



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS DE PICOS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 65

ROGÉRIO RODRIGUES DE MACEDO

**EFEITO FOTOELÉTRICO EM SENSOR COM ARDUINO EM AULA DE
CIÊNCIAS NO ENSINO FUNDAMENTAL: DO CONCEITO À PRÁTICA**

Rogério Rodrigues de Macedo

**EFEITO FOTOELÉTRICO EM SENSOR COM ARDUINO EM AULA DE
CIÊNCIAS NO ENSINO FUNDAMENTAL: DO CONCEITO À PRÁTICA**

Dissertação apresentada ao Polo 65 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica.

Orientador: Prof. Dr. Ysmailyn Siqueira
Costa

M141e Macedo, Rogério Rodrigues de
 Efeito fotoelétrico em sensor com arduino em aula de ciências no
 ensino fundamental: do conceito à prática / Rogério Rodrigues de Macedo.
 - Picos - PI, 2026.
 95 f.

 Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) -
 Instituto Federal do Piauí, Campus Picos, 2026.

 Orientador: Prof. Dr. Ysmailyn Siqueira Costa.

 1. Ensino de ciências. 2. Efeito fotoelétrico. 3. Física moderna. 4.
 Arduino. I. Título.

CDD - 530

Elaborado por Sílvio de Carvalho Gomes Coutinho – CRB3/1362

Rogério Rodrigues de Macedo

**EFEITO FOTOELÉTRICO EM SENSOR COM ARDUINO EM AULA DE
CIÊNCIAS NO ENSINO FUNDAMENTAL: DO CONCEITO À PRÁTICA**

Dissertação apresentada ao Polo 65 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica.

Aprovada em 20 de março de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ysmailyn Siqueira Costa
(MNPEF/65 & UNIVASF)

Prof. Dr. Alexandro das Chagas de Sousa Nascimento
(MNPEF/65 & IFPI)

Prof. Dr. José Américo de Sousa Moura
(UNIVASF)

AGRADECIMENTOS

Sou grato,

A Deus, por conceder força, saúde e perseverança ao longo de toda esta caminhada, iluminando meus passos e possibilitando a realização deste trabalho.

À minha família, pelo apoio incondicional, compreensão e incentivo nos momentos mais desafiadores desta trajetória acadêmica. A presença, o carinho e a confiança de vocês foram fundamentais para que eu pudesse seguir firme na busca pelos meus objetivos.

Ao meu orientador, pela orientação segura, pelas contribuições valiosas, pela paciência e pelo comprometimento ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. Seus ensinamentos foram essenciais para o amadurecimento acadêmico e científico deste trabalho.

Aos professores do programa, pelos conhecimentos compartilhados, pelas discussões enriquecedoras e pela contribuição na minha formação acadêmica e profissional.

Aos estudantes participantes da pesquisa, pela colaboração, entusiasmo e envolvimento nas atividades propostas, tornando possível a realização deste estudo.

À instituição de ensino e à equipe escolar que viabilizaram a aplicação da proposta didática, pelo apoio e pela confiança depositada no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas de curso, pelas trocas de experiências, incentivo e companheirismo ao longo dessa jornada.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Esta pesquisa apresenta o desenvolvimento, a aplicação e a análise de uma proposta didática voltada ao ensino introdutório do efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental, utilizando abordagem investigativa mediada por recursos tecnológicos, especialmente a plataforma Arduino. O estudo parte da necessidade de tornar conceitos da Física Moderna mais acessíveis e significativos para estudantes da Educação Básica, superando dificuldades associadas à abstração conceitual e às práticas pedagógicas tradicionais centradas na transmissão de conteúdos. Como objetivo geral, buscou-se Desenvolver, aplicar e avaliar uma proposta didática sobre o efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental, visando promover a compreensão conceitual e o desenvolvimento de habilidades investigativas nos estudantes, a partir de atividades práticas e contextualizadas. A metodologia adotada caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa, realizada em contexto real de sala de aula com estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental. A proposta foi estruturada a partir de uma sequência didática investigativa, envolvendo problematização inicial, organização do conhecimento, experimentação com Arduino e contextualização tecnológica do fenômeno estudado. Foram utilizados diferentes instrumentos de coleta de dados, como questionários diagnósticos e finais, registros de observação, produções escritas e análise das interações em sala de aula, possibilitando avaliar a participação, o engajamento e a aprendizagem conceitual dos estudantes ao longo da intervenção. Os resultados indicam que a integração entre teoria, simulação e experimentação contribuiu para o aumento da participação e do interesse dos estudantes pelas aulas de Ciências, favorecendo o desenvolvimento de habilidades investigativas, como observação, formulação de hipóteses, interpretação de resultados e argumentação científica. Observou-se avanço na compreensão dos conceitos relacionados à luz, energia e resposta elétrica, evidenciando a construção de uma aprendizagem mais significativa e contextualizada. A utilização do Arduino mostrou-se eficaz como recurso didático de baixo custo, permitindo aproximar conceitos científicos abstratos de aplicações tecnológicas presentes no cotidiano, como sensores automáticos e sistemas fotovoltaicos. Como produto educacional, foi elaborado um material didático estruturado, contendo sequência didática, roteiros experimentais e orientações pedagógicas para uso do Arduino no ensino do efeito fotoelétrico, visando apoiar professores da Educação Básica na implementação de práticas investigativas mediadas por tecnologia. Conclui-se que a proposta didática desenvolvida apresenta potencial para promover aprendizagem significativa, engajamento estudantil e desenvolvimento do pensamento científico, contribuindo para o fortalecimento de práticas pedagógicas inovadoras no ensino de Ciências.

Palavras-chave: Efeito Fotoelétrico. Arduino. Ensino de ciências. Aprendizagem Significativa. Física Moderna.

ABSTRACT

This research presents the development, application, and analysis of a didactic proposal aimed at the introductory teaching of the photoelectric effect in elementary school, using an investigative approach mediated by technological resources, especially the Arduino platform. The study stems from the need to make concepts of Modern Physics more accessible and meaningful for students in Basic Education, overcoming difficulties associated with conceptual abstraction and traditional pedagogical practices centered on the transmission of content. The general objective was to develop, apply, and evaluate a didactic proposal on the photoelectric effect in elementary school, aiming to promote conceptual understanding and the development of investigative skills in students, based on practical and contextualized activities. The methodology adopted is characterized as applied research, with a qualitative approach, carried out in a real classroom context with 9th-grade elementary school students. The proposal was structured based on an investigative didactic sequence, involving initial problematization, knowledge organization, experimentation with Arduino, and technological contextualization of the phenomenon studied. Different data collection instruments were used, such as diagnostic and final questionnaires, observation records, written productions, and analysis of classroom interactions, making it possible to evaluate student participation, engagement, and conceptual learning throughout the intervention. The results indicate that the integration of theory, simulation, and experimentation contributed to increased student participation and interest in science classes, favoring the development of investigative skills such as observation, hypothesis formulation, interpretation of results, and scientific argumentation. An improvement was observed in the understanding of concepts related to light, energy, and electrical response, demonstrating the construction of more meaningful and contextualized learning. The use of Arduino proved effective as a low-cost teaching resource, allowing the connection of abstract scientific concepts to everyday technological applications, such as automatic sensors and photovoltaic systems. As an educational product, structured teaching materials were developed, containing a didactic sequence, experimental scripts, and pedagogical guidelines for using Arduino in teaching the photoelectric effect, aiming to support basic education teachers in implementing technology-mediated investigative practices. It is concluded that the didactic proposal developed has the potential to promote meaningful learning, student engagement, and the development of scientific thinking, contributing to the strengthening of innovative pedagogical practices in science education.

Keywords: Photoelectric Effect. Arduino. Science Education. Meaningful Learning. Modern Physics.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre a frequência da luz e a emissão de elétrons no efeito fotoelétrico.....	28
Figura 2 – Gráfico da corrente i em função da tensão V	28
Figura 3 – Arduino.....	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição etária dos alunos.....	57
Gráfico 2 – Participação dos estudantes em atividades práticas envolvendo eletrônica, robótica ou Arduino.....	58
Gráfico 3 – Distribuição das notas atribuídas ao interesse pelas aulas de Ciências.....	59
Gráfico 4 – Aplicações reconhecidas pelos estudantes que utilizam o efeito fotoelétrico.....	61
Gráfico 5 – Nível de familiaridade dos estudantes com a montagem de circuitos eletrônicos.....	63
Gráfico 6 – Autoavaliação do entendimento sobre o efeito fotoelétrico.....	64
Gráfico 7 – Capacidade de explicação do efeito fotoelétrico.....	65
Gráfico 8 – Compreensão conceitual do efeito fotoelétrico.....	66
Gráfico 9 – Aplicações do efeito fotoelétrico identificadas pelos estudantes.....	67
Gráfico 10 – Compreensão da luz e suas propriedades.....	68
Gráfico 11 – Aplicações que utilizam o efeito fotoelétrico.....	69
Gráfico 12 – Percepção sobre o Arduino.....	70
Gráfico 13 – Observação em experimentos com Arduino.....	71
Gráfico 14 – Dispositivos que utilizam sensores de luz.....	72
Gráfico 15 – Reação do sensor LDR à variação de luz.....	73
Gráfico 16 – Nível de compreensão do efeito fotoelétrico.....	73
Gráfico 17 – Nível de compreensão sobre o uso de sensores no cotidiano.....	74
Gráfico 18 – Nível de compreensão sobre aplicações tecnológicas da luz.....	75
Gráfico 19 – Parte mais interessante das oficinas.....	76
Gráfico 20 – Dificuldades encontradas nas oficinas.....	77
Gráfico 21 – Interesse em participar de futuras oficinas.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Planejamento Geral das Aulas sobre o Efeito Fotoelétrico.....	47
Quadro 2 – Estrutura da Sequência Didática Interdisciplinar.....	48
Quadro 3 – Distribuição etária dos alunos (Item 1 do questionário diagnóstico inicial)..	56
Quadro 4 – Distribuição dos participantes segundo o sexo (Item 2 do questionário diagnóstico inicial).....	57
Quadro 5 – Participação dos estudantes em atividades práticas envolvendo eletrônica, robótica ou Arduino (Item 3 do questionário diagnóstico inicial).....	58
Quadro 6 – Síntese das concepções dos estudantes sobre o conceito de luz (Item 5 do questionário diagnóstico inicial).....	59
Quadro 7 – Respostas dos estudantes ao item sobre dispositivos que funcionam com luz (Item 6 do questionário diagnóstico inicial).....	60
Quadro 8 – Respostas ao item “Você acredita que a luz pode se transformar em eletricidade?” (Item 7 do questionário diagnóstico inicial).....	60
Quadro 9 – Familiaridade dos estudantes com o efeito fotoelétrico (Item 8 do questionário diagnóstico inicial).....	61
Quadro 10 – Respostas ao item “O que você já ouviu falar ou sabe sobre Arduino?” (Item 10 do questionário diagnóstico inicial).....	62
Quadro 11 – Valor atribuído para a experiência nas oficinas (Item 14 do questionário diagnóstico final).....	78
Quadro 12 – Resposta ao item sobre efeito fotoelétrico (Questionário diagnóstico inicial).....	80
Quadro 13 – Resposta ao item sobre efeito fotoelétrico (Questionário diagnóstico final).....	81
Quadro 14 – Resposta ao item sobre Arduino (Questionário diagnóstico inicial).....	82
Quadro 15 – Resposta ao item sobre Arduino (Questionário diagnóstico final).....	83
Quadro 16 – Resposta ao item sobre aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano (Questionário diagnóstico inicial).....	84
Quadro 17 – Resposta ao item sobre aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano (Questionário diagnóstico final).....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABP – Aprendizagem baseada em projetos

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

CAAE – Certificado de Apresentação para Apreciação Ética

DBR - Design-based research

E – Energia

etc. – Et Cetera

h – Constante de Planck

K_{max} – Energia cinética máxima

LDR – Light Dependent Resistor ou Resistor Dependente de Luz

LED – Light Emitting Diode ou Diodo Emissor de Luz

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

NdC – Natureza da Ciência

PEE – Plano Estadual de Educação

PhET - Photoelectric Effect

PI – Piauí

TALE – Termo de Assentimento Livre e Esclarecido

TCLE – Termos de Consentimento Livre e Esclarecido

TV – Televisão

V_0 – Frequência de corte

XIX – Número 19

XX – Número 20

XXI – Número 21

ϕ – Função trabalho

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO.....	15
1.1 Contextualização do Tema.....	15
1.2 Justificativa da Pesquisa.....	17
1.3 Formulação do Problema.....	18
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1 Objetivo Geral.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos.....	19
1.5 Hipóteses.....	20
1.6 Estrutura da Dissertação.....	21
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	23
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	27
3.1 O Efeito Fotoelétrico: História e Princípios Fundamentais.....	27
3.2 A Física Clássica e as Limitações no Estudo da Luz.....	30
3.3 A Dualidade Onda-Partícula e a Expansão do Conceito Quântico.....	31
3.4 A Educação em Ciências no Ensino Fundamental.....	32
3.5 Metodologias Ativas no Ensino de Ciências.....	32
3.6 Tecnologias Digitais e Experimentais no Ensino de Ciências.....	33
3.7 Arduino como Ferramenta Pedagógica.....	34
3.8 Aprofundamento Epistemológico: Transposição Didática e Natureza da Ciência.....	35
3.9 Limites e Tensões na Inserção da Física Moderna no Ensino Fundamental.....	37
3.10 A Inclusão da Robótica Educacional na Educação Piauiense.....	38
4. METODOLOGIA.....	40
4.1 Análise dos Dados.....	44
5. PROPOSTA DIDÁTICA: DO CONCEITO À PRÁTICA.....	46
5.1 Planejamento das Aulas sobre o efeito fotoelétrico.....	46
5.2 Sequência Didática Interdisciplinar.....	47
5.3 Uso do Arduino na Demonstração do Efeito Fotoelétrico.....	49
5.4 Recursos Didáticos Auxiliares.....	49
5.5 Avaliação da Aprendizagem.....	50
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
6.1 Relato das Aplicações em Sala de Aula.....	52

6.2 Participação e aprendizagem dos alunos.....	54
6.3 Resultados dos questionários diagnóstico inicial e final.....	56
6.3.1 Resultados dos questionários diagnóstico inicial.....	56
6.3.2 Resultados dos questionários diagnóstico final.....	63
6.3.3 Análise Integrada dos Questionários.....	79
6.4 Síntese Integrada da Evolução Conceitual, Mediação Tecnológica e Contextualização do Conhecimento.....	86
6.5 Discussão pedagógica dos resultados.....	98
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

1 APRESENTAÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

O ensino de Ciências no Brasil, especialmente nos anos finais do Ensino Fundamental, tem sido desafiado a integrar saberes científicos com contextos sociais e tecnológicos de relevância contemporânea. As transformações aceleradas no campo da ciência e tecnologia nos últimos séculos trouxeram fenômenos e dispositivos antes restritos a laboratórios de pesquisa para o cotidiano das pessoas. Dispositivos como portas automáticas, sensores de luminosidade, sistemas de segurança baseados em luz, placas solares e até mesmo câmeras digitais são exemplos de tecnologias cuja compreensão plena requer o conhecimento de princípios da Física Moderna, dentre os quais se destaca o efeito fotoelétrico.

O efeito fotoelétrico é um fenômeno estudado inicialmente por Heinrich Hertz (1887) e explicado teoricamente por Albert Einstein (1905), que propôs a existência de partículas de luz, os fótons, uma das bases fundadoras da Física Quântica. Esse fenômeno consiste na emissão de elétrons por determinados materiais quando expostos à radiação luminosa de frequência adequada. Sua compreensão é essencial para explicar o funcionamento de células fotovoltaicas, principais componentes de painéis solares e de sensores ópticos largamente utilizados em sistemas automatizados e em objetos do cotidiano contemporâneo.

Apesar de sua relevância, o estudo do efeito fotoelétrico, assim como de outros tópicos de Física Moderna e Contemporânea, permanece em grande parte restrito ao Ensino Médio e à Educação Superior, como apontam Lameu (2014) e Santos (2016). Isso ocorre, em parte, devido à sua natureza abstrata e à falta de materiais didáticos acessíveis e contextualizados para o Ensino Fundamental. Tal lacuna contribui para o distanciamento entre a realidade tecnológica vivenciada pelos estudantes e os conteúdos explorados nas escolas, reforçando uma visão fragmentada de ciência e dificultando o desenvolvimento do pensamento científico crítico.

Nesse sentido, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), homologada em 2017, destaca a importância de articular saberes científicos com experiências significativas para os estudantes, prevendo que o Ensino de Ciências, desde os anos iniciais, deve ser capaz de estimular a investigação, a argumentação, a experimentação e a análise de fenômenos naturais e artificiais (BRASIL, 2017). A BNCC reforça ainda a necessidade de compreensão das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, propiciando que os estudantes se

tornem sujeitos participativos, conscientes e capazes de realizar escolhas baseadas em fundamentos científicos.

Inserir a Física Moderna no Ensino Fundamental, mais especificamente o estudo do efeito fotoelétrico, implica na superação de desafios metodológicos e conceituais. Exige-se a reelaboração de abordagens tradicionais, de modo a favorecer estratégias didáticas que promovam a curiosidade, a construção coletiva do conhecimento e a exploração prática dos fenômenos. A adoção de práticas investigativas, experimentos de baixo custo, simulações computacionais e objetos de aprendizagem são caminhos apontados nas pesquisas contemporâneas como potenciais estratégias para a transposição didática de conceitos complexos para níveis iniciais de ensino (OSTERMANN; MOREIRA, 2001).

A contextualização do efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental também amplia as possibilidades de inclusão de temas contemporâneos que estimulem o interesse dos estudantes por carreiras científicas e tecnológicas. Ao reconhecer o protagonismo dos fenômenos estudados no cotidiano, por exemplo, no acionamento de portas automáticas, sensores de presença ou sistemas de energia limpa – o aluno pode perceber a Ciência como um campo vivo, em constante transformação e ligado às necessidades sociais e ambientais do mundo atual. Esse movimento favorece o letramento científico, que se refere à capacidade de mobilizar saberes científicos para interpretar, argumentar e intervir em situações diversas.

Com base nesse contexto, torna-se evidente a necessidade de pesquisa e desenvolvimento de propostas didáticas que permitam a inclusão de conceitos como o efeito fotoelétrico nos currículos de Ciências do Ensino Fundamental. Lameu (2014) destaca que “há uma carência de iniciativas voltadas à introdução de temas de Física Moderna no Ensino Fundamental, apesar do potencial desses conteúdos para promover aprendizagens significativas”. Santos (2016), ao desenvolver um objeto de aprendizagem para este público, reforça o potencial das ferramentas tecnológicas como mediadoras do processo de ensino-aprendizagem de conteúdos abstratos.

Dessa forma, a presente pesquisa surge da necessidade de investigar e propor caminhos para a inserção do efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental, de modo contextualizado, prático e alinhado às diretrizes curriculares nacionais. Busca-se responder a questões que envolvem tanto a viabilidade da abordagem quanto suas contribuições para o desenvolvimento das competências científicas dos alunos. A superação de lacunas e desafios no ensino de Física Moderna no contexto escolar básico é uma estratégia profícua para democratizar o conhecimento científico, ampliar a formação cidadã e contribuir para uma educação de Ciências comprometida com a realidade contemporânea.

1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A presente pesquisa se justifica tanto pela necessidade de democratizar o acesso ao conhecimento científico contemporâneo quanto pela urgência de tornar o ensino de Ciências mais atrativo, contextualizado e conectado às realidades vividas pelos estudantes do Ensino Fundamental. Em um mundo marcado por intensos avanços tecnológicos e pela presença ubíqua de dispositivos que utilizam princípios da Física Moderna, como sensores ópticos, portas automáticas e painéis solares, torna-se fundamental que os alunos sejam capazes de compreender, ainda que de forma introdutória, os fenômenos que fundamentam essas tecnologias. O ensino do efeito fotoelétrico, neste contexto, emerge como um tema relevante e atual, capaz de integrar os saberes escolares à vida cotidiana.

Ademais, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) orienta que o ensino de Ciências deve ir além da memorização de conteúdos e fórmulas, buscando desenvolver nos estudantes o pensamento crítico, a curiosidade investigativa e a capacidade de analisar fenômenos naturais e artificiais a partir de múltiplas perspectivas (BRASIL, 2017). A inserção de conteúdos de Física Moderna no Ensino Fundamental alinha-se a esse propósito ao promover uma educação científica que valoriza a interdisciplinaridade, a problematização e a contextualização dos conhecimentos, possibilitando o desenvolvimento de competências essenciais para a formação cidadã e o exercício da participação social.

No campo acadêmico, há uma escassez de propostas didáticas e trabalhos de pesquisa que contemplem a abordagem do efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental, apesar de sua relevância demonstrada em pesquisas como as de Lameu (2014) e Santos (2016). Tais lacunas evidenciam a necessidade de estudos que investiguem possibilidades de transposição didática para este nível de ensino, adaptando conceitos complexos a partir de estratégias acessíveis e motivadoras. Essa lacuna teórico-prática também revela um campo promissor e fértil para a produção de materiais educacionais inovadores, como sequências didáticas e objetos de aprendizagem que possam ser utilizados por docentes da Educação Básica.

Do ponto de vista pedagógico, introduzir o efeito fotoelétrico nas aulas de Ciências permite romper com uma prática ainda muito enraizada de ensino centrado na abstração e no distanciamento dos conteúdos científicos em relação ao cotidiano dos estudantes. Ao promover atividades investigativas e experimentais, mesmo com recursos simples ou por meio de simulações, torna-se possível desenvolver nos alunos habilidades como formular hipóteses, observar, testar, analisar e construir argumentos com base em evidências, o que contribui significativamente para a formação científica e para a autonomia intelectual.

Por fim, este estudo se justifica pelo potencial de contribuir com a formação de professores da Educação Básica ao oferecer uma proposta concreta de ensino de conteúdos emergentes e desafiadores dentro de um currículo muitas vezes engessado e voltado apenas ao básico. Ao propor uma sequência didática fundamentada teoricamente, testada na prática e avaliada de forma sistemática, a pesquisa oferece um modelo replicável e adaptável, fortalecendo o repertório de práticas pedagógicas no ensino de Ciências. Dessa forma, ela também dialoga com políticas de formação docente contínua e com o avanço da pesquisa educacional aplicada no contexto escolar.

1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A defasagem entre o ensino de Ciências praticado nas escolas brasileiras e os avanços científicos e tecnológicos contemporâneos é uma realidade amplamente reconhecida tanto na literatura acadêmica quanto em documentos curriculares oficiais (MOREIRA, 2021). Essa lacuna se manifesta, entre outros aspectos, na ausência de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Fundamental, etapa em que os estudantes estão em processo de construção de concepções científicas básicas e do desenvolvimento de habilidades cognitivas essenciais, como a investigação, a argumentação e a resolução de problemas.

Embora a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) aponte para a necessidade de uma educação científica que estimule a compreensão dos fenômenos naturais a partir de perspectivas integradas entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, ensinando conteúdos atualizados e socialmente relevantes, a abordagem do efeito fotoelétrico ainda é predominantemente reservada ao Ensino Médio. Tal realidade acentua a fragmentação do conhecimento científico escolar, distanciando os estudantes do Ensino Fundamental de temas que permeiam seu cotidiano, como dispositivos movidos à energia solar ou sensores eletrônicos acionados pela luz, e que poderiam suscitar curiosidade, engajamento e conexões significativas entre teoria e prática.

Nesse sentido, surge uma lacuna no campo da educação: como introduzir o efeito fotoelétrico de maneira didaticamente acessível e pedagogicamente significativa no Ensino Fundamental, de modo que os estudantes possam compreender sua aplicação no cotidiano e desenvolver habilidades investigativas? Quais estratégias metodológicas podem ser mobilizadas para tornar esse conteúdo, considerado abstrato e historicamente ensinado em níveis mais avançados, compreensível, atrativo e alinhado às competências previstas pela BNCC?

Diante desse contexto, o problema central que norteia esta pesquisa pode ser assim formulado: Como uma proposta didática baseada em atividades práticas e contextualizadas pode favorecer a compreensão do efeito fotoelétrico e estimular a aprendizagem científica em estudantes do Ensino Fundamental?

