo professor a buscar uma solução para o problema descrito anteriormente. A atividade será baseada nos ciclos de modelagem, assim passará por todos os estágios necessários, como está descrito no Quadro 3, que apresenta um esquema de como se dará cada etapa dos ciclos de modelagem.

Quadro 3: Síntese das etapas dos ciclos de modelagem.

Estágio	Objetivos	Desenvolvimento	Tempo
Estágio Inicial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conhecer o tema, o problema e o experimento que serão trabalhados no decorrer do ciclo de modelagem.</li> </ul>	Inicialmente os(as) estudantes devem ser divididos em grupos e cada grupo ficará com um exemplar do experimento para que possam realizar suas próprias investigações. Na sequência, o professor deve fazer uma discussão inicial, apresentando o problema e o experimento, e orientando como deve ser a manipulação deste, durante todos os estágios do ciclo de modelagem.	50 min
I Conhecendo o fenômeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manipular o experimento;</li> <li>Reconhecer as grandezas físicas envolvidas;</li> <li>Esboçar um esquema representando o circuito elétrico manipulado</li> </ul>	Neste momento os(as) estudantes devem ser orientados a conhecer e manipular o experimento. Assim, o professor deve instigar as equipes a realizar as primeiras observações, começando com o LED que apresenta luz de menor frequência e estendendo posteriormente aos demais.	100 min
II Manipulando e construindo o modelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar medidas com o multímetro;</li> <li>Anotar os dados obtidos e organizar em uma tabela.</li> <li>Esboçar um gráfico a partir de dados obtidos em uma tabela.</li> <li>Elaborar um modelo conceitual.</li> </ul>	Com todas as equipes conhecendo o experimento, cada uma delas deverá fazer anotações acerca dos diferentes potenciais necessários para o acendimento dos LEDs. Os dados coletados serão organizados em uma tabela, que posteriormente deverão ser utilizados para a construção de gráficos.	100 min
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>Testar as previsões feitas a</li> </ul>	Trabalhar com o LED violeta, buscando	

Validando o modelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>partir do modelo matemático construído;</li> <li>Avaliar a consistência do modelo.</li> </ul>	validar o modelo que foi encontrado através dos dados levantados e da tecnologia digital utilizada.	100 min
IV Analizando a proposta em outros contextos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar as observações realizadas para investigar uma nova situação;</li> <li>Discutir o novo fenômeno físico, apontando semelhanças e diferenças com o experimento trabalhado.</li> </ul>	Trabalhar com a luz branca, questionando os(as) estudantes sobre o seu princípio de funcionamento, bem como a diferença de potencial para seu acionamento.	100 min
Estágio Final	<ul style="list-style-type: none"> <li>Discutir sobre a evolução das lâmpadas;</li> <li>Refletir sobre o princípio de funcionamento de diferentes lâmpadas;</li> <li>Dialogar sobre o processo de dopagem nos materiais semicondutores existentes nos LEDs.</li> </ul>	Nesta sessão os estudantes deverão fazer apresentações nos quadros brancos acerca do modelo que eles desenvolveram. Na sequência, o professor discutirá o modelo conceitual já conhecido na literatura. Neste sentido, será feita uma discussão geral acerca do princípio de funcionamento de diferentes tipos de lâmpadas, ocasião em que será discutido de forma mais profunda o processo de dopagem dos materiais semicondutores que compõem os LEDs.	100 min

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.



### Estágio inicial

A atividade será iniciada com a divisão de grupos e distribuição dos quadros brancos. Cada equipe ficará responsável por manipular um exemplar do experimento, que será comum a todos e está descrito no apêndice B deste trabalho. Para que realizem a investigação de maneira independente, as equipes ficarão um pouco afastadas umas das outras.

A escolha dos grupos será feita pelo(a) professor(a). Desse modo, a ideia é constituir grupos mais heterogêneos, uma vez que a literatura aponta que grupos com este tipo de

configuração se dispersam menos e têm maior potencial para resolver coletivamente problemas complexos (Cohen; Lotan, 2017).

