UMA ANÁLISE TRANSLACIONAL EM MEDIAÇÃO DIDÁTICA DO EFEITO FOTOELÉTRICO BASEADA EM PROJETOS

A TRANSLATIONAL ANALYSIS IN A PROJECT-BASED TEACHING SITUATION OF THE PHOTOELECTRIC EFFECT

Marcello Ferreira
ORCID 0000-0003-4945-3169
Instituto de Física
Centro Internacional de Física
Universidade de Brasília (UnB)
marcellof@unb.br

Alexandre Russi Júnior
ORCID 0000-0001-5090-2959
Colégio FIAP School
Instituto de Física
Universidade de Brasília (UnB)
alexandrerussijunior@gmail.com

Ronni Geraldo Gomes Amorim
ORCID 0000-0001-6532-3087
Faculdade de Ciências e Tecnologias em Engenharia
Universidade de Brasília (UnB)
ronniamorim@unb.br

Resumo. Este artigo relata e analisa o desenvolvimento, a aplicação e a avaliação de uma abordagem pedagógica para o ensino do efeito fotoelétrico na Educação Básica fundamentada na Teoria da Mediação de Vygotsky (TMV) e, metodologicamente, na Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP). A partir de análise translacional, que associa pesquisa acadêmica (básica ou aplicada) a processos de ensino-aprendizagem, integraram-se atividades práticas com vistas à promoção de engajamento dos estudantes para a aplicação de conceitos desse tópico de Física na compreensão de fenômenos e tecnologias contemporâneos. Os resultados indicaram que a associação entre a TMV e a ABP, articulada à análise translacional em sequência didática envolvendo o ensino do efeito fotoelétrico, produziu resultados satisfatórios para o fortalecimento das relações entre teoria e prática, bem como para o desenvolvendo de competências e habilidades de caráter sociointeracionista, calcadas na relação pensamento, linguagem e formação social da mente, tais como: reflexividade, criatividade, colaboração ativa e senso crítico. Pesquisas complementares, com outros tópicos de Física, em maiores escalas e que associem mais procedimentos de ABP e instrumentos e indicadores de avaliação fundados na TMV, por exemplo, poderão amplificar o alcance e qualificar os métodos e os resultados desta proposta.

Palavras-chave: Aprendizagem Baseada em Projetos; Teoria da Mediação; Efeito Fotoelétrico; Ensino de Física.

Abstract. This article reports and analyzes the development, implementation, and evaluation of a pedagogical approach for teaching the photoelectric effect in Basic Education, grounded in Vygotsky's Theory of Mediation (TMV) and methodologically supported by Project-Based Learning (PBL). Through a translational analysis that bridges academic research (basic or applied) to teaching-learning processes, practical activities were integrated to foster student engagement in applying concepts from this Physics topic to understanding contemporary phenomena and technologies. The results indicated that the integration of TMV and PBL, combined with translational analysis in a didactic sequence for teaching the photoelectric effect, produced satisfactory outcomes in strengthening the relationship between theory and practice. Additionally, it fostered the development of socio-interactionist competencies and skills, anchored in the relationship between thought, language, and the social formation of the mind. These include reflexivity, creativity, active collaboration, and critical thinking. Further research, involving other Physics topics, larger scales, and incorporating more PBL procedures as well as evaluation tools and indicators rooted in TMV, could extend the reach and improve the methods and outcomes of this proposal.

Keywords: Project-Based Learning; Theory of Mediation; Photoelectric Effect; Physics Education.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de ensino-aprendizagem de Física no Brasil enfrentam desafios significativos, por parte de professores e estudantes, sobretudo relacionados à compreensão de conceitos abstratos e à aplicação de conhecimentos teóricos em fenômenos e tecnologias cotidianos. Um notório exemplar é o efeito fotoelétrico, fenômeno fundamental da Física Moderna e

Contemporânea (FMC), cuja apropriação é essencial para formular noções e modelos explicativos ao funcionamento de aparatos como sensores fotossensíveis (infravermelhos), células fotovoltaicas (solares) e equipamentos audiovisuais e industriais (Ferreira *et al*., 2018). No entanto, sua abordagem pedagógica na Educação Básica (EB) não raro se limita a explicações teóricas ou relatos históricos, sem integrar práticas que promovam construções significativas de conhecimentos.

A esse propósito, foi conduzida investigação de caráter translacional dedicada ao desenvolvimento, à aplicação e à avaliação de uma abordagem didática do efeito fotoelétrico na EB (particularmente, nos Anos Finais do Ensino Fundamental – AFEF), com fundamento na Teoria da Mediação de Vygotsky (TMV) e, metodologicamente, na Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), tendo por referência diretrizes da Base Nacional Comum Curricular – BNCC (Brasil, 2018).

A investigação buscou conectar a teoria a prática, por meio da análise translacional (Couto, 2020; Ferreira *et al*., 2020; Ferreira *et al*., 2021a; Ferreira *et al*., 2021b; Ferreira *et al*., 2023c), fomentando que conhecimentos acadêmicos sejam adaptados e ressignificados em ambiente escolar, numa perspectiva horizontal e de retroalimentação, com vistas ao desenvolvimento de competências e habilidades de caráter sociointeracionista, calcadas na relação pensamento, linguagem e formação social da mente, tais como: reflexividade, criatividade, colaboração ativa e senso crítico.

Como objetivos complementares, espera-se: 1) explorar o potencial da ABP no engajamento de estudantes para conhecimentos e práticas significativas; 2) avaliar como a TMV pode auxiliar a construção de conceitos complexos; e 3) verificar o nível de proficiência da abordagem proposta na promoção de uma compreensão científica profunda e qualificada. Esses passos intermediários deverão subsidiar a resposta à questão: de que maneira a ABP, transcorrida sob a TMV, pode contribuir com processos de ensino-aprendizagem do efeito fotoelétrico nos AFEF, promovendo reflexão, trabalho criativo e colaborativo e atitude crítica?

A fundamentação teórica apoia-se no tripé: 1) socioculturalismo de Vygotsky (2000; 2007), em particular os conceitos de mediação, Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI) e interação social; 2) construtos e procedimentos da ABP, em particular em projetos (Bender, 2014); e 3) análise translacional, método investigativo que conecta teorias acadêmicas a práticas pedagógicas (Ferreira *et al*., 2020; Ferreira *et al*., 2021a; Ferreira *et al*., 2023a; Ferreira *et al.*, 2025). A BNCC (Brasil, 2018) será o documento curricular a partir do qual serão admitidas as competências e as habilidades de Física esperadas para o respectivo conhecimento científico e nível escolar.

A pesquisa translacional, de natureza qualitativa e exploratória, envolveu o desenvolvimento, a aplicação e a avaliação de atividades práticas baseadas em projetos em turmas do Ensino Fundamental II (6º e 7º anos). Os dados foram coletados e analisados pelo professor-pesquisador a partir de registros oriundos das observações, das respostas dos estudantes aos questionários aplicados e das interações. O processo analítico dos resultados foi conduzido à luz do referencial teórico elegido, tendo por alvo evidências, entre os estudantes, de construção de conhecimentos e engajamento por meio de instrumentos (recursos) e indicadores (escalas) que intercruzam a TMV e a ABP em mediação didática do efeito fotoelétrico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para abordar a integração entre um tópico de FMC (no caso, o efeito fotoelétrico), respectivas competências e habilidades consignadas na matriz curricular de referência vigente no Brasil (a BNCC) e numa proposta de ABP à luz da TMV, serão explicitados e discutidos resultados da formulação e da aplicação de uma pesquisa translacional. A ilustração ocorrerá em situações cotidianas e aplicações tecnológicas, a exemplo do uso de sensores

infravermelhos na construção de um projeto integrador. Como fundamento, referências de Vygotsky (2000; 2007) foram essenciais para promover mediações voltadas ao desenvolvimento de conceitos, à interação social e à apropriação do contexto cultural dos estudantes.

Esse enfoque facilita a compreensão de conceitos complexos por meio de práticas e estimula o desenvolvimento de habilidades essenciais para o século XXI, como o pensamento reflexivo, criativo e crítico, a capacidade de resolução de problemas e a habilidade de colaboração em ambientes digitais. Essas competências estão alinhadas às orientações da BNCC (Brasil, 2018), especialmente a relativa à Cultura Digital, que enfatiza a importância de compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de maneira crítica, significativa e ética (Strapasson *et al*., 2022), requerendo adequada formação de professores (Ferreira *et al*., 2022).