Essa questão orientadora implica desdobramentos relacionados tanto à transposição didática de conceitos científicos quanto à análise de suas contribuições para o desenvolvimento das competências e habilidades previstas para o Ensino Fundamental. Além disso, reforça a necessidade de construção de ferramentas pedagógicas inovadoras que democratizem o acesso ao conhecimento científico contemporâneo desde as séries iniciais, contribuindo para uma formação mais crítica, contextualizada e cidadã.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver, aplicar e avaliar uma proposta didática sobre o efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental, visando promover a compreensão conceitual e o desenvolvimento de habilidades investigativas nos estudantes, a partir de atividades práticas e contextualizadas.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Revisar a literatura científica e teórico-metodológica referente ao ensino de Física Moderna e ao efeito fotoelétrico, com foco na Educação Básica, especialmente no Ensino Fundamental;
- Identificar abordagens didáticas e recursos pedagógicos adequados para a transposição do conteúdo do efeito fotoelétrico ao nível do Ensino Fundamental, analisando potencialidades e limitações;
- Elaborar uma sequência didática alinhada às competências e habilidades previstas na BNCC para o componente curricular de Ciências nos anos finais do Ensino Fundamental;
- Aplicar a proposta didática em uma turma de 9º ano do Ensino Fundamental, em ambiente escolar ou similar, promovendo atividades práticas, experimentais ou simuladas relacionadas ao efeito fotoelétrico;

- Avaliar os impactos da intervenção didática sobre a aprendizagem dos estudantes, por meio de instrumentos qualitativos e quantitativos, como questionários;
- Refletir sobre o papel de conteúdos contemporâneos no ensino de Ciências e discutir as possibilidades de ampliação da abordagem de temas como o efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental, contribuindo para a formação docente e para a inovação curricular.

1.5 HIPÓTESES

Ainda que nem toda pesquisa educacional exija a formulação de hipóteses explícitas, especialmente em estudos de caráter exploratório ou qualitativo, sua definição pode ser útil para orientar o processo investigativo, estabelecer expectativas iniciais e criar parâmetros analíticos. No contexto desta pesquisa, que envolve o desenvolvimento, aplicação e avaliação de uma proposta didática sobre o efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental, são apresentadas as seguintes hipóteses:

Hipótese 1 – Aprendizagem Conceitual:

A implementação de uma sequência didática contextualizada e com atividades práticas favorecerá a compreensão dos conceitos básicos relacionados ao efeito fotoelétrico por parte dos estudantes do Ensino Fundamental.

Hipótese 2 – Engajamento e Curiosidade:

A abordagem de um conteúdo contemporâneo e presente em tecnologias do dia a dia contribuirá para aumentar o interesse e o engajamento dos estudantes nas aulas de Ciências, favorecendo a participação ativa nas atividades propostas.

Hipótese 3 – Desenvolvimento de Competências Científicas:

O uso de estratégias investigativas que envolvam experimentação, simulação ou resolução de problemas proporcionará o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao pensamento científico, como observar, formular hipóteses, analisar dados e comunicar resultados.

Hipótese 4 – Potencial de Transposição Didática:

É possível transpor conceitos de Física Moderna, tradicionalmente restritos ao Ensino Médio, para o Ensino Fundamental por meio de adaptações de linguagem, experimentos simplificados e uso de analogias, sem perda de validade científica ou pedagógica.

A validação dessas hipóteses será feita a partir da análise dos dados coletados durante a implementação da intervenção didática, por meio de instrumentos como questionários diagnósticos e avaliativos, diário de campo e registros de aula.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está organizada em sete capítulos, além das seções de referências e apêndices. Essa organização foi estruturada de modo a apresentar de forma progressiva os fundamentos teóricos, os procedimentos metodológicos e as análises decorrentes da pesquisa desenvolvida, possibilitando ao leitor compreender o percurso investigativo e os resultados alcançados ao longo do estudo.

O primeiro capítulo apresenta a introdução da pesquisa, contextualizando o tema investigado, o problema de pesquisa, os objetivos e a justificativa do estudo, bem como a relevância da investigação para o ensino de Ciências. Neste capítulo também são apresentados os elementos que orientam a pesquisa e a organização geral da dissertação.

O segundo capítulo apresenta a revisão de literatura que fundamenta o estudo, discutindo pesquisas e referenciais teóricos relacionados ao ensino de Física, à inserção de conteúdos da Física Moderna na educação básica e ao uso de tecnologias educacionais no processo de ensino e aprendizagem.

O terceiro capítulo apresenta o referencial teórico da pesquisa, abordando os fundamentos científicos relacionados ao efeito fotoelétrico, bem como as bases conceituais que sustentam a proposta didática desenvolvida neste estudo.

O quarto capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados na investigação, apresentando o tipo de pesquisa, o contexto de realização do estudo, os participantes envolvidos, os instrumentos de coleta de dados e os procedimentos utilizados para análise das informações obtidas.

O quinto capítulo apresenta o desenvolvimento da proposta didática elaborada para a abordagem do efeito fotoelétrico, descrevendo as atividades realizadas, os recursos utilizados e a organização das etapas da intervenção pedagógica.

O sexto capítulo apresenta a análise e discussão dos resultados obtidos ao longo da aplicação da proposta didática, buscando interpretar os dados à luz do referencial teórico adotado e dos objetivos estabelecidos para a pesquisa.

Por fim, o sétimo capítulo apresenta as considerações finais do estudo, retomando os principais resultados da pesquisa, destacando suas contribuições para o ensino de Ciências e apontando possibilidades para investigações futuras.

Diante dessas considerações iniciais e da contextualização do problema de pesquisa, torna-se necessário compreender como a literatura acadêmica tem abordado o ensino de

conceitos da Física Moderna e o uso de tecnologias digitais no ensino de Ciências. Nesse sentido, a revisão de estudos já desenvolvidos permite identificar avanços, desafios e lacunas relacionadas à utilização de recursos experimentais e tecnológicos no ensino de Física. Assim, o capítulo seguinte apresenta a revisão de literatura que fundamenta esta pesquisa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

“O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Descubra isso e ensine-o de acordo.” (AUSUBEL, 2003).

A afirmação de Ausubel evidencia o papel central dos conhecimentos prévios no processo de construção da aprendizagem. De acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa, novos conhecimentos são assimilados de maneira mais consistente quando podem estabelecer relações substantivas com estruturas cognitivas já existentes no aprendiz. No contexto do ensino de Ciências, essa perspectiva tem orientado propostas pedagógicas que buscam aproximar os conteúdos científicos da realidade dos estudantes, favorecendo a construção de aprendizagens mais significativas.

No campo específico do ensino de Física, diversos pesquisadores têm destacado a necessidade de promover práticas pedagógicas que articulem teoria e experimentação, possibilitando aos estudantes compreender fenômenos científicos de forma mais concreta e contextualizada. Nesse sentido, Ostermann e Moreira (2001) defendem que a inserção de conteúdos da Física Moderna e Contemporânea na educação básica constitui uma estratégia relevante para atualizar o ensino de Física e aproximar os conteúdos escolares das transformações tecnológicas presentes na sociedade contemporânea.

Entre os fenômenos que compõem esse campo de estudo, o efeito fotoelétrico ocupa lugar de destaque devido à sua importância histórica no desenvolvimento da física quântica e às suas diversas aplicações tecnológicas, como sensores ópticos e dispositivos utilizados em sistemas de geração de energia solar. No entanto, a abordagem desse fenômeno no contexto escolar apresenta desafios, uma vez que envolve conceitos abstratos que muitas vezes são apresentados de forma excessivamente teórica nos materiais didáticos.

Diante dessas dificuldades, a utilização de recursos experimentais e tecnológicos tem sido apontada como uma estratégia promissora para favorecer a compreensão desses conceitos. A integração entre experimentação e tecnologias digitais amplia as possibilidades de desenvolvimento de práticas pedagógicas investigativas, permitindo que os estudantes explorem fenômenos físicos por meio da observação, da formulação de hipóteses e da análise de resultados experimentais.

Nesse contexto, a plataforma Arduino tem se destacado como uma ferramenta de prototipagem eletrônica amplamente utilizada no desenvolvimento de experimentos didáticos de baixo custo. Sua versatilidade permite integrar sensores, dispositivos eletrônicos e sistemas

de monitoramento digital, ampliando as possibilidades de exploração de fenômenos científicos em ambientes educacionais.

Diversos estudos têm investigado o potencial pedagógico dessa plataforma no ensino de Física. Silveira e Girardi (2017) desenvolveram um kit experimental de baixo custo para demonstrar o efeito fotoelétrico¹ utilizando Arduino como sistema de controle e interface computacional. O dispositivo incluía um picoamperímetro baseado em amplificador operacional de alto ganho e uma interface gráfica que permitia acompanhar em tempo real as variações de corrente geradas pela incidência luminosa. Os autores destacam que a utilização do Arduino contribui para ampliar a viabilidade de experimentos didáticos acessíveis, favorecendo a compreensão prática do fenômeno estudado.

De forma semelhante, Almeida (2019) propôs uma atividade experimental que integrou sensores de luminosidade ao Arduino para simular aplicações relacionadas ao efeito fotoelétrico, sendo este, a emissão de elétrons (chamados fotoelétrons) por um material, geralmente metálico, quando exposto a radiação eletromagnética, como a luz, de frequência suficientemente alta. A proposta foi aplicada a estudantes da educação básica e evidenciou maior interesse dos alunos pelas atividades experimentais, além de maior participação nas discussões realizadas em sala de aula.

Assunção e Turuda (2020) também exploraram o uso de sensores fotossensíveis integrados ao Arduino em uma sequência didática investigativa voltada ao ensino do efeito fotoelétrico. A proposta permitiu que os estudantes investigassem a relação entre intensidade luminosa e geração de corrente elétrica, favorecendo a compreensão conceitual do fenômeno.

Em uma perspectiva interdisciplinar, Silva et al. (2020) utilizaram sensores LDR e microcontroladores Arduino em atividades experimentais voltadas ao ensino de eletricidade e óptica. Os autores destacam que a utilização de experimentos baseados em microcontroladores permite integrar conhecimentos de Física, eletrônica e programação, ampliando as possibilidades de abordagem dos fenômenos científicos em sala de aula.

No contexto do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Sérgio (2021) desenvolveu o kit experimental denominado FOTODUINO, baseado em sensores fotossensíveis conectados ao Arduino, com o objetivo de demonstrar o efeito fotoelétrico por meio de atividades experimentais acessíveis. A proposta evidenciou avanços na compreensão conceitual dos estudantes e maior engajamento nas atividades investigativas.

¹ Fenômeno físico no qual elétrons são emitidos da superfície de um material quando este é exposto à radiação eletromagnética de frequência suficientemente alta, evidenciando a interação entre a luz e a matéria e a natureza quântica da radiação.

Estudos mais recentes também têm destacado o potencial das tecnologias digitais para ampliar as possibilidades de investigação científica no ensino de Física. Lima e Carvalho (2022) utilizaram experimentos controlados por Arduino para explorar conceitos relacionados ao comportamento da luz, integrando sensores e sistemas de monitoramento digital que permitiam acompanhar em tempo real os dados experimentais obtidos durante as atividades.

Rodrigues e Leite (2023), ao realizarem uma revisão sistemática da literatura sobre o uso do Arduino no ensino de Física, destacaram que essa plataforma tem sido amplamente utilizada em propostas pedagógicas voltadas à experimentação científica, favorecendo o desenvolvimento de atividades investigativas e estimulando o protagonismo discente no processo de construção do conhecimento.

Correia (2024) também reforça essas evidências ao desenvolver uma sequência didática baseada no uso de sensores LDR conectados ao Arduino para ilustrar o efeito fotoelétrico em atividades experimentais. Os resultados indicaram aumento do interesse dos estudantes pelas atividades científicas e maior compreensão dos fundamentos da Física Moderna.

A análise conjunta desses estudos evidencia uma convergência significativa em relação ao potencial pedagógico do Arduino no ensino de Física. De modo geral, os trabalhos analisados indicam que a integração entre experimentação, tecnologias digitais e metodologias investigativas pode favorecer a compreensão conceitual dos fenômenos físicos e ampliar o interesse dos estudantes pela aprendizagem de conteúdos científicos.

Apesar desses avanços, observa-se que grande parte das pesquisas se concentra na construção de dispositivos experimentais ou na demonstração pontual de fenômenos físicos, apresentando menor aprofundamento na análise do processo de aprendizagem dos estudantes e na integração dessas atividades a sequências didáticas estruturadas. Além disso, verifica-se que parte significativa desses estudos tem sido desenvolvida no ensino médio ou em contextos de formação superior, havendo ainda um número reduzido de investigações que explorem de maneira sistemática a abordagem do efeito fotoelétrico em níveis iniciais da educação básica por meio de atividades investigativas mediadas por tecnologias digitais.

Nesse sentido, identifica-se uma lacuna na literatura relacionada ao desenvolvimento e à análise de propostas pedagógicas que integrem experimentação, tecnologias digitais e princípios da aprendizagem significativa para a abordagem desse fenômeno no contexto escolar. Assim, a presente pesquisa busca contribuir para esse campo ao desenvolver e analisar uma sequência didática baseada no uso do Arduino para a exploração do efeito fotoelétrico no ensino de Ciências, investigando suas potencialidades para favorecer a compreensão

conceitual dos estudantes e ampliar as possibilidades de abordagem da Física Moderna na educação básica.

A revisão de literatura apresentada evidenciou a relevância do uso de recursos experimentais e tecnologias digitais no ensino de Física, bem como o potencial do Arduino como ferramenta pedagógica na exploração de fenômenos relacionados à Física Moderna. Entretanto, para compreender de maneira mais aprofundada os fundamentos que sustentam a proposta desenvolvida nesta pesquisa, torna-se necessário discutir os referenciais teóricos que orientam a abordagem adotada. Nesse sentido, o capítulo seguinte apresenta o referencial teórico que fundamenta o estudo, abordando os princípios científicos relacionados ao efeito fotoelétrico e os pressupostos pedagógicos que orientam a utilização de atividades experimentais mediadas por tecnologias digitais no processo de ensino e aprendizagem.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

A compreensão dos fenômenos científicos e de suas aplicações tecnológicas exige a articulação entre fundamentos conceituais da Física e perspectivas pedagógicas voltadas ao ensino de Ciências na Educação Básica. Nesse contexto, o presente capítulo apresenta os referenciais teóricos que sustentam a proposta desta pesquisa, abordando tanto os princípios físicos relacionados ao efeito fotoelétrico quanto os fundamentos educacionais que orientam sua abordagem no Ensino Fundamental. A discussão teórica busca evidenciar como conceitos da Física Moderna podem ser transpostos didaticamente para níveis iniciais de ensino, contribuindo para a construção de uma aprendizagem mais significativa e contextualizada.

Além dos aspectos conceituais do fenômeno estudado, o capítulo também discute perspectivas contemporâneas do ensino de Ciências, incluindo o uso de metodologias ativas, tecnologias digitais e recursos experimentais no processo de ensino-aprendizagem. A integração entre teoria científica, experimentação e ferramentas tecnológicas, como a plataforma Arduino, constitui um dos eixos centrais desta investigação, pois permite aproximar conceitos abstratos da Física de situações concretas vivenciadas pelos estudantes. Dessa forma, os referenciais apresentados buscam fundamentar a proposta didática desenvolvida nesta pesquisa, evidenciando suas bases científicas e pedagógicas.

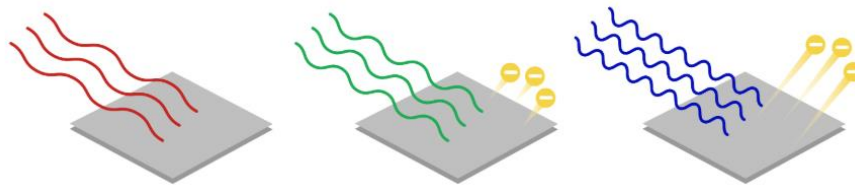
3.1 O EFEITO FOTOELÉTRICO: HISTÓRIA E PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS

O estudo do efeito fotoelétrico tem origem no final do século XIX, quando cientistas investigavam as propriedades da luz e sua interação com a matéria. Durante esse período, predominava a visão clássica da Física, que considerava a luz exclusivamente como uma onda eletromagnética contínua. Essa concepção foi consolidada nos trabalhos de James Clerk Maxwell, que em 1865 unificou a eletricidade e o magnetismo em um conjunto de equações matemáticas, demonstrando que a luz é uma onda eletromagnética propagando-se no espaço (MAXWELL, 1865). A teoria eletromagnética de Maxwell explicava com sucesso fenômenos como a difração e a interferência, mas mostrava-se insuficiente para explicar certas interações entre a luz e a matéria.

Foi Heinrich Hertz quem observou experimentalmente pela primeira vez o efeito fotoelétrico, em 1887. Durante suas investigações sobre ondas eletromagnéticas, Hertz percebeu que faíscas elétricas entre eletrodos de um circuito variavam de intensidade quando expostos à luz ultravioleta (HERTZ, 1887). Esse fenômeno, inicialmente visto como uma mera

curiosidade, desafiava as concepções clássicas ao mostrar que a luz poderia induzir a emissão de elétrons de superfícies metálicas. Todavia, a física da época não oferecia uma explicação clara para esse comportamento. A figura 1 ilustra este efeito.

FIGURA 1 – Relação entre a frequência da luz e a emissão de elétrons no efeito fotoelétrico

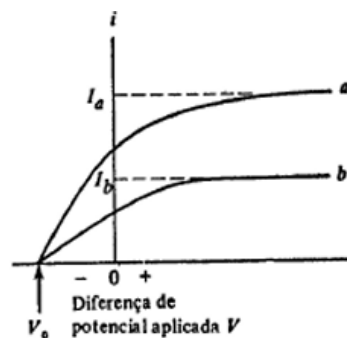


Fonte: Adaptado de Khan Academy (2025)

A tentativa de interpretar o efeito fotoelétrico a partir da teoria ondulatória da luz enfrentou dificuldades significativas. Em particular, a teoria clássica previa que a energia dos elétrons emitidos dependeria exclusivamente da intensidade da luz, mas experimentos mostraram que havia uma frequência mínima, chamada de frequência de corte, abaixo da qual nenhuma emissão ocorria, independentemente da intensidade luminosa (EISBERG; RESNICK, 1979). Esse fato contrariava os princípios da física clássica, que assumia que as ondas eletromagnéticas transferiam energia de forma contínua.

A figura 2 apresenta o comportamento da corrente fotoelétrica em função da diferença de potencial aplicada em um experimento típico de observação do efeito fotoelétrico. Nesse tipo de experimento, uma placa metálica é iluminada por uma radiação luminosa de frequência adequada, provocando a emissão de elétrons da superfície do material. Esses elétrons são coletados por um eletrodo receptor, enquanto uma diferença de potencial (tensão elétrica) é aplicada entre os eletrodos do circuito para controlar o movimento das partículas emitidas.

FIGURA 2 - Gráfico da corrente i em função da tensão V



Fonte: Adaptado EISBERG e RESNICK (2025)

Observa-se que, ao variar a diferença de potencial aplicada (V) entre os eletrodos, a corrente elétrica gerada pelos elétrons emitidos também se modifica. Quando a tensão aplicada é positiva, os elétrons são acelerados em direção ao eletrodo coletor, aumentando a corrente medida no circuito. Por outro lado, quando a tensão aplicada é negativa, ela atua como um potencial de retardo, dificultando o movimento dos elétrons até que, em determinado valor, denominado potencial de corte (V_0), a corrente fotoelétrica torna-se nula. Esse comportamento demonstra que a energia cinética máxima dos elétrons emitidos depende exclusivamente da frequência da radiação incidente e não da intensidade da luz, resultado fundamental para a compreensão do efeito fotoelétrico (EISBERG; RESNICK, 1979).

O comportamento da corrente fotoelétrica em função da diferença de potencial aplicada indica que, quanto maior a intensidade da radiação incidente, maior será a emissão de elétrons, enquanto o potencial de corte (V_0) permanece constante. Esse resultado demonstra que a energia cinética máxima dos elétrons depende exclusivamente da frequência da radiação incidente.

Foi Albert Einstein, em 1905, quem apresentou a explicação teórica definitiva para o efeito fotoelétrico, ao propor que a luz poderia ser descrita como um conjunto de partículas ou "quanta" de energia, mais tarde chamados de fótons (EINSTEIN, 1905). Baseando-se na hipótese de quantização da energia proposta por Max Planck para explicar a radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico refuta a visão ondulatória clássica da luz, demonstrando sua dualidade onda-partícula.

A equação de Einstein descreve a energia transferida:

$$E = h\nu = \phi + K_{\max} \quad (1)$$

Sendo E é a energia do fóton, h é a constante de Planck ($h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$), ν é a frequência da luz, ϕ é a função trabalho do material e $K_{\max}$ é a energia cinética máxima do elétron fotoemissor.

A função trabalho (ϕ) é a quantidade mínima de energia necessária para remover um elétron da superfície de um material. Em outras palavras, trata-se da energia que deve ser fornecida pela radiação incidente para que o elétron consiga vencer as forças que o mantêm ligado ao material. Apenas quando a energia do fóton incidente é maior ou igual a essa energia mínima ocorre a emissão de elétrons, caracterizando o efeito fotoelétrico.

A formulação proposta por Einstein representou um marco para a física moderna, pois demonstrou que a energia da radiação depende diretamente da frequência da luz e não apenas de sua intensidade, evidenciando a natureza quântica da interação entre luz e matéria.

3.2 A FÍSICA CLÁSSICA E AS LIMITAÇÕES NO ESTUDO DA LUZ

No final do século XIX, o estudo da natureza da luz e sua interação com a matéria estava fundamentado nos princípios da Física Clássica, especialmente a teoria ondulatória da luz formulada por James Clerk Maxwell. Em 1865, Maxwell demonstrou que a luz era uma onda eletromagnética, resultante da interação entre campos elétricos e magnéticos oscilantes. Essa teoria explicava com sucesso fenômenos como reflexão, refração, interferência e difração, tanto em escalas macroscópicas quanto microscópicas (MAXWELL, 1865).

Entretanto, a Física Clássica começou a mostrar suas limitações ao tentar explicar fenômenos envolvendo a interação entre luz e matéria em situações de alta frequência ou baixa intensidade energética. Um desses fenômenos foi o efeito fotoelétrico, observado pela primeira vez por Heinrich Hertz em 1887, ao notar que a incidência de luz ultravioleta sobre eletrodos aumentava a intensidade de faíscas elétricas entre eles, um comportamento que não poderia ser explicado apenas pela teoria ondulatória (HERTZ, 1887).

À luz da Física Clássica, assumia-se que a energia luminosa era absorvida de forma contínua pela matéria, e, portanto, o aumento da intensidade da luz deveria resultar em maior energia transferida aos elétrons. Contudo, experimentos conduzidos posteriormente por Lenard mostraram que a energia dos elétrons emitidos em materiais metálicos dependia apenas da frequência da luz e não da intensidade, revelando uma falha fundamental nos pressupostos clássicos (LENARD, 1902).

Além disso, outro resultado intrigante observado experimentalmente foi o fato de que não havia emissão de elétrons quando a luz incidente possuía frequência inferior a um valor crítico, mesmo com intensidades muito altas. Segundo a Física Clássica, bastaria aumentar a intensidade da luz para que a emissão ocorresse, o que contrariava os dados empíricos (MILLER, 1982). Tais observações desafiaram a validade da teoria contínua da luz e colocaram em crise o modelo clássico da física ondulatória.

O problema residia no pressuposto clássico de que a energia em qualquer sistema físico seria infinitamente divisível e poderia ser transferida gradualmente para os sistemas materiais. Na prática, este modelo mostrou-se incapaz de explicar fenômenos como o espectro da

radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico, questões que exigiram novas interpretações e levaram ao surgimento da Física Quântica (OSTERMANN; MOREIRA, 2001).

3.3 A DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA E A EXPANSÃO DO CONCEITO QUÂNTICO

A consolidação da Mecânica Quântica no início do século XX promoveu uma profunda reformulação dos conceitos clássicos acerca da natureza da luz e da matéria. Um dos elementos centrais dessa transformação foi o reconhecimento da dualidade onda-partícula, segundo a qual os objetos quânticos não podem ser descritos adequadamente apenas por modelos clássicos ondulatórios ou corpusculares.

A dualidade onda-partícula, não era apenas uma característica da luz. Segundo Jammer (1966, apud BROCKINGTON, 2005, p.44), “[...] em 1924, Louis de Broglie introduz a ideia da ‘dualidade onda-partícula’, propondo a existência de uma onda fictícia que acompanharia o movimento de qualquer corpo, tornando indissociável a propagação da onda do movimento do corpo”.

Assim, um elétron ou um fóton, dependendo das condições experimentais, pode manifestar comportamento corpuscular ou ondulatório, sendo, contudo, praticamente impossível conceber uma configuração experimental que evidencie simultaneamente essas duas naturezas, de acordo com Zeilinger:

Estava, assim, instaurada a indisposição entre os físicos, visto que era necessária a utilização de duas concepções antagônicas e inconciliáveis para luz, a ondulatória e a corpuscular, para a explicação da totalidade dos fenômenos. Esse mal-estar gerado pela dualidade onda-partícula acompanharia a “Velha Física Quântica” (1900-1924) até à considerada “Verdadeira Mecânica Quântica” (1925-1927). A natureza dual da luz é a raiz de quase todos os problemas filosóficos e epistemológicos relacionados à teoria mais poderosa e bem-sucedida inventada pelo homem para a descrição da natureza (1999 apud BROCKINGTON, 2005, p.41).

A formulação corpuscular não substituiu a teoria ondulatória, uma vez que ambos os modelos permanecem válidos para a descrição da luz. A depender da interação entre a radiação e a matéria, a luz pode apresentar comportamento ondulatório ou corpuscular.