Com as equipes de posse do experimento, o professor inicialmente realizará uma discussão geral, apresentando os diferentes componentes que serão manipulados, especialmente o LED, a fim de que os(as) estudantes possam ir construindo modelos mentais que lhe permitam identificar as grandezas físicas envolvidas no experimento (15 min).

Compreendida a ideia geral da atividade, o professor apresentará o problema a ser investigado a todas as equipes, qual seja: como identificar e analisar as variáveis físicas envolvidas no acendimento de um LED, relacionando-as com a composição deste dispositivo? Assim, todas as equipes iniciarão a manipulação do seu experimento, (20 min) com o acompanhamento do(a) professor(a), que conduzirá a instrução de tal modo que os(as) estudantes consigam refletir sobre a natureza do material semicondutor que constitui o LED.

Sabemos que apesar de o tempo de aula ser de 50 minutos sempre existem contratempos em sala que não planejamos, assim o tempo de atividade por vezes não contempla os 50 minutos, como previsto para cada aula. Para facilitar o acompanhamento do estágio inicial desenvolvemos o quadro 4, observe:

Quadro 4: Dicas de como organizar o estágio inicial.

Objetivo	Dicas	Tempo médio
Conhecer o tema, o problema e o experimento que serão trabalhados no decorrer do ciclo de modelagem.	Iniciar com a divisão de grupos e distribuição dos quadros brancos.	5 min
	Realizar uma discussão geral do que vai ser investigado.	15 min
	Apresentar o problema a ser investigado e conduzir os(as) a manipular o experimento.	20 min

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

## Estágio I

Nesta etapa, cada equipe estará de posse de seu próprio kit experimental, no entanto, os LEDs de diferentes cores serão entregues paulatinamente, partindo do que possui a menor frequência entre os que foram disponibilizados. É interessante que os LEDs utilizados na atividade sejam de alto brilho, pois a parte do plástico que compõe a estrutura deles é transparente, então os(as) estudantes não poderão afirmar qual cor que eles possuem, até que consigam acendê-los.

Cada um dos LEDs têm um potencial de acionamento diferente do outro. Em vista disso, os(as) estudantes serão orientados(as) a controlar o potencial do circuito elétrico, através

do potenciômetro, a fim de acender os diferentes LEDs e observar esta diferença no potencial de acionamento, a princípio apenas do ponto de vista qualitativo.

Após os estudantes conseguirem acionar o primeiro LED (o vermelho), o docente deve solicitar que eles(as) mantenham o potenciômetro na mesma posição e conectem o LED de frequência subsequente, neste caso, o amarelo (20 min). A ideia é fazer com que eles(as) percebam que este LED, assim como os demais, precisará de um potencial maior para ser acionado. O(A) professor(a) deve orientar os(as) estudantes a controlar o potenciômetro com bastante cautela, para não queimar o LED.

Esta etapa será apenas de reconhecimento do experimento, assim o professor deve caminhar entre as equipes e observar se cada uma delas está manipulando o experimento de forma coerente e se todos(as) estão participando, instigando-os(as) a responderem quais são as grandezas que estão manipulando. Eles(as) não serão orientados quanto à posição adequada do LED no circuito, para que percebam que este dispositivo só será acionado se estiver sido conectado da forma correta, ou seja, com uma polarização direta (Valadares; Chaves; Alves, 2005).

Quando o professor observar que todas as equipes já estão conseguindo acender os LEDs, ele perguntará se foi percebida alguma diferença para acender cada um deles. É provável que a essa altura os grupos tenham percebido a diferença, então o(a) professor(a) questionará toda a turma sobre a razão disso acontecer. Outro questionamento que deve ser feito pelo(a) professor(a) é se o material que constitui o LED é um condutor, um isolante ou um semicondutor. A equipe terá cerca de vinte minutos para refletir a respeito e posteriormente cada uma elegerá um(a) estudante para responder de forma oral sobre os questionamentos realizados, sintetizando as ideias do grupo.