Adicionalmente, esse enfoque dialoga com as relações de hiperconexão, cibercultura e inteligências coletivas propostas por Lévy (2000), segundo quem o aprendizado em redes digitais possibilita a construção coletiva do conhecimento. Tal elemento é constitutivo de processos centrais no desenvolvimento de habilidades como o trabalho colaborativo e a gestão de informações em contextos digitais e coaduna com a relação pensamento, linguagem e formação social da mente presente em Vygotsky (2000; 2007).

2.1. A teoria da mediação na perspectiva desenvolvimentista de Vygotsky

A Teoria da Mediação proposta por Vygotsky – TMV (2000; 2007) fundamenta-se no princípio de que o desenvolvimento cognitivo humano é essencialmente mediado por dispositivos culturais e pela interação social. Nessa perspectiva, as funções psicológicas superiores, como o pensamento abstrato, a memória e a resolução de problemas, não se desenvolvem isoladamente, mas por interações entre indivíduos e os respectivos ambientes socioculturais. A TMV é estruturada em torno de dois conceitos-chave: a Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI) e o papel das ferramentas simbólicas na construção do conhecimento.

A ZDI é definida como o espaço potencial entre o que um indivíduo é cognitivamente capaz de alcançar de maneira autônoma e o que é capaz de fazê-lo quando auxiliado por um mediador mais experiente, como um professor ou colega. Essa interação é essencial para a construção de conceitos, pois o aprendizado humano, para Vygotsky (2000; 2007), é uma faculdade eminentemente social e cultural. No âmbito escolar, a ZDI enfatiza a importância da intervenção pedagógica para potencializar a construção de conhecimentos, especialmente em contextos que envolvem conceitos complexos como os usualmente abordados no ensino de Física (Ferreira *et al*., 2021b; Ferreira *et al*., 2023b).

Outro elemento central na TMV é o papel das ferramentas culturais e simbólicas. Para ele, a linguagem é o principal dispositivo de mediação, servindo como meio para estruturar pensamentos e organizar experiências. Segundo Vygotsky, Leontiev e Luria (2010), a aquisição da linguagem possibilita a comunicação e transforma qualitativamente os processos cognitivos, permitindo que os indivíduos progridam para construções mais elaboradas.

Essa perspectiva é reforçada no contexto educacional pela integração de tecnologias digitais. Segundo Ferreira *et al*. (2021b), simuladores digitais, quando adequadamente utilizados em processos de ensino-aprendizagem, funcionam como mediadores e amplificadores da ZDI dos estudantes, permitindo-lhes explorar conceitos abstratos de maneira interativa. Por exemplo, ao utilizar o recurso no estudo de circuitos elétricos, os estudantes manipulam elementos visuais e constroem significados que conectam a teoria à prática (Soares *et al*., 2019; Ferreira *et al*., 2021b; Ferreira *et al*., 2025).

Ademais, Vygotsky (2000) enfatiza que o desenvolvimento cognitivo é indissociável do contexto social. Para ele, as funções psicológicas (ou mentais) superiores aparecem, nessa ordem, nos planos social e individual. Essa visão sociocultural é particularmente relevante no

desenho de situações didáticas que promovam a colaboração entre pares e a interação com o professor em sua condição de mediador.

Em síntese, a TMV fornece uma base robusta para compreender como conhecimentos se constroem em ambientes mediados por interações sociais e ferramentas culturais. Esses princípios são convocados e aplicados ao desenho de atividades práticas que utilizam experimentos práticos para facilitar a compreensão de conceitos de Física.

2.2. A Física na BNCC e os itinerários formativos como possibilidade para um ensino integrador baseado em projetos

A BNCC estabelece diretrizes para a EB no Brasil, definindo competências e habilidades essenciais para os estudantes ao longo de sua formação. No Ensino Fundamental II, especificamente nos 6º e 7º anos, a disciplina de Ciências da Natureza engloba conteúdos que introduzem conceitos fundamentais de Física, visando estabelecer bases para compreensões mais complexas nos anos subsequentes. Segundo Brasil (2018), destacam-se as seguintes: 1) compreender as Ciências da Natureza como empreendimento humano e o conhecimento científico como provisório, cultural e histórico; e 2) analisar, compreender e explicar características, fenômenos e processos relativos ao mundo natural, social e tecnológico (incluindo o digital) e as relações entre eles, exercitando a curiosidade da pergunta, o desejo de respostas e a propositura de soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos da área.

Ainda que, textualmente, a BNCC pareça indicar conhecimentos e habilidades de alta significatividade para uma formação humana integral, e mesmo não sendo objetivo deste estudo produzir análise detida do instrumento e das políticas neoliberais que lhe dão azo, é preciso destacar que o contexto da sua formulação, aprovação e implementação devem ser tratadas com reservas. Associadamente às contradições de interesses, meios de tramitação e consequências deletérias à educação, perniciosamente presentes na proposta de Reforma do Ensino Médio e na precariedade conjuntural dos itinerários formativos, esse instrumento curricular deve ser motivo de permanente preocupação a formuladores de políticas públicas, pesquisadores e professores da Educação Básica. O modelo competencial expresso pela BNCC, diga-se, é contraproducente em um regime federativo marcado por contradições, desigualdades, subfinanciamento, ausência de políticas de Estado na área, carências na formação dos professores e nos materiais didáticos, além da inviabilidade de oferta de educação de qualidade para todos, direito fundamental como prevê a Constituição Federal Brasileira (Brasil, 1988).

Nenhum conteúdo e nenhuma abordagem didática escapa às determinações e às contradições desse estado de coisas (Ferreira, 2018). O efeito fotoelétrico, como conteúdo representativo, é abordado na EB de maneira introdutória, quase sempre relacionado à natureza da luz e às suas interações com a matéria. Embora o aprofundamento desse tema seja mais comum no Ensino Médio, sua introdução nos AFEF, já nos 6º e 7º anos, visa despertar a curiosidade científica e estabelecer bases para conceitos futuros.

A escolha de uma abordagem pedagógica baseada em projetos para ensinar o efeito fotoelétrico encontra respaldo na BNCC, que incentiva metodologias ativas e integradoras. O documento enfatiza a importância de práticas pedagógicas que promovam a investigação, a experimentação e a resolução de problemas, permitindo que estudantes construam conhecimento de maneira colaborativa e contextualizada. Essa perspectiva está alinhada com a TMV, que destaca a mediação social e cultural nos processos de construção de conhecimentos (Vygotsky, 2000; 2007).

2.3. O Efeito Fotoelétrico

O efeito fotoelétrico é precisamente uma das maneiras de se extrair elétrons de superfícies metálicas que possibilita diversas aplicações e a origem de artefatos tecnológicos com grande repercussão na vida humana, a exemplo das células fotovoltaicas utilizadas em dispositivos como os painéis solares. Outras possibilidades de produção de correntes elétricas a partir da incidência de radiação em metais são:

- Emissão termiônica (ou efeito Edison) – ocorre quando elétrons são emitidos pela superfície quente de um metal (fato observado nas lâmpadas incandescentes);
- Emissão secundária – acontece quando partículas energéticas incidem sobre um metal, liberando elétrons da superfície; e
- Emissão de campo – ocorre quando um campo elétrico suficientemente intenso incide num metal e extrai elétrons de sua superfície.

O fenômeno do efeito elétrico, inicialmente observado por Heinrich Hertz no final do século XIX, ocorre quando radiação eletromagnética incide na superfície de determinado material, geralmente metálico, e provoca a emissão de elétrons. Ele é fundamental à FMC, sendo essencial para compreender a dualidade onda-partícula da luz e signo da transição da Física Clássica para a Quântica (Young; Freedman, 2016).