3.4 A EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS NO ENSINO FUNDAMENTAL

A Educação em Ciências no Ensino Fundamental constitui um instrumento fundamental para a formação de sujeitos críticos, criativos e capazes de compreender tanto os fenômenos naturais quanto os impactos tecnológicos no seu cotidiano. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) orienta que a área de Ciências da Natureza deve oportunizar aos estudantes “aprender a observar, formular hipóteses, investigar, argumentar e comunicar seus resultados” com base em práticas científicas (BRASIL, 2017, p. 321). Desta forma, o ensino de Ciências deve promover a alfabetização científica, permitindo ao estudante desenvolver habilidades e atitudes compatíveis com a cidadania científica em uma sociedade cada vez mais tecnológica.

Nesse sentido, o processo de ensino-aprendizagem em Ciências no Ensino Fundamental deve integrar elementos teóricos, experimentais e interdisciplinares, buscando proporcionar uma compreensão articulada entre conteúdo, contexto e prática social. Para Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2018), o ensino de Ciências deve constituir-se em um processo investigativo, que considere o conhecimento prévio dos estudantes, suas experiências e a problematização da realidade.

Em face das rápidas mudanças da sociedade contemporânea, que incluem avanços da Biotecnologia, da Física Moderna, da Informática e das Tecnologias Digitais, torna-se necessário que a escola supere o ensino fragmentado e conteudista, promovendo uma aprendizagem que favoreça a curiosidade, a experimentação, a reflexão crítica e a autonomia (CARVALHO, 2013). Essa abordagem torna-se especialmente importante no contexto da Formação Básica, onde se estabelecem os pilares da visão de mundo dos estudantes.

3.5 METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

As metodologias ativas têm ganhado destaque como alternativa às abordagens tradicionais de ensino, baseadas na transmissão oral de conteúdos. Segundo Moran (2018), essas metodologias “colocam o estudante como protagonista, explorando sua autonomia, tomada de decisões e resolução de problemas reais”. Isso inclui estratégias didáticas como aprendizagem baseada em projetos (ABP), rotação por estações, estudo de caso, sala de aula invertida (*flipped classroom*) e, no Ensino de Ciências, o uso de experimentação investigativa.

No campo do Ensino de Ciências, Carvalho (2013) destaca que as metodologias ativas contribuem para o desenvolvimento do pensamento científico e da capacidade de formular hipóteses, além de estimular o engajamento e a cooperação entre os estudantes. Por meio de atividades experimentais e problematizadoras, o estudante é convidado a construir o conhecimento a partir de sua interação com fenômenos do mundo físico, social ou natural.

Além disso, “recursos como as plataformas de prototipagem são indispensáveis, pois promovem uma conexão direta entre a tecnologia e a ciência prática” (Leite, 2018), evidenciando o potencial de ferramentas como o Arduino para o desenvolvimento do ensino investigativo e para a integração entre teoria e prática no Ensino de Ciências.

3.6 TECNOLOGIAS DIGITAIS E EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

O avanço das tecnologias digitais tem impactado significativamente a forma como os conteúdos de Ciências são ensinados e aprendidos no contexto escolar. No Ensino de Ciências, tais tecnologias abrem possibilidades para a criação de ambientes de aprendizagem mais interativos, investigativos e contextualizados, inserindo o estudante como protagonista no processo de construção do conhecimento. Segundo Valente (2018), as tecnologias digitais de informação e comunicação têm contribuído enormemente para o desenvolvimento, a reformulação e a disseminação da educação.

A experimentação no ensino de Ciências deve favorecer a construção do conhecimento científico e não apenas a verificação de teorias (GIORDAN, 1999). Nessa perspectiva, a aprendizagem ocorre de forma mais significativa quando o estudante participa ativamente da construção do conhecimento (PAPERT, 1980), sendo o papel do professor criar condições para que o aluno produza saberes de forma autônoma (FREIRE, 1996). A aprendizagem baseada na experiência aproxima o estudante do fazer científico (KOLB, 1984), enquanto a descoberta e a reconstrução do conhecimento constituem elementos centrais do processo educativo (BRUNER, 1960).

No Ensino de Ciências, esse cenário demanda o uso de recursos didáticos que vão além do livro didático tradicional, incluindo simuladores virtuais, plataformas interativas, laboratórios remotos, sensores digitais e dispositivos microcontrolados: como o Arduino, que podem ser utilizados em projetos experimentais de baixo custo.

O uso pedagógico dessas tecnologias permite que os estudantes aprendam por meio de exploração e vivência prática, elaborando hipóteses, testando explicações e visualizando fenômenos abstratos por meio de representações visuais e manipuláveis. Nesse sentido, as

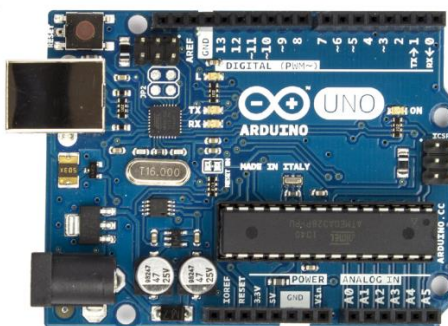
tecnologias digitais não apenas ampliam o repertório metodológico dos professores, mas também contribuem para práticas educativas mais contextualizadas, significativas e alinhadas às demandas da cultura digital e científica contemporânea.

3.7 ARDUINO COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA

O Arduino, uma plataforma de prototipagem eletrônica de baixo custo e código aberto, tem se destacado como recurso pedagógico no Ensino de Ciências, especialmente em atividades experimentais voltadas ao desenvolvimento de projetos práticos e interdisciplinares. Sua simplicidade, versatilidade e ampla disponibilidade de materiais didáticos o tornam uma ferramenta acessível tanto para professores quanto para estudantes.

Nesse contexto, a inserção de tecnologias educacionais, como a plataforma Arduino (figura 3), tem se mostrado uma alternativa eficaz para tornar o ensino mais significativo e investigativo. Por ser de baixo custo, fácil utilização e código aberto, o Arduino possibilita a realização de atividades experimentais que integram teoria e prática, favorecendo a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem (SILVA, 2018).

FIGURA 3 - Arduino



Fonte: Adaptado de Khan Academy (2025)

Além disso, o uso do Arduino contribui para o desenvolvimento de habilidades investigativas, como formulação de hipóteses, análise de resultados e construção de conclusões, aproximando os estudantes do método científico. Quando associado a sequências didáticas estruturadas, esse recurso favorece a aprendizagem significativa e atua como elemento motivador no ensino de Ciências, contribuindo para a formação científica e tecnológica dos alunos (SILVA, 2018).

Contudo, a utilização de recursos tecnológicos no ensino de Física Moderna não se restringe a aspectos metodológicos ou instrumentais. Ela implica também reflexões

epistemológicas acerca da natureza do conhecimento científico e dos processos de sua escolarização, aspectos que serão discutidos na seção seguinte.

3.8 APROFUNDAMENTO EPISTEMOLÓGICO: TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E NATUREZA DA CIÊNCIA

A inserção do efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental não se limita a uma inovação metodológica, mas envolve uma questão epistemológica central relacionada à natureza do conhecimento científico e aos processos de sua escolarização. A transposição de conteúdos da Física Moderna para níveis iniciais exige reflexão acerca da transformação do saber científico em saber ensinável.

Nesse sentido, a teoria da Transposição Didática, sistematizada por Yves Chevallard (1991), oferece importante fundamentação. Segundo o autor:

“Um conteúdo de saber que foi designado como saber a ensinar sofre, a partir de então, um conjunto de transformações adaptativas que o tornam apto a ocupar um lugar entre os objetos de ensino. O ‘trabalho’ que transforma um objeto de saber a ensinar em um objeto de ensino é denominado transposição didática.” (CHEVALLARD, 1991).

Essa formulação evidencia que o saber científico, denominado por Chevallard de *saber sábio*, passa por reconfigurações institucionais, curriculares e didáticas até tornar-se *saber ensinado*. Não se trata de mera simplificação, mas de um processo estruturado que exige preservação dos elementos epistemologicamente essenciais do conteúdo.

No caso do efeito fotoelétrico, o saber sábio encontra-se inscrito no campo da Mecânica Quântica, sustentado por formalismo matemático e experimentação altamente controlada. Sua inserção no Ensino Fundamental demanda adaptações linguísticas e conceituais, mantendo princípios estruturantes como a dependência da frequência da radiação e a existência de frequência de corte, ainda que sob abordagem qualitativa.

Essa necessidade de reconstrução conceitual dialoga com a epistemologia histórica de Gaston Bachelard. Para o autor, o progresso científico ocorre por meio da superação de obstáculos que impedem o avanço do pensamento racional. Em sua obra clássica, afirma:

“É em termos de obstáculos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado. E não se trata de considerar obstáculos externos, como a

complexidade e a fugacidade dos fenômenos, nem de incriminar a fragilidade dos sentidos e do espírito humano: é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos” (BACHELARD, 1996).

No contexto do ensino do efeito fotoelétrico, tais obstáculos se manifestam nas concepções intuitivas dos estudantes, frequentemente ancoradas na Física Clássica cotidiana, como a ideia de que maior intensidade luminosa implica necessariamente maior energia transferida.

Bachelard enfatiza que “o espírito científico deve formar-se contra a Natureza, contra o que é, em nós e fora de nós, o impulso e a informação da Natureza (BACHELARD, 1996).

Tal afirmação reforça que o ensino da Física Moderna não deve evitar a complexidade conceitual, mas estruturá-la didaticamente de modo a favorecer a reconstrução racional do conhecimento.

Essa discussão articula-se com a compreensão contemporânea da Natureza da Ciência (NdC), segundo a qual o conhecimento científico é provisório, historicamente situado e dependente de evidências empíricas. A história do efeito fotoelétrico constitui exemplo paradigmático dessa dinâmica: os experimentos de Hertz (1887) revelaram fenômenos não explicáveis pela teoria ondulatória clássica, conduzindo Einstein (1905) à proposição da quantização da energia luminosa.

A apresentação histórica do fenômeno permite evidenciar que a ciência não evolui por acumulação linear de fatos, mas por reestruturações conceituais motivadas por inconsistências experimentais, aproximando o ensino de uma compreensão mais sofisticada da prática científica.

Sob a perspectiva construcionista de Seymour Papert, a aprendizagem ocorre de maneira mais efetiva quando o estudante participa ativamente da construção de objetos significativos. Papert afirma “a construção de um artefato externo, que pode ser compartilhado e discutido, favorece a construção de estruturas mentais mais poderosas.” (PAPERT, 1980).

A utilização do Arduino, nesse contexto, não é apenas instrumental. Ao manipular sensores de luminosidade e observar respostas elétricas associadas à incidência de luz, o estudante externaliza conceitos abstratos e estabelece relações entre fenômeno físico e aplicação tecnológica. A tecnologia atua, portanto, como mediação epistemológica, aproximando níveis fenomenológicos e conceituais do conhecimento científico.

Assim, a inserção do efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental revela-se epistemologicamente legítima quando fundamentada na transposição didática cuidadosa, na

superação de obstáculos conceituais e na valorização da Natureza da Ciência. Tal abordagem contribui não apenas para a aprendizagem de um conteúdo específico da Física Moderna, mas para a formação de uma compreensão mais ampla sobre como o conhecimento científico se estrutura, evolui e se valida.

3.9 LIMITES E TENSÕES NA INSERÇÃO DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO FUNDAMENTAL

O efeito fotoelétrico, fundamentado em rupturas paradigmáticas da Física Clássica, exige a superação de concepções intuitivas fortemente enraizadas nos estudantes. Conforme Bachelard (1996), o avanço do conhecimento científico implica a superação de obstáculos epistemológicos internos ao sujeito; nesse sentido, a transposição didática desse conteúdo não pode reduzir sua densidade conceitual a meras analogias simplificadoras.

À luz da teoria da Transposição Didática (CHEVALLARD, 1991), o saber científico sofre transformações ao tornar-se saber ensinável. Entretanto, tais adaptações devem preservar o núcleo epistemológico do fenômeno, especialmente a dependência da energia cinética do elétron à frequência da radiação incidente, sob pena de descaracterizar o conceito. Surge, portanto, a tensão entre acessibilidade pedagógica e fidelidade científica.

No que se refere ao uso de tecnologias como o Arduino, embora o construcionismo de Papert (1980) sustente que a construção de artefatos favorece reorganizações cognitivas, a manipulação instrumental não garante, por si só, reconstrução conceitual profunda. Como destaca Carvalho (2013), a experimentação requer mediação intencional e problematização orientada para que produza aprendizagem significativa.

Há ainda o risco de que a valorização do engajamento e da aplicabilidade cotidiana conduza à simplificação excessiva ou à confusão entre fenômenos distintos, como efeito fotoelétrico e efeito fotovoltaico. Ademais, limites estruturais da realidade escolar, formação docente, tempo curricular e infraestrutura, condicionam a viabilidade da proposta.

Reconhecer tais tensões não implica inviabilizar a inserção da Física Moderna no Ensino Fundamental, mas exige que ela seja conduzida com rigor conceitual, fundamentação teórica consistente e mediação pedagógica qualificada. A legitimidade dessa inserção reside no equilíbrio entre acessibilidade didática e preservação epistemológica, assegurando que a aproximação ao fenômeno não comprometa sua estrutura conceitual essencial.

3.10 A INCLUSÃO DA ROBÓTICA EDUCACIONAL NA EDUCAÇÃO PIAUIENSE

A Robótica Educacional pode ser definida como “um conjunto de recursos que visa o aprendizado científico e tecnológico integrado às demais áreas do conhecimento, utilizando-se de atividades como design, construção e programação de robôs” (LOPES, 2008, p. 41). Segundo Moraes (2010) “a robótica educacional pode proporcionar a interação entre professores e alunos através de trabalhos concebidos e construídos em grupos que exploram diferentes competências intelectuais”.

A robótica na escola possibilita a autonomia do aluno, permite que ele saia da carteira para atuar em atividades práticas e virar um observador/inventor. Ele passa a aprender através de seus próprios erros e acertos, sendo autônomo na construção do seu conhecimento, investigando, explorando, planejando e dando forma a suas ideias. Como destaca Silva (2009), “com o uso da robótica, muitos conteúdos podem ser analisados pelos jovens e professores de melhor forma, uma vez que essa tecnologia pode ser usada de diversas maneiras e em diferentes níveis de aprendizagem” (SILVA, 2009, p. 117).

A robótica educacional foi instituída na educação piauiense pela Lei nº 6.733, de 17 de dezembro de 2015, que aprova o Plano Estadual de Educação (PEE) do Piauí, onde o PEE inclui metas específicas para a inclusão de tecnologias educacionais, como a robótica, visando modernizar e inovar o processo educacional no estado. O plano enfatiza a necessidade de incorporar práticas pedagógicas inovadoras que utilizem a robótica como uma ferramenta educativa, preparando os alunos para os desafios tecnológicos contemporâneos.

De acordo com o Currículo do Novo Ensino Médio do Piauí, na contemporaneidade, o uso de práticas educacionais diversificadas e que respondam às demandas da sociedade tem se mostrado eficaz no combate à evasão e reprovação de estudantes. Nesta perspectiva, o que predomina na atualidade é a necessidade evidente de as escolas incluírem em suas propostas pedagógicas estudos voltados para o uso de tecnologias ou, ainda, para o seu desenvolvimento, sendo esta área bastante afim com os interesses dos/as estudantes pelo caráter inovador.

Desta forma, a inserção de tecnologias inovadoras e lúdicas no cotidiano escolar favorece, indubitavelmente, o processo de ensino e aprendizagem. A robótica, por exemplo, tem se apresentado na escola como um recurso potencial para uma transformação na aprendizagem, visto que muitas crianças e jovens, que antes não se importavam com disciplinas como Matemática, Ciências, Física ou mesmo Português, passaram a se dedicar com afinco para conseguir programar e desenhar robôs.

Ainda sobre o Currículo do Novo Ensino Médio do Piauí, o mesmo enfatiza-se a proposta de inclusão deste conhecimento no itinerário integrado entre todas as áreas do conhecimento com o objetivo de incentivar jovens a pensar de forma criativa, eficiente, lúdica e prática a fim de resolver os problemas gerados pelo que foi estudado em sala de aula. Alunos e professores aprendem juntos os conteúdos de Física, Química, Biologia e Matemática, além de perpassar por contextos históricos e contemporâneos para as discussões sobre a robotização e seus impactos nos contextos socioeconômicos; fortalecendo a relação entre teoria e prática vinculada aos conhecimentos desenvolvidos no cotidiano escolar.

Nessa mesma perspectiva, é fundamental ao docente estabelecer metodologias para o desenvolvimento do pensamento computacional e de habilidades que serão demandadas dos bons profissionais nas próximas décadas, como a capacidade de resolver problemas, simplificar e interpretar, liderar, trabalhar em equipe e fluência no uso de tecnologias em quaisquer áreas do conhecimento.

4 METODOLOGIA

A presente investigação caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa e aplicada, orientada por uma perspectiva interventiva no contexto educacional, cujo objetivo consiste em desenvolver, implementar e analisar uma proposta didática voltada ao ensino do efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental. A opção por uma abordagem qualitativa justifica-se pela necessidade de compreender os processos de construção de significados mobilizados pelos estudantes durante a intervenção pedagógica, considerando suas interpretações, interações e produções discursivas no contexto das atividades propostas. Conforme destacam Bogdan e Biklen (1994), pesquisas qualitativas em educação buscam compreender os fenômenos investigados a partir do significado que os sujeitos atribuem às suas experiências, privilegiando a análise interpretativa das práticas educativas.

Do ponto de vista metodológico, a investigação aproxima-se da pesquisa-ação, uma vez que envolve a participação ativa do professor-pesquisador no planejamento, condução e avaliação de uma intervenção didática desenvolvida no próprio contexto escolar. Nesse tipo de investigação, o processo de pesquisa ocorre de forma articulada à prática pedagógica, possibilitando simultaneamente a compreensão do fenômeno educacional e a transformação das práticas de ensino (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011). A pesquisa-ação assume, portanto, caráter reflexivo e colaborativo, permitindo que o professor investigue sua própria prática enquanto desenvolve estratégias pedagógicas voltadas à melhoria do processo de ensino-aprendizagem.

Paralelamente, o estudo também apresenta características da design-based research (DBR) ou pesquisa baseada em design educacional. Segundo Barab e Squire (2004), essa abordagem busca projetar, testar e aperfeiçoar intervenções pedagógicas em ambientes reais de aprendizagem, articulando produção teórica e inovação prática. Nesse sentido, a presente investigação envolve a elaboração e aplicação de uma sequência didática estruturada em oficinas experimentais que integram atividades investigativas, recursos digitais e experimentação com Arduino, possibilitando analisar as contribuições pedagógicas dessa proposta para o ensino de conceitos da Física Moderna no Ensino Fundamental.

A pesquisa foi desenvolvida na escola pública denominada Rosa Mística da rede municipal de ensino do município de Paulistana, no estado do Piauí, localizada na região semiárida do Nordeste brasileiro. A instituição atende estudantes do Ensino Fundamental em regime regular e dispõe de infraestrutura básica para o desenvolvimento das atividades pedagógicas, incluindo salas de aula, biblioteca e equipamentos audiovisuais. Contudo, assim

como ocorre em grande parte das escolas públicas brasileiras, a instituição apresenta limitações quanto à disponibilidade de laboratórios de Ciências e materiais experimentais específicos para o ensino de Física. Tal contexto reforça a relevância da utilização de tecnologias educacionais de baixo custo, como sensores de luminosidade e microcontroladores Arduino, que possibilitam a realização de atividades experimentais mesmo em ambientes escolares com recursos limitados.

A intervenção pedagógica foi realizada em uma turma do 9º ano do Ensino Fundamental, composta por 21 estudantes, com idades entre 14 e 16 anos, regularmente matriculados na disciplina de Ciências. A escolha dessa etapa escolar fundamenta-se em dois aspectos principais. Em primeiro lugar, os estudantes dessa série já possuem contato prévio com conteúdos relacionados ao eixo temático “Matéria e Energia”, previsto na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), o que permite a introdução qualitativa de conceitos associados à Física Moderna. Em segundo lugar, o 9º ano representa um momento estratégico para a ampliação do repertório científico dos estudantes, possibilitando a aproximação entre conhecimentos escolares e tecnologias presentes no cotidiano contemporâneo.

No que se refere aos aspectos éticos da pesquisa, o estudo foi submetido à apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos, por meio da Plataforma Brasil, tendo sido aprovado conforme Parecer Consubstanciado nº 7.811.025, vinculado ao Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) nº 91430325.0.0000.8057, emitido pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Piauí – Campus Senador Helvídio Nunes de Barros. Todos os procedimentos metodológicos seguiram as diretrizes estabelecidas pela Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde, que regulamenta pesquisas envolvendo seres humanos. Foram assegurados aos participantes os princípios de voluntariedade, anonimato, confidencialidade e liberdade para desistência a qualquer momento, sem prejuízo acadêmico. Para tanto, foram utilizados o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), assinado pelos responsáveis legais, o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) pelos estudantes participantes, bem como a autorização institucional da unidade escolar.

A coleta de dados foi estruturada a partir da utilização de múltiplos instrumentos, buscando possibilitar uma compreensão abrangente do processo de aprendizagem desenvolvido durante a intervenção pedagógica. A adoção de diferentes instrumentos metodológicos permite ampliar a consistência interpretativa dos resultados, favorecendo a triangulação dos dados e a análise de diferentes dimensões do fenômeno investigado.

Entre os instrumentos utilizados destacam-se, inicialmente, o questionário diagnóstico inicial, aplicado antes da implementação da sequência didática, com o objetivo de identificar conhecimentos prévios dos estudantes sobre luz, energia, eletricidade e fenômenos relacionados ao efeito fotoelétrico. Esse instrumento possibilitou identificar concepções intuitivas e lacunas conceituais relevantes para o planejamento das atividades pedagógicas.

Outro instrumento utilizado foi o diário de campo do professor-pesquisador, no qual foram registrados sistematicamente aspectos relacionados às interações em sala de aula, dúvidas apresentadas pelos estudantes, estratégias utilizadas durante as atividades experimentais e níveis de engajamento observados ao longo das oficinas. O diário de campo constitui importante ferramenta metodológica em pesquisas qualitativas, pois permite registrar percepções e acontecimentos que dificilmente seriam captados por instrumentos estruturados.

Também foram analisados os registros das atividades realizadas pelos estudantes, incluindo, justificativas conceituais e registros elaborados durante as oficinas com Arduino. Esses materiais permitiram examinar a forma como os estudantes organizaram suas explicações acerca do fenômeno investigado e como relacionaram os conceitos teóricos às experiências práticas realizadas em sala de aula.

Ao término da intervenção, foi aplicado um questionário diagnóstico final, composto por questões abertas e fechadas, com o objetivo de avaliar a compreensão conceitual do efeito fotoelétrico, a percepção dos estudantes acerca da experiência com o Arduino e o desenvolvimento de atitudes investigativas relacionadas ao pensamento científico. Esse instrumento permitiu comparar as concepções iniciais e finais dos estudantes, possibilitando identificar possíveis mudanças conceituais decorrentes da intervenção didática.

Como instrumento complementar, foram realizados registros audiovisuais, incluindo fotografias e gravações em vídeo das atividades experimentais. Esses registros tiveram caráter documental e ilustrativo, contribuindo para a descrição das práticas desenvolvidas durante as oficinas, embora não tenham sido utilizados como fonte principal de análise sistemática dos dados.

Os procedimentos metodológicos da pesquisa foram organizados em cinco etapas principais, articuladas ao processo de desenvolvimento da sequência didática. A primeira etapa consistiu na realização do diagnóstico inicial, com a aplicação de questionário destinado a identificar conhecimentos prévios e orientar o planejamento das atividades. A segunda etapa envolveu o planejamento detalhado da sequência didática, estruturada em oficinas investigativas que integraram atividades experimentais, simuladores digitais e experimentação com Arduino. Na terceira etapa ocorreu a aplicação das oficinas práticas em sala de aula, nas

quais os estudantes participaram de atividades de contextualização conceitual, experimentação com sensores de luminosidade e discussão de aplicações tecnológicas do fenômeno. A quarta etapa correspondeu à avaliação da aprendizagem, realizada por meio da análise das produções dos estudantes, questionários reflexivos e registros observacionais. Por fim, a quinta etapa consistiu na sistematização e reflexão dos resultados, envolvendo a análise crítica dos dados coletados e a avaliação das contribuições pedagógicas da proposta didática para o ensino de Ciências.

Essa organização metodológica permitiu acompanhar o processo de construção conceitual dos estudantes, bem como analisar o potencial da experimentação investigativa mediada por tecnologias digitais como estratégia para a introdução de conteúdos de Física Moderna no Ensino Fundamental. Ao articular planejamento didático, intervenção pedagógica e análise reflexiva da prática educativa, a metodologia adotada possibilita compreender não apenas os resultados da intervenção, mas também os processos formativos envolvidos na construção do conhecimento científico em contexto escolar.