Em seguida, o professor solicitará que cada equipe faça uma representação (cada apresentação deve durar 3 min), em seu quadro branco, do circuito elétrico investigado. Na ocasião, cada grupo apresentará e defenderá a imagem que desenvolveu, a partir da sua interação com o experimento. Esta é a representação simbólica, que será reproduzida seguindo as orientações da IpM (Hestenes, 2010).

Após os grupos apresentarem seus quadros brancos, a atividade avançará para o estágio II, que será descrito adiante. Para facilitar o acompanhamento do estágio I desenvolvemos o Quadro 5, observe:

Quadro 5: Dicas de como organizar o estágio I.

Objetivos	Dicas	Tempo médio
Manipular o experimento;  Reconhecer as grandezas físicas envolvidas;  Esboçar um esquema representando o circuito elétrico manipulado.	Iniciar com a entrega dos Kits experimentais, mas sem entregar os LEDs. O ideal é entregar uma cor de cada vez, iniciando com o de menor frequência, até o de maior frequência.	5 min
	Entregar os LEDs paulatinamente e observar as equipes manipulando o experimento.	20 min
	Solicitar às equipes para refletir que tipo de material constitui o LED e esboçar sua ideia no quadro branco.	20 min
	Solicitar que cada equipe apresente seus argumentos no quadro branco.	3 min (Cada equipe)
	Solicitar que as equipes desenvolvam uma representação do circuito em forma de imagem no quadro branco.	20 min
	Apresentação da imagem desenvolvida pelos estudantes no quadro branco.	3 min (Cada equipe)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

## Estágio II

Neste estágio os(as) estudantes farão o levantamento de dados necessários para que possam refletir melhor sobre as hipóteses levantadas e responder ao questionamento realizado no estágio inicial. Para isso as equipes recebem o Kit experimental e um multímetro, para realizar a aferição do potencial elétrico necessário para acionar o limiar de acendimento de cada LED. Aqui o(a) professor(a) vai orientar os(as) estudantes a anotarem os valores de potencial elétrico necessários para acender cada LED. Isso será feito na tabela 1, que está disponível no apêndice B deste trabalho.

O(A) professor(a) continuará com seu trabalho participativo em meio aos grupos, orientando-os caso alguma das equipes esteja fazendo anotações de forma equivocada. É importante lembrar que o docente nunca deve mostrar como “deve ser feito”, mas sim, questionar se aquela é a melhor forma de os(as) estudantes obterem os dados. Este momento é importante, pois os(as) discentes estarão manipulando o potenciômetro e checando junto ao multímetro qual é o potencial de acendimento de cada LED. O papel do(a) professor(a) é de mediar a investigação, para que as equipes se certifiquem de que existe um valor específico para o potencial de acionamento de cada LED (20 min).

Após registrar todos os potenciais de acionamento na tabela, as equipes deverão investigar qual modelo matemático pode relacionar às grandezas físicas presentes no experimento. Apenas com os dados dos potenciais elétricos não é possível esboçar um gráfico,

assim o(a) professor(a) deve mostrar para a turma o espectro eletromagnético que é encontrado nos anexos deste trabalho, para que as equipes possam relacionar o potencial elétrico de acendimento ao comprimento de onda ou frequência da luz emitida pelo LED. O(A) professora deve instigar os(as) estudantes a refletir sobre uma forma de representar o fenômeno a partir de um gráfico. Ainda neste estágio o professor entregará papel milimetrado para que os(as) estudantes comecem a modelar o gráfico com os dados que obtiveram e anotaram na tabela, a partir das grandezas físicas envolvidas no experimento. Lembrando sempre de orientar todos os grupos de maneira geral e continuar com sua visitação, equipe por equipe (20 min).