Após a descoberta acidental feita por Hertz, o inesperado fenômeno passou a ser investigado por diversos experimentalistas, dentre os quais, Philipp Lenard, que teve um trabalho de destaque. Lenard fez observações experimentais que mais tarde ajudaram na explicação do fenômeno. Ele verificou que o efeito ocorria quando placas metálicas limpas de tungstênio ou zinco eram irradiadas com luz de frequência maior que 10^15 Hz; isto é, para ondas eletromagnéticas com frequência superior a mencionada, partículas eletricamente carregadas eram arrancadas da superfície metálica. Lenard concluiu que tais partículas carregadas eram oriundas do metal pelo fato de o experimento ter sido feito no vácuo, isto é, o aparato em que estava o metal não continha íons gasosos. Além disso, um campo magnético foi aplicado, desviando a partícula na direção assumida por uma partícula negativa. Por fim, os experimentos de Lenard determinaram que a relação entre a carga e a massa das partículas arrancadas da superfície metálica era a mesma detectada por Millikan e Thomson para o elétron. Em outros termos, as partículas eram, de fato, elétrons – que foram denominados fotoelétrons (Freire, 2004).

Os experimentos de Lenard mostraram ainda que, quando a intensidade da luz era aumentada, a energia dos fotoelétrons emitidos pela superfície metálica não sofria modificação, contrariando a teoria clássica que previa que os fotoelétrons ficariam mais energéticos. Havia outros pontos em que as teorias em voga, mecânica e eletromagnetismo clássicos, não concordavam com o experimento; por exemplo, os experimentos mostraram que o efeito fotoelétrico não ocorria para qualquer frequência, mesmo que a luz incidente sobre o metal fosse demasiadamente intensa. Outro resultado experimental interessante foi que, dada a frequência mínima necessária para a ocorrência do fenômeno, não havia atraso no tempo, o que contrariava a expectativa teórica de que, se a intensidade da luz incidente fosse muito fraca, passaria um certo tempo até que o metal armazenasse a energia suficiente para ejetar os elétrons.

Nesse caminho, corroborando o que disse Millikan ao receber o prêmio Nobel em 1924 – que a ciência avança sobre dois pilares: a teoria e o experimento – seria necessária uma abordagem distinta da teoria clássica para conciliar o experimento às expectativas teóricas. Esses problemas acerca da emissão de fotoelétrons foram em parte superados com o constructo teórico proposto por Einstein que, em 1905, explicou o efeito fotoelétrico ao propor que a luz não era apenas uma onda, mas apresentava propriedades corpusculares, sendo composta por quanta (pacotes) de energia, denominados fótons (Young; Freedman, 2016), conforme ilustra a Figura 1.

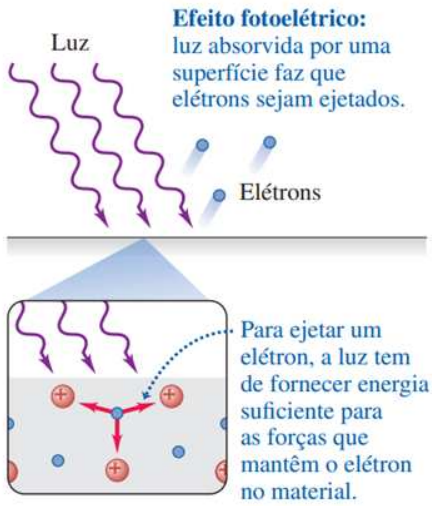

Figura 1. Ilustração do efeito fotoelétrico. Fonte: Young e Freedman (2016, p. 203).

Para Young e Freedman (2016), a teoria de Einstein baseou-se na ideia de quantização da energia introduzida por Max Planck em 1900. Einstein postulou que cada fóton possui uma energia descrita por:

$$E = hf, \tag{1}$$

em que h é a constante de Planck ($6{,}626 \times 10^{-34} m^2 kg/s$) e f é a frequência da radiação. Para que o elétron seja ejetado do material (Figura 1), a energia do fóton (E) deve ser igual ou superior ao trabalho de saída (φ), que é a energia necessária para liberar o elétron. Se E for maior que φ, o excesso será convertido em energia cinética do elétron, como consigna:

$$E = hf\ - \varphi, \tag{2}$$

A equação (2) traz a convergência entre o modelo teórico proposto por Einstein e a fenomenologia, no sentido em que explica os fatos experimentais analisados por Lenard. Por exemplo, na equação (2) está contido o fato experimental que o efeito fotoelétrico não ocorre para luz de qualquer frequência, isto é, é necessário que a luz possua uma frequência de corte, denotada por f_0, suficiente para que seja vencida ao trabalho de saída característico da superfície metálica. Ainda nesse contexto, não há atraso no tempo; ou melhor, desde que a frequência da luz seja maior ou igual a frequência de corte, os fotoelétrons serão ejetados, não havendo necessidade de acúmulo de energia por parte do metal.

Essa descoberta foi crucial para o avanço da Teoria Quântica, pois evidenciou que a luz não pode ser explicada apenas como uma onda contínua, apresentando comportamento corpuscular em determinadas condições. Em reconhecimento a essa contribuição, Einstein recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1921. Não obstante, é útil considerar que a hipótese de quantização por ele proposta soou como uma imposição sem base em princípios fundamentais, tendo por isso sido considerada uma hipótese ad hoc. Isso foi superado com a proposição, cerca de 20 anos depois, da Mecânica Quântica (Bohm, 1951). A partir dessa emergente teoria, as quantizações surgiam naturalmente a partir dos princípios teóricos e, com elas, foi possível uma explicação mais contundente de diversos fenômenos, incluindo o efeito fotoelétrico que passou a ser explicado a partir do espalhamento entre fóton e elétron.

O estudo do efeito fotoelétrico permitiu avanços tecnológicos significativos, resultando em aplicações como câmeras digitais, painéis solares, fotodiodos e sensores de luz. Além disso, o

fenômeno é um exemplo claro de como a FMC desafia a intuição clássica, ilustrando a necessidade de uma nova abordagem teórica para descrever a natureza da luz e da matéria (Young; Freedman, 2016). No contexto educacional, o efeito fotoelétrico é um tópico de relevante valor conceitual para explorar a FMC, inclusive a Física Quântica e suas tecnologias. Simuladores computacionais, como o PhET "Efeito Fotoelétrico" [1], permitem aos estudantes interagirem com o fenômeno de maneira visual, intuitiva e interativa, manipulando variáveis como frequência, intensidade da luz e tipo de material. Isso pode reforçar a compreensão dos princípios e parâmetros envolvidos e conectar teorias e aplicações.

A incorporação do efeito fotoelétrico em metodologias como a ABP visa facilitar a mediação pedagógica e a construção de conhecimentos na interação pensamento, linguagem e formação social da mente; além disso, a integração entre estudantes e tecnologias digitais promove um ambiente de investigação e construção coletiva de conhecimentos, conforme preconizado por Vygotsky (2000; 2007).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Pesquisa Translacional

A pesquisa translacional na educação tem como objetivo principal associar à prática pedagógica descobertas teóricas e resultados de pesquisas acadêmicas, básicas ou aplicadas, estabelecendo relação praxiológica e dialógica. Originária na área da saúde, em que é utilizada para transformar avanços científicos em aplicações clínicas, a abordagem encontrou na educação (e no ensino) um terreno fértil para estabelecer pontes entre teorias educacionais e metodologias de ensino, promovendo um ciclo de retroalimentação entre pesquisa e sala de aula (Colombo; Anjos; Antunes, 2019; Ferreira *et al*., 2020; Ferreira *et al*., 2021a; Ferreira *et al*., 2023a).

Quando analisada sob a ótica sociocultural de Vygotsky (2000; 2007), a pesquisa translacional ganha contornos ainda mais notórios. Ele destaca que o desenvolvimento cognitivo ocorre por mediação de ferramentas culturais, instrumentos e signos, em um processo que se desenrola em dado contexto social, processo que é essencial para que os indivíduos possam transitar da Zona de Desenvolvimento Real (ZDR) para a Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI).

Quando aplicada a projetos práticos de ensino, a pesquisa translacional incorpora a relevância do fluxo estruturado entre pesquisador, campo e locus. No ensino do efeito fotoelétrico, por exemplo, essa abordagem promove o desenvolvimento e a aplicação de estratégias didáticas baseadas em evidências teóricas e favorece a criação de ambientes de aprendizagem que estimulam a interação social e a construção coletiva do conhecimento. Simulações computacionais, como as exploradas por Ferreira *et al*. (2018), Ferreira *et al*. (2021b) e Ferreira *et al*. (2025), atuam como ferramentas mediadoras, permitindo que os estudantes experimentem o fenômeno do efeito fotoelétrico em um domínio seguro e interativo. Elas possibilitam, ainda, a visualização de conceitos abstratos, facilitando o entendimento e promovendo a construção de conhecimentos.

