

UMA PROPOSTA DE ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL A PARTIR DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

A photoelectric effect teaching proposal using computational simulation from three pedagogical moments

Francisco de Assis Lima de Sousa Junior, Marcus Vinicius Pereira

Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências
Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)
E-mails: fassis@metalmat.ufrj.br; marcus.pereira@ifrj.edu.br

Recebido em Julho de 2017. Publicado em Mês de 2016.

Resumo

Neste trabalho, visamos identificar as contribuições de uma sequência didática com uso de simulações computacionais no ensino do efeito fotoelétrico tendo por base os três momentos pedagógicos. Aplicou-se estratégia em quatro aulas de uma turma do ensino médio de uma escola do município de Nova Iguaçu (RJ). Os dados foram coletados por meio de gravação em áudio das aulas e questionários e submetidos à análise de conteúdo. Como resultado, houve uma evolução gradativa nas respostas dos questionários, aumento da capacidade de aplicação dos conhecimentos em situações reais e preferência por aulas com a simulação computacional.

Palavras-chave: Efeito fotoelétrico. Simulação computacional. Três momentos pedagógicos.

Abstract

In this work we intent to identify the contributions of a didactic sequence using computational simulations for the teaching of the photoelectric effect based on the three pedagogical moments. The strategy was applied in four classes of a high school located in Nova Iguaçu in Rio de Janeiro. Data were collected through audio recording of the classes and questionnaires and were submitted to the content analysis method. As results, there was a gradual evolution in the answers of the questionnaires, increase of the capacity of application of the knowledge in real situations and preference for classes with the computer simulation.

Keywords: Photoelectric effect. Computational simulation. Three pedagogical moments.

1. INTRODUÇÃO

A inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio (EM) vem sendo cada vez mais discutida no meio acadêmico, consolidando-se como uma linha de pesquisa na área de ensino de física (SILVA; ARENGHI; LINO, 2013). Trata-se de uma parte da física que representou uma ruptura do pensamento clássico, que se tornou limitado frente às descobertas que surgiram a partir do século XX, promovendo, assim, um avanço no conhecimento científico com o qual não poderia ser alcançado sem os novos conceitos e teorias propostos pelos cientistas dessa época.

De acordo com um levantamento realizado por Silva, Arengi e Lino (2013), as justificativas mais frequentemente encontradas em trabalhos acadêmicos que abordem a inclusão de tópicos de FMC nos currículos escolares são: (i) importância na compreensão das tecnologias da atualidade; (ii) a FMC representou uma mudança de paradigma da Física dando uma importante noção de desenvolvimento das ciências; (iii) a FMC como subsídio à compreensão crítica das questões atuais que envolvem ciência, tecnologia, sociedade e ambiente.

As pressões do meio acadêmico se refletem nas esferas decisórias em termos de políticas curriculares e editoriais para que sejam inseridos no EM conteúdos relacionados à FMC e começaram a surtir efeito nas escolas públicas estaduais do Rio de Janeiro. O Currículo Mínimo (CM), recentemente implementado pela Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro (SEEDUC-RJ), apresenta tópicos de FMC distribuídos nas três séries do EM (RIO DE JANEIRO, 2012). Por sua vez, o Sistema de Avaliação do Estado do Rio de Janeiro (SAERJ) exige a aprendizagem desses conteúdos. Apesar dos esforços, esbarramos ainda na falta de qualificação dos docentes para trabalharem esses conteúdos.

Monteiro e Nardi (2009) afirmam que muitos professores, após a formação inicial, ainda não adquirem autonomia suficiente para ensinar FMC no EM. Os tópicos de FMC, durante a formação inicial, geralmente, são trabalhados de maneira desvinculada da sala de aula da educação básica, com uma linguagem complexa e matemática incompatível e não problematizada com o nível de ensino para o qual o licenciando está sendo formado. As aulas prático-experimentais, que poderiam minimizar tais problemas, esbarram na necessidade de um laboratório equipado. Em especial, no caso dos fenômenos relacionados à FMC, os equipamentos experimentais são de grande porte ou de difícil observação detalhada (SOARES; MORAES; OLIVEIRA, 2015). Soma-se a esse entrave as condições de trabalho do professor para desenvolver atividades prático-experimentais, que demandam “organização e disponibilidade [...], especialmente quando ele não é dedicado exclusivamente às aulas de laboratório, fato comum em grande parte das escolas brasileiras” (PEREIRA; MOREIRA, 2017, p.271).