Considerando a natureza qualitativa desta investigação e a diversidade de instrumentos utilizados na coleta de dados, tornou-se necessário adotar um procedimento analítico capaz de interpretar de forma sistemática as diferentes evidências produzidas ao longo da intervenção didática. Para esse fim, os dados obtidos por meio dos questionários diagnósticos iniciais e finais, dos registros do diário de campo e das observações realizadas durante as atividades experimentais foram analisados de maneira integrada, por meio de um processo de triangulação de dados, buscando ampliar a consistência interpretativa dos resultados e reduzir possíveis vieses analíticos. Essa estratégia permitiu confrontar diferentes fontes de informação, possibilitando compreender não apenas os resultados das atividades propostas, mas também os processos de construção conceitual mobilizados pelos estudantes ao longo da sequência didática. Sob essa perspectiva, a análise das respostas e registros dos alunos foi orientada pela compreensão de que a aprendizagem científica envolve processos de reorganização do pensamento e superação de concepções intuitivas, dialogando com a noção de ruptura epistemológica proposta por Bachelard (1996), segundo a qual o avanço do conhecimento científico ocorre mediante a superação de obstáculos presentes no próprio ato de conhecer.

Nesse sentido, buscou-se identificar indícios de deslocamentos conceituais nas explicações elaboradas pelos estudantes, particularmente no que se refere à compreensão do efeito fotoelétrico e de suas aplicações tecnológicas. Ao mesmo tempo, a análise considerou os pressupostos da Aprendizagem Significativa, conforme formulada por Ausubel (2003), segundo os quais novos conhecimentos são incorporados à estrutura cognitiva do aprendiz

quando estabelecem relações não arbitrárias com conceitos previamente existentes. Assim, visando garantir rigor metodológico e coerência interpretativa na análise das informações coletadas, adotou-se como referencial analítico a Análise de Conteúdo, conforme sistematizada por Bardin (2011), cujos procedimentos e etapas são apresentados na seção seguinte.

4.1 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados coletados nesta pesquisa foi conduzida a partir de uma abordagem qualitativa, com base nos pressupostos da pesquisa-ação e da análise interpretativa em Educação em Ciências. Segundo Bogdan e Biklen (1994), os dados qualitativos buscam captar o significado que os sujeitos atribuem às suas experiências, permitindo ao pesquisador interpretar tanto comportamentos observados quanto produções discursivas escritas ou orais.

Dessa maneira os procedimentos da Análise de Conteúdo, conforme sistematizada por Bardin (2011), estar articulada em diálogo com os referenciais epistemológicos adotados nesta pesquisa. Considerando o caráter interventivo do estudo e a natureza dos instrumentos utilizados, buscou-se integrar dados qualitativos e quantitativos por meio de estratégia de triangulação, visando ampliar a consistência interpretativa dos resultados.

O corpus analítico foi constituído pelas respostas aos questionários diagnóstico inicial e final (Quadros 12 e 13), pelos registros de observação em sala de aula, e pelos resultados organizados em gráficos estatísticos (especialmente gráficos 6, 7, 8, 9, 12, 14 e 16). Esses instrumentos foram analisados de forma integrada, buscando identificar movimentos de permanência, transição ou reorganização conceitual ao longo da intervenção didática.

Inicialmente, procedeu-se à etapa de pré-análise, caracterizada por leitura flutuante das respostas discursivas, com o objetivo de identificar unidades de sentido recorrentes relacionadas à compreensão do efeito fotoelétrico. Nessa fase, observou-se predominância de explicações ancoradas em concepções intuitivas da energia, frequentemente associadas à intensidade luminosa como fator determinante da emissão eletrônica. Tais padrões foram posteriormente sistematizados por meio de codificação temática.

Na etapa de exploração do material, as respostas foram categorizadas com base em critérios definidos a partir do diálogo entre os dados empíricos e o referencial teórico. Estabeleceram-se categorias analíticas que permitiram classificar as explicações segundo seu nível de complexidade conceitual. Entre elas destacam-se: (I) concepção clássica-intuitiva, caracterizada por explicações baseadas em modelo contínuo da energia; (II) reconhecimento parcial do papel da frequência, quando há menção à necessidade de frequência mínima sem

articulação estruturada do fenômeno; e (III) compreensão estruturada do fenômeno, identificada quando o estudante reconhece explicitamente a emissão de elétrons condicionada à frequência da radiação incidente. Além dessas, foram consideradas categorias relacionadas à contextualização tecnológica e à identificação de obstáculos ou rupturas epistemológicas.

A comparação entre as respostas do diagnóstico inicial e final permitiu identificar deslocamentos qualitativos nas estruturas explicativas mobilizadas pelos estudantes. A análise não se limitou à verificação de acertos ou erros, mas buscou evidenciar mudanças no modo de organizar o pensamento científico. Essa abordagem está fundamentada na perspectiva epistemológica de Bachelard (1996), segundo a qual o avanço do conhecimento ocorre por meio da superação de obstáculos internos ao ato de conhecer. Assim, a identificação de abandono progressivo do modelo clássico-intuitivo em favor de explicações que reconhecem a dependência da emissão à frequência da radiação foi interpretada como indício de ruptura epistemológica parcial.

Os dados quantitativos foram utilizados de forma complementar, como indicadores de tendência. A comparação entre os resultados da autoavaliação da compreensão (Gráfico 6), da capacidade declarada de explicação (Gráfico 7) e da compreensão conceitual do fenômeno (Gráficos 8 e 16) permitiu identificar deslocamento para níveis mais elevados de entendimento após a intervenção. Esses dados foram analisados em conjunto com as respostas discursivas, evitando interpretação isolada de percentuais.

A mediação tecnológica também foi considerada no processo analítico. Os resultados relativos à percepção do Arduino (Gráfico 12) e à identificação de dispositivos que utilizam sensores de luz (Gráfico 14) foram interpretados à luz do construcionismo de Papert (1980), considerando o papel do artefato tecnológico como mediador da construção conceitual. A integração entre experimentação e problematização foi analisada como elemento favorecedor da reorganização do pensamento científico escolar.

Buscando assegurar maior rigor metodológico, adotou-se como critério de validação a convergência entre diferentes fontes de dados, comparando resultados quantitativos com evidências qualitativas registradas nas respostas discursivas. Ainda que a análise tenha sido conduzida pelo próprio professor-pesquisador, o procedimento seguiu critérios sistemáticos de categorização e interpretação fundamentada teoricamente.

5. PROPOSTA DIDÁTICA: DO CONCEITO À PRÁTICA

A proposta foi estruturada como uma sequência didática que articula teoria e prática, buscando promover a compreensão conceitual, o desenvolvimento de competências científicas e o engajamento dos estudantes por meio de metodologias ativas.

Dividida em quatro aulas de 50 minutos, a sequência trabalha desde a introdução à natureza da luz até a construção de um experimento que simula o efeito fotoelétrico com sensores e LEDs controlados pelo Arduino. O planejamento segue os princípios do ensino investigativo e atende às competências da BNCC, aproximando os alunos da Física Moderna em um contexto escolar real.

O capítulo está organizado nas seguintes seções:

- 5.1 Planejamento das Aulas sobre o efeito fotoelétrico – apresenta a estrutura geral das quatro aulas;
- 5.2 Sequência Didática Interdisciplinar – detalha os objetivos e as atividades;
- 5.3 Uso do Arduino na Demonstração do Efeito Fotoelétrico – descreve os componentes e montagem do experimento;
- 5.4 Recursos Didáticos Auxiliares – lista os materiais utilizados (vídeos, simuladores);
- 5.5 Avaliação da Aprendizagem – traz os instrumentos e critérios de avaliação da proposta.

5.1 PLANEJAMENTO DAS AULAS SOBRE EFEITO FOTOELÉTRICO

Cada aula foi planejada com foco na integração entre teoria e prática, valorizando o protagonismo dos estudantes e o uso de tecnologias educacionais acessíveis. As estratégias incluem discussão dialogada, uso de simuladores, construção de protótipo e contextualização com aplicações tecnológicas reais, como sensores e painéis fotovoltaicos.

O planejamento geral das aulas sobre o efeito fotoelétrico está apresentado no Quadro 1, no qual se encontram sistematizados os temas centrais, os objetivos de aprendizagem e as estratégias e recursos previstos para cada aula.

QUADRO 1 - Planejamento Geral das Aulas sobre o Efeito Fotoelétrico

<i>Aula</i>	<i>Tema Central</i>	<i>Objetivos de Aprendizagem</i>	<i>Estratégias / Recursos Utilizados</i>
1	<i>Luz: onda ou partícula?</i>	<i>Identificar concepções prévias dos alunos sobre luz e energia.</i>	<i>Vídeo introdutório, roda de conversa, quiz diagnóstico.</i>
2	<i>O que é o efeito fotoelétrico?</i>	<i>Compreender a relação entre frequência da luz e ejeção de elétrons em metais.</i>	<i>Simulador PhET (Photoelectric Effect), discussão orientada.</i>
3	<i>Experimento com Arduino e sensores de luz (LDR)</i>	<i>Experimentar o efeito fotoelétrico em protótipo de baixo custo com Arduino e sensores.</i>	<i>Arduino, LDR, LED UV, protoboard, cabos, código básico de medição de luz.</i>
4	<i>Aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano</i>	<i>Reconhecer aplicações tecnológicas como painéis solares, câmeras e sensores automáticos.</i>	<i>Análise de vídeos e imagens, debate, síntese reflexiva em grupo, elaboração de cartazes ou relatórios.</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

5.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA INTERDISCIPLINAR

A sequência didática proposta foi estruturada com base nos três Momentos Pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), Problemática, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento e está fundamentada na epistemologia de Mario Bunge (1974), que valoriza a interação entre teoria e prática científica. O objetivo é promover a aprendizagem significativa do efeito fotoelétrico por meio de atividades experimentais com Arduino e materiais de baixo custo, articulando conceitos de Física, Tecnologia e Sustentabilidade.

1º Momento – Problemática

Nesta etapa, busca-se despertar o interesse e mobilizar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a natureza da luz e suas aplicações tecnológicas. A aula inicia com um vídeo introdutório sobre usos do efeito fotoelétrico (portas automáticas, iluminação pública inteligente, sensores de presença).

Em seguida, ocorre uma roda de conversa guiada pelo professor, que propõe questões investigativas como:

- “Como as portas automáticas percebem a aproximação de uma pessoa?”
- “É possível transformar luz em eletricidade?”

2º Momento – Organização do Conhecimento

Neste momento, os conceitos teóricos do efeito fotoelétrico são organizados e aprofundados. O professor apresenta a explicação científica do fenômeno, destacando que a emissão de elétrons ocorre quando a luz incide sobre o metal com energia suficiente.

Os alunos utilizam a simulação *Photoelectric Effect*, da plataforma PhET², para observar o comportamento dos elétrons conforme a variação da frequência da luz incidente. A partir dessa atividade, são discutidos os resultados obtidos, favorecendo a compreensão da relação entre a energia do fóton e a emissão de elétrons.

3º Momento – Aplicação do Conhecimento

Os alunos constroem um protótipo com Arduino, sensor LDR (resistor dependente da luz) e LED, simulando o princípio do efeito fotoelétrico.

O circuito é programado para acender o LED conforme a variação da intensidade luminosa, permitindo observar a conversão de energia luminosa em resposta elétrica. Essa prática estimula o trabalho em grupo, a resolução de problemas e o pensamento científico.

QUADRO 2 - Estrutura da Sequência Didática Interdisciplinar

<i>Momento</i>	<i>Objetivo Central</i>	<i>Atividade Principal</i>	<i>Recursos Utilizados</i>
Problematização	<i>Despertar o interesse e levantar hipóteses</i>	<i>Vídeo e debate guiado</i>	<i>TV, projetor, quadro</i>
Organização do Conhecimento	<i>Compreender fundamentos teóricos e tecnológicos</i>	<i>Simulação PhET + introdução ao Arduino</i>	<i>Computadores, projetor, kit Arduino</i>
Aplicação do Conhecimento	<i>Aplicar conceitos em experimento prático</i>	<i>Montagem de circuito e análise dos resultados</i>	<i>Arduino, LDR, LED, protoboard, fonte de luz</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com base em Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011)

O Quadro 2, foi organizado de modo a articular objetivos de aprendizagem, atividades e recursos pedagógicos em cada etapa do processo de ensino. Essa estrutura evidencia a intencionalidade da proposta, ao integrar momentos de problematização, sistematização conceitual e aplicação prática, favorecendo a participação ativa dos estudantes e a aproximação entre os conceitos científicos e suas aplicações tecnológicas no contexto escolar.

² Plataforma gratuita de simulações interativas desenvolvida pela University of Colorado Boulder, que permite explorar conceitos científicos por meio de ambientes virtuais dinâmicos e visualmente interativos, amplamente utilizada no ensino de Física, Química, Matemática e outras áreas das Ciências.

5.3 USO DO ARDUINO NA DEMONSTRAÇÃO DO EFEITO FOTOELÉTRICO

O uso do Arduino na presente proposta didática constitui um elemento central para a articulação entre teoria e prática no ensino do efeito fotoelétrico, possibilitando a construção de experiências investigativas que aproximam conceitos abstratos da Física Moderna da realidade concreta dos estudantes. A plataforma Arduino, permite a implementação de experimentos didáticos que simulam a conversão de energia luminosa em sinal elétrico, favorecendo a compreensão do princípio físico subjacente ao efeito fotoelétrico. Ao integrar eletrônica básica, programação e experimentação científica, o Arduino amplia as possibilidades pedagógicas no Ensino de Ciências, promovendo uma aprendizagem ativa, contextualizada e significativa, conforme os pressupostos das metodologias investigativas adotadas nesta pesquisa.

O experimento desenvolvido foi estruturado a partir da utilização de um sensor LDR (Light Dependent Resistor), responsável por detectar variações de intensidade luminosa, associado a um circuito simples com LED, resistores e placa Arduino. Embora o LDR não reproduza literalmente a emissão de elétrons descrita no efeito fotoelétrico real, ele permite simular, em nível didático, a transformação da energia luminosa em resposta elétrica mensurável, funcionando como uma analogia experimental. A incidência de luz sobre o sensor provoca alteração em sua resistência elétrica, gerando variação de tensão detectada pelo Arduino, que interpreta o sinal e aciona o LED. Essa dinâmica permite aos estudantes observar, de forma concreta, a relação entre luz incidente e resposta elétrica, favorecendo a construção de modelos explicativos coerentes com o fenômeno estudado.

Do ponto de vista pedagógico, a montagem do circuito foi conduzida em grupos, incentivando o trabalho colaborativo, a resolução de problemas e o protagonismo estudantil. Os alunos participaram ativamente da conexão dos componentes na protoboard, da verificação do circuito e da execução do código de leitura analógica da luminosidade. Durante essa etapa, foram estimulados a formular hipóteses sobre o comportamento do sensor diante de diferentes intensidades de luz, registrar observações e comparar resultados obtidos experimentalmente.

5.4 RECURSOS DIDÁTICOS AUXILIARES (simulações, vídeos, experimentos)

Os recursos didáticos auxiliares desempenham papel fundamental na mediação entre os conceitos teóricos do efeito fotoelétrico e a construção do conhecimento pelos estudantes, atuando como elementos facilitadores da aprendizagem significativa. Nesta proposta, foram

utilizados diferentes suportes pedagógicos, como vídeos educativos, simuladores interativos e materiais de apoio visual, com o objetivo de tornar o fenômeno físico mais compreensível e acessível ao nível cognitivo dos alunos do Ensino Fundamental.

Os vídeos introdutórios foram empregados especialmente na fase de problematização, possibilitando contextualizar o efeito fotoelétrico em aplicações tecnológicas presentes no cotidiano, como sensores automáticos, iluminação inteligente e painéis solares, favorecendo a motivação inicial e a ativação de conhecimentos prévios. Já os simuladores digitais permitiram aos estudantes visualizar, de forma interativa, a relação entre frequência da luz, energia e emissão de elétrons, contribuindo para a construção de modelos mentais coerentes com os fundamentos da Física Moderna e complementando as limitações experimentais do protótipo físico.

Além disso, nas oficinas foram estruturadas para a condução das atividades práticas, orientando os estudantes quanto aos procedimentos, registros e interpretações necessárias durante a utilização do Arduino e dos sensores de luz. Esses materiais favoreceram a organização do pensamento investigativo, estimulando a observação sistemática, o levantamento de hipóteses e a análise dos resultados obtidos.

Os recursos visuais e digitais também contribuíram para atender a diferentes estilos de aprendizagem, promovendo maior engajamento, compreensão conceitual e participação ativa dos estudantes. Dessa forma, os recursos didáticos auxiliares não atuaram apenas como instrumentos complementares, mas como elementos integradores da proposta pedagógica, fortalecendo a articulação entre teoria, simulação e experimentação, e ampliando as possibilidades de aprendizagem científica em um contexto tecnológico e investigativo.

5.5 AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

A avaliação da aprendizagem, no contexto desta proposta didática, foi concebida como um processo contínuo, formativo e integrado às diferentes etapas da sequência pedagógica, tendo como finalidade acompanhar o desenvolvimento conceitual, procedimental e atitudinal dos estudantes ao longo das atividades. Em consonância com a perspectiva do ensino investigativo, a avaliação não se restringe à verificação de respostas corretas, mas busca compreender como os alunos constroem significados acerca do efeito fotoelétrico, relacionando teoria, simulação e experimentação prática com o uso do Arduino.

Foram utilizados instrumentos diversificados, como questionário diagnóstico inicial, observação sistemática durante as oficinas, registros em diário de campo e discussões

coletivas, permitindo identificar conhecimentos prévios, avanços na compreensão conceitual e dificuldades emergentes no processo de aprendizagem.

Durante a execução das atividades experimentais, o processo avaliativo voltou-se ao acompanhamento do envolvimento dos estudantes, de sua capacidade de resolução de problemas e da compreensão da relação entre a luz incidente e a resposta elétrica observada no experimento. Para tanto, foram considerados aspectos como a participação ativa, a cooperação entre os pares, a organização do trabalho em grupo, a manipulação adequada dos materiais e a formulação de hipóteses explicativas acerca do comportamento do sistema.

Na etapa de consolidação do conhecimento, a avaliação voltou-se à capacidade dos estudantes de relacionar o funcionamento do experimento com os princípios do efeito fotoelétrico e suas aplicações tecnológicas no cotidiano. A montagem correta do circuito, a interpretação dos resultados e a explicação do fenômeno em linguagem científica adequada foi considerada um indicador relevante de possíveis indícios de aprendizagem significativa. Além disso, os estudantes foram incentivados a registrar observações, elaborar conclusões e discutir coletivamente os resultados obtidos, promovendo o desenvolvimento do pensamento crítico e da argumentação científica.

Outro momento importante do processo avaliativo foi a apresentação final das atividades, realizada em grupos, na qual os estudantes explicaram o funcionamento do experimento, relacionaram-no ao efeito fotoelétrico e destacaram possíveis aplicações tecnológicas, como sensores de luz e sistemas fotovoltaicos. Nessa etapa, foram analisados critérios como clareza conceitual, organização das ideias, capacidade de comunicação científica, criatividade e colaboração.

Por fim, a avaliação também assumiu caráter reflexivo para o professor, permitindo reorientar práticas pedagógicas, ajustar estratégias metodológicas e aperfeiçoar futuras intervenções didáticas. A análise dos registros e resultados contribuiu para compreender como o uso do Arduino e da experimentação investigativa influenciou o aprendizado dos estudantes, reforçando a importância de metodologias ativas e contextualizadas no ensino de Ciências.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados e analisados os resultados obtidos a partir da aplicação da proposta didática sobre o efeito fotoelétrico, desenvolvida com estudantes do Ensino Fundamental. A análise considera os dados coletados por meio dos instrumentos utilizados durante a pesquisa, incluindo questionários diagnósticos, observações em sala de aula, registros das atividades realizadas e produções dos estudantes. Esses elementos permitiram examinar aspectos relacionados à participação discente, à compreensão conceitual dos fenômenos estudados e ao engajamento dos alunos nas atividades investigativas propostas.

A discussão dos resultados é realizada à luz dos referenciais teóricos que fundamentam esta pesquisa, buscando identificar evidências de aprendizagem significativa, desenvolvimento de habilidades investigativas e aproximação entre conceitos científicos e aplicações tecnológicas do cotidiano. Dessa forma, os dados obtidos são interpretados não apenas de maneira descritiva, mas também analítica, permitindo compreender as contribuições da proposta didática mediada por experimentação, simulação e uso do Arduino para o ensino do efeito fotoelétrico no contexto da Educação Básica.

6.1 RELATO DAS APLICAÇÕES EM SALA DE AULA

A aplicação da proposta didática ocorreu em ambiente real de sala de aula, envolvendo estudantes do Ensino Fundamental em atividades voltadas à compreensão do efeito fotoelétrico. Desde o início das aulas, observou-se um ambiente de participação ativa, no qual os estudantes demonstraram curiosidade diante do tema apresentado. A contextualização inicial despertou interesse, principalmente quando foram mencionadas tecnologias presentes no cotidiano, como sensores automáticos e painéis solares, o que facilitou a aproximação entre o conteúdo científico e a realidade dos alunos.

Durante o primeiro momento de interação com o tema, os estudantes foram convidados a compartilhar suas ideias sobre luz, energia e eletricidade. Nesse processo, surgiram diversas concepções espontâneas, muitas delas associando a intensidade da luz diretamente à quantidade de energia transferida. Essas manifestações evidenciaram a presença de interpretações baseadas em experiências cotidianas, permitindo ao professor identificar conhecimentos prévios e orientar o desenvolvimento das discussões posteriores.

A aplicação do questionário diagnóstico contribuiu para ampliar essa compreensão inicial sobre o nível de conhecimento da turma. As respostas indicaram que a maioria dos

estudantes possuía familiaridade com dispositivos que utilizam luz, como sensores de presença e sistemas de iluminação automática, porém poucos conseguiam explicar os princípios físicos envolvidos nesses mecanismos. Esse resultado reforçou a importância de trabalhar o tema de forma investigativa e contextualizada.

No encontro seguinte, quando os estudantes tiveram contato com o simulador digital, observou-se maior envolvimento com o processo de investigação do fenômeno. A possibilidade de manipular variáveis e observar mudanças no comportamento da emissão de elétrons despertou interesse e estimulou discussões entre os alunos. Muitos demonstraram surpresa ao perceber que a emissão de elétrons não dependia apenas da intensidade da luz, mas também da frequência da radiação incidente.

As interações durante a atividade com o simulador evidenciaram momentos de debate e troca de ideias entre os estudantes. Alguns grupos levantaram hipóteses para explicar os resultados observados, enquanto outros comparavam suas conclusões com as de colegas. Nesse contexto, a mediação do professor foi fundamental para orientar as discussões e auxiliar na organização dos conceitos científicos envolvidos.

A etapa experimental envolvendo o Arduino representou um dos momentos de maior entusiasmo por parte dos estudantes. A montagem do circuito e a observação do funcionamento do sensor de luminosidade despertaram grande interesse, sobretudo pela possibilidade de manipular componentes eletrônicos e observar respostas imediatas do sistema à incidência de luz. Durante essa atividade, os alunos demonstraram iniciativa na realização das tarefas e colaboraram entre si para compreender o funcionamento do experimento.

Ao longo da atividade prática, os estudantes passaram a relacionar os resultados observados com os conceitos discutidos anteriormente nas aulas. Muitos conseguiram estabelecer conexões entre o comportamento do sensor e a interação entre luz e matéria, aproximando a experiência experimental das explicações teóricas apresentadas. Esse processo favoreceu a construção gradual do entendimento sobre o fenômeno estudado.

No momento final das atividades, quando os grupos compartilharam suas observações e conclusões, foi possível perceber avanços na forma como os estudantes explicavam o fenômeno do efeito fotoelétrico e suas aplicações tecnológicas. As apresentações evidenciaram maior segurança na utilização de termos científicos e na interpretação dos resultados obtidos nas atividades, indicando que a proposta didática contribuiu para ampliar o interesse dos alunos pelas aulas de Ciências e para promover uma compreensão mais significativa dos conteúdos trabalhados.

6.2 PARTICIPAÇÃO E APRENDIZAGEM DOS ALUNOS

A análise da participação e da aprendizagem dos estudantes foi conduzida a partir da triangulação entre registros do diário de campo, interações discursivas observadas durante as oficinas e resultados dos questionários aplicados. Tal procedimento permitiu interpretar não apenas o desempenho conceitual, mas também os processos de construção de significado, em consonância com a abordagem qualitativa adotada nesta pesquisa.

Sob a perspectiva dos Três Momentos Pedagógicos (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011), os resultados indicam que a etapa de problematização cumpriu papel central na mobilização dos conhecimentos prévios e no engajamento inicial da turma. Durante a exibição do vídeo contextualizador e a roda de conversa, os estudantes apresentaram explicações baseadas em experiências cotidianas, associando luz à “claridade”, “energia” ou “eletricidade”, ainda sem distinções conceituais mais precisas. Esse movimento confirma a importância de partir das concepções espontâneas para promover a reconstrução do conhecimento científico, conforme defendido pelo ensino investigativo em Ciências (CARVALHO, 2013). A problematização, portanto, funcionou como dispositivo cognitivo de ativação e como ponto de partida para a reorganização conceitual posterior.