Além disso, Ferreira *et al*. (2018) destacam que abordagens investigativas no ensino de FMC, ao envolver estudantes na formulação de hipóteses, na organização da solução, na coleta e interpretação dos dados e na resolução de problemas, fortalecem os princípios da mediação cognitiva pela interação sociocultural de Vygotsky. Por exemplo, ao propor atividades em que os estudantes utilizam sensores infravermelhos e circuitos eletrônicos para explorar o efeito fotoelétrico, os professores apresentam um conteúdo técnico e criam condições para que os estudantes construam esses conceitos por meio de práticas colaborativas e contextualizadas.

[1] Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric. Acesso em 20 jan. 2025.

Essa inter-relação não se esgota na prática pedagógica. Originada na pesquisa acadêmica (básica ou aplicada), transita em contexto real de interação (sala de aula da EB), de maneira horizontal (isto é, em que os interagentes têm igual relevância) e retroalimenta as duas matrizes, promovendo desenvolvimentos em ambas. É o que se vê, concretamente, neste artigo, que deriva de aprofundamento epistemológico, se concretiza na prática e devolve resultados e reflexões à pesquisa, auxiliando que outros pesquisadores e professores possam avaliar e, eventualmente, transladar, na parte ou no todo, os protocolos desenvolvidos, aplicados, avaliados e relatados.

Portanto, esta pesquisa translacional, alinhada à TMV, investigará como abordagens didáticas robustas podem transformar conhecimento teórico em práticas pedagógicas construtivas. No contexto do ensino do efeito fotoelétrico, ela pode facilitar a compreensão de conceitos complexos e promover o engajamento dos estudantes, permitindo que participem ativamente de seus processos de construção de conhecimento, para além do domínio conceitual, alcançando uma formação integral – notadamente, sociocultural.

3.2. Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP)

A ABP é uma metodologia pedagógica que posiciona os estudantes no centro dos processos de ensino-aprendizagem, desafiando-os a investigar e resolver problemas autênticos e complexos por meio do desenvolvimento de projetos práticos (Bender, 2014). Diferentemente de abordagens tradicionais, ao conectar o conteúdo curricular a situações reais e relevantes para os estudantes, ela promove experiências significativas de construção de conhecimentos e de aprendizagem.

Essa metodologia desenvolve diversas competências essenciais para o século XXI, incluindo trabalho colaborativo, pensamento crítico, criatividade e habilidades de resolução de problemas (Oliveira; Siqueira; Romão, 2020; Strapasson *et al*., 2022). Além disso, incentiva a reflexão contínua, permitindo que os estudantes avaliem seu progresso, enfrentem desafios e proponham soluções inovadoras. Em relações escolares, a ABP se destaca por integrar teoria e prática, estimulando a aplicação do conhecimento a situações concretas (Bender, 2014).

Para a implementação eficaz da ABP, as etapas descritas a seguir foram baseadas no modelo de Bender (2014) para a aplicação da ABP, com adaptações para atender às características específicas do projeto desenvolvido, que incluiu a montagem de circuitos eletrônicos e a integração de conceitos teóricos e práticos.

Planejamento Inicial, em que o professor: a) identifica o tema central do projeto e os objetivos de aprendizagem; b) define as competências e habilidades a serem desenvolvidas, alinhadamente aos referenciais curriculares; e c) planeja os recursos necessários e estabelece os critérios de avaliação.

Definição do Problema: a) os estudantes são apresentados a um problema desafiador, que deve ser relevante e conectado ao mundo real; e b) o problema é estruturado de maneira a exigir investigação, colaboração e a aplicação de conhecimentos multiaxiais.

Divisão de Tarefas e Pesquisa: a) os estudantes organizam-se em grupos, discutem estratégias e dividem responsabilidades; e b) realizam pesquisas teóricas e práticas para aprofundar sua compreensão acerca do problema e levantar possíveis soluções.

Desenvolvimento do Projeto: a) os grupos colocam em prática as ideias desenvolvidas, criando protótipos, realizando experimentos ou construindo produtos; e b) durante essa fase, o professor atua como mediador, guiando e apoiando os estudantes na superação de desafios e no uso de ferramentas tecnológicas e metodológicas.

Apresentação e Reflexão: a) os estudantes apresentam os resultados de seus projetos para a turma ou para uma audiência maior, como professores e familiares; e b) o processo é finalizado com uma reflexão coletiva acerca das aprendizagens adquiridas, das dificuldades enfrentadas e dos resultados alcançados.

A Figura 2 esquematiza as etapas da ABP apresentadas.



Figura 2. Etapas da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP). Fonte: Elaboração própria (2025).

Para a eficaz implementação da ABP na pesquisa translacional de que aqui se trata, os procedimentos aplicados exploraram o ensino do efeito fotoelétrico, conforme doravante detalhado.

3.3. Concepção, características, aplicação e instrumentos de avaliação de uma situação de ensino do efeito fotoelétrico baseada em projetos

3.3.1. Contexto educacional

A aplicação foi realizada com 122 estudantes dos 6º e 7º anos do Ensino Fundamental II do Colégio FIAP School, localizado na cidade de São Paulo – SP, no mês de março do ano de 2024. Em razão do projeto político pedagógico da escola, o público encontrava-se familiarizado com metodologias ativas e integradoras, como STEAM e práticas *maker*. O ambiente escolar possui infraestrutura adequada para o desenvolvimento de atividades práticas, incluindo laboratórios e materiais tecnológicos. Além disso, a turma foi dividida em grupos de 4 a 6 estudantes para a realização da prática.

Do ponto de vista socioeconômico, a escola é de classe média e possui diversidade de perfis, o que enriqueceu as interações, mas produziu limitações de generalização dos resultados para realidades com menor infraestrutura. Quanto ao tempo de aplicação, a proposta demandou organização prévia dos kits e programação inicial dos microcontroladores. A execução ocorreu em um único encontro de três aulas de 45 minutos cada, tempo suficiente para cobrir diagnóstico, exploração teórica, montagem prática e avaliação, mas que poderia ser ampliado em outros contextos. Todos os estudantes participaram ativamente ou de maneira colaborativa nos grupos, embora nem todos tenham manipulado diretamente os circuitos.

Em termos metodológicos, os instrumentos de coleta consistiram em questionários autorais aplicados antes e depois da intervenção, sem grupo controle. A ausência de protocolos padronizados de observação e a atuação do professor também como pesquisador configuram possíveis vieses. Além disso, a escola já possuía uma cultura *maker* consolidada (FIAP School), o que favorece a receptividade e engajamento dos estudantes, mas limita a extrapolação dos resultados a redes com estruturas mais tradicionais ou carentes de recursos. Por fim, recomenda-se o uso de equipamentos de proteção individual, como óculos de segurança, embora a atividade tenha baixo risco.

3.3.2. Etapas da aplicação

As etapas da ABP foram organizadas de modo a favorecer a progressão da construção de conhecimentos, valorando os aspectos da TMV. Para estruturar as etapas do projeto e promover aprendizagens significativas, foi elaborado plano detalhado que organiza as atividades de ensino-aprendizagem em quatro fases principais. Esse plano busca guiar professores e

estudantes ao longo do processo, integrando teoria e prática de maneira dinâmica e colaborativa. As etapas do projeto estão resumidas no Quadro 1.

Quadro 1. Etapas da aplicação.

Etapas		Descrição	Componentes ou Atividades
1	Diagnóstico Inicial	Aplicação de questionário para avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre energia elétrica, motores, ponte-H, sensores infravermelhos e segurança industrial.	Questionário com perguntas relacionadas aos conceitos abordados de circuito e energia elétrica.
2	Exploração Teórica	Apresentação dialogada e prática de conceitos básicos como: circuito elétrico, energia elétrica, motores DC e ponte-H, sensores infravermelhos e efeito fotoelétrico.	Explicação teórica e prática dos conceitos necessários para o projeto. Parte prática pode ser mostrada utilizando como exemplo o circuito eletrônico da Figura 3.
3	Desenvolvimento do Projeto Prático	Montagem de circuito eletrônico com Arduino e sensores (Figura 3), simulando linha de produção industrial com parada automática ao detectar proximidade. Incentivo à comunicação em grupo.	Arduino Uno, Ponte-H L298N, Motor DC, Sensor Infravermelho, Protoboard, Jumpers e Fonte de Energia.
4	Avaliação da Aprendizagem	Reaplicação do questionário inicial para avaliar o progresso dos estudantes e a eficácia das atividades práticas.	Comparação das respostas pré e pós atividades para identificar a evolução conceitual.