Um tópico importante dentro da FMC e considerado por muitos como a pedra fundamental da física quântica é o efeito fotoelétrico, fenômeno que não é reproduzido facilmente em sala de aula. Uma alternativa para auxiliar os docentes nessa empreitada é o uso de simuladores computacionais, que podem ajudar na compreensão dos conceitos envolvidos, além de possuir aspecto motivacional ao trazer dinamismo e praticidade às aulas. Por outro lado, se não planejada, a sua utilização pode criar um clima de deslumbramento por parte do professor e/ou dos alunos que pode se distanciar do principal objetivo que é a aprendizagem, sobretudo quando a simulação é vista apenas de maneira contemplativa (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002). Dessa maneira, um simulador pode suprir, inclusive, a ausência de laboratórios e equipamentos ao se ensinar determinados tópicos (CARDOSO; DICKMAN, 2012).

Neste trabalho, buscamos identificar as contribuições, para o processo de ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico, de uma sequência didática com base no método didático-pedagógico chamado de Três Momentos Pedagógicos (3MP) e que faça uso de recursos como imagens e simulações computacionais pré-selecionadas.

2. PROBLEMATIZAÇÃO

Segundo Ostermann e Moreira (2001), é preciso elaborar um maior número de materiais acessíveis aos professores e associados aos cursos de formação inicial e continuada. Esses autores consultaram diversos materiais de ensino de FMC e observaram que esses se caracterizam por serem densos e demandarem conhecimentos prévios que apenas especialistas na área possuem. Para

Brockinton e Pietrocola (2005), a dificuldade de se ensinar FMC no EM com qualidade é devida principalmente à utilização da mesma forma de transposição didática usada para o ensino da física clássica. Essa prática acaba por transformar um exercício sobre partículas elementares em um problema de colisão de bolinhas, ou seja, mudando apenas os nomes dos elementos envolvidos. Paulo e Moreira (2011) apontam o problema da linguagem como um dos aspectos que dificultam a abordagem da física quântica no EM.

Ostermann e Moreira (2000) indicam que três vertentes representativas de abordagens metodológicas para a introdução de FMC no EM têm sido consideradas: (i) exploração dos limites clássicos; (ii) não utilização de referência aos modelos clássicos; (iii) escolha de tópicos essenciais. Enquanto alguns autores criticam o uso de analogias clássicas no ensino de FMC, outros consideram que a sustentação na física clássica e a escolha de poucos, mas importantes, tópicos facilitam a aprendizagem de FMC.

Em um levantamento bibliográfico de artigos publicados no período compreendido entre 2011 e 2016 sistematizado em cinco periódicos nacionais – Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Ciência & Educação (C&E), Investigações em Ensino de Ciências (IENCI), Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) e Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC) – selecionamos 131 artigos relacionados à FMC dos 1.565 publicados. O termo efeito fotoelétrico estava presente em 23 deles, que foram lidos a fim de identificar com que objetivo era feita essa menção, e apenas cinco desses visavam contribuir com o ensino do efeito fotoelétrico, a saber: Silva e Errobidart (2015); Cardoso e Dickman (2012); Silva e Assis (2012); Cavalcante, Rodrigues e Bueno (2013); Sabino e Pietrocola (2016).

No Quadro 1 abaixo são apresentados os resultados quantitativos desse levantamento. É interessante notar que, apesar da RBEF apresentar o maior quantitativo de artigos que cita o efeito fotoelétrico (12), nenhum deles problematiza o ensino desse assunto, que aparece apenas em quatro artigos publicados no CBEF e em um artigo publicado na IENCI.

Quadro 1: Distribuição do número de artigos sobre o Efeito Fotoelétrico por revistas.

PERIÓDICO	NÚMERO DE ARTIGOS PUBLICADOS			
	Geral	Sobre FMC	Cita o efeito fotoelétrico	Sobre o ensino do efeito fotoelétrico
RBEF	567	92	12	0
CBEF	257	26	9	4
C&E	364	5	0	0
IENCI	181	4	1	1
RBPEC	196	4	1	0
TOTAL	1.565	131	23	5

Fonte: Elaborado pelos autores.