Após todos os grupos desenvolverem seus modelos no papel milimetrado, o(a) professor(a) vai conduzi-los a representar seus gráficos nos quadros brancos para realizarem uma apresentação para toda a turma. Após isso, cada equipe fará uma apresentação (3 min para cada equipe) para toda a turma e argumentará sobre como conseguiu desenvolver seu gráfico.

Realizada a discussão com todas as equipes, o(a) professor(a) vai incentivar os(as) estudantes a anotarem os dados obtidos em uma tabela no Excel. Na ocasião, orientados pelo(a) professor(a), os grupos vão realizar uma regressão linear no Excel, para descrever as grandezas graficamente e em forma de equação. Assim, os(as) estudantes poderão realizar uma comparação entre os modelos elaborados por eles(as) e o modelo reproduzido no aplicativo (20 min para preenchimento da planilha e regressão).

Neste momento, o professor deve comentar acerca de possíveis equívocos que cada grupo cometeu e também enaltecer os pontos positivos alcançados na investigação. Realizada esta discussão, passaremos ao estágio III, no qual os(as) estudantes farão uma análise da proposta elaborada. Para facilitar o acompanhamento do estágio II desenvolvemos o Quadro 6, observe:

Quadro 6: Dicas de como organizar o estágio II

Objetivos	Dicas	Tempo médio
Realizar medidas com o multímetro;	Iniciar distribuindo os Kits experimentais junto com o multímetro.	5 min
Anotar os dados obtidos e organizar em uma tabela;	Mediar a manipulação do experimento na aferição do potencial de acendimento.	20 min
Esboçar um gráfico a partir de dados obtidos em uma tabela;	Mediar a elaboração do gráfico em papel milimetrado a partir da tabela preenchida.	20 min
	Mediar a representação do gráfico no quadro branco.	10 min
	Apresentação dos quadros brancos.	3 min (para cada equipe)

Elaborar um modelo conceitual.	Mediar a elaboração da tabela e regressão linear do gráfico no Excel.	20 min
	Discussão com todas as equipes do comportamento do gráfico no Excel e possíveis equívocos no desenvolvimento do gráfico em papel milimetrado.	10 min

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

### Estágio III

Nesta etapa, o(a) professor(a) vai inserir mais um LED na investigação, o violeta. Mas como esta é uma etapa de verificação do modelo, a princípio os(as) estudantes não irão manipular este LED, porém serão questionados(as) sobre qual seria a posição dele no gráfico que construíram. Os estudantes devem apontar no gráfico qual é o ponto de interseção do LED violeta e para isso será disponibilizado aos estudantes uma imagem com o espectro eletromagnético que se encontra nos anexos deste trabalho. Os estudantes devem relacionar o comprimento de onda ou a frequência em seu gráfico para apontar qual é o ponto de interseção (20 min). Em seguida farão uma apresentação (3 min para cada equipe) nos quadros brancos de seus gráficos e qual o ponto de interseção que o modelo deles aponta. Este estágio visa analisar a capacidade preditiva do modelo, bem como a compreensão dos estudantes em relação ao que foi produzido até então.

Posteriormente, as equipes receberão o LED violeta para coletar os dados e testar suas hipóteses. Os(as) estudantes farão o teste como em todos os outros e anotam na Tabela 1 (que se encontra no apêndice B deste trabalho), observando com o multímetro qual o potencial elétrico de acendimento. De posse desses dados, a ideia é que eles(as), tomando como referência o modelo elaborado, e observem se o potencial de acendimento do LED é próximo do que eles(elas) estimaram.