Fonte: Elaboração própria (2025).

No desenvolvimento do projeto prático, o Arduino Uno desempenha o papel de microcontrolador central, responsável por gerenciar os dados do sensor infravermelho e controlar o motor DC (Figura 3). Para facilitar a execução da atividade pelos estudantes, o Arduino já deve estar programado previamente com um algoritmo que realiza a detecção de proximidade e aciona a parada do motor automaticamente. O código utilizado estará disponível no Apêndice A e na nuvem[2]. Isso garante maior agilidade e foco na montagem e compreensão do circuito pelos estudantes.

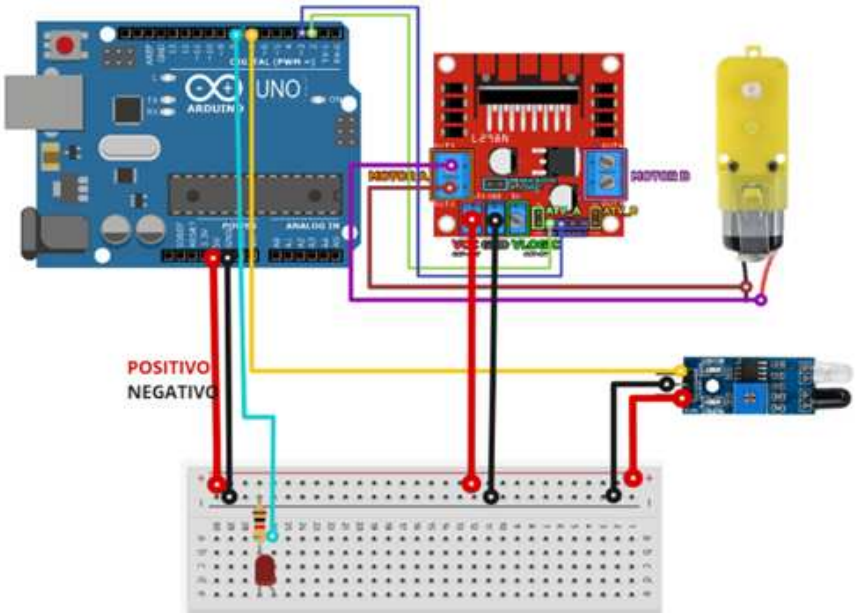

Gráfico 3. Circuito eletrônico que simula um motor fabril no qual para seu funcionamento quando o sensor infravermelho recebe um sinal e envia ao microcontrolador. Fonte: Elaboração própria (2025).

[2] Disponível em: ttps://drive.google.com/file/d/1xyZ_D8ECXmtrSDG3bXwxJ62AJ4Cwpz2s/view?usp=sharing.

O professor tem um papel fundamental em direcionar as discussões durante a atividade. Ele deve incentivar a troca de ideias entre os estudantes distribuídos em grupos, questionando, por exemplo, como as diferentes partes do circuito interagem ou como a lógica de programação impacta no funcionamento do sistema. Esses momentos de diálogo ajudam os estudantes a internalizarem os conceitos de maneira aprofundada, além de desenvolverem habilidades de trabalho em equipe.

Para ilustrar o engajamento dos estudantes, a Figura 4 registra a participação dos estudantes nas atividades propostas, montando o circuito e discutindo as soluções propostas. Essa interação evidencia o caráter colaborativo e prático da ABP.



Figura 4. Estudantes montando circuitos com Arduino Uno e sensores para simular aplicações industriais. Fonte: Arquivo pessoal (2025).

Sucintamente, a proposta foi desenvolvida ao longo de três aulas consecutivas de 45 minutos, totalizando um único encontro. Essa organização mostrou-se adequada para contemplar todas as etapas planejadas – diagnóstico inicial, exploração teórica (fundamentação conceitual), desenvolvimento do circuito eletrônico (prática experimental) e avaliação final. Apesar de a aplicação ter sido realizada em um mesmo dia, o planejamento é suficientemente flexível para ser distribuído em mais de um encontro, caso necessário em outros contextos escolares.

Considera-se que o tempo empregado foi suficiente para garantir a compreensão dos conceitos essenciais e o engajamento dos estudantes. É possível que, com uma carga horária maior, seja viável aprofundar a exploração de exemplos adicionais e ampliar as discussões conceituais. No entanto, levando em conta o tempo de atenção característico dos estudantes do Ensino Fundamental II, a estrutura em três aulas se mostrou equilibrada e eficaz para os objetivos propostos. A seguir, elenca-se com um pouco mais de detalhe como se deu a aplicação aula por aula.

- **Aula 1 – Diagnóstico e introdução**: realizou-se a aplicação de um questionário inicial para levantar os conhecimentos prévios dos estudantes acerca de energia elétrica, motores, sensores e segurança industrial. Em seguida, promoveu-se uma conversa introdutória sobre conceitos básicos de eletricidade e funcionamento de circuitos, buscando aproximar o conteúdo da realidade cotidiana dos estudantes.

- **Aula 2 – Exploração teórica**: a segunda aula foi dedicada à explanação dialogada sobre motores, ponte-H e sensores infravermelhos, estabelecendo relações com a segurança no ambiente industrial. Nesse momento, o professor apresentou e discutiu o

esquema do circuito eletrônico a ser utilizado na etapa prática, incentivando os estudantes a relacionarem os conceitos abordados com aplicações concretas.

- **Aula 3 – Prática e avaliação**: os estudantes, organizados em grupos, realizaram a montagem do circuito eletrônico com Arduino, motor DC, ponte-H e sensor infravermelho, simulando um sistema de parada automática em linhas de produção. Durante a atividade, o professor desempenhou o papel de mediador, auxiliando na resolução de problemas técnicos e estimulando a colaboração entre pares. Ao final, foi reaplicado o questionário, permitindo avaliar a evolução conceitual e a eficácia da proposta.

A proposição didática foi concebida a partir da articulação entre a Teoria da Mediação de Vygotsky (TMV), a metodologia da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) e os referenciais da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para Ciências da Natureza nos Anos Finais do Ensino Fundamental. O processo de construção envolveu diferentes etapas complementares.

Na fase inicial, definiu-se o tema central (o efeito fotoelétrico) e sua relevância para a compreensão da Física Moderna e Contemporânea, bem como para aplicações tecnológicas do cotidiano, como sensores infravermelhos e sistemas de segurança industrial. Em seguida, foi desenhada uma sequência didática em quatro etapas (diagnóstico inicial, exploração teórica, desenvolvimento prático e avaliação), fundamentada na lógica da ABP, de modo a promover a progressão da teoria para a prática e incentivar a construção coletiva de conhecimentos.

A seleção dos recursos considerou a viabilidade de replicação em ambiente escolar. Foram utilizados kits eletrônicos compostos por Arduino Uno, Ponte-H, motor DC, sensor infravermelho, protoboard, jumpers e fonte de energia, previamente organizados em grupos, com programação básica carregada para agilizar o desenvolvimento da prática.

No âmbito pedagógico, foram elaborados instrumentos de avaliação diagnóstica e final (questionários pré e pós-atividade), de modo a captar a evolução conceitual dos estudantes em temas como energia elétrica, funcionamento de motores, papel da ponte-H, uso de sensores e segurança industrial. Eles foram organizados em grupos de quatro a seis integrantes, favorecendo a interação social e a mediação entre pares, conforme os pressupostos da TMV.

Os critérios de desenho das atividades priorizaram: i) o engajamento por meio de problemas contextualizados; ii) a mediação ativa do professor, atuando como facilitador e orientador conceitual; iii) a valorização da colaboração e da criatividade; e iv) a integração entre teoria, prática e tecnologias digitais.

Assim, a proposta constituiu-se como uma sequência integrada de atividades teóricas e práticas que buscou não apenas transmitir conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico, mas desenvolver competências sociointeracionistas – pensamento reflexivo, criatividade, trabalho colaborativo e atitude crítica – alinhadas às demandas da educação científica contemporânea.