Silva e Errobidart (2015) realizaram uma pesquisa bibliográfica e destacaram diversos aspectos e propostas de abordagem que devem ser considerados ao se trabalhar esse tema no EM. Já Cardoso e Dickman (2012) propuseram uma sequência didática com a utilização de uma simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa e relataram ter alcançado resultados satisfatórios na aprendizagem. Em outros dois artigos, de Silva e Assis (2012) e de Cavalcante, Rodrigues e Bueno (2013), o princípio de funcionamento de um mesmo aparelho, o controle remoto, foi utilizado como estratégia de ensino do efeito fotoelétrico e ambos apontaram aspectos

como o motivacional e a relação da física com as tecnologias atuais. Sabino e Pietrocola (2016) investigaram dois professores durante a aplicação de uma sequência didática sobre dualidade onda-partícula com alunos da 3ª série do EM e encontraram resultados distintos para cada docente, indicando que o sucesso da aplicação de uma estratégia didática, por mais inovadora que seja, depende da maneira com que o docente a incorpora. Esses artigos, mesmo caracterizando um conjunto pequeno, representam a produção sobre o ensino do efeito fotoelétrico nos últimos seis anos e trazem referências a vários outros trabalhos importantes publicados em período anterior.

Muitos pesquisadores defendem a utilização sistemática das simulações na sala de aula, inclusive apontando benefícios que esse recurso traz para o ensino de física, como: motivar os alunos, aumentando o interesse nas aulas, o engajamento em atividades propostas pelo professor e a concentração nos conceitos envolvidos; aperfeiçoar a compreensão dos conceitos, fornecendo um *feedback*; tornar conceitos abstratos mais concretos, ajudando a construir uma possível mudança conceitual; permitir a coleta de grande quantidade de dados rapidamente (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Longe de construir uma panaceia, há alguns aspectos que podem transformar esse recurso em um vilão. O primeiro, e mais simples deles, é o fato de que o processo de ensino e aprendizagem é altamente complexo, não se resumindo a utilização de uma única estratégia ou recurso para garantir o seu sucesso. Outro aspecto a ser considerado diz respeito à natureza da simulação computacional. Toda simulação é um modelo simplificado do real, construído através de um banco de dados que por maior que seja não dá conta de infinitas possibilidades. Esse modelo está baseado em pressupostos definidos pelo criador da simulação e ficam implícitos nela, além de limitar o alcance da própria simulação na explicação de outras situações (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002). Mesmo com essas limitações, a simulação computacional vem sendo cada vez mais utilizada pelos professores e a experiência em sala de aula tem mostrado que há boa aceitação por parte dos estudantes.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A aplicação do método dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) vem crescendo nos últimos anos, tendo como resultados a modificação do ambiente de ensino e aprendizagem, tanto para aluno quanto para o professor, o aumento da participação dos alunos e uma maior contextualização dos conhecimentos científicos (ALBUQUERQUE; SANTOS; KAIANA, 2015). Esse método também contribui para evitar a separação entre processo e produto, a física de quadro-negro e a física da vida (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014). Porém, segundo Delizoicov (2008), o uso mecânico desses momentos apenas com o objetivo de organizar as aulas, fazendo da problematização inicial um simples pretexto para introduzir o tema na fase de organização do conhecimento, é uma prática que não deve acontecer.

Destaca-se que no XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), realizado em janeiro de 2017, foi ofertado um minicurso especificamente sobre os 3MP e foram apresentados trabalhos como o de Braga, Killner e Araújo (2017) e Cardoso e Pires (2017). No primeiro, os autores aplicaram o método dos 3MP associado ao uso de simulação computacional em duas turmas da 3ª série do EM para trabalhar o tema energia elétrica e concluíram que a combinação dos métodos de simulação computacional e 3MP nas duas turmas tiveram resultados positivos. O segundo representa uma proposta de trabalho também voltada a alunos da 3ª série do EM, só que para abordar o conceito de luz associado a ondas eletromagnéticas e utilização de experimentos, contribuindo para que o aluno adquira um pensamento crítico sobre o tema e uma evolução gradativa do seu nível de conhecimento.

O método 3MP foi desenvolvido originalmente por Delizoicov e Angotti ainda no início dos anos 1980 e tinha como objetivo principal a elaboração de um currículo de física baseado em temas geradores de acordo com a perspectiva de Paulo Freire para a educação. Apesar de primeiramente organizar o currículo a partir de temas geradores, esse método sofreu algumas mudanças, chegando a uma tendência mais atual de organizar os conteúdos disciplinares de acordo com a estrutura conceitual da disciplina ou área de conhecimento. Nesse trabalho, nos apoiamos em trabalho mais atual publicado por Gehlen, Maldaner e Delizoicov (2012), que defendem que a dinâmica dos 3MP se caracteriza por três fases consecutivas:

1. *Problematização Inicial*. Fase em que são apresentadas questões ou situações reais que os alunos vivenciam e tenham envolvimento com o tema escolhido. Busca-se conhecer o que os alunos pensam e sabem sobre o assunto. É o momento apenas de questionamento não devendo ser dada nenhuma resposta aos alunos. Por vivenciarem até mesmo cotidianamente essas situações apresentadas pelo professor, os alunos muitas vezes nunca se deram conta ou nunca se perguntaram como solucionar essas questões e quais as consequências delas. O objetivo da Problematização Inicial é promover um distanciamento crítico em relação ao problema proposto, fazendo com que o mesmo sinta a necessidade de buscar novos conhecimentos.
2. *Organização do Conhecimento*. Nesta fase, os conhecimentos científicos são confrontados com os conhecimentos prévios dos alunos. É o estudo sistemático dos conteúdos e conceitos necessários para a compreensão do(s) tema(s), sob a orientação do professor. Para isso, o docente deve consultar diversas fontes de conhecimento e utilizar diversos materiais e recursos didáticos que auxiliem na abordagem dos conteúdos. Atividades também fazem parte desta etapa, pois ajudam a organizar a aprendizagem.
3. *Aplicação do Conhecimento*. Fase em que o aluno utiliza o conhecimento construído nas etapas anteriores para interpretar e analisar tanto as situações apresentadas pelo professor quanto outras que possam ser compreendidas a partir do mesmo conhecimento. As questões iniciais retornam e os alunos passam a relacioná-las com os conceitos estudados, criando condições para solucionar o problema inicial. O professor pode aproveitar esse momento para novos questionamentos e, assim, promover um aprofundamento do tema abordado (ALBUQUERQUE; SANTOS; KAIANA, 2015).

Várias são as possibilidades de se incorporar recursos didáticos, assim como várias são as maneiras de se trabalhar com o método dos 3MP, desde a organização de sequências didáticas numa visão microscópica, até a estruturação curricular de uma disciplina numa visão macroscópica. De maneira geral, em todas busca-se uma identificação do estudante com o que será ensinado e uma constante dialogicidade entre os sujeitos envolvidos, professor e aluno, pautada na perspectiva freireana.

4. METODOLOGIA

A pesquisa tem natureza qualitativa e participante, e buscou confrontar o método tradicional de ensino, caracterizado por uma abordagem unilateral em que o professor transmite o conhecimento aos alunos através de aulas predominantemente expositivas com pouco ou até nenhum espaço para questionamentos. Para isso, observamos o desempenho dos alunos frente a uma abordagem que privilegia a discussão e a experimentação por meio de simulações computacionais. Braga, Killner e Araújo (2017) não observaram diferenças significativas de aprendizagem quando se usa a simulação computacional no início ou no final da estratégia didática. Assim, acreditamos que, para trabalhar o tópico efeito fotoelétrico, a simulação computacional possa gerar melhor resultado quando utilizada em conjunto ou após a abordagem sistemática do

conteúdo (Organização e Aplicação do Conhecimento), já que ela reproduz um fenômeno abstrato, de certo modo inédito e de difícil percepção da sua aplicabilidade à primeira vista para os alunos.

Os procedimentos metodológicos de coleta e análise dos dados seguiu um planejamento que levou em consideração às etapas do método de análise de conteúdo de Bardin (2009), fazendo uma descrição do conteúdo contido em textos, entrevistas e outros tipos de materiais, através de procedimentos sistemáticos e objetivos (MINAYO, 2008). A coleta de dados envolveu o uso de instrumentos como gravação das falas dos alunos, registro das respostas dadas por eles a algumas questões, além de textos dissertativos. Esses dados foram então submetidos à pré-análise, e, após isso, buscamos padrões de respostas que pudessem culminar em indicadores que fundamentassem uma interpretação final no processo de pesquisa que conduzimos. A partir daí, fizemos uma análise para cada fase, classificando as respostas de acordo com os conceitos envolvidos e a compreensão dos mesmos por parte os alunos. Também verificamos a frequência com que algumas delas apareceram, com o objetivo de obter um panorama global da turma com relação a aprendizagem do tema, por mais que o objetivo da pesquisa não seja qualquer generalização a partir de um estudo quantitativo.