Os grupos devem usar seus modelos e representá-los em seus quadros brancos. Assim, quando todos terminarem, teremos uma nova seção de apresentações (3 min para cada grupo), para que cada equipe defenda seus argumentos e descreva quais estratégias utilizaram para chegar a tais conclusões. O(a) professor acompanhará todas as apresentações e, ao final, mencionará possíveis equívocos apresentados, enaltecendo os pontos positivos. Para facilitar o acompanhamento do estágio III desenvolvemos o Quadro 7, observe:

Quadro 7 : Dicas de como organizar o estágio III

Objetivos	Dicas	Tempo médio
-----------	-------	-------------

Testar as previsões feitas a partir do modelo matemático construído;  Avaliar a consistência do modelo.	Iniciar a aula entregando os gráficos produzidos no estágio anterior e os quadros brancos	5 min
	Mediar as discussões das equipes buscando o ponto de interseção do LED violeta.	20 min
	Apresentação do ponto de interseção nos quadros brancos.	3 min (Para cada equipe)
	Distribuição do Kit experimental, junto do LED violeta e multímetro	5 min
	Aferição do potencial de acendimento do LED violeta com o multímetro.	20 min
	Apresentação dos quadros brancos.	3 min (Para cada equipe)
	Discussão geral com o (a) professor(a) corrigindo possíveis equívocos das equipes e enaltecedo os acertos	10 min

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

No estágio seguinte, os(as) estudantes irão se deparar com uma situação cotidiana. Dessa forma, o(a) professor(a) deve realizar uma conexão entre o dia a dia dos(as) discentes e a presença da Física em tarefas corriqueiras, como segue na descrição do estágio IV.

#### Estágio IV

Neste estágio, os(as) estudantes serão confrontados com uma situação cotidiana que envolve a discussão realizada até o momento, qual seja, o acendimento de uma lâmpada LED. Esta atividade tem como objetivo fazer com que eles(as) percebam que muitos conceitos físicos trabalhados em sala de aula fazem parte do mundo vivencial.

Sabemos que o potencial elétrico fornecido às lâmpadas de LED presentes nas instalações elétricas das casas na Paraíba é geralmente em torno de 220V. Desse modo, um dos questionamentos feitos pelo professor será: Como é possível uma lâmpada LED suportar um potencial de 220V sem ser danificada? O(A) professor(a) vai levar para a aula uma lâmpada de LED desmontada, pois, desta forma, será possível observar os LEDs conectados em série, associação que favorece a distribuição do potencial elétrico fornecido ao sistema. Assim, todos os grupos poderão propor uma solução a este questionamento e apresentar suas hipóteses.

Outro questionamento feito aos(as) estudantes será: Tomando como referência os LEDs de diferentes cores manipulados anteriormente, como é possível uma lâmpada feita de LEDs emitir luz na tonalidade branca? O desafio é que eles(as) consigam perceber que a luz branca

emitida é resultante de uma mistura de cores, associada à composição do LED branco.

Os(as) estudantes irão sistematizar suas respostas nos quadros brancos e após uma sessão de discussões, primeiramente em grupo e posteriormente com toda a turma, seguiremos para a culminância da atividade. Para facilitar o acompanhamento do estágio IV desenvolvemos o Quadro 8.

Quadro 8: Dicas de como organizar o estágio IV

Objetivos	Dicas	Tempo médio
Utilizar as observações realizadas para investigar uma nova situação;  Discutir o novo fenômeno físico, apontando semelhanças e diferenças com o experimento trabalhado	Mostrar a todas as equipes uma lâmpada de LED desmontada.	5 min
	Entrega dos quadros brancos e mediação das equipes na investigação sobre o porquê a lâmpada de LED emite luz branca.	40 min
	Apresentação dos quadros brancos.	3 min (Para cada equipe)
	Discussão geral mediada pelo professor sobre as semelhanças e diferenças da lâmpada de LED com o experimento trabalhado	15 min

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

### Culminância da IpM

Podemos afirmar que este é um dos momentos mais importantes de nossa atividade, pois aqui as equipes farão uma apresentação geral de tudo que foi desenvolvido por elas nos quadros brancos. Na ocasião, cada grupo irá argumentar sobre possíveis soluções ao problema inicial, utilizando o quadro para expor suas hipóteses e conclusões (5 min para cada equipe).