3.3.3. Instrumentos e indicadores de avaliação

Os instrumentos e os indicadores de avaliação utilizados foram selecionados com o objetivo de analisar a aprendizagem conceitual dos estudantes (isto é, a construção de conhecimentos) e o engajamento (marcador de relações socioculturais) durante a execução das atividades. Um dos principais instrumentos foi o questionário, aplicado antes e após as atividades práticas. Os indicadores foram, respectivamente, os conhecimentos prévios dos estudantes acerca dos tópicos abordados e os avanços obtidos. Essa comparação permitiu avaliar a eficácia do processo de ensino-aprendizagem e a construção dos conceitos explorados.

Além disso, a observação direta desempenhou papel fundamental na avaliação do engajamento e da interação dos estudantes. Durante a execução do projeto prático, o comportamento dos estudantes foi registrado com especial atenção para a maneira como eles

colaboraram, resolveram problemas e aplicaram os conceitos teóricos na prática. Tal abordagem possibilitou acompanhamento contínuo e detalhado do desenvolvimento das habilidades propostas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram analisados a partir de dois momentos distintos: 1) pré-explicação de conceitos fundamentais acerca de como funciona a energia elétrica, os motores elétricos e os sensores infravermelho para aplicar no projeto prático em seguida; e 2) pós-explicação e projeto prático. A divisão permitiu avaliar a evolução da construção dos conceitos de energia elétrica, motores, sensores infravermelhos e segurança industrial. A análise baseou-se nos objetivos traçados para cada etapa e nos princípios da TMV, com ênfase no papel da interação e da mediação na construção de conceitos. A análise foi inspirada nos trabalhos de Soares *et al*. (2019), Ferreira *et al*. (2021b) e Ferreira *et al*. (2025), que, sob perspectivas análogas e em caráter translacional, desenvolveram, aplicaram e avaliaram sequências didáticas envolvendo o efeito fotoelétrico, o uso de tecnologias digitais e fundamentação teórica cognitivista (sociointeracionista ou não).

Os resultados apresentados consideram as respostas dos estudantes coletadas antes e depois das explicações e do projeto prático. No total, dados de mais de 90 estudantes foram registrados ao longo do projeto, abrangendo os questionários aplicados antes e após a realização das atividades práticas e respectivas explicações. Para análise e clareza, este texto destaca as respostas de três estudantes representativos do conjunto de que fazem parte (A, B e C), cujos detalhes estão descritos no Apêndice B. Os dados completos, incluindo as respostas pré e pós-projeto de todos os participantes, estão disponíveis para consulta[3].

4.1. Dimensão quantitativa: evolução da construção de conhecimentos

Os dados mostram uma evolução significativa nas respostas dos estudantes após a intervenção pedagógica. Antes da explicação e do projeto, eles apresentavam respostas simplistas e, em alguns casos, equivocadas. Após a intervenção, elas tornaram-se mais detalhadas e conceitualmente corretas, indicando maior compreensão e apropriação dos conteúdos.

- **Estudante A**
  - **Pré-explicação:** "A energia elétrica funciona através de condutores."
  - **Pós-explicação:** "A energia elétrica funciona através de uma pilha geradora que é ligada com fios que são condutores que têm elétrons que fazem a energia funcionar."
  - **Análise**: Observa-se que o estudante passou de uma explicação de baixa complexidade para uma descrição mais técnica, incorporando elementos como "pilha geradora", "condutores" e "elétrons", o que demonstra maior domínio do conceito.
- **Estudante B**
  - **Pré-explicação:** "Ela funciona com átomos de energia gerados em grande movimento de correntezas de água, vento, locais nucleares e [sic] etc."
  - **Pós-explicação:** "Ela funciona com a bateria (que gera a energia), o cabo de cobre (que conduz a energia) e os elétrons (que são a energia)."
  - **Análise:** A explicação inicial apresenta confusões conceituais, enquanto a posterior demonstra maior clareza e precisão, indicando que o estudante

[3] Disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1a0h_IyTCMXHMbFNDsLL81R5AUSTrXKLt?usp=sharing. Acesso em 21 fev. 2025.

construiu corretamente o papel dos componentes básicos no funcionamento da energia elétrica.

- **Estudante C**
  - **Pré-explicação:** "Energia elétrica passa por fios, de cobre por exemplo, até chegarem ao seu lugar. Você liga o interruptor e acende a luz de sua casa".
  - **Pós-explicação:** "Ela funciona a partir de uma fonte geradora como pilhas e baterias. Ao iniciar o circuito, a eletricidade passa pelo condutor até chegar no LED e depois volta".
  - **Análise**: O estudante avançou de uma explicação cotidiana (de senso comum) para uma descrição mais técnica, incluindo a ideia de "fonte geradora" e o ciclo do circuito, mostrando uma construção conceitual mais elaborada.

4.2. Dimensão qualitativa: interação e mediação

O professor conduziu a explicação acerca dos circuitos elétricos básicos, utilizando exemplos do cotidiano, como baterias de brinquedos e videogames, para ilustrar os conceitos de fonte geradora, condutores e cargas elétricas. Os estudantes foram convidados a relacionar esses elementos ao funcionamento de dispositivos conhecidos, estabelecendo pontes entre seu conhecimento empírico e o conteúdo teórico. Durante a discussão, surgiram dúvidas acerca da diferença entre corrente contínua e corrente alternada, o que levou à exploração dessas características, incluindo sua relação com a segurança elétrica.

A abordagem seguiu para a discussão acerca da segurança industrial, com a exibição de vídeos que ilustravam acidentes em fábricas e ambientes industriais. Os estudantes foram desafiados a refletir acerca de como a tecnologia poderia ser utilizada para mitigar tais riscos. Parte das respostas já indicava uma noção inicial de sensores, mas a maioria ainda não compreendia o conceito de sensores infravermelhos. Para tornar essa explicação tangível, foram utilizados exemplos familiares, como sensores de elevadores e sistemas de estacionamento automotivo. A partir dessa mediação, passaram a compreender a funcionalidade dos sensores e sua aplicação na proteção de trabalhadores em ambientes industriais.

Na etapa prática do projeto, os estudantes foram orientados a montar o circuito eletrônico utilizando Arduino Uno, Ponte H, motor DC e sensor infravermelho. O professor desempenhou papel ativo como mediador, auxiliando a interpretação do esquema de montagem e incentivando os grupos a resolverem problemas técnicos de maneira colaborativa. Durante a experimentação, puderam visualizar a funcionalidade do sensor infravermelho na interrupção do motor ao detectar proximidade, replicando um sistema de segurança industrial.

A TMV ressalta que a aprendizagem ocorre por meio da interação social e da relação pensamento e linguagem, o que foi claramente evidenciado durante a aplicação prática do projeto. Os estudantes trabalharam em grupos para construir circuitos eletrônicos, simulando o uso de motores e sensores infravermelhos em contextos industriais. A interação prática reforçou conceitos teóricos e incentivou o trabalho colaborativo e o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas. Seguem-se excertos que ilustram a evolução desses estudantes após realizarem o projeto.

- **Estudante A:** Demonstrou maior autonomia na aplicação dos conceitos aprendidos, explicando detalhadamente o papel do sensor infravermelho na prevenção de acidentes.
  - **Pós-explicação**: "O sensor infravermelho funciona tipo um pisca-pisca de Natal, mas só se ele identificar que tem um objeto próximo. Ele cria um feixe de luz e, em alguns casos, pode fazer um barulhinho."
- **Estudante B:** Passou a compreender o uso prático dos sensores, destacando sua aplicação como "sensor de proximidade" em máquinas industriais.

    - **Pós-explicação:** "Funciona como um 'sensor de proximidade' que para a máquina ou motor de realizar seu serviço quando um ser humano ou animal chega perto da máquina, parando imediatamente seu circuito".
- **Estudante C:** Evoluiu na explicação acerca do funcionamento do sensor em aplicações cotidianas, como portas automáticas.
    - **Pós-explicação:** "Ele manda um feixe de luz para o receptor que recebe e a transforma em energia. Quando alguém passa na frente do feixe, a porta do elevador para de fechar".

A evolução das respostas (portanto, da construção conceitual) demonstra que a TMV aplicada em uma ABP foi eficaz para engajar os estudantes e promover a construção e a evolução de conceitos. Os dados indicam maior precisão nas respostas e destacam o impacto da mediação pedagógica na construção de conhecimentos complexos. A prática coletiva e a aplicação dos conceitos em projetos práticos foram fundamentais para o desenvolvimento das competências esperadas. Os exemplos apresentados ilustram a evolução conceitual dos estudantes; as respostas completas desse recorte encontram-se no Apêndice B.