A sequência didática foi aplicada pelo próprio pesquisador (primeiro autor deste artigo) como produto educacional de sua dissertação de mestrado profissional em uma turma da 3ª série do EM de uma escola localizada no município de Nova Iguaçu, região da Baixada Fluminense do Rio de Janeiro. Ela adota divisão do ano letivo em quatro bimestres e um sistema de avaliação bimestral que consiste em testes escritos. O professor também tem liberdade de propor atividades de pesquisa e projetos de aplicação dos conteúdos trabalhados em sala de aula. A escola disponibiliza dois tempos consecutivos por semana para as aulas de física, cada um deles com duração de 50 minutos. Em termos de infraestrutura, não possui laboratório, mas conta com um projetor digital e um computador portátil. O programa de física para a 3ª série do EM apresenta a clássica divisão eletrostática, eletrodinâmica, magnetismo e FMC, nesta ordem, respectivamente, para os quatro bimestres. A turma da 3ª série no ano de 2016 possuía 24 alunos e todos consentiram em participar da pesquisa assinando um termo.

O planejamento da estratégia didática envolveu sua aplicação em quatro aulas (oito tempos de 50 minutos, perfazendo uma carga horária total de aproximadamente 7 horas) consecutivas do 4º bimestre. O professor/pesquisador seguiu um roteiro em que os 3MP foram estruturados entre as quatro aulas da seguinte forma:

- *Problematização Inicial.* Alguns exemplos de sistemas tecnológicos que utilizam o efeito fotoelétrico foram responsáveis pela contextualização inicial, quando o professor, na primeira aula, trouxe esses exemplos com o objetivo de estimular a curiosidade e o interesse da turma para depois debater a pergunta: Como funcionam esses sistemas? A leitura de um breve texto sobre o efeito fotoelétrico no cotidiano precedeu às três questões respondidas pelos estudantes: Como funciona cada um desses sistemas (porta automática, poste e câmera digital)? O que eles têm em comum? Que descoberta feita pela ciência você acha que foi essencial para a construção desses sistemas?
- *Organização do Conhecimento.* Nesta fase ocorreu a abordagem sistemática dos conteúdos relacionados ao tema e foi executada em dois dias: no primeiro, de maneira tradicional, utilizando o quadro negro, textos e/ou slides, e, no segundo, fazendo uso do simulador computacional PhET¹ (Figura 1) como recurso didático, desenvolvido pela Universidade do Colorado e que possui versão traduzida para o português.

¹ Disponível em: <http://phet.colorado.edu/pt_BR/>. Acesso em: 12 jun 2017.

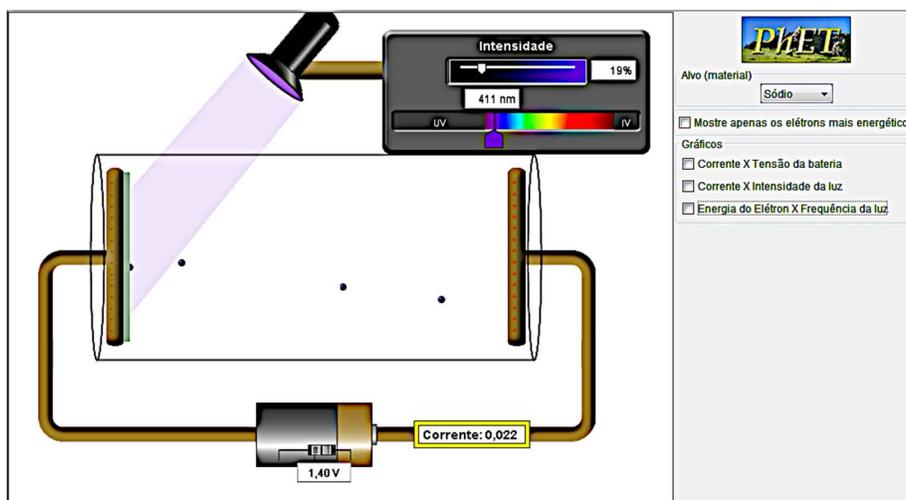


Figura 1: Ilustração da simulação computacional PhET do efeito fotoelétrico.

Fonte: <http://phet.colorado.edu>

Ao final de cada um desses dias, um mesmo teste contendo cinco questões sobre o efeito fotoelétrico foi aplicado para aferir a aprendizagem dos alunos nesses dois momentos, a saber: (1) Em que consiste o efeito fotoelétrico? (2) O efeito fotoelétrico ocorre em qualquer material e com todos os tipos de luz? Por quê? (3) Por que este fenômeno contraria as leis da Física Clássica? (4) Como Einstein resolveu este problema? (5) O que é frequência de corte, potencial de corte e função trabalho?