Na fase de organização do conhecimento, observou-se progressiva sistematização das ideias, especialmente após a utilização do simulador digital e da mediação docente. A manipulação das variáveis no ambiente virtual permitiu que os estudantes percebessem a relação entre frequência da luz e emissão de elétrons, superando parcialmente a concepção inicial de que apenas a intensidade luminosa determinaria o fenômeno. Esse avanço conceitual evidencia a relevância da integração entre simulação, explicação teórica e discussão coletiva, corroborando as contribuições de Valente (2018) acerca do papel das tecnologias digitais como mediadoras da aprendizagem científica. Nesse momento, a formalização conceitual não ocorreu de forma transmissiva, mas como resultado da interação entre exploração prática e sistematização orientada, reforçando o caráter investigativo da proposta.

A etapa de aplicação do conhecimento, materializada na montagem do circuito com Arduino e sensor LDR, revelou-se particularmente significativa para o desenvolvimento de competências científicas. Durante a experimentação, os estudantes formularam hipóteses sobre o comportamento do sensor diante de diferentes intensidades de luz, testaram possibilidades de conexão e discutiram os resultados observados. Esse processo evidencia a mobilização de habilidades como observação sistemática, análise de dados e argumentação baseada em evidências, alinhando-se às competências previstas na BNCC para o Ensino Fundamental

(BRASIL, 2018). Ainda que o experimento configure uma analogia didática do efeito fotoelétrico, a experiência concreta de observar a transformação da energia luminosa em resposta elétrica contribuiu para reduzir a abstração do conteúdo e favorecer a construção de modelos explicativos mais consistentes.

No que se refere à aprendizagem conceitual, as evidências qualitativas apontam evolução na compreensão da relação entre luz e energia, especialmente na capacidade de relacionar o funcionamento do protótipo às aplicações tecnológicas discutidas. Se, inicialmente, as respostas se restringiam a explicações simplificadas, ao final da intervenção os estudantes passaram a utilizar termos como “energia luminosa”, “sensor”, “sinal elétrico” e “transformação de energia”, demonstrando maior aproximação da linguagem científica. Esse resultado dialoga com estudos que indicam que a experimentação mediada por tecnologias como o Arduino favorece a aprendizagem significativa e o engajamento discente (SILVEIRA; GIRARDI, 2017; ALMEIDA, 2019; CORREIA, 2024).

Além da dimensão conceitual, observou-se impacto relevante no engajamento e na participação ativa. A atividade prática com Arduino despertou interesse expressivo, especialmente considerando que a maioria dos estudantes não possuía experiências prévias com eletrônica ou robótica. O caráter inovador da proposta, aliado ao trabalho colaborativo, contribuiu para a construção de um ambiente investigativo no qual os alunos assumiram papel mais protagonista, em consonância com as proposições das metodologias ativas (MORAN, 2018). A participação em grupo favoreceu a cooperação, a divisão de tarefas e o diálogo entre pares, fortalecendo também competências socioemocionais, como responsabilidade compartilhada e respeito às ideias do outro.

Sob o ponto de vista teórico, os resultados desta seção confirmam a hipótese de que a inserção de conteúdos de Física Moderna no Ensino Fundamental é viável quando mediada por estratégias didáticas contextualizadas e investigativas. A articulação entre problematização, sistematização conceitual e aplicação prática mostrou-se coerente com o referencial adotado e eficaz para promover aprendizagem integrada: conceitual, procedimental e atitudinal. Assim, os dados analisados não apenas evidenciam avanços na compreensão do efeito fotoelétrico, mas também reforçam a pertinência da metodologia dos Três Momentos Pedagógicos como estrutura organizadora da intervenção.

A participação e a aprendizagem observadas indicam que a proposta didática contribuiu para aproximar os estudantes de conceitos da Física Moderna de maneira acessível e significativa, promovendo o desenvolvimento de competências científicas alinhadas às diretrizes curriculares nacionais e ao referencial teórico mobilizado na pesquisa.

6.3 RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS DIAGNÓSTICO INICIAL E FINAL

Os resultados dos questionários diagnósticos inicial e final foram analisados com o objetivo de identificar possíveis mudanças na compreensão dos estudantes acerca do efeito fotoelétrico e de conceitos relacionados à interação entre luz e matéria. O questionário inicial permitiu mapear os conhecimentos prévios dos alunos, suas concepções sobre luz, energia e aplicações tecnológicas associadas ao fenômeno estudado.

Já o questionário final possibilitou avaliar os avanços conceituais após a aplicação da proposta didática, evidenciando alterações na forma como os estudantes interpretaram o fenômeno e suas aplicações no cotidiano. A comparação entre os dois instrumentos contribuiu para compreender os impactos das atividades investigativas, da simulação digital e da experimentação com Arduino no processo de aprendizagem.

6.3.1 Resultados dos questionários diagnóstico inicial

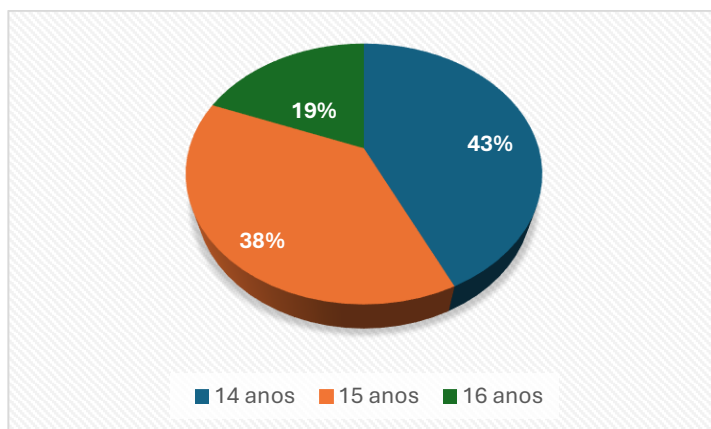
O questionário diagnóstico inicial teve como objetivo identificar o perfil e o conhecimento prévio dos alunos sobre o efeito fotoelétrico e o uso do Arduino. As respostas permitiram compreender o nível de familiaridade dos estudantes com temas de luz, eletricidade e tecnologia, servindo como ponto de partida para o planejamento das atividades do produto educacional. A seguir, apresenta-se a análise dos dados obtidos em cada item do questionário.

QUADRO 3 - Distribuição etária dos alunos (Item 1 do questionário diagnóstico inicial)

<i>Faixa etária</i>	<i>Quantidade de alunos</i>
14 anos	9 alunos
15 anos	8 alunos
16 anos	4 alunos
Total	21 alunos

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Conforme apresentado no Quadro 3 e no Gráfico 1, a turma investigada é composta por 21 estudantes com idades entre 14 e 16 anos, predominando as faixas de 14 e 15 anos, o que corresponde ao perfil esperado para o 9º ano do Ensino Fundamental.

GRÁFICO 1 - Distribuição etária dos alunos

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A caracterização dos participantes também contemplou a variável sexo, com o objetivo de descrever o perfil da turma investigada. Os dados obtidos estão apresentados no Quadro 4.

QUADRO 4 - Distribuição dos participantes segundo o sexo (Item 2 do questionário diagnóstico inicial)

<i>Sexo</i>	<i>Participantes</i>
<i>Masculino</i>	10
<i>Feminino</i>	10
<i>Prefiro não informar</i>	1
<i>Total</i>	21

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Conforme apresentado no Quadro 4, a distribuição dos participantes segundo o sexo mostrou-se equilibrada, com 10 estudantes do sexo masculino e 10 do sexo feminino. Observa-se ainda que 1 participante optou por não informar seu sexo.

Buscando caracterizar o nível de familiaridade prévia dos estudantes com práticas relacionadas à eletrônica, à robótica e ao uso de Arduino, investigou-se sua participação em oficinas ou atividades dessa natureza. Os dados obtidos estão apresentados no Quadro 5 e no Gráfico 2.

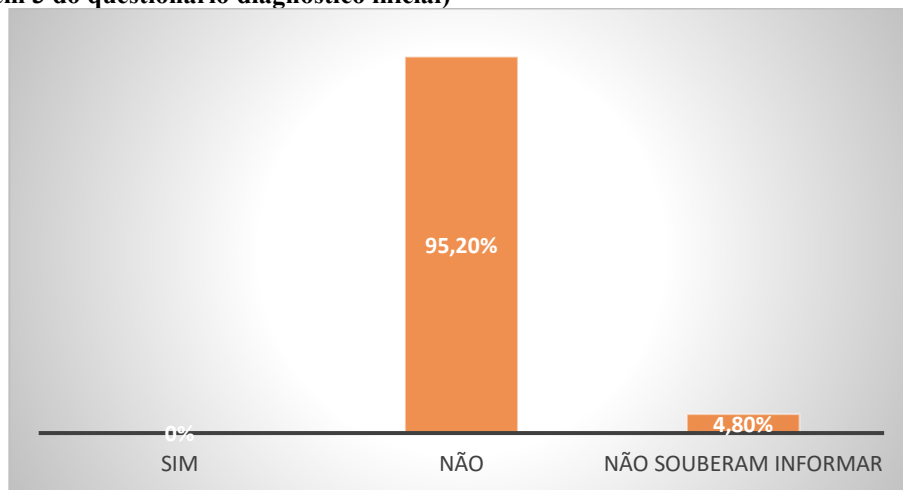
QUADRO 5 - Participação dos estudantes em atividades práticas envolvendo eletrônica, robótica ou Arduino (Item 3 do questionário diagnóstico inicial)

<i>Participação em oficinas ou atividades práticas</i>	<i>Número de alunos</i>
<i>Já participaram</i>	0 alunos
<i>Não participaram</i>	20 alunos
<i>Não souberam informar</i>	1 aluno
<i>Total</i>	21 alunos

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Os dados apresentados no Quadro 5 e no Gráfico 2 revelam que a turma possuía pouca familiaridade inicial com esse tipo de experiência. Observa-se que 20 estudantes afirmaram não ter participado de atividades dessa natureza, enquanto 1 participante declarou não saber informar.

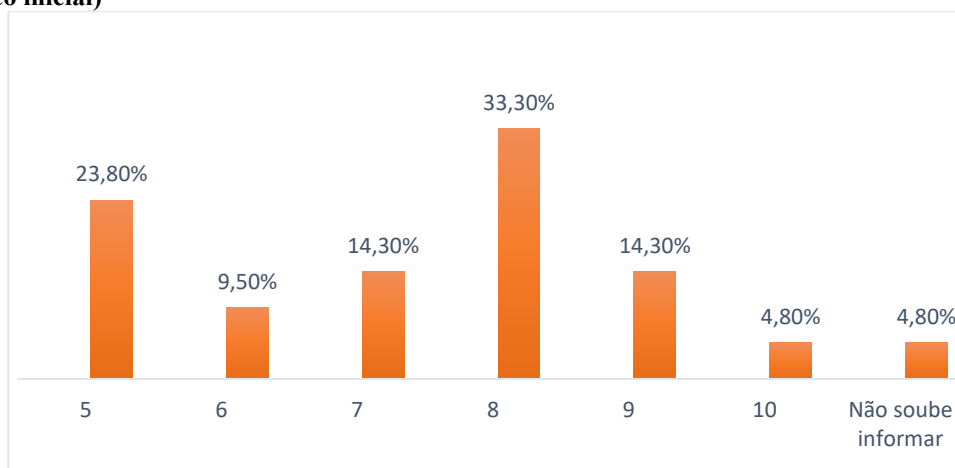
GRÁFICO 2 – Participação dos estudantes em atividades práticas envolvendo eletrônica, robótica ou Arduino (Item 3 do questionário diagnóstico inicial)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com o objetivo de identificar o nível de interesse dos estudantes pelas aulas de Ciências, foi solicitada a atribuição de uma nota em escala de 0 a 10. Os resultados obtidos estão apresentados no Gráfico 3.

GRÁFICO 3 – Distribuição das notas atribuídas ao interesse pelas aulas de Ciências (Item 4 do questionário diagnóstico inicial)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Os dados do Gráfico 3 evidenciam predominância de notas situadas nas faixas intermediárias e altas da escala, especialmente a nota 8. Esse panorama sugere que os estudantes já demonstravam disposição favorável em relação à disciplina, o que pode ter contribuído positivamente para o engajamento nas atividades propostas ao longo da intervenção didática.

Buscando compreender as concepções iniciais dos estudantes sobre o conceito de luz, solicitou-se que respondessem, com suas próprias palavras, ao questionamento “O que você entende por luz?”. Os dados obtidos estão apresentados no Quadro 6.

QUADRO 6 - Síntese das concepções dos estudantes sobre o conceito de luz (Item 5 do questionário diagnóstico inicial)

<i>Nota atribuída</i>	<i>Número de alunos</i>
5	5 alunos
6	2 alunos
7	3 alunos
8	7 alunos
9	3 alunos
10	1 aluno
Não soube informar	1 aluno
Total	21 alunos

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Conforme apresentado no Quadro 6, a maioria dos estudantes não conseguiu apresentar uma definição clara sobre o conceito de luz, enquanto uma parcela menor associou a luz apenas

à sua propriedade de iluminação. Esses resultados indicam que as concepções iniciais da turma estavam predominantemente baseadas em percepções cotidianas e no senso comum.

A partir do enunciado “Você conhece algum dispositivo que funcione com luz? Cite exemplos.”, buscou-se identificar se os estudantes reconhecem, no cotidiano, tecnologias que dependem diretamente da luz para operar. Os dados obtidos estão apresentados no Quadro 7.

QUADRO 7 - Respostas dos estudantes ao item sobre dispositivos que funcionam com luz (Item 6 do questionário diagnóstico inicial)

<i>Concepções dos estudantes</i>	<i>Quantidade de alunos</i>
<i>Não apresenta uma concepção clara sobre o tema</i>	15
<i>Afirmam que apenas tem propriedade de iluminação</i>	6
<i>Total</i>	21

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Sobre o Quadro 7, todos os estudantes declararam não conhecer nenhum dispositivo que funcione com luz. Esse resultado evidencia ausência de reconhecimento, por parte do grupo, de aplicações tecnológicas associadas à interação entre luz e dispositivos eletrônicos, reforçando a necessidade de uma abordagem pedagógica que promova a contextualização desse conteúdo no cotidiano dos alunos.

O enunciado “Você acredita que a luz pode se transformar em eletricidade?” buscou identificar se os estudantes possuem alguma noção, ainda que intuitiva, sobre o princípio da conversão de energia luminosa em energia elétrica. Os dados obtidos estão apresentados no Quadro 8.

QUADRO 8 - Respostas ao item “Você acredita que a luz pode se transformar em eletricidade?” (Item 7 do questionário diagnóstico inicial)

<i>Resposta</i>	<i>Número de alunos</i>
<i>Sim</i>	15 alunos
<i>Não</i>	0 alunos
<i>Não sabe</i>	6 alunos
<i>Total</i>	21 alunos

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O Quadro 8, a maioria dos estudantes afirmou acreditar que a luz pode se transformar em eletricidade, enquanto uma parcela menor declarou não saber responder. Nenhum participante negou essa possibilidade. Esses resultados indicam que, mesmo sem domínio

conceitual mais elaborado, parte da turma já apresentava uma compreensão inicial acerca da relação entre luz e energia elétrica.

O questionamento “Você já ouviu falar sobre o efeito fotoelétrico?” buscou identificar o nível de familiaridade prévia dos estudantes com esse conceito da Física Moderna. Os dados obtidos estão apresentados no Quadro 9.

QUADRO 9 - Familiaridade dos estudantes com o efeito fotoelétrico (Item 8 do questionário diagnóstico inicial)

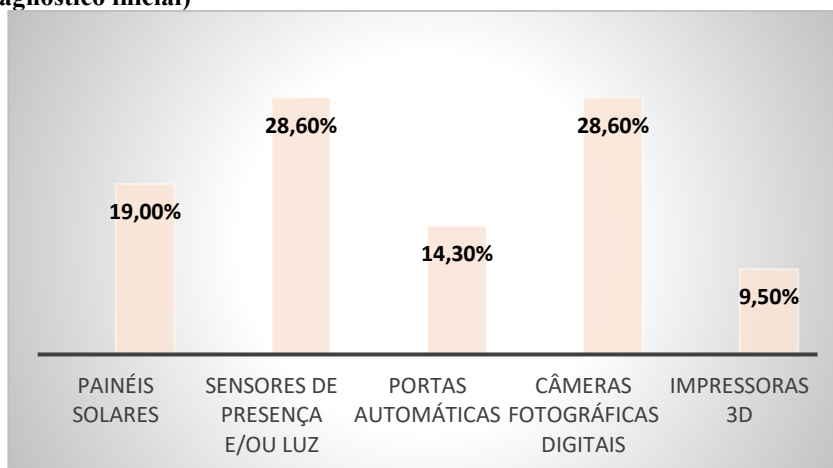
<i>Resposta</i>	<i>Número de alunos</i>
<i>Sim</i>	0 alunos
<i>Não</i>	21 alunos
<i>Total</i>	21 alunos

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Conforme se observa no Quadro 9, nenhum estudante afirmou já ter ouvido falar sobre o efeito fotoelétrico. Tal resultado evidencia a ausência de familiaridade prévia da turma com esse conceito, reforçando o caráter introdutório da proposta didática desenvolvida.

Com a finalidade de analisar o reconhecimento, pelos estudantes, de aplicações tecnológicas associadas ao efeito fotoelétrico, incluiu-se no questionário diagnóstico inicial um item voltado à identificação de dispositivos presentes no cotidiano que, segundo seu conhecimento prévio, utilizam esse fenômeno. As respostas obtidas estão apresentadas no Gráfico 4.

GRÁFICO 4 – Aplicações reconhecidas pelos estudantes que utilizam o efeito fotoelétrico (Item 9 do questionário diagnóstico inicial)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Conforme evidenciado no Gráfico 4, os estudantes reconheceram, com maior frequência, sensores de presença e/ou luz e câmeras fotográficas digitais como aplicações relacionadas ao efeito fotoelétrico, ambos assinalados por 28,6% dos participantes. Os painéis solares foram mencionados por 19,0% dos estudantes, enquanto as portas automáticas apareceram em 14,3% das respostas. Já as impressoras 3D foram assinaladas por 9,5% dos participantes. Esses resultados sugerem maior familiaridade com dispositivos mais próximos da vivência cotidiana dos estudantes, ao mesmo tempo em que evidenciam um conhecimento ainda parcial e pouco sistematizado sobre a diversidade de aplicações tecnológicas associadas à interação entre luz e sistemas eletrônicos.

Sobre o nível de familiaridade prévia dos estudantes com a plataforma Arduino, incluiu-se no questionário diagnóstico inicial o item “O que você já ouviu falar ou sabe sobre Arduino?”. Os dados obtidos estão apresentados no Quadro 10.

QUADRO 10 - Respostas ao item “O que você já ouviu falar ou sabe sobre Arduino?” (Item 10 do questionário diagnóstico inicial)

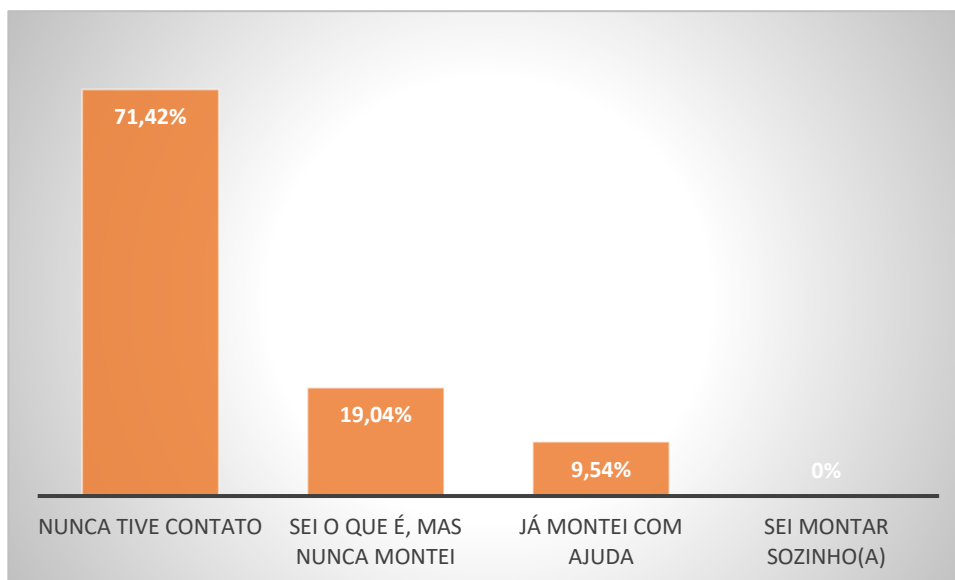
<i>Situação da resposta</i>	<i>Número de alunos</i>
<i>Declararam não saber ou nunca ouvir falar</i>	21 alunos
<i>Apresentaram algum conhecimento ou explicação</i>	0 alunos
<i>Total</i>	21 alunos

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Sobre o Quadro 10, nenhum estudante apresentou conhecimento prévio ou explicação sobre o Arduino, enquanto todos declararam não saber ou nunca ter ouvido falar sobre essa plataforma. Esse resultado revela ausência de familiaridade inicial da turma com esse recurso tecnológico, reforçando o caráter introdutório da proposta didática e a necessidade de mediação pedagógica na abordagem de conteúdos relacionados à prototipagem eletrônica e à experimentação com sensores.

Com o objetivo de identificar o nível de familiaridade prévia dos estudantes com a montagem de circuitos eletrônicos, incluiu-se no questionário diagnóstico inicial um item específico sobre esse aspecto. Os resultados obtidos estão apresentados no Gráfico 5.

GRÁFICO 5 – Nível de familiaridade dos estudantes com a montagem de circuitos eletrônicos (Item 11 do questionário diagnóstico inicial)



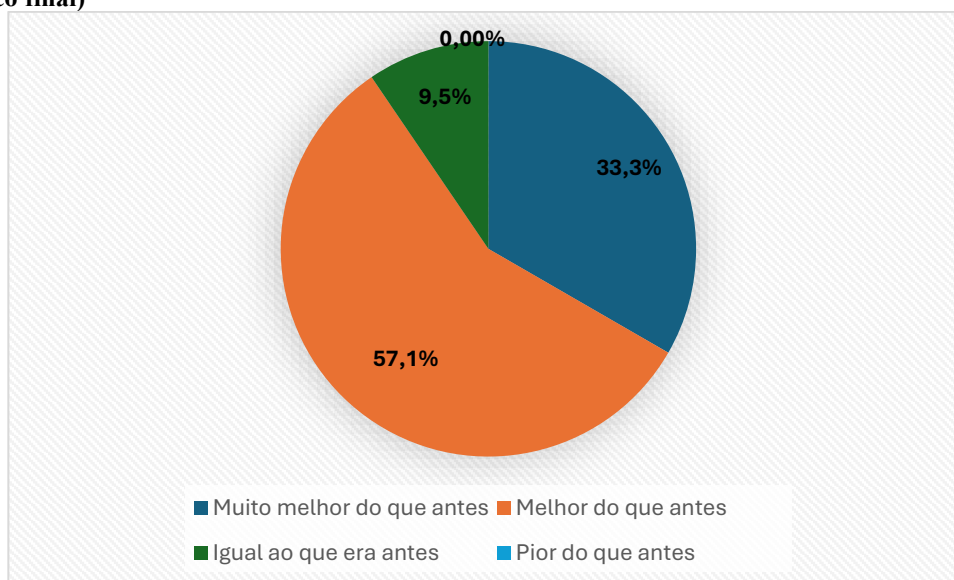
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Conforme evidenciado no Gráfico 5, a maioria dos estudantes declarou nunca ter tido contato com a montagem de circuitos eletrônicos, correspondendo a 71,42% dos participantes. Outros 19,04% afirmaram saber do que se trata, embora nunca tenham realizado uma montagem, enquanto 9,54% relataram já ter montado circuitos com ajuda. Nenhum estudante declarou saber montar circuitos sozinho. Esses resultados revelam um nível reduzido de familiaridade prática da turma com atividades de eletrônica básica, reforçando o caráter introdutório da proposta e a necessidade de acompanhamento pedagógico sistemático durante as atividades experimentais com Arduino.

6.3.2 Resultados dos questionários diagnóstico final

O questionário diagnóstico final teve como objetivo avaliar os conhecimentos adquiridos pelos alunos após a realização das atividades sobre o efeito fotoelétrico com o Arduino. Com a finalidade de examinar a percepção dos estudantes acerca da evolução de sua própria compreensão sobre o efeito fotoelétrico após a realização das oficinas, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item de autoavaliação. As respostas obtidas encontram-se sistematizadas no Gráfico 6.