Ao final de todas as apresentações, o professor ou a professora deverá apontar os equívocos e vai enaltecer os pontos positivos de cada equipe durante a investigação. Neste momento, como Hestenes (2010) destaca, é o mais rico da aprendizagem, pois todos os(as) estudantes participam da argumentação, observam possíveis equívocos que foram cometidos e têm sua autoestima levantada pelas colocações do professor perante seus acertos.

Após as apresentações dos(as) estudantes e apontamentos feitos pelo professor, será conduzida uma reflexão sobre todos os questionamentos levantados no decorrer da investigação. Neste momento de aprofundamento, previsto na IpM, o(a) professor(a) iniciará uma discussão, abordando as primeiras lâmpadas produzidas, até as atuais lâmpadas de LED. Desse modo, ele(a) irá também discutir sobre o que são e como funcionam os materiais semicondutores, evidenciando o processo de dopagem destes materiais, uma vez que este é o processo que determina a cor que o LED emite.

Por fim, o(a) docente voltará à pergunta inicial e fará o fechamento da atividade, mostrando aos estudantes as relações entre o que eles produziram e os modelos presentes na literatura.

## REFERÊNCIAS

COHEN, E.; LOTAN, R. A. **Planejando o trabalho em grupo:** estratégias para salas de aula heterogêneas. 3a edição. Porto Alegre: Penso, 2017.

VALADARES, E. C.; CHAVES, A.; ALVES, E. G. **Aplicações da física quântica: do transistor à nanotecnologia.** São Paulo: Livraria da Física, 2005.

HESTENES, D. Modeling theory for math and science education. In: LESH, R. et al. (Ed.), **Modeling student's mathematical modeling competencies** (pp. 13-41). New York: Springer, 2010.

## APÊNDICE B - MATERIAIS PARA A SEQUÊNCIA

### Materiais para o experimento

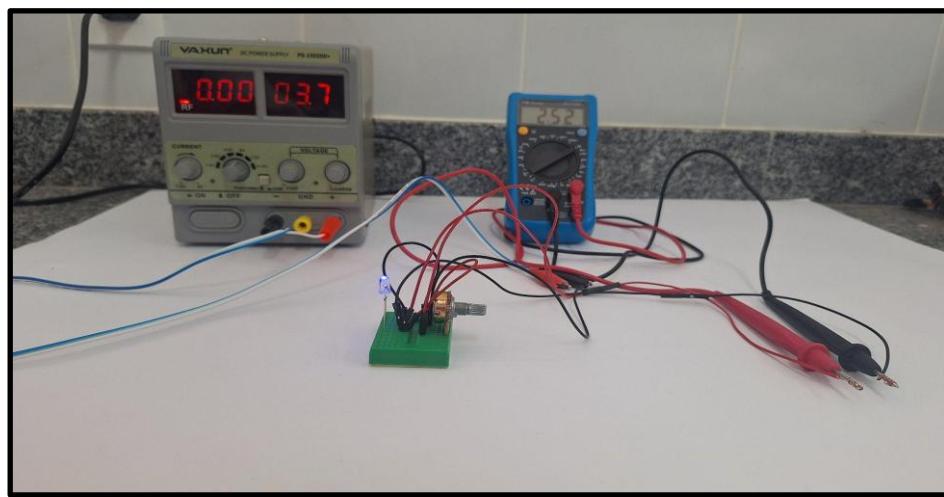
Os materiais necessários para reproduzir o experimento são de baixo custo e podem ser adaptados de acordo com a realidade de cada educador em seu ambiente de ensino aprendizagem, como segue:

- ❖ 1 fonte controladora de tensão (pode ser substituído por bateria de 9V);
- ❖ 1 potenciômetro de 5 kohms;
- ❖ jumpers;
- ❖ 1 protoboard;
- ❖ LEDs de alto brilho com diferentes cores;
- ❖ Multímetro.