- *Aplicação do Conhecimento.* Neste momento, o professor retomou a pergunta feita no momento da Problematização Inicial quanto ao funcionamento de alguns dispositivos a fim de que os alunos aplicassem os conhecimentos adquiridos na etapa de Organização do Conhecimento. Para isso, foi utilizado outro simulador computacional, um objeto educacional produzido pela Secretaria de Educação do Estado da Bahia em parceria com a Universidade do Estado da Bahia denominado “Física e o Cotidiano / Efeito Fotoelétrico”². Ele consiste em desafios para completar circuitos de dispositivos cujo funcionamento está associado ao efeito fotoelétrico, a saber: despertador inteligente, porta automática, armadilha, poste de iluminação e alarme de presença.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro momento pedagógico, quando os alunos possuíam poucas noções sobre o efeito fotoelétrico, predominaram ideias ingênuas, mas também algumas mais elaboradas. Esse momento foi subdividido em dois passos. No primeiro, procedemos com os estudantes à leitura de um texto sobre o efeito fotoelétrico citando algumas das suas aplicações, porém sem definir e sem explicar como ocorrem. Esse texto, intitulado “O efeito fotoelétrico no cotidiano”, consta do produto educacional desenvolvido. Em seguida, fizemos a apresentação de três dispositivos que utilizam o conceito do efeito fotoelétrico – porta automática, poste de iluminação e câmera digital – seguida de uma discussão de como eles funcionam.

² Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/14356/open/file/index.html>>. Acesso em: 12 jun 2017.

Durante a discussão, os estudantes se manifestaram e agregamos algumas falas que demonstraram pensamentos mais equivocados, baseados no senso comum, e outros mais elaborados, mesmo que ainda confusos, mas que mais se aproximavam do conceito aceito pela ciência. Nessa etapa, como se tratava da primeira abordagem da pesquisa, optamos por realizar uma discussão livre e em grupo com todos os alunos da turma, sem registro escrito e sem identificação da fala de cada um, de forma que foram mapeadas as seguintes concepções: poste e porta automática possuem sensores, um de calor e outro de movimento; porta automática detecta o calor do corpo e abre; a luz está ativando esses sistemas; no poste há uma fotocélula; existe um sensor que emite luz em uma área que, se você entrar, ele limita a conexão; há uma área que consegue atingir a luz, quando entra na frente da luz fica escuro e não atinge a base de influência da luz aí não consegue ligar.

No segundo passo, uma breve explicação de como cada dispositivo funciona foi dada, seguida de um questionário contendo três perguntas básicas: Como funciona cada um desses sistemas (porta automática, poste e câmera digital)? O que eles têm em comum? Que descoberta feita pela ciência você acha que foi essencial para a construção desses sistemas? Após a explanação inicial, cada estudante registrou sua resposta às três perguntas e, no Quadro 2 a seguir, transcrevemos algumas delas. Como as respostas foram dadas em forma escrita e individual, pudemos fazer a identificação, de forma que cada aluno, doravante, será denominado pela letra “A” acompanhada do número que identifica um mesmo aluno: A1, A2, A3 etc..

Quadro 2: Respostas dos alunos às perguntas do professor na fase de Problematização Inicial.

PERGUNTA	RESPOSTA
Como funciona cada um desses sistemas (porta automática, poste e câmera digital)?	<p>Porta automática</p> <p><i>Funciona com um sensor de proximidade que utiliza um infravermelho para captar o calor do corpo para fazer com que ela abra. (A1)</i></p> <p><i>Funciona principalmente pelo sensor e corrente elétrica. Um feixe de luz infravermelho atinge o receptor o qual está gerando corrente elétrica. Ao passar por esse sensor que emite luz, a corrente elétrica para de funcionar, abrindo automaticamente a porta. (A2)</i></p> <p>Poste</p> <p><i>Existe como se fosse uma caixa, uma célula fotoelétrica onde armazena a luz durante o dia e à noite, ao existir a ausência de luz, o poste acende automaticamente. (A3)</i></p> <p><i>Exige também corrente e uma bobina, a qual gera um campo elétrico. A noite, sem a corrente elétrica a chave se fecha e a luz acende. (A2)</i></p> <p>Câmera digital</p> <p><i>Tem um dispositivo que monta a imagem e a emite no visor. (A4)</i></p> <p><i>Transforma o feixe de luz em pulsos elétricos que estimulam os elétrons a formar números binários para a formação da imagem. (A5)</i></p>
O que eles têm em comum?	<p><i>Todos utilizam a luz como forma de energia... (A6)</i></p> <p><i>Cada um transforma a luz em alguma forma de eletricidade. (A1)</i></p> <p><i>A luz ativa circuitos que geram corrente elétrica, campo magnético e sensores de imagem. (A7)</i></p>