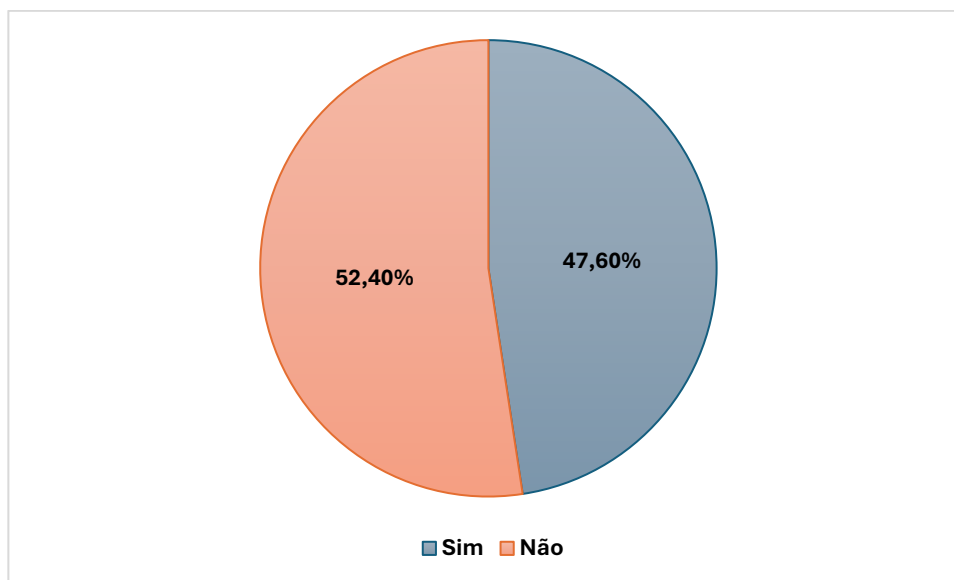
GRÁFICO 6 – Autoavaliação do entendimento sobre o efeito fotoelétrico (Item 1 do questionário diagnóstico final)



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Conforme evidenciado no Gráfico 6, os estudantes apresentaram uma percepção predominantemente positiva em relação à evolução de sua compreensão sobre o efeito fotoelétrico após a intervenção didática. Observa-se que 57,1% dos participantes avaliaram seu entendimento como “melhor do que antes”, enquanto 33,3% afirmaram que sua compreensão estava “muito melhor do que antes”. Em contrapartida, apenas 9,5% indicaram que seu entendimento permaneceu inalterado, não havendo registros de respostas na categoria “pior do que antes”. Tais resultados sugerem que a proposta pedagógica favoreceu avanços na aprendizagem percebida pelos próprios estudantes, constituindo um indicativo relevante do impacto formativo das atividades desenvolvidas. Além disso, essa autoavaliação positiva reforça a pertinência do uso de estratégias investigativas e recursos tecnológicos na abordagem de conteúdos de maior abstração conceitual no ensino de Ciências.

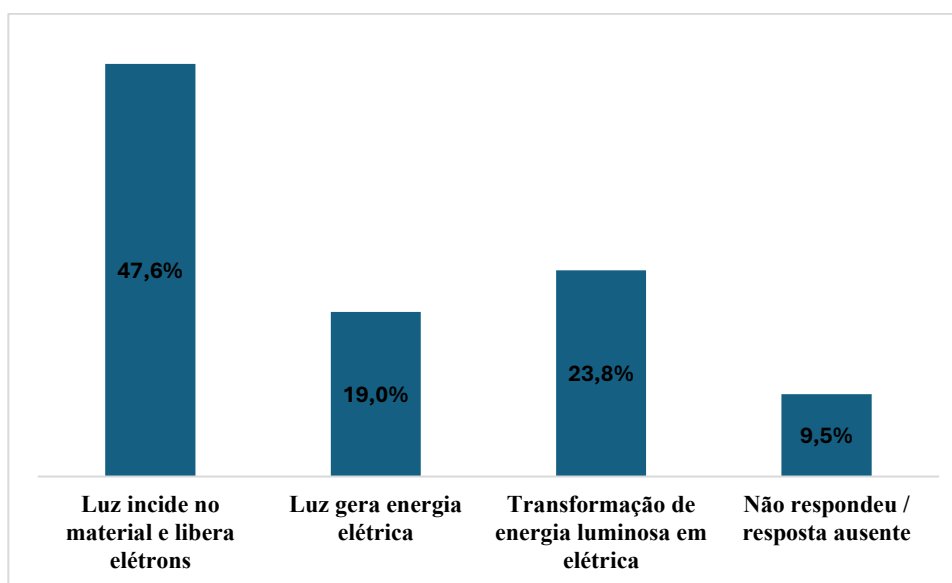
Com o propósito de aprofundar a análise da aprendizagem, investigou-se a capacidade dos estudantes de explicar, de forma autônoma, o fenômeno do efeito fotoelétrico após a realização da intervenção didática. As respostas obtidas foram organizadas no Gráfico 7.

GRÁFICO 7 - Capacidade de explicação do efeito fotoelétrico (Item 2 do questionário diagnóstico final)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Conforme evidenciado no Gráfico 7, 47,6% dos estudantes afirmaram ser capazes de explicar o fenômeno do efeito fotoelétrico, enquanto 52,4% indicaram não possuir ainda essa capacidade. Esse resultado sugere que, embora a intervenção pedagógica tenha produzido avanços na compreensão conceitual do tema, a consolidação do conhecimento em nível explicativo ainda se encontrava em processo de desenvolvimento para parte da turma. Tal dado é particularmente relevante, uma vez que a capacidade de explicação mobiliza operações cognitivas mais complexas, como organização do pensamento, articulação entre conceitos e uso de linguagem científica adequada. Nesse sentido, os resultados apontam para a necessidade de estratégias complementares, como retomadas conceituais orientadas, ampliação das discussões coletivas, aprofundamento das atividades experimentais e mediação docente contínua, com vistas à ampliação da internalização do conhecimento científico construído ao longo das oficinas.

Para aprofundar a análise da aprendizagem conceitual, investigou-se como os estudantes passaram a compreender o fenômeno do efeito fotoelétrico após a intervenção didática, considerando os diferentes níveis de elaboração presentes em suas respostas. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 8.

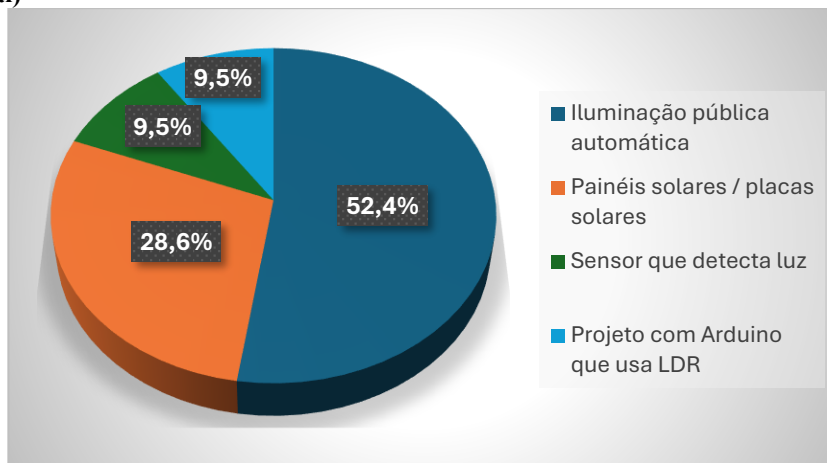
GRÁFICO 8 - Compreensão conceitual do efeito fotoelétrico (Item 3 do questionário diagnóstico final)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

No Gráfico 8, as respostas dos estudantes distribuíram-se em diferentes níveis de compreensão do efeito fotoelétrico. Observa-se que 47,6% dos participantes apresentaram explicações compatíveis com a ideia de que a luz, ao incidir sobre o material, promove a liberação de elétrons, indicando maior aproximação com a estrutura conceitual do fenômeno. Por sua vez, 19,0% associaram o efeito fotoelétrico à geração de energia elétrica, enquanto 23,8% o descreveram como transformação de energia luminosa em energia elétrica, revelando formas parciais ou simplificadas de compreensão. Além disso, 9,5% dos estudantes não responderam ao item ou não conseguiram elaborar explicação pertinente. Tais resultados indicam que a intervenção didática favoreceu avanços significativos na compreensão conceitual do tema, embora também evidenciem a permanência de níveis distintos de apropriação do conhecimento, o que reforça a necessidade de mediação pedagógica contínua para a consolidação de explicações cientificamente mais estruturadas.

Para examinar como os estudantes passaram a reconhecer aplicações do efeito fotoelétrico após a intervenção didática, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item voltado à identificação de tecnologias associadas a esse fenômeno. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 9.

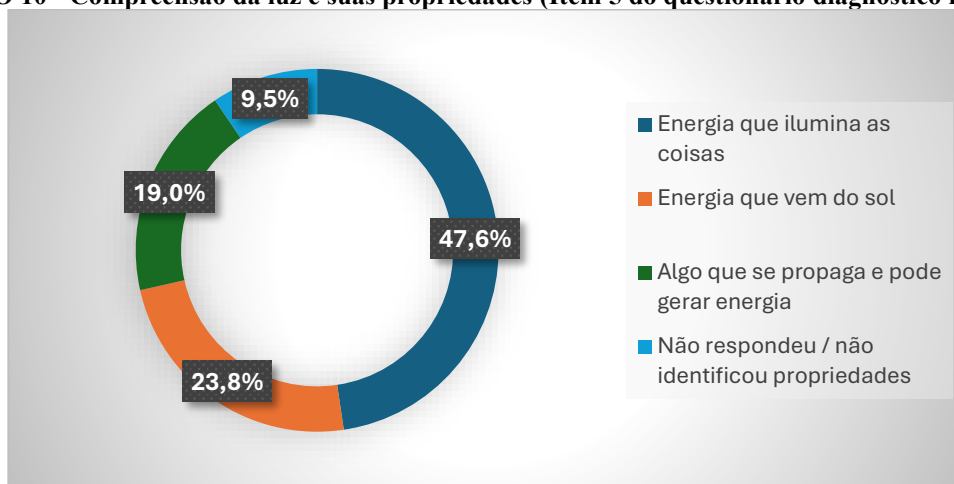
GRÁFICO 9 - Aplicações do efeito fotoelétrico identificadas pelos estudantes (Item 4 do questionário diagnóstico final)



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Conforme evidenciado no Gráfico 9, a aplicação mais reconhecida pelos estudantes foi a iluminação pública automática, mencionada por 52,4% dos participantes. Em seguida, destacam-se os painéis solares, assinalados por 28,6% dos estudantes. Já os sensores que detectam luz e o projeto com Arduino utilizando LDR foram mencionados, cada um, por 9,5% dos participantes. Esses resultados sugerem que o reconhecimento das aplicações do efeito fotoelétrico se concentrou, sobretudo, em tecnologias mais próximas do cotidiano e mais facilmente observáveis pelos estudantes. Ao mesmo tempo, a menor frequência de menções a dispositivos diretamente relacionados à experiência prática desenvolvida nas oficinas indica que a articulação entre vivência experimental e generalização conceitual, embora presente, ainda demandava maior consolidação.

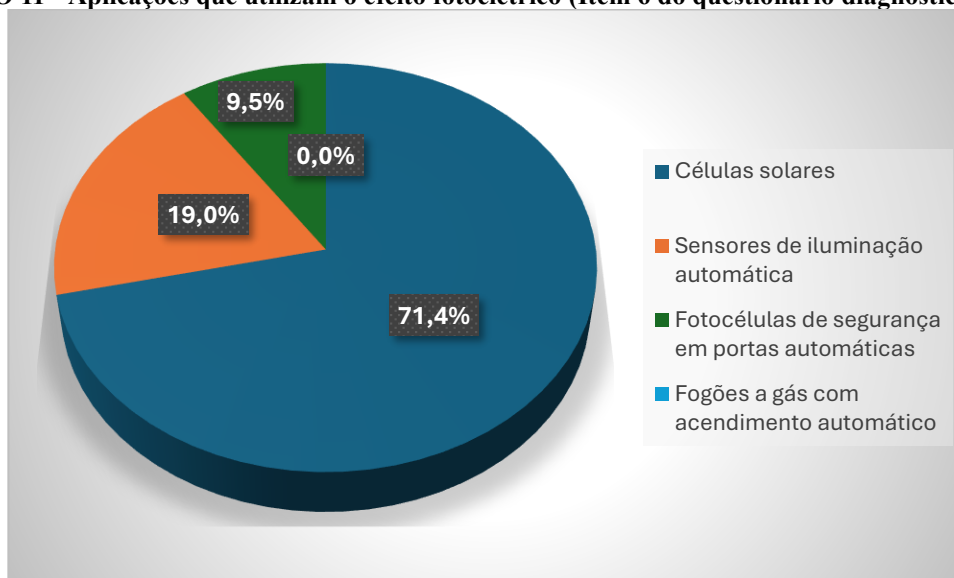
Para aprofundar a análise da compreensão dos estudantes acerca da luz e de suas propriedades, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item voltado à identificação de concepções relacionadas à natureza e às manifestações desse fenômeno. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 10.

GRÁFICO 10 - Compreensão da luz e suas propriedades (Item 5 do questionário diagnóstico final)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

No Gráfico 10, a maior parte dos estudantes compreendeu a luz como uma forma de energia associada à iluminação, categoria que reuniu 47,6% das respostas. Em seguida, 23,8% dos participantes identificaram a luz como energia proveniente do Sol, enquanto 19,0% a descreveram como algo que se propaga e pode gerar energia. Além disso, 9,5% dos estudantes não apresentaram resposta ou não conseguiram identificar propriedades relacionadas à luz. Esses resultados indicam que, após a intervenção didática, os estudantes passaram a mobilizar concepções mais estruturadas sobre o fenômeno, ainda que em diferentes níveis de elaboração. Ao mesmo tempo, a coexistência de respostas mais próximas do cotidiano com formulações de maior abstração conceitual revela um processo de aprendizagem em consolidação, no qual a apropriação científica do conceito de luz se mostra heterogênea, porém significativamente ampliada em relação ao estágio inicial.

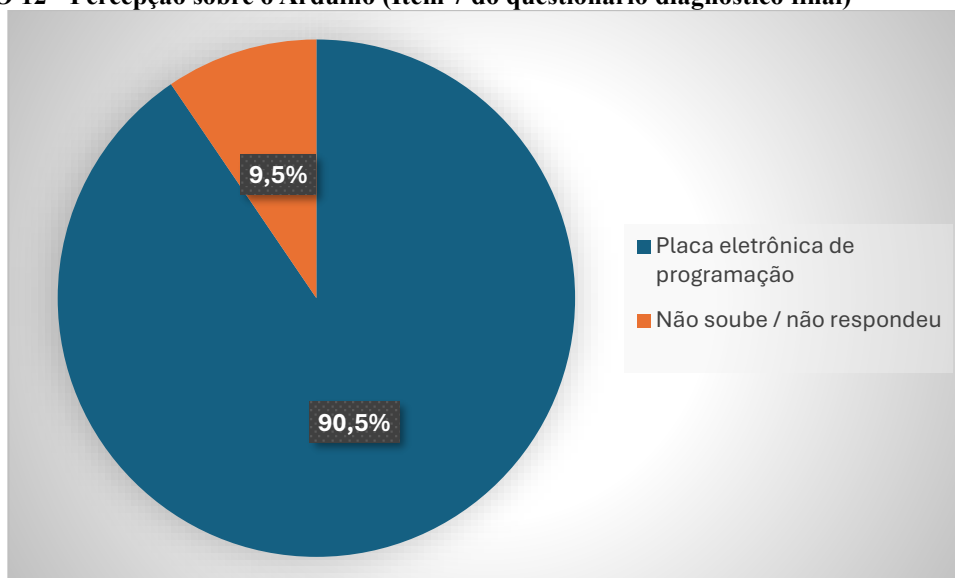
Com a finalidade de aprofundar a análise sobre as aplicações do efeito fotoelétrico reconhecidas pelos estudantes após a intervenção didática, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item voltado à identificação de tecnologias associadas a esse fenômeno. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 11.

GRÁFICO 11 - Aplicações que utilizam o efeito fotoelétrico (Item 6 do questionário diagnóstico final)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Conforme evidenciado no Gráfico 11, a aplicação mais reconhecida pelos estudantes foi a célula solar, mencionada por 71,4% dos participantes. Em menor frequência, aparecem os sensores de iluminação automática, assinalados por 19,0% dos estudantes, e as fotocélulas de segurança em portas automáticas, mencionadas por 9,5% da turma. Observa-se, ainda, que nenhum estudante associou o efeito fotoelétrico ao fogão a gás com acendimento automático. Esses resultados indicam que o reconhecimento das aplicações do fenômeno concentrou-se, sobretudo, em tecnologias mais visíveis e mais facilmente associadas ao uso da luz no cotidiano. Ao mesmo tempo, a ausência de menções a outras aplicações evidencia que, embora a intervenção tenha ampliado a capacidade de contextualização do conteúdo, a consolidação desse conhecimento ainda se mostrou mais forte em exemplos socialmente mais difundidos.

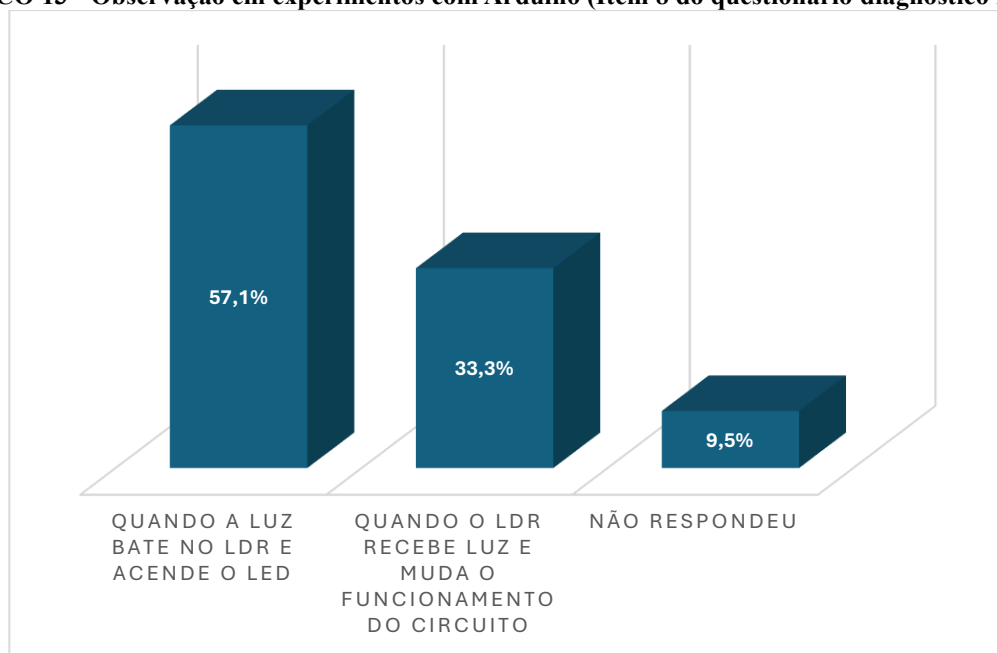
Com a finalidade de examinar a percepção dos estudantes acerca do Arduino após a realização das atividades experimentais, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item voltado à identificação da placa utilizada ao longo das oficinas. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 12.

GRÁFICO 12 - Percepção sobre o Arduino (Item 7 do questionário diagnóstico final)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Conforme evidenciado no Gráfico 12, a ampla maioria dos estudantes foi capaz de identificar corretamente o Arduino como a placa eletrônica de programação utilizada nas atividades, correspondendo a 90,5% dos participantes. Em contrapartida, 9,5% dos estudantes não souberam responder ao item. Esses resultados indicam que a intervenção didática favoreceu a apropriação do recurso tecnológico empregado nas oficinas, evidenciando não apenas reconhecimento instrumental da placa, mas também familiarização com seu papel no desenvolvimento das atividades experimentais. Tal dado reforça a contribuição do Arduino como mediador pedagógico no processo de aproximação entre conceitos científicos e práticas investigativas no ensino de Ciências.

Para analisar como os estudantes perceberam o funcionamento do experimento com Arduino durante as oficinas, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item voltado à observação da relação entre a incidência de luz sobre o sensor LDR e a resposta do circuito. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 13.

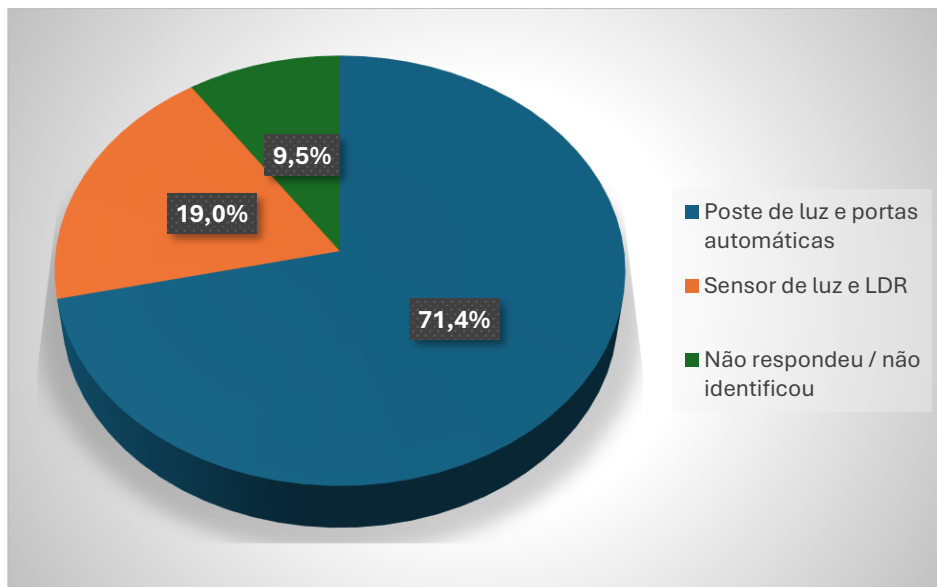
GRÁFICO 13 - Observação em experimentos com Arduino (Item 8 do questionário diagnóstico final)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Conforme evidenciado no Gráfico 13, 57,1% dos estudantes observaram que, quando a luz incidia sobre o sensor LDR, o LED era acionado, indicando reconhecimento da resposta visível do circuito ao estímulo luminoso. Além disso, 33,3% dos participantes identificaram que a incidência de luz sobre o LDR modificava o funcionamento do circuito, o que revela uma percepção mais ampla da relação entre sensor, estímulo externo e resposta elétrica do sistema. Por outro lado, 9,5% dos estudantes não responderam ao item. Esses resultados sugerem que a atividade experimental favoreceu a compreensão, pelos estudantes, da função do sensor no circuito e de sua relação com a luz incidente, constituindo evidência relevante da contribuição da experimentação mediada por Arduino para a apropriação de conceitos científicos em contexto investigativo.

Para analisar como os estudantes passaram a reconhecer dispositivos que utilizam sensores de luz após a intervenção didática, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item voltado à identificação dessas aplicações no cotidiano. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 14.

GRÁFICO 14 - Dispositivos que utilizam sensores de luz (Item 9 do questionário diagnóstico final)

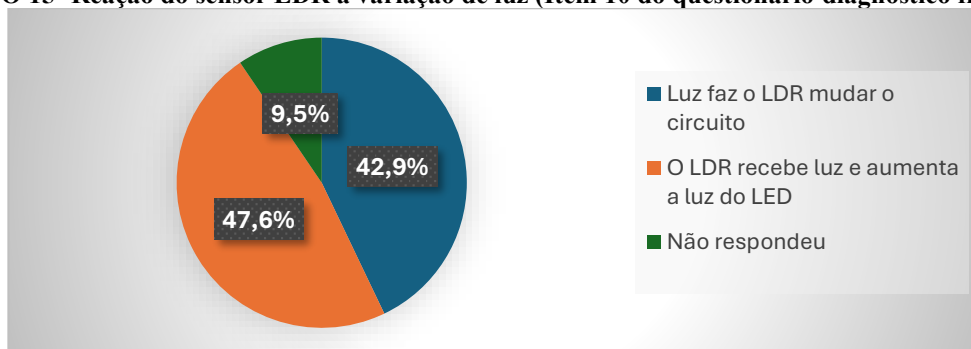


Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

O Gráfico 14, a maioria dos estudantes identificou o poste de luz e a porta automática como dispositivos que utilizam sensores de luz, correspondendo a 71,4% das respostas. Em menor frequência, 19,0% dos participantes mencionaram o sensor de luz/LDR, enquanto 9,5% não responderam ou não souberam identificar dispositivos dessa natureza. Esses resultados indicam que o reconhecimento dos estudantes concentrou-se, sobretudo, em aplicações mais visíveis e mais próximas de sua experiência cotidiana, ao passo que a menção ao LDR sugere apropriação mais específica de um conceito diretamente relacionado à atividade experimental desenvolvida.

Para examinar como os estudantes compreenderam o comportamento do sensor LDR diante da variação da luz, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item voltado à identificação da relação entre a incidência luminosa e a resposta do circuito. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 15.