Além do exposto, o docente que conduziu a aplicação percebeu que os estudantes operaram de maneira conjunta, colaborando um com o outro na montagem da proposta e discussão dos resultados de cada etapa. Ademais, os discentes demonstraram satisfação na execução da atividade prática, o que possibilitou a autocrítica em relação às respostas dadas no início e no fim da atividade acerca das questões que permeavam os conceitos físicos envolvidos (Soares *et al*., 2019; Ferreira *et al*., 2021b; Ferreira *et al*., 2025). Esses resultados corroboram o que a literatura apregoa sobre a ABP, isto é, percebeu-se o trabalho colaborativo entre os estudantes, o pensamento crítico, houve a integração entre teoria e prática e despertou a criatividade, convergindo às ideias preestabelecidas sobre essa modalidade de projeto (Oliveira; Siqueira; Brandão, 2020).

Embora os resultados tenham sido satisfatórios, algumas limitações devem ser destacadas. A aplicação ocorreu em uma escola privada com ampla infraestrutura tecnológica, incluindo dois laboratórios *maker*, dois laboratórios de ciências e dez laboratórios de informática. A atividade foi realizada em um desses laboratórios de informática, garantindo um computador para cada grupo de aproximadamente quatro estudantes. Ressalta-se que, em contextos menos equipados, a proposta pode ser adaptada: caso não haja computadores disponíveis, é possível trabalhar apenas com o esquema do circuito eletrônico, focando na discussão conceitual e na lógica de programação. Além disso, cada grupo necessitou de um kit específico contendo Arduino Uno, Ponte-H, motor DC, sensor infravermelho, protoboard, jumpers e fonte de energia.

O perfil dos participantes também influenciou o desenvolvimento da experiência. Tratava-se de estudantes do 6º e 7º anos do Ensino Fundamental II, com média de 12 anos, já familiarizados com práticas *maker*, uma vez que cursam semanalmente três aulas voltadas a projetos integradores envolvendo desenho 2D/3D, corte a laser, impressão 3D, programação e circuitos eletrônicos, sempre articulados a objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU. Apesar disso, o grupo apresentava heterogeneidade de conhecimentos prévios, não havendo exigência de pré-requisitos formais além de noções cotidianas de eletricidade. Estudantes com necessidades educacionais especiais participaram com apoio pedagógico adicional, embora este aspecto demande maior aprofundamento em futuras investigações, por exemplo a partir das preocupações com os distintos tempos de desenvolvimento de que tratam Ferreira *et al.* (2023b).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver, aplicar e avaliar uma abordagem didática, fundamentada na TMV, para o ensino do efeito fotoelétrico nos AFEF. A partir de análise

translacional, que associa pesquisa acadêmica (básica ou aplicada) a processos de ensino-aprendizagem, integraram-se atividades práticas com vistas à promoção de engajamento dos estudantes para a aplicação de conceitos desse tópico de Física na compreensão de fenômenos e tecnologias contemporâneas. Os resultados foram considerados satisfatórios para o fortalecimento entre teoria e prática, bem como para o desenvolvimento de competências e habilidades de caráter sociointeracionista, calcadas na relação pensamento, linguagem e formação social da mente, tais como: reflexividade, criatividade, colaboração ativa e senso crítico.

A utilização de uma abordagem mediada por projetos potencializou o engajamento e a construção de conhecimentos complexos. Os dados coletados evidenciaram que os estudantes foram capazes de compreender o efeito fotoelétrico não apenas como um resultado físico abstrato, mas como um princípio que fundamenta tecnologias cotidianas, como sensores infravermelhos. Essa compreensão foi facilitada pelo uso de simuladores e pela interação em atividades práticas, alinhando-se à ideia de que a mediação pedagógica e as ferramentas culturais são essenciais para o desenvolvimento cognitivo e de competências essenciais para o século XXI.

Entre as limitações, observou-se que a aplicação do projeto em um contexto específico pode restringir a extrapolação de resultados para outros cenários educacionais. Além disso, a dependência de tecnologias digitais e o tempo necessário para a implementação da abordagem podem representar desafios para professores com formações limitadas ou em contextos de infraestruturas precárias.

Como perspectivas para pesquisas futuras, sugere-se a ampliação da aplicação dessa metodologia para outros conceitos de FMC, explorando como a análise translacional poderia ser utilizada para criar métodos e materiais didáticos acessíveis e eficazes. Investigações adicionais também poderiam focar em como diferentes níveis de mediação pedagógica impactam o aprendizado, bem como na integração de outras tecnologias emergentes, como realidade aumentada e a inteligência artificial, para enriquecer o ensino de conceitos complexos. Pesquisas complementares, em maiores escalas e associando mais procedimentos de ABP e instrumentos e indicadores de avaliação fundados na TMV, por exemplo, poderão amplificar o alcance e qualificar os métodos e os resultados desta proposta.

Por fim, esta pesquisa reafirma o potencial da ABP fundamentada na TMV como uma ferramenta potente para qualificar o ensino de Física, ampliando sentidos, construindo conhecimentos e fomentando relações socioculturais produtivas e mediações com alto potencial de engajamento e desenvolvimento de sentidos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

REFERÊNCIAS

Bender, W. N. (2014). *Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI*. Penso.

Bohm, D. (1951). *Quantum Theory*. Prentice Hall.

Brasil. (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF: Senado Federal.

Brasil, Ministério da Educação (2018). *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC.

Colombo, I. M., Anjos, D. A. S., & Antunes, J. R. (2019). Pesquisa translacional em ensino: uma aproximação. *Educação Profissional e Tecnológica em Revista*, 3(1), 51-69. 10.36524/profept.v3i1.377.

Couto, R. V. L. (2020). *Astronomia no ensino médio: uma abordagem simplificada a partir da Teoria da Relatividade Geral*. 177 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: http://repositorio.unb.br/handle/10482/40040. Acesso em 22 jan. 2025.

Ferreira, M., Silva Filho, O. L., Nascimento, A. B. S., & Strapasson, A. B. (2023b). Time and cognitive development: from Vygotsky's thinking to different notions of disability in the school environment. *Humanities & Social Sciences Communications*, 10, 768. 10.1057/s41599-023-02284-8.

Ferreira, M., Silva Filho, O. L., Freitas, A. P., Lourenço, R. B., & Lourenço, M. B. (2018). Uma proposta de ensino investigativo sobre a física moderna e contemporânea: o efeito fotoelétrico. *Revista Pesquisa e Debate em Educação*, 8(2), 312-356. Disponível em: https://periodicos.ufjf.br/index.php/RPDE/article/view/31179. Acesso em 15 jan. 2025.

Ferreira, M., Silva Filho, O. L., Strapasson, A., Portugal, K. O., & Maciel, A. C. (2021b). Simuladores digitais no contexto epistemológico de Gagné e Vygotsky: uma proposta de intervenção didática sobre eletricidade e circuitos elétricos. *Revista de Enseñanza de la Física*, 33(3), 75-88. 10.55767/2451.6007.v33.n3.35993.

Ferreira, M., Couto, R. V. L., Silva Filho, O. L., Marinho, L. P., & Monteiro, F. F. (2021a). Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, e20210157. 10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0157.

Ferreira, M., Silva Filho, O. L., Moreira, M. A., Franz, G. B., Portugal, K. O., & Nogueira, D. X. P. (2020). Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42, e20200057. 10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0057.

Ferreira, M., Nascimento, F. A. A., Campos, L. L. V., Couto, R. V. L., & Silva Filho, O. L. (2025). Simulação Computacional como Organização Avançada e Mediação Pedagógica do Efeito Fotoelétrico. *Revista de Enseñanza de la Física*, 37(1), 67-81. 10.55767/2451.6007.v37.n1.48953.

Ferreira, M. (2018). Michel Foucault e o Ensino de Física: veredas. *Pesquisa e Debate em Educação*, 8, 172-193.

Ferreira, M., Silva Filho, O. L., Portugal, K. O., Bottechia, J. A. A., Lima, M. B., Costa, M. R. M., Ferreira, D. M. G., & Oliver, N. A. D. (2022). Formação continuada de professores de Ciências em caráter investigativo, interdisciplinar e com mediação por tecnologias digitais. *Revista Brasileira da Pós-Graduação*, 18, 1-39. 10.21713/rbpg.v18i39.1971.