Neste experimento conseguimos controlar o potencial fornecido ao circuito com o auxílio do potenciômetro, com o multímetro é possível registrar a tensão suficiente para acender cada um dos LEDs, observe na Imagem 4.

Imagen 4: Montagem do Kit experimental com a fonte de potencial

### Monte seu Kit experimental



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

## TABELA DO POTENCIAL ELÉTRICO

Na tabela abaixo o(a) professor(a) deve motivar os(as) estudantes a anotarem o potencial necessário para o acendimento de cada LED. O ideal é que seja entregue aos estudantes pelo menos 3 LEDs da mesma cor, para que as equipes consigam calcular a média aritmética no acendimento entre eles. No espaço “Luz emitida”, os(as) estudantes preenchem com a cor que o LED emite.

Tabela 1: Potencial elétrico capaz de acionar o LED

<b>Registre aqui o potencial aferido no multímetro</b>					
<b>Luz emitida</b>					
<b>Potencial (V) de acendimento</b>					
<b>Média de V</b>					

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.



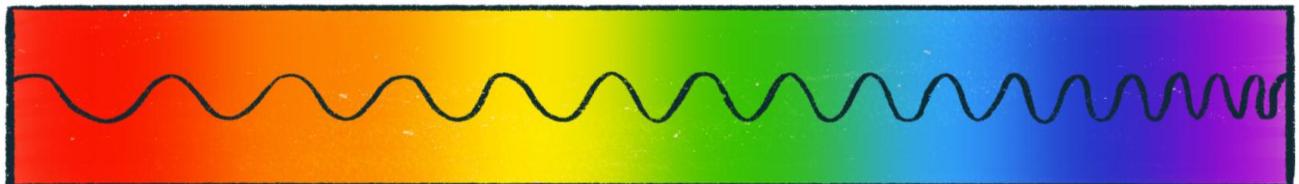
## TABELA DAS GRANDEZAS FÍSICAS ASSOCIADAS AO FENÔMENO

Nesta tabela o(a) professor(a) deve motivar os(as) estudantes a inserirem a média dos potenciais elétricos, obtida na Tabela 1. Assim, as equipes podem relacionar o potencial de acendimento com o comprimento de onda da luz emitida ou a frequência. Observe a Tabela 2.

Tabela 2 - Comprimento de onda e frequência do espectro visível

<b>Registre as médias dos potenciais aferidos com multímetro</b>			
<b>Cor do LED</b>	<b>V de acendimento</b>	<b>Comprimento de onda em nm</b>	<b>Frequência em THz</b>
<b>Vermelho</b>		<b>645</b>	<b>464</b>
<b>Amarelo</b>		<b>595</b>	<b>503</b>
<b>Verde</b>		<b>565</b>	<b>530</b>
<b>Azul</b>		<b>430</b>	<b>697</b>

Fonte: Tabela adaptada pelos autores (2024), baseada em Villate, 2015.



## Quadro branco de baixo custo

Em nossas atividades utilizamos o quadro branco como um material recursivo, fizemos uma adaptação para melhor se adequar à realidade da nossa escola, desse modo, segue algumas dicas de como construir o seu próprio quadro branco.