GRÁFICO 15 -Reação do sensor LDR à variação de luz (Item 10 do questionário diagnóstico final)

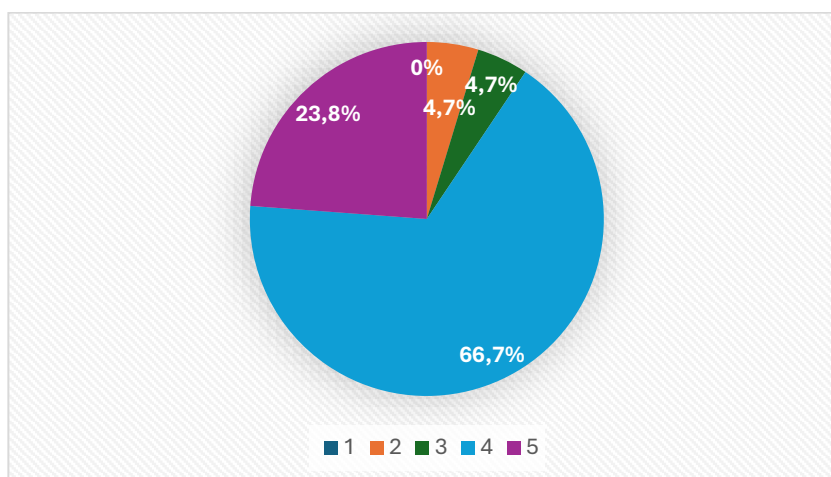


Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

O Gráfico 15, 47,6% dos estudantes observaram que o sensor LDR recebe luz e aumenta a intensidade do LED, enquanto outros 42,9% indicaram que o LDR recebe luz e modifica o funcionamento do circuito. Além disso, 9,5% dos participantes não responderam ao item. Esses resultados indicam que a maior parte da turma conseguiu estabelecer relações entre a incidência de luz sobre o sensor e a resposta observável do sistema, evidenciando avanço na compreensão do papel do LDR no circuito experimental. Ao mesmo tempo, a coexistência de respostas mais descritivas e outras mais abrangentes sugere níveis distintos de elaboração conceitual, o que reforça a importância da mediação pedagógica para consolidar a articulação entre observação prática e explicação científica do fenômeno.

Com a finalidade de examinar o nível de compreensão dos estudantes acerca do efeito fotoelétrico após a intervenção didática, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item de autoavaliação estruturado em escala ordinal. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 16.

GRÁFICO 16 - Nível de compreensão do efeito fotoelétrico (Item 11a do questionário diagnóstico final)

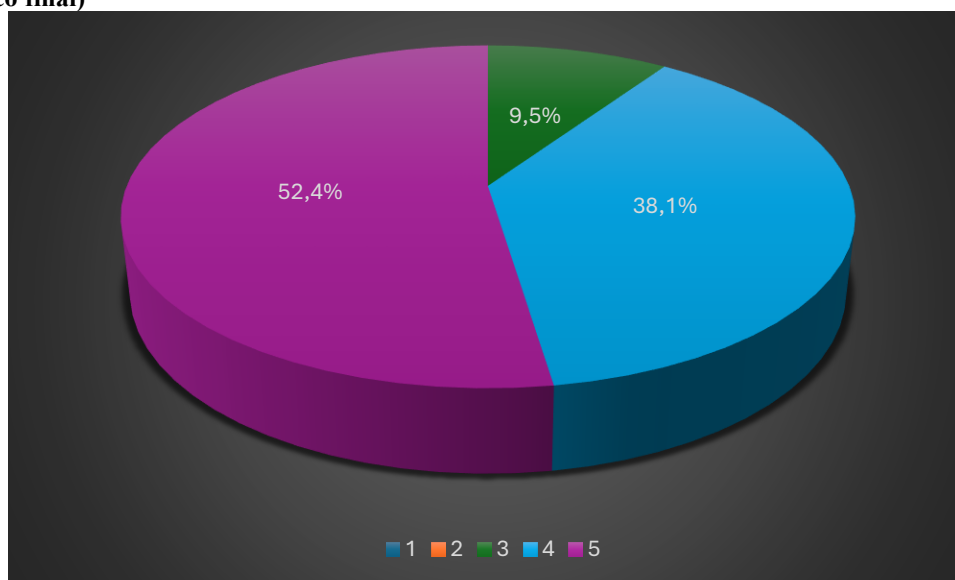


Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Conforme evidenciado no Gráfico 16, as respostas dos estudantes concentraram-se predominantemente no nível 4, assinalado por 66,7% dos participantes, indicando que a maior parte da turma percebeu ter alcançado um nível elevado de compreensão acerca do efeito fotoelétrico após a intervenção didática. Além disso, 23,8% dos estudantes atribuíram a si mesmos o nível 5, sugerindo percepção de domínio mais amplo do conteúdo. Em menor frequência, os níveis 2 e 3 foram marcados, cada um, por 4,7% dos participantes, enquanto não houve registro de respostas no nível 1. Esses resultados indicam que a autoavaliação dos estudantes se concentrou nos níveis mais elevados da escala, sugerindo impacto positivo da proposta didática na percepção de aprendizagem do conteúdo. Ao mesmo tempo, a presença residual de respostas em níveis intermediários revela que a apropriação conceitual ocorreu de forma heterogênea, ainda que predominantemente favorável.

Para examinar o nível de compreensão dos estudantes acerca do uso de sensores no cotidiano após a intervenção didática, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item de autoavaliação estruturado em escala ordinal. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 17.

GRÁFICO 17 - Nível de compreensão sobre o uso de sensores no cotidiano (Item 11b do questionário diagnóstico final)



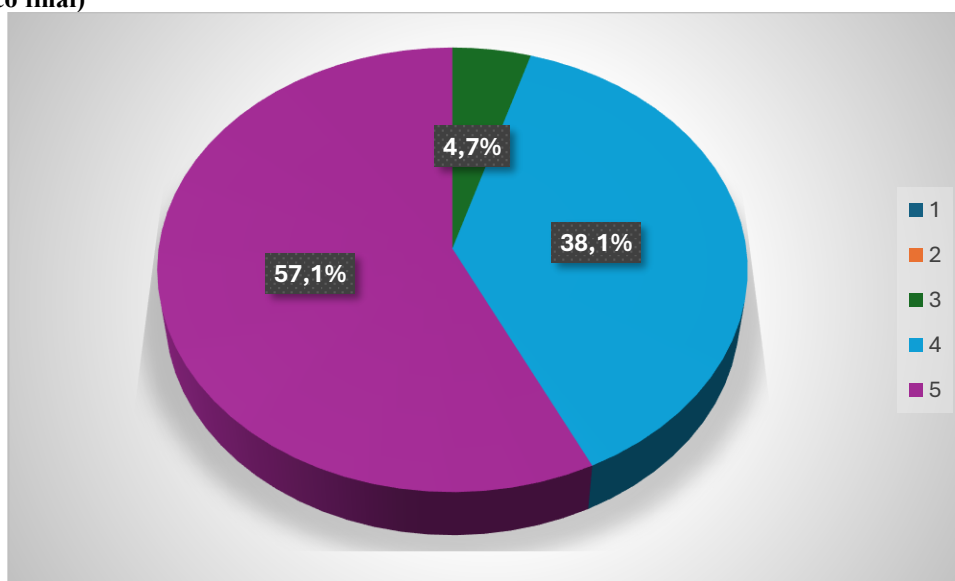
Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

No Gráfico 17, as respostas dos estudantes concentraram-se nos níveis mais elevados da escala de compreensão sobre o uso de sensores no cotidiano. Observa-se que 52,4% dos participantes atribuíram a si mesmos o nível 5, enquanto 38,1% indicaram o nível 4. Em menor frequência, 9,5% dos estudantes situaram-se no nível 3, não havendo registros de respostas nos

níveis 1 e 2. Esses resultados sugerem que a maior parte da turma passou a perceber de forma mais consistente a presença e a função dos sensores em contextos cotidianos, o que indica ampliação da capacidade de articulação entre os conhecimentos construídos nas oficinas e suas aplicações tecnológicas. Ao mesmo tempo, a distribuição residual no nível intermediário evidencia que a consolidação dessa compreensão ocorreu de maneira heterogênea, embora predominantemente positiva.

Com a finalidade de examinar o nível de compreensão dos estudantes acerca das aplicações tecnológicas da luz após a intervenção didática, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item de autoavaliação estruturado em escala ordinal. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 18.

GRÁFICO 18 - Nível de compreensão sobre aplicações tecnológicas da luz (Item 11c do questionário diagnóstico final)



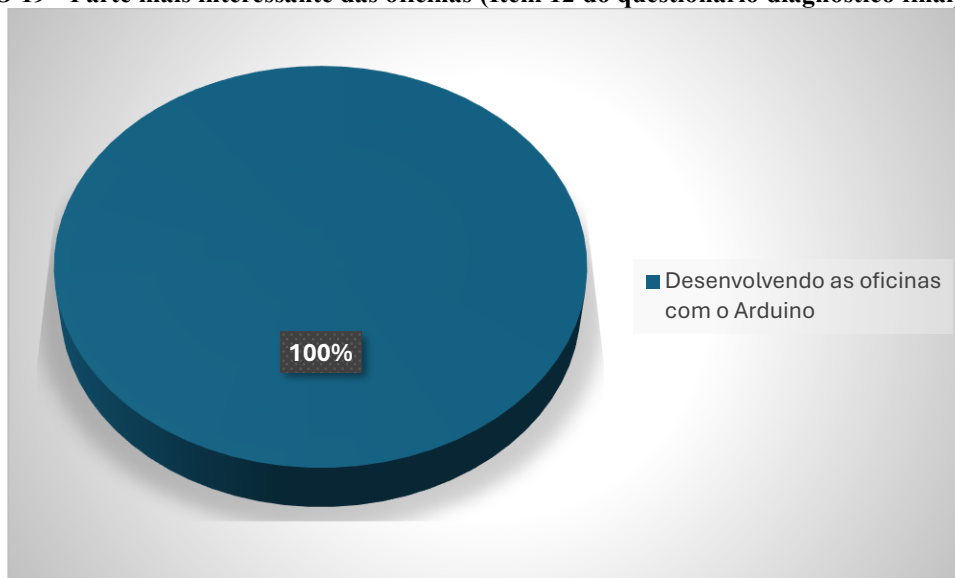
Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Conforme evidenciado no Gráfico 18, as respostas dos estudantes concentraram-se nos níveis mais elevados da escala de compreensão sobre as aplicações tecnológicas da luz. Observa-se que 57,1% dos participantes atribuíram a si mesmos o nível 5, enquanto 38,1% indicaram o nível 4. Em menor frequência, 4,7% dos estudantes situaram-se no nível 3, não havendo registros de respostas nos níveis 1 e 2. Esses resultados indicam que a maior parte da turma passou a reconhecer, com maior consistência, a presença da luz em diferentes aplicações tecnológicas do cotidiano, sugerindo ampliação da capacidade de relacionar os conhecimentos construídos ao longo das oficinas com contextos concretos de uso. Ao mesmo tempo, a baixa incidência de respostas em nível intermediário reforça a predominância de uma percepção

positiva da aprendizagem, ainda que a consolidação conceitual não tenha ocorrido de modo absolutamente homogêneo entre todos os participantes.

Para identificar qual aspecto das oficinas foi considerado mais interessante pelos estudantes, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item voltado à percepção sobre a experiência vivenciada. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 19.

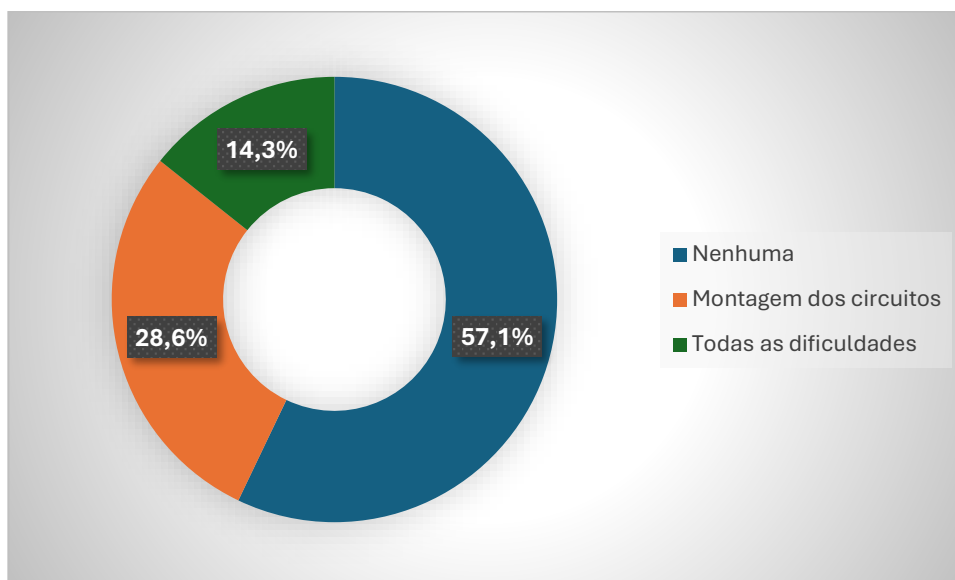
GRÁFICO 19 - Parte mais interessante das oficinas (Item 12 do questionário diagnóstico final)



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Conforme evidenciado no Gráfico 19, a totalidade dos estudantes (100%) indicou o desenvolvimento do circuito com Arduino como a parte mais interessante das oficinas. Esse resultado revela a centralidade da atividade prática no engajamento da turma, sugerindo que a manipulação de componentes, a montagem do circuito e a observação direta do funcionamento do sistema constituíram elementos especialmente significativos no processo de aprendizagem. Tal evidência reforça a relevância da experimentação mediada por tecnologias digitais como estratégia capaz de despertar interesse, mobilizar a participação dos estudantes e aproximar conceitos científicos abstratos de situações concretas e observáveis.

Com a finalidade de identificar as principais dificuldades encontradas pelos estudantes durante a realização das oficinas, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item voltado à percepção sobre os obstáculos enfrentados ao longo das atividades. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 20.

GRÁFICO 20 - Dificuldades encontradas nas oficinas (Item 13 do questionário diagnóstico final)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

No Gráfico 20, a maioria dos estudantes (57,1%) afirmou não ter encontrado dificuldades durante a realização das oficinas. Em contrapartida, 28,6% dos participantes indicaram a montagem dos circuitos como principal dificuldade, enquanto 14,3% assinalaram ter enfrentado dificuldades em todos os aspectos contemplados no item. Esses resultados sugerem que, embora a proposta didática tenha sido acessível para a maior parte da turma, a manipulação prática dos componentes eletrônicos e a organização do circuito ainda constituíram desafios relevantes para uma parcela dos estudantes. Tal constatação reforça a importância da mediação docente contínua e da orientação sistemática nas atividades experimentais, especialmente quando envolvem conteúdos científicos articulados à prototipagem eletrônica e ao uso de dispositivos pouco familiares no contexto escolar.

Com a finalidade de analisar o valor atribuído pelos estudantes à experiência vivenciada nas oficinas, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item de avaliação em escala numérica. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Quadro 11.

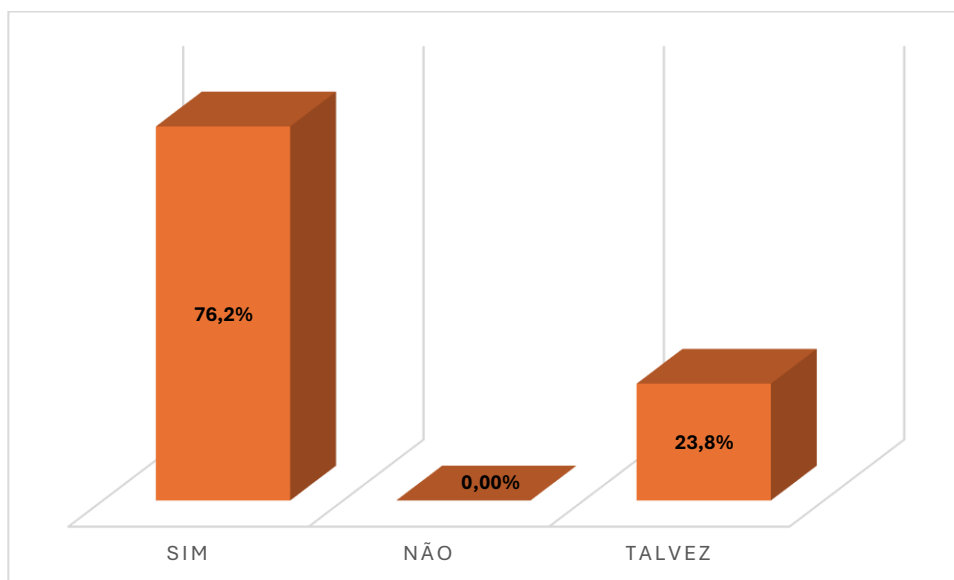
Quadro 11 - Valor atribuído para a experiência nas oficinas (Item 14 do questionário diagnóstico final)

<i>NOTA</i>	<i>FREQUÊNCIA (N)</i>
10	6
9	5
8	6
7	4
6	0
5	0
4	0
3	0
2	0
1	0
0	0
<i>TOTAL DE ESTUDANTES</i>	<i>21</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Conforme evidenciado no Quadro 11, os estudantes atribuíram avaliações predominantemente elevadas à experiência desenvolvida nas oficinas. Observa-se que as notas 10 e 8 foram as mais frequentes, cada uma atribuída por 6 estudantes, seguidas da nota 9, assinalada por 5 estudantes, e da nota 7, mencionada por 4 estudantes. Não houve registro de respostas com notas inferiores a 7. Esses resultados indicam uma apreciação amplamente positiva da experiência pedagógica, sugerindo que as oficinas foram percebidas como significativas, motivadoras e relevantes no processo de aprendizagem. Tal avaliação reforça o potencial da proposta didática para promover envolvimento estudantil e favorecer uma relação mais ativa e interessada com os conteúdos de Ciências e com a experimentação mediada por tecnologia.

Com a finalidade de examinar o interesse dos estudantes em participar de futuras oficinas com características semelhantes, incluiu-se no questionário diagnóstico final um item voltado à continuidade da experiência pedagógica. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados no Gráfico 21.

GRÁFICO 21 - Interesse em participar de futuras oficinas (Item 15 do questionário diagnóstico final)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Conforme evidenciado no Gráfico 21, a maioria dos estudantes (76,2%) manifestou interesse em participar de futuras oficinas, ao passo que 23,8% assinalaram a opção “talvez”. Não houve registro de respostas negativas. Esses resultados indicam que a experiência desenvolvida foi percebida de forma amplamente favorável, despertando interesse pela continuidade de atividades baseadas em experimentação, uso de tecnologias e abordagem investigativa. Tal panorama reforça o potencial motivador da proposta didática, sugerindo que a articulação entre teoria, prática e recursos tecnológicos contribuiu não apenas para a aprendizagem do conteúdo, mas também para o fortalecimento do engajamento estudantil em relação às atividades de Ciências.

6.3.3 Análise Integrada dos Questionários

Buscando aprofundar a interpretação dos resultados, realizou-se uma microanálise qualitativa das respostas individuais dos estudantes, baseada no cruzamento entre questionário diagnóstico inicial e final, na análise de conteúdo segundo Bardin (2011). Essa abordagem permitiu compreender os percursos individuais de aprendizagem e evidenciar a evolução conceitual ocorrida ao longo da intervenção pedagógica.

A análise aluno por aluno revelou deslocamentos cognitivos consistentes, evidenciando progressão da ausência de compreensão para explicações científicas funcionais.

Sobre o efeito fotoelétrico:

No diagnóstico inicial, os estudantes A, B, C, D e E apresentaram manifestações explícitas de ausência de compreensão conceitual acerca do efeito fotoelétrico, expressas por registros como “Não faço ideia”, “Nada”, “Não entendo nada”, “Não sei explicar” e “Não sei o que é”. Tais formulações caracterizam a categoria analítica de “não-conhecimento declarado”, indicando inexistência de um modelo explicativo mobilizável sobre a interação entre luz e matéria.

QUADRO 12 – Resposta ao item sobre efeito fotoelétrico (Questionário diagnóstico inicial)

<i>Aluno</i>	<i>Resposta ao item</i>
<i>A</i>	8. O que você entende por efeito fotoelétrico? <u>NÃO FAÇO IDEIA</u>
<i>B</i>	8. O que você entende por efeito fotoelétrico? <u>Nada</u>
<i>C</i>	8. O que você entende por efeito fotoelétrico? <u>NÃO ENTENDO NADA</u>
<i>D</i>	8. O que você entende por efeito fotoelétrico? <u>NÃO SEI EXPLICAR</u>
<i>E</i>	8. O que você entende por efeito fotoelétrico? <u>NÃO SEI O QUE É</u>

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

No questionário final (QUADRO 12), entretanto, observou-se emergência de explicações com estrutura causal em todos os casos analisados. O Aluno A passou a afirmar que “quando a placa libera elétrons quando coloca luz”; o Aluno B registrou que “luz que incide no material e libera elétrons”; o Aluno C indicou que “a luz bate na placa e tira elétrons”; o Aluno D afirmou que “a luz faz o sensor responder e gera energia”; e o Aluno E descreveu que “um feixe de luz que bombardeia uma placa metálica liberando elétrons”. Apesar da presença de simplificações linguísticas e ancoragem na experiência experimental, todas as respostas apresentam um elemento comum: a associação causal entre incidência luminosa e emissão de elétrons.

QUADRO 13 – Resposta ao item sobre efeito fotoelétrico (Questionário diagnóstico final)

<i>Aluno</i>	<i>Resposta ao item</i>
<i>A</i>	3. Explique o que é o efeito fotoelétrico com suas próprias palavras. QUANDO A PLACA LIBERA ELETRONS QUANDO COLOCA LUZ
<i>B</i>	3. Explique o que é o efeito fotoelétrico com suas próprias palavras. LUZ QUE INCIDE NO MATERIAL E LIBERA ELETRONS
<i>C</i>	3. Explique o que é o efeito fotoelétrico com suas próprias palavras. A LUZ BATE NA PLACA E TIRA ELETRONS
<i>D</i>	3. Explique o que é o efeito fotoelétrico com suas próprias palavras. A LUZ FAZ O SENSOR RESPONDER E GERA ENERGIA
<i>E</i>	3. Explique o que é o efeito fotoelétrico com suas próprias palavras. É UM FEIXE DE LUZ QUE BOMBARDEIA UMA PLACA METÁLICA LIBERANDO ELETRONS

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Sob a perspectiva da análise de conteúdo (QUADRO 13), verifica-se deslocamento consistente da categoria “não-conhecimento declarado” para categorias de “explicação causal funcional” ou “explicação causal mecanicista”, evidenciando transformação qualitativa do discurso e reorganização conceitual. Tal mudança não se restringe à ampliação vocabular, mas revela a emergência de um modelo explicativo elementar do fenômeno fotoelétrico.

A recorrência desse padrão entre diferentes estudantes sugere que a evolução observada não constitui evento isolado, mas tendência coletiva, indicando que a intervenção didática favoreceu a construção de significados científicos. A presença de referências à “placa” e ao “sensor” nas respostas finais sugere aprendizagem situada, na qual a experimentação contribuiu para tornar observável e interpretável um conceito abstrato da Física Moderna.

Assim, a triangulação entre evidência documental e análise qualitativa sustenta que a evolução conceitual identificada corresponde a um processo progressivo de reorganização cognitiva, no qual a compreensão do fenômeno fotoelétrico passou da ausência de significado para a construção de explicações causais coerentes com o núcleo conceitual do fenômeno.

Essa evolução pode ser compreendida à luz do ensino de Ciências por investigação, no qual a aprendizagem ocorre quando o estudante participa ativamente da construção do conhecimento, formulando hipóteses, observando fenômenos e atribuindo significado às experiências realizadas. Conforme destaca Carvalho (2013), a passagem da ação manipulativa para a ação intelectual é condição fundamental para a construção do conhecimento científico em sala de aula, sendo o professor mediador desse processo.

Sobre o uso do Arduino:

No questionário diagnóstico inicial, os estudantes A, B, C, D e E apresentaram manifestações explícitas de ausência de familiaridade com a plataforma (QUADRO 14), expressas por registros como “Não sei nada sobre Arduino”, “Não sei falar”, “Não sei o que é”, “Não sei falar” e “Nunca usei Arduino”. Essas formulações caracterizam a categoria analítica de “não-conhecimento tecnológico declarado”, indicando inexistência de repertório conceitual ou funcional acerca da ferramenta.

QUADRO 14 – Resposta ao item sobre Arduino (Questionário diagnóstico inicial)

<i>Aluno</i>	<i>Resposta ao item</i>
<i>A</i>	10. O que você já ouviu falar ou sabe sobre Arduino? <u>NÃO SEI NADA SOBRE ARDUINO</u>
<i>B</i>	10. O que você já ouviu falar ou sabe sobre Arduino? <u>não sei falar</u>
<i>C</i>	10. O que você já ouviu falar ou sabe sobre Arduino? <u>NÃO SEI O QUE É</u>
<i>D</i>	10. O que você já ouviu falar ou sabe sobre Arduino? <u>NÃO SEI FALAR</u>
<i>E</i>	10. O que você já ouviu falar ou sabe sobre Arduino? <u>NUNCA USEI ARDUINO</u>

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

No questionário final (QUADRO 15), entretanto, observa-se emergência de compreensões funcionais em todos os casos analisados. O Aluno A passou a definir o Arduino como “placa de programação para detecção da luz”; o Aluno B indicou que se trata de “placa de programar para medir luz”; o Aluno C descreveu como “programação para detectar luz e acender LED”; o Aluno D afirmou ser “uma placa de programação usada para detectar luz”; e o Aluno E indicou que foi utilizado “para programar e mudar o circuito elétrico”. Ainda que em linguagem simplificada, todas as respostas convergem para a identificação do Arduino como dispositivo programável capaz de detectar variações luminosas e produzir respostas no circuito.