Que descoberta feita pela ciência você acha que foi essencial para a construção desses sistemas?	<p><i>A luz como fonte de energia. (A6)</i></p> <p><i>A descoberta da captura de luz em aparelhos eletrônicos. (A8)</i></p> <p><i>A capacidade da luz de trabalhar junto a outros sistemas, gerando corrente elétrica. (A7)</i></p>
--	---

Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando as respostas, notamos que algumas concepções a respeito do funcionamento desses dispositivos ainda continuaram equivocadas, como a ideia do armazenamento da luz, confundindo-a como uma forma de energia. Porém, alguns alunos perceberam que é possível gerar corrente elétrica a partir da incidência da luz e, assim, alimentar um circuito realizador de trabalho. De acordo com os objetivos da Problematização Inicial, conseguimos, por meio do debate e dos questionamentos, promover a contextualização do tema junto aos alunos, mostrar que muitas das tecnologias com que os estudantes convivem diariamente têm origem em descobertas feitas pela ciência, induzir os alunos a pensar em como funcionam equipamentos e dispositivos que eles manuseiam ou interagem e fazê-los se interessar em aprender o mecanismo de funcionamento desses e de outros equipamentos.

O momento pedagógico da Organização do Conhecimento foi executado em duas aulas distintas. Na primeira, o histórico do efeito fotoelétrico foi apresentando por meio de uma apresentação em projetor digital, passando pela investigação e conclusões de Lenard até se chegar ao modelo proposto por Einstein. A aula também teve como objetivo confrontar ideias da física clássica com as que emergiram com a física moderna. Observamos que os alunos tiveram o mesmo comportamento de outras aulas, ou seja, poucas perguntas e colocações, porém demonstraram vontade de aprender sobre o assunto, visto que a grande maioria se concentrou na exposição do professor, não havendo dispersão em conversas paralelas. Foram utilizados *slides* contendo figuras e um pequeno vídeo sobre o detector de ondas eletromagnéticas de Hertz, mas os alunos ainda apresentaram dificuldades de abstração e entendimento das situações e fenômenos, mostrando ser o assunto completamente novo para eles. No final da aula aplicamos as cinco questões descritas anteriormente na Metodologia, e, no Quadro 3, apresentamos exemplos de algumas respostas.

Quadro 3: Exemplos de respostas dadas pelos estudantes na fase de Organização do Conhecimento.

QUESTÃO	EXEMPLO DE RESPOSTA
1	<i>Consiste em um feixe de luz que conduz eletricidade. (A2)</i>
2	<i>Não. Porque existem vários tipos de luz, depende da energia cinética. (A1)</i>
3	<i>Porque diziam que a propagação da luz era feita em pacotes de energia. (A10)</i>
4	<i>Através de experimentos viu-se que a luz é emitida em pacotes com ondas dentro. (A2)</i>
5	<i>É o eletroVolt necessário para que ocorra o efeito fotoelétrico. (A12)</i>

Fonte: Elaborado pelos autores.

Podemos observar que as respostas, mesmo com um razoável nível de acertos, denotaram uma assimilação mecânica do conteúdo caracterizada por frases decoradas da fala do professor e com pouca capacidade de aplicação desse conhecimento. Percebemos, também, algumas poucas

respostas mais precisas e com uma linguagem científica incomum entre os alunos, causando certa desconfiança de que a resposta possa ter sido pesquisada rapidamente na internet sem que o professor percebesse. Também encontramos dificuldades em categorizar as respostas, pois algumas continham duas perguntas na mesma questão e outras que poderiam não estar claras para o aluno, configurando-se em uma falha na elaboração do instrumento de pesquisa, que não pode ser validado anteriormente.