### Materiais necessários

1 Papel cartão branco (48 x 66 cm) 250g/m<sup>2</sup>;

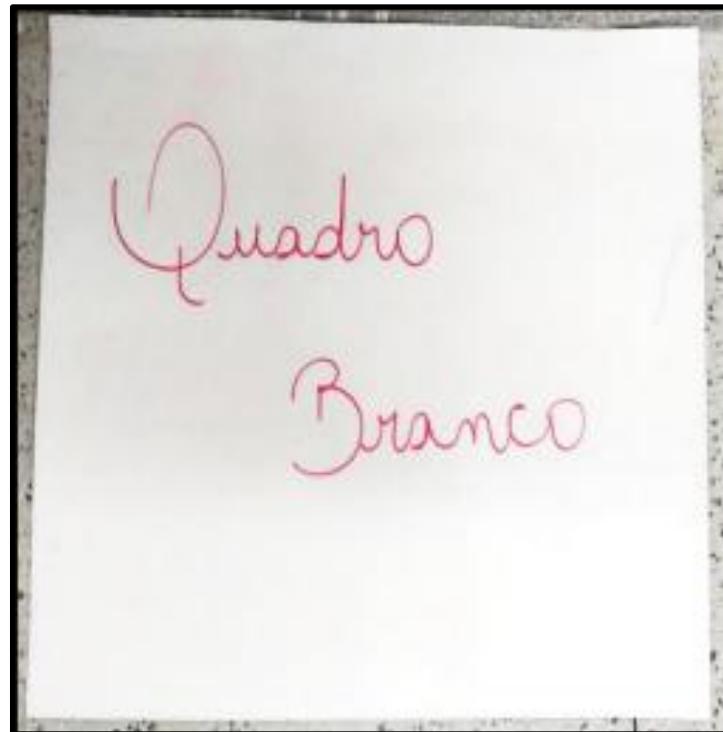
1 Plástico adesivo transparente;

1 tesoura sem ponta.

### Montagem

Primeiramente, é necessário colocar o plástico adesivo na parte branca do papel cartão, temos que cobrir toda a área. Com o plástico totalmente aplicado no cartão podemos escrever com o pincel de quadro branco e depois apagar. Observe o modelo na Imagem 5.

Imagen 5: Quadro branco



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

## Questões norteadoras - Agenda pedagógica

Algumas questões são importantes para servir de orientação ao professor durante o desenvolvimento da sequência de ensino, segue abaixo algumas destas questões;

### **QUESTÕES NORTEADORAS**

#### **Estágio I:**

Existem diferenças entre potenciais de acionamento para os diferentes LEDs? Quais?

R.:

Após as observações realizadas, como você classificaria os materiais que compõem os LEDS, em condutores, isolantes ou semicondutores? Por quê?

R.:

#### **Estágio II:**

Na sua opinião, por que LEDs tão parecidos apresentam comportamentos diferentes? Isso poderia estar relacionado à composição destes dispositivos?

R.:

#### **Estágio III:**

O LED violeta é semelhante aos demais? Em que aspectos?

R.:

#### **Estágio IV:**

Como é possível uma lâmpada LED suportar um potencial de 220V sem ser danificada?

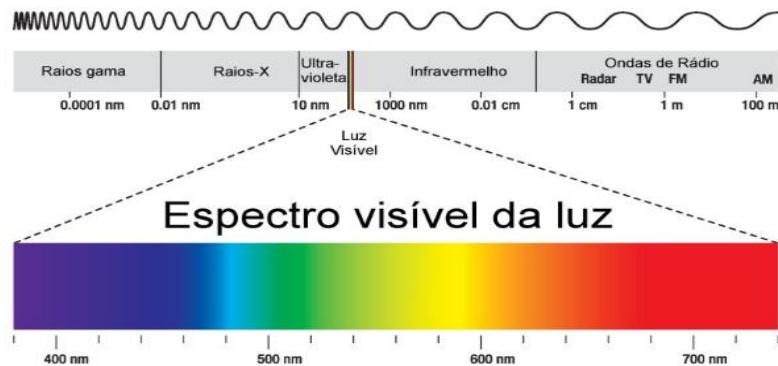
R.

Tomando como referência os LEDs de diferentes cores manipulados anteriormente, como é possível uma lâmpada feita de LEDs emitir luz na tonalidade branca?

R.

## ANEXOS - ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Figura 42: Espectro eletromagnético



Fonte: Infoescola<sup>3</sup>

## REFERÊNCIAS

CARVALHO, T. Espectro Eletromagnético. **Infoescola**, 2025. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>. Acesso em: 30/06/2025

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>> Acesso em: 17 de out. de 2024.