QUADRO 15 – Resposta ao item sobre Arduino (Questionário diagnóstico final)

<i>Aluno</i>	<i>Resposta ao item</i>
<i>A</i>	7. O que é arduino e como ele foi utilizado nesta atividade? <u>PLACA DE PROGRAMAÇÃO PARA DETECÇÃO DA LUZ</u>
<i>B</i>	7. O que é arduino e como ele foi utilizado nesta atividade? <u>placa de programar para medir luz</u>
<i>C</i>	7. O que é arduino e como ele foi utilizado nesta atividade? <u>PROGRAMAÇÃO E PARA DETECTAR LUZ E ACENDE LED</u>
<i>D</i>	7. O que é arduino e como ele foi utilizado nesta atividade? <u>UMA PLACA DE PROGRAMAÇÃO USADA PARA DETECTAR LUZ</u>
<i>E</i>	7. O que é arduino e como ele foi utilizado nesta atividade? <u>PARA PROGRAMAR E MUDAR O CIRCUITO ELETRICO</u>

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Observa-se deslocamento consistente da categoria “não-conhecimento tecnológico declarado” para a categoria “compreensão funcional da ferramenta”, evidenciando transformação qualitativa do discurso e reorganização cognitiva. Essa mudança sugere que os estudantes passaram a compreender o Arduino não apenas como objeto técnico, mas como instrumento de observação e mediação do fenômeno físico investigado.

A presença de referências à detecção da luz e ao comportamento do circuito indica que a compreensão foi construída de forma situada, durante a atividade experimental, na qual os estudantes puderam visualizar a relação entre incidência luminosa e resposta elétrica do sistema sensor/Arduino. Dessa forma, o dispositivo atuou como ferramenta mediadora da aprendizagem, possibilitando a concretização de um conceito abstrato por meio da experimentação e da observação empírica.

Assim, a análise evidencia que a evolução observada não se restringe ao reconhecimento da ferramenta, mas envolve sua integração ao processo de construção do conhecimento científico, indicando que a experimentação mediada por tecnologia favoreceu a compreensão funcional e conceitual do fenômeno estudado.

Essa mediação tecnológica contribuiu para a reorganização cognitiva dos discentes, pois a experimentação associada à instrumentação digital favoreceu a construção de explicações causais e a compreensão funcional do fenômeno físico. Além disso, a interação com sensores e circuitos promoveu o desenvolvimento da linguagem científica e da

alfabetização tecnológica, ampliando a capacidade dos estudantes de relacionar conceitos físicos a aplicações concretas.

Conforme apontam estudos sobre o uso do Arduino no ensino de Física, a plataforma permite a leitura de dados provenientes de fenômenos físicos por meio de sensores, possibilitando a visualização e análise de resultados experimentais em tempo real, o que favorece significativamente a aprendizagem dos estudantes (MARTINAZZO et al., 2014).

Sobre as aplicações do Efeito Fotoelétrico no cotidiano:

No questionário inicial (QUADRO 16), observou-se que os estudantes apresentaram reconhecimento parcial e, em alguns casos, impreciso das aplicações do fenômeno. O Aluno A assinalou “Painéis solares”, revelando associação direta entre luz e geração de energia elétrica. O Aluno B marcou “Sensores de presença e/ou luz”, indicando percepção funcional dos dispositivos automatizados. O Aluno C assinalou “Portas automáticas”, sugerindo reconhecimento de sistemas que utilizam detecção luminosa. O Aluno D marcou “Câmeras fotográficas digitais”, evidenciando associação indireta com dispositivos sensíveis à luz. Já o Aluno E assinalou “Impressoras 3D”, resposta que indica possível associação genérica com tecnologia, ainda que nem sempre diretamente vinculada ao efeito fotoelétrico.

QUADRO 16 – Resposta ao item sobre aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano (Questionário diagnóstico inicial)

<i>Aluno</i>	<i>Resposta ao item</i>
<i>A</i>	9. Assinale as aplicações que, segundo seu conhecimento atual, utilizam o efeito fotoelétrico: ☒ Painéis solares ☐ Sensores de presença e/ou luz ☐ Portas automáticas ☐ Câmaras fotográficas digitais ☐ Impressoras 3D
<i>B</i>	9. Assinale as aplicações que, segundo seu conhecimento atual, utilizam o efeito fotoelétrico: ☐ Painéis solares ☒ Sensores de presença e/ou luz ☐ Portas automáticas ☐ Câmaras fotográficas digitais ☐ Impressoras 3D
<i>C</i>	9. Assinale as aplicações que, segundo seu conhecimento atual, utilizam o efeito fotoelétrico: ☐ Painéis solares ☐ Sensores de presença e/ou luz ☒ Portas automáticas ☐ Câmaras fotográficas digitais ☐ Impressoras 3D
<i>D</i>	9. Assinale as aplicações que, segundo seu conhecimento atual, utilizam o efeito fotoelétrico: ☐ Painéis solares ☐ Sensores de presença e/ou luz ☐ Portas automáticas ☒ Câmaras fotográficas digitais ☐ Impressoras 3D
<i>E</i>	9. Assinale as aplicações que, segundo seu conhecimento atual, utilizam o efeito fotoelétrico: ☐ Painéis solares ☐ Sensores de presença e/ou luz ☐ Portas automáticas ☐ Câmaras fotográficas digitais ☒ Impressoras 3D

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

de opções como “impressoras 3D” por “fotocélulas de segurança” indica refinamento conceitual e maior precisão na contextualização do fenômeno.

Esse deslocamento sugere que a intervenção pedagógica favoreceu não apenas a compreensão do mecanismo físico do efeito fotoelétrico, mas também sua aplicação em contextos concretos. A recorrência de respostas relacionadas a sensores de iluminação automática e fotocélulas evidencia que os estudantes passaram a reconhecer dispositivos cuja operação está diretamente relacionada à detecção e conversão da energia luminosa.

Assim, a análise demonstra que houve evolução qualitativa na capacidade de contextualização do conhecimento científico, indicando que os estudantes passaram da associação empírica à identificação funcional das aplicações do fenômeno. Esse resultado reforça a hipótese de que a abordagem experimental mediada por tecnologia contribuiu para a construção de uma compreensão mais integrada entre conceito físico e aplicação cotidiana.

A literatura nacional reforça que a experimentação favorece a aproximação entre os conceitos científicos e a realidade vivida pelos estudantes. Nesse sentido, Castilho, Oliveira e Dutra (2020, p. 257) afirmam que “a realização de atividades experimentais nas aulas de Física permite trazer para o ambiente escolar situações vividas pelo estudante no seu cotidiano, de forma analítica e colaborativa”.

6.4 SÍNTESE INTEGRADA DA EVOLUÇÃO CONCEITUAL, MEDIAÇÃO TECNOLÓGICA E CONTEXTUALIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

A análise integrada dos dados evidencia que a aprendizagem do efeito fotoelétrico ocorreu de forma progressiva, mediada e contextualizada, articulando simultaneamente três dimensões do processo formativo: a construção do conceito científico, a compreensão do Arduino como ferramenta investigativa e o reconhecimento das aplicações do fenômeno no cotidiano. A triangulação entre respostas dos questionários, análise de conteúdo e interpretação pedagógica permitiu compreender que essas dimensões não se desenvolveram isoladamente, mas constituíram elementos interdependentes da aprendizagem.

No que se refere à compreensão conceitual, é importante destacar que, no diagnóstico inicial, era esperado que os estudantes não apresentassem explicações científicas estruturadas sobre o efeito fotoelétrico, uma vez que o conteúdo ainda não havia sido formalmente abordado no contexto da intervenção didática. De fato, observou-se predominância de respostas que indicavam não-conhecimento declarado, caracterizadas por ausência de modelo explicativo mobilizável. Após a intervenção, emergiram explicações causais elementares nas quais os

estudantes passaram a associar a incidência luminosa à emissão de elétrons. Esse deslocamento indica reorganização cognitiva e construção de um modelo explicativo funcional do fenômeno, ainda que em linguagem simplificada e ancorada na experiência experimental. Nesse sentido, Carvalho (2013) destaca que a aprendizagem científica ocorre quando o estudante participa ativamente do processo investigativo, passando da ação manipulativa para a ação intelectual, favorecendo a construção de explicações fundamentadas sobre os fenômenos naturais.

Paralelamente, verificou-se evolução significativa na compreensão do Arduino. Inicialmente, os estudantes demonstravam desconhecimento da ferramenta, o que também era esperado, considerando a ausência de contato prévio com a plataforma. Ao final da intervenção, passaram a reconhecê-la como dispositivo programável capaz de detectar variações luminosas e produzir respostas no circuito. Essa compreensão funcional evidencia que o Arduino atuou como instrumento mediador da aprendizagem, possibilitando tornar observável um conceito abstrato da Física Moderna por meio da experimentação. A mediação pedagógica associada à experimentação permitiu que os estudantes atribuíssem significado ao comportamento do sistema, corroborando a perspectiva de Carvalho (2013), segundo a qual a experimentação investigativa favorece a articulação entre observação, interpretação e explicação científica.

No que se refere à contextualização do conhecimento, a análise das respostas relativas às aplicações do efeito fotoelétrico evidencia evolução qualitativa no reconhecimento do fenômeno no cotidiano. No diagnóstico inicial, predominavam associações empíricas e, em alguns casos, imprecisas, baseadas na familiaridade tecnológica dos estudantes, condição igualmente esperada antes da intervenção. Após a sequência didática, observou-se reorganização das escolhas, com maior identificação de dispositivos diretamente relacionados à detecção e conversão da energia luminosa, como células solares, fotocélulas de segurança e sensores de iluminação automática. Esse deslocamento indica refinamento conceitual e maior precisão na contextualização do fenômeno físico, reforçando a ideia de que o ensino por investigação contribui para aproximar o conhecimento científico da realidade vivenciada pelos estudantes (Carvalho, 2013).

A integração desses três eixos sugere que a aprendizagem ocorreu por meio de processo investigativo, no qual a experimentação, a mediação pedagógica e a contextualização tecnológica atuaram como elementos estruturantes. A evolução conceitual observada não se configura como variação pontual de desempenho, mas como reorganização cognitiva progressiva, caracterizada pela construção de explicações causais, pela compreensão funcional da tecnologia e pela capacidade de aplicar o conhecimento científico em contextos concretos.

Dessa forma, a análise integrada sustenta que a abordagem experimental mediada por Arduino favoreceu a construção significativa do conceito de efeito fotoelétrico, promovendo simultaneamente compreensão científica, alfabetização tecnológica e contextualização do conhecimento, elementos fundamentais para a aprendizagem em Ciências.

6.5 DISCUSSÃO PEDAGÓGICA DOS RESULTADOS

Os resultados evidenciam que os avanços observados não se restringem ao aumento quantitativo de respostas adequadas, mas indicam movimentos de reorganização conceitual no modo como os estudantes passaram a compreender o fenômeno do efeito fotoelétrico. A análise comparativa entre os dados do questionário diagnóstico inicial (Quadro 12) e do questionário final (Quadro 13) permitem identificar deslocamentos qualitativos nas estruturas explicativas mobilizadas pelos participantes.

No diagnóstico inicial (Quadro 12), predominavam manifestações de não conhecimento declarado “não sei” e “não faço ideia”. Contudo o diário de campo registrou falas espontânea que revelam concepções intuitivas, como a afirmação do aluno “eu acho que quanto mais forte a luz, mais energia ela tem”. Essa estrutura explicativa é compatível com o que Bachelard (1996) denomina obstáculo epistemológico, pois decorre da generalização da experiência cotidiana para fenômenos cuja natureza é conceitualmente distinta.

Após a intervenção, os dados do questionário final indicam mudança na autoavaliação da compreensão do fenômeno (Gráfico 6), bem como melhora na capacidade declarada de explicação conceitual (Gráfico 7). Mais relevante que a elevação percentual é a alteração qualitativa registrada nas respostas do Quadro 13, nas quais aparecem referências à frequência mínima e à emissão de elétrons, elementos estruturantes do modelo quântico do fenômeno.

O Gráfico 8, referente à compreensão conceitual do efeito fotoelétrico, demonstra concentração das respostas em níveis mais elevados após a intervenção, reforçando a hipótese de progressão conceitual. Complementarmente, o Gráfico 16, que trata do nível de compreensão do efeito fotoelétrico (Item 11a), evidencia redução das respostas classificadas nos níveis mais baixos e deslocamento para níveis intermediários e superiores.

Esse movimento pode ser interpretado como indício de ruptura epistemológica parcial, nos termos de Bachelard (1996), uma vez que se observa abandono progressivo do modelo contínuo clássico em favor de explicações que reconhecem a dependência da emissão eletrônica à frequência da radiação incidente. Não se trata de domínio formal da Mecânica Quântica, mas de reorganização qualitativa do pensamento escolar.

No que concerne à contextualização tecnológica, o Gráfico 9 evidencia ampliação das aplicações reconhecidas pelos estudantes após a intervenção, indicando maior articulação entre conceito científico e uso social da tecnologia. Essa ampliação é reforçada pelo Gráfico 14, referente ao reconhecimento de dispositivos que utilizam sensores de luz, no qual se observa aumento na identificação de aplicações cotidianas.

A mediação tecnológica desempenhou papel estruturante nesse processo. O Gráfico 12, que analisa a percepção sobre o Arduino, indica valorização do recurso como elemento facilitador da aprendizagem. Já o Gráfico 19, que identifica a parte mais interessante das oficinas, aponta predominância da experimentação com Arduino como aspecto central da experiência formativa.

À luz do construcionismo de Papert (1980), a manipulação do circuito com sensor LDR constituiu artefato cognitivo que possibilitou externalização de conceitos abstratos em experiências observáveis. A visualização da resposta elétrica à incidência luminosa favoreceu a articulação entre nível fenomenológico e nível conceitual, reduzindo a distância entre abstração e experiência concreta.

Do ponto de vista da Transposição Didática (Chevallard, 1991), a preservação do núcleo conceitual, dependência da emissão à frequência da radiação, pode ser identificada nas respostas finais registradas no Quadro 13. A adaptação qualitativa do conteúdo mostrou-se epistemologicamente legítima, pois manteve elementos estruturantes sem recorrer à simplificação distorcida.

Entretanto, é necessário reconhecer limites metodológicos. O número restrito de participantes (21 estudantes), a ausência de grupo controle e a atuação simultânea do pesquisador como docente constituem condicionantes interpretativos. Tais fatores demandam cautela na generalização dos resultados, ainda que não comprometam a consistência interna da análise.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo desenvolver, aplicar e analisar uma proposta didática voltada à introdução do efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental, articulando fundamentação teórica, experimentação com Arduino e metodologias investigativas. Partiu-se da hipótese de que a abordagem contextualizada e mediada por tecnologia poderia favorecer a compreensão conceitual do fenômeno e estimular o desenvolvimento de competências científicas nos estudantes.

Os resultados obtidos, analisados à luz da Análise de Conteúdo e da triangulação entre questionários, registros observacionais e dados quantitativos complementares, permitem inferir indícios de reorganização conceitual ao longo da intervenção didática. Observou-se, em parte dos estudantes, deslocamento de explicações baseadas exclusivamente na intensidade luminosa para compreensões que reconhecem o papel da frequência da radiação na emissão de elétrons, ainda que em nível introdutório e qualitativo.

Sob a perspectiva epistemológica de Bachelard (1996), tais deslocamentos podem ser interpretados como indícios de superação parcial de obstáculos epistemológicos associados ao modelo clássico-intuitivo da energia contínua. Entretanto, é importante ressaltar que tais rupturas não se configuram como reconstruções conceituais completas, mas como movimentos iniciais de reorganização do pensamento científico escolar, condicionados ao tempo de intervenção e ao nível de aprofundamento possível no Ensino Fundamental.

No que se refere à transposição didática, os resultados sugerem que a inserção de conteúdos de Física Moderna no Ensino Fundamental é viável quando conduzida com adaptações conceituais criteriosas, preservando os elementos estruturantes do fenômeno. A proposta desenvolvida buscou manter o núcleo conceitual do efeito fotoelétrico, especialmente a dependência da energia à frequência da radiação, ainda que em abordagem qualitativa, em consonância com a teoria da Transposição Didática de Chevallard (1991).

A utilização do Arduino, enquanto mediação tecnológica, apresentou-se como elemento potencialmente relevante no processo de aprendizagem. A construção do protótipo experimental favoreceu a externalização de conceitos abstratos e a articulação entre fenômeno físico e aplicação tecnológica, dialogando com a perspectiva construcionista de Papert (1980). Contudo, os dados indicam que a manipulação instrumental, por si só, não garante reconstrução conceitual, sendo indispensável a mediação intencional do professor e a problematização sistemática das observações experimentais.

Quanto ao engajamento discente, os registros de aula e as respostas aos instrumentos avaliativos apontam para elevado interesse nas atividades experimentais, especialmente na utilização do Arduino. Todavia, esse envolvimento deve ser interpretado com cautela, pois motivação não se traduz automaticamente em compreensão conceitual profunda. A análise integrada dos dados permitiu observar que o engajamento funcionou como condição favorecedora, mas não suficiente, para reorganização conceitual.

No plano das hipóteses formuladas, os resultados oferecem suporte parcial às proposições iniciais. Verificaram-se indícios de avanço na compreensão conceitual, aumento do interesse pelas atividades de Ciências e desenvolvimento de atitudes investigativas. Entretanto, tais achados estão circunscritos ao contexto específico da intervenção realizada, não sendo possível generalizá-los para outros contextos educacionais sem investigações adicionais.

A pesquisa também evidenciou tensões inerentes à inserção da Física Moderna no Ensino Fundamental. Entre elas, destacam-se a limitação do tempo didático, a necessidade de formação docente específica e o risco de simplificações excessivas que possam comprometer a fidelidade epistemológica do conteúdo. Tais desafios reforçam que a ampliação curricular deve ser acompanhada de fundamentação teórica consistente e planejamento pedagógico rigoroso.

Como contribuição principal, esta dissertação oferece um modelo estruturado de sequência didática fundamentada epistemologicamente, articulando História da Ciência, experimentação tecnológica e análise qualitativa sistematizada. Além disso, contribui para o debate sobre a democratização do acesso aos conteúdos contemporâneos da Física, sugerindo caminhos possíveis para sua inserção progressiva na Educação Básica.

Por fim, recomenda-se que pesquisas futuras ampliem o tempo de intervenção, explorem instrumentos de análise comparativa com grupos controle e aprofundem a investigação sobre processos de ruptura epistemológica em contextos escolares. Estudos longitudinais poderiam oferecer maior robustez na análise de consolidação conceitual em conteúdos de Física Moderna.

A presente investigação sugere que a inserção do efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental é pedagogicamente possível e epistemologicamente legítima quando mediada por estratégias investigativas e fundamentação teórica consistente. Embora os resultados indiquem avanços iniciais, permanece evidente que a consolidação conceitual requer continuidade, aprofundamento e articulação curricular progressiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. M. Simulação do efeito fotoelétrico com Arduino no ensino fundamental. 2019. Projeto de ensino. Rede Pública de Ensino, 2019.

ASSUNÇÃO, Thiago & TURUDA, Charles. Utilização do arduíno no desenvolvimento de um experimento didático para discussão do efeito fotoelétrico no ensino médio. Revista ENCITEC. Pernambuco, vol. 10, n. 3, p. 42-56. 2020.

AUSUBEL, David. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.

BACHELARD, Gaston. A formação do espírito científico. 2. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARAB, Sasha; SQUIRE, Kurt. Pesquisa Baseada em Design: Estabelecendo um Marco. The Journal of the Learning Sciences, v. 13, n. 1, p. 1–14, 2004. DOI: 10.1207/s15327809jls1301_1.

BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011.

BOGDAN, Robert; BIKLEN, Sari. Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Porto Editora, 1994.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: Ministério da Educação, 2017. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 04 nov. 2025.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 06 nov. 2025.

BROGLIE, L de. Recherches sur la théorie des quanta. Paris: Masson, 1924.

BRUNER, J. The Process of Education. Cambridge: Harvard, 1960.

BUNGE, Mario. Teoria e Realidade. Tradução de Gita K. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 1974.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (org.). Ensino de Ciências: Unindo Pesquisa e Prática. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CASTILHO, Weimar Silva; OLIVEIRA, Denise Lima; DUTRA, Marco Vinicius Gomes. o ensino de física e a aprendizagem significativa: um kit experimental com arduino para o ensino de queda livre. experiências em ensino de ciências, v. 15, n. 3, p. 247-262, 2020.

CHEVALLARD, Yves. La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné. 2. éd. Grenoble: La Pensée Sauvage, 1991.

CORREIA, Evandro de Sousa. Sequência didática envolvendo teoria e prática para o ensino do efeito fotoelétrico com Arduino. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2024.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta. Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta. Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2018.

EINSTEIN, Albert. De um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz. *Annalen der Physik*, v. 17, p. 132–148, 1905.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. Rio de Janeiro. 1979.

FREIRE, P. Pedagogia da Autonomia. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de Ciências. *Ciência & Educação*, 1999.

HERTZ, H. Sobre a influência da luz ultravioleta na descarga elétrica. *Annalen der Physik*, vol. 31, pp. 983–1000, 1887.

JAMMER, M. *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. Nova Iorque: Wiley, 1966.

KOLB, D. *Experiential Learning*. New Jersey: Prentice-Hall, 1984.

LAMEU, Lucas de Paulo. Efeito Fotoelétrico no Ensino Fundamental: uma proposta à luz da Teoria dos Campos Conceituais. 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

LEITE, Ibson José Maciel. Experimentos de física moderna para a determinação da constante de Planck utilizando Arduino e Visual Basic: uma alternativa na formação e na prática docente. 2018. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF) — Instituto de Física, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

LENARD, P. Sobre o efeito fotoelétrico. *Annalen der Physik*, vol. 8, pp. 169–200, 1902.

LIMA, Jailson Francisco De; CARVALHO, Silvânia A.. O uso do arduino em uma abordagem significativa envolvendo o comportamento dual da luz em experimentos para o ensino médio. 2. ed. Brasília: Physicae Organum, 2022. v. 8.

LOPES, D. de Q. A exploração de modelos e os níveis de abstração nas construções criativas com robótica educacional. Porto Alegre, 2008.

MARTINAZZO, Claodomir Antonio et al. Arduino: Uma tecnologia no ensino de Física. *Revista Perspectiva*, v. 38, n. 143, 2014.

MAXWELL, James Clerk. Uma teoria dinâmica do campo eletromagnético. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 155, p. 459–512, 1865.

MILLER, AI. A teoria especial da relatividade de Albert Einstein: surgimento (1905) e interpretação inicial (1905–1911). Londres: Addison-Wesley, 1982.

MORAES, Maritza. Robótica educacional: socializando e produzindo conhecimentos matemáticos. 2010. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2010.

MORAN, José Manuel. Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda. São Paulo: Papirus, 2018.

MOREIRA, Marco Antônio. Desafios no ensino da física. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, p. e20200451, 2021.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antônio. Tópicos de Física Moderna e Contemporânea na formação de professores de Física: uma necessidade ou um luxo? Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 18, n. 2, p. 177–193, 2001.

PAPERT, Seymour. Mindstorms: children, computers and powerful ideas. New York: Basic Books, 1980.

PLANCK, M. On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum. Annalen der Physik, 1900.

RODRIGUES, Isabel Cristina; LEITE, Francisco Hermes. O Arduino como recurso didático no ensino de Física: uma revisão sistemática de literatura. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 35, n. 3, p. 721-745, 2018.

SANTOS, Alexandre da Silva. Objeto de aprendizagem para o ensino do efeito fotoelétrico no Ensino Fundamental. 2016. 85 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2016.

SÉRGIO, A. R. FOTODUINO: kit experimental com Arduino para o ensino do efeito fotoelétrico. 2021. Produto Educacional (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Sociedade Brasileira de Física. 2021.

SILVA, Andreia Paulino da. Experimentos com o Arduino nas aulas de Física. 2018. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

SILVA, J. R. da; LIMA, F. A.; OLIVEIRA, M. S. Aplicações de sensores de luminosidade com Arduino no ensino de ciências. 2020. Projeto Interdisciplinar. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2020.

SILVA, A. F. RoboEduc: uma metodologia de aprendizado com Robótica Educacional. 2009. 127 f. Tese (Doutorado em Automação e Sistemas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SILVEIRA, Rafael; GIRARDI, Daniel. Desenvolvimento de um kit experimental com Arduino para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 39, n. 4, p. e4305, 2017.

VALENTE, José Armando. Tecnologias digitais na educação: possibilidades e desafios. Campinas: Unicamp, 2018.

ZEILLINGER, A. Experiment an the foundations of quantum physics. Reviews of Modern Physics, v.71, n.2 p.288-297, 1999