Ferreira, M, Silva Filho, O. L., Batista, M. C., & Couto, R. V. L. (2023a). Dossiê pesquisa translacional e produtos educacionais no ensino de Física. *Revista de Produtos Educacionais e Pesquisas em Ensino (REPPE)*, 7, 1-26. Disponível em: https://seer.uenp.edu.br/index.php/reppe/article/view/1334. Acesso em 15 jan. 2025.

Freire, O. (2004). The historical roots of "foundations of quantum physics" as a field of research (1950-1970). *Foundations do Physics*, 34, 1741-1760.

Lévy, P. (2000). *Cibercultura*. São Paulo: Editora 34.

Oliveira, S. L., Siqueira, A. F., & Romão, E. C. (2020). Aprendizagem Baseada em Projetos no Ensino Médio: estudo comparativo entre métodos de ensino. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, 24(67), 764–785. 10.1590/1980-4415v34n67a20.

Soares, M. P. N. M., Ferreira, M., Strapasson, A. B., & Silva Filho, O. L. (2019). Mediando a aprendizagem de circuitos elétricos em Física: proposta de sequência didática utilizando o modelo flipped classroom. *Physicae Organum*, 5, 1-13. Disponível em: https://periodicos.unb.br/index.php/physicae/article/view/25784. Acesso em 23 fev. 2025.

Strapasson, A. B., Ferreira, M., Cruz-Cano, D., Woods, J., Soares, M. P. N. M., & Silva Filho, O. L. (2022). The use of system dynamics for energy and environmental education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19, 5. 10.1186/s41239-021-00309-3.

Vygotsky, L. S. (2000). *A construção do pensamento e da linguagem*. São Paulo: Martins Fontes.

Vygotsky, L. S. (2007). *Pensamento e linguagem*. São Paulo: Martins Fontes.

Vygotsky, L. S., Leontiev, A. N., & Luria, A. R. (2010). *Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem*. São Paulo: Ícone.

Young, H. D., & Freedman, R. A. (2016). Física IV: ótica e Física moderna. São Paulo: Pearson Education do Brasil.

Apêndice A

Código com programação do Arduino com motores e sensor infravermelho

```
// Definição de pinos
const int motorIn1 = 2;
const int motorIn2 = 3;
const int ledPin = 8;
const int sensorPin = 7;

// Variável para armazenar o estado do sensor
int sensorState = 0;

void setup() {
 // Configuração dos pinos
 pinMode(motorIn1, OUTPUT);
 pinMode(motorIn2, OUTPUT);
 pinMode(ledPin, OUTPUT);
 pinMode(sensorPin, INPUT);

 // Inicializa o motor ligado
 digitalWrite(motorIn1, HIGH);
 digitalWrite(motorIn2, LOW);

 // Apaga o LED no início
 digitalWrite(ledPin, LOW);
}

void loop() {
 // Lê o estado do sensor infravermelho
 sensorState = digitalRead(sensorPin);

 // Verifica se o sensor detecta a passagem de um objeto
 if (sensorState == HIGH) {
 // Para o motor
 digitalWrite(motorIn1, LOW);
 digitalWrite(motorIn2, LOW);

 // Acende o LED
 digitalWrite(ledPin, HIGH);

 // Aguarda para evitar múltiplas leituras seguidas
 delay(2000); // 2 segundos (pode ajustar conforme necessário)
 } else {
 // Mantém o motor ligado
 digitalWrite(motorIn1, HIGH);
 digitalWrite(motorIn2, LOW);

 // Apaga o LED
 digitalWrite(ledPin, LOW);
 }
}
```

Apêndice B
Tabela Completa de Respostas dos Estudantes

Apelido	Momento da Resposta	Como energia elétrica funciona?	O que é e como funciona um motor e ponte-H funcionam?	Para que serve os motores no dia a dia e na indústria?	Como podemos proteger as pessoas e trabalhadores de acidentes nas indústrias?	Como o sensor infravermelho funciona?
Estudante A	Pré-explicação e Projeto	A energia elétrica funciona através de condutores.	O motor funciona através de uma força que faz movimentar o objeto que tem o motor dentro.	Os motores no dia a dia servem para carros, motos, e etc. Já na indústria, motores fazem as máquinas funcionarem	Nós podemos proteger pessoas e trabalhadores de acidentes nas indústrias colocando máquinas menos perigosas.	O sensor infravermelho é um sensor que quando tiver algum objeto atrás ou na frente, ou, também dos lados, ele identifica. Muito usado em carros, ele pisca quando identifica algum objeto.
	Pós-explicação e Projeto	A energia elétrica funciona através de uma pilha geradora que é ligada com fios que são condutores que tem elétrons que fazem a energia funciona.	Um motor funciona através de uma energia elétrica que transforma em energia mecânica que faz movimentar automóveis, por exemplo, carros, motos ou máquinas de indústrias mesmo. Já uma ponte H é um circuito que circuito que pode determinar qual vai ser o sentido da corrente.	Os motores no dia a dia servem para fazerem funcionar / movimentar carros, motos, automóveis em geral. Já em indústrias, motores servem para fazerem as máquinas funcionarem / movimentarem elas também.	Podemos proteger as pessoas e trabalhadores de acidentes em indústrias colocando um sensor de infravermelho nas máquinas para o sensor identificar que tem uma pessoa lá e a pessoa não se meter num acidente, e outra forma também é instalar algum outro sistema de segurança nas máquinas para que não acontecer acidentes.	O sensor infravermelho funciona tipo um pisca pisca de natal mas só se ele identificar se tem um objeto próximo, ou, algum movimento, então ele cria um feixe de luz e em algum casos ele pode fazer um barulhinho, por exemplo em carros e etc.
Estudante B	Pré-explicação e Projeto	Ela funciona com atomos de energia gerados em grande movimento de correntesas de água,vento, locais nucleares e etc.	Pela lógica,isso pode funcionar para controlar a quantidade de agua ou controlar sua conrentes,pelo fato de o nome seria ponte (onde seria a direção) - H (que pode ser hidrica).	Pode servir para gerar energia para fazer coisas ou produzir coisas.	Usando roupa ou o equipamento necessário que servem e prevem dos acidentes.	Um sensor que pode controlar a energia por meio de laser...?

Br. J. Ed., Tech. Soc., v.18, n.4, Oct-Dec, p.1293-1313, 2025
DOI https://doi.org/10.14571/brajets.v18.n4.1293-1313
ISSN 2316-9907

	Pós-explicação e Projeto	Ela funciona com a bateria(que gera a energia) o cabo de cobre (que conduz a energia) e os elétrons (que é a energia).	Ponte-H é um "conduzidor" de energia,onde irá definir para onde a energia vai.	Para produzir objetos de alta carga,para produzir baterias e etc.	Com o sensor infravermelho,com roupas que são feitas para proteger dos acidentes.	Funciona como um "sensor de proximidade" que para a maquina ou motor parar de realizar seu serviço quando um ser humano ou animal chega perto da máquina,a parando imediatamente seu circuito para evitar acidentes.
Estudante C	Pré-explicação e Projeto	Energia elétrica passa por fios, de cobre por exemplo, até chegarem ao seu lugar, exemplo, você liga o interruptor e acende a luz de sua casa.	Um motor é tipo seu coração, te deixa funcionando, ou seja, deixa um carro, um avião, uma moto, deixa eles funcionando corretamente.	Para deixar a indústria funcionando corretamente.	Usando capacetes, avisos.	Ele detecta coisas que não podem ser vistas olho nu.
	Pós-explicação e Projeto	Ela funciona a partir de uma fonte gerador como pilhas e baterias ao iniciar o circuito a electricidade passa pelo condutor até chegar no led de depois volta	O motor funciona para fazer os carros mexerem e a ponte h controla os motores	Para os carros e maquinas	Capacetes, sensores e luvas	Ele manda um feixe de luz pro recepitor que recebe ela e a transforma em energia quando alguém passa na frente do feixe a porta do elevador para de fechar por exemplo

Br. J. Ed., Tech. Soc., v.18, n.4, Oct-Dec, p.1293-1313, 2025
DOI https://doi.org/10.14571/brajets.v18.n4.1293-1313
ISSN 2316-9907