No segundo dia da etapa de Organização do Conhecimento, uma aula foi ministrada utilizando somente a simulação do efeito fotoelétrico do PhET, seguindo a sequência abaixo:

- 1) *Definição das grandezas.* Manipulamos a simulação, variando a intensidade e o comprimento de onda da radiação luminosa, modificamos o material das placas metálicas utilizando o sódio, o zinco e o cobre, alteramos a voltagem da bateria e, assim, mostramos a função de cada uma dessas grandezas, porém ainda sem gerar o efeito fotoelétrico.
- 2) *Gerando o efeito fotoelétrico.* Fizemos a demonstração do fenômeno usando parâmetros pré-estabelecidos, simultaneamente pedíamos aos alunos que descrevessem o que observavam e enfim definimos o conceito de efeito fotoelétrico. Também fizemos as perguntas: Que bolinhas são essas que saem de uma placa em direção à outra? O que acontece se aumentarmos a intensidade da radiação? E o seu comprimento de onda?
- 3) *Explicando o modelo.* Discutimos com os alunos como fazer para gerar o efeito fotoelétrico na simulação, ou seja, eles sugeriam ações e nós as executávamos explicando o que dava errado até obter o êxito. Trabalhamos também as inconsistências com a física clássica, por exemplo, ao aumentar a intensidade da radiação o efeito não ocorria para determinados comprimentos de onda e, quando ocorria, a velocidade das bolinhas também não crescia. Definimos o conceito de frequência de corte e explicamos o modelo proposto por Einstein utilizando a opção “mostrar fótons” do PhET.
- 4) *Atividades.* Manipulando a simulação com a ajuda dos alunos, encontramos o valor da frequência de corte para cada um dos materiais disponíveis, fizemos a relação entre a intensidade da radiação e a corrente elétrica, concluindo serem diretamente proporcionais. Por fim, realizamos a verificação da equação de Einstein medindo e calculando as variáveis envolvidas.

A ideia inicial era utilizar alguns *tablets* ou *notebooks* para que o roteiro contido no produto educacional fosse seguido ao mesmo tempo em que o professor mostrava no projetor digital e as atividades fossem realizadas em grupo pelos alunos. Alguns deles trouxeram seus *tablets*, mas em nenhum deles foi possível executar a simulação por não possuírem programas compatíveis com a linguagem *Java* em que é programada a simulação. Além disso, o sinal da internet disponibilizada pela escola não alcançava a sala de aula, impossibilitando a utilização da simulação diretamente do seu *website*. Com isso, a interatividade dos alunos com a simulação ficou comprometida e todos tiveram que apenas assistir a manipulação da simulação realizada pelo professor, que simultaneamente questionava e discutia as situações. Deste segundo dia de Organização do Conhecimento foi possível observar que os alunos se interessaram mais e se arriscaram até em prever alguns resultados. Um dos alunos chegou a dizer: “*Tá vendo, é possível gostar de física!*”. Mesmo não tendo oportunidade de manipular a simulação, os alunos participaram mais da aula, respondendo às perguntas de forma mais precisa e sugerindo inclusive soluções para os problemas colocados pelo professor, dando a impressão de que entenderam melhor o fenômeno. Confirmando o que é citado no trabalho de Medeiros e Medeiros (2002), a simulação computacional ajudou na construção do conhecimento dos alunos fornecendo feedbacks instantâneos na medida em que o professor repetia o fenômeno de várias formas.

As respostas dadas pelos alunos às cinco questões demonstraram uma sensível evolução na aprendizagem (Quadro 4), pois os alunos conseguiram definir mais precisamente o efeito fotoelétrico e os conceitos de frequência de corte e potencial de corte, compreenderam a dependência da frequência para ocorrer o fenômeno confrontando com o pensamento clássico e passaram a entender melhor o modelo proposto por Einstein. Dessa forma, a etapa de Organização do Conhecimento foi cumprida, visto que trabalhamos os conteúdos necessários para a compreensão do efeito fotoelétrico, utilizando variadas fontes e recursos didáticos, além de fornecer subsídios aos alunos através das atividades propostas e da simulação computacional, para que eles adquirissem a capacidade de solucionar problemas e prever resultados.

Quadro 4: Exemplos de respostas que evoluíram conceitualmente.

QUESTÃO	EXEMPLO DE RESPOSTA
1	<i>Quando uma placa fica exposta a uma radiação, dependendo da frequência, essa consegue arrancar elétrons dessa placa. (A2)</i>
2	<i>Não. Ocorre geralmente em materiais metálicos e vai depender da intensidade, da radiação e da frequência. (A1)</i>
3	<i>Porque dizia que não deveria depender da frequência da onda. (A10)</i>
4	<i>Pensou-se na onda batendo na parede, ou seja, demoraria mais para que o elétron fosse arrancado. Com a chuva de balas, arrancaria mais fácil os elétrons. (A2)³</i>
5	<i>Frequência de corte = menor frequência para gerar o efeito fotoelétrico; Função trabalho = diferença entre energia de vácuo e energia cinética; Potencial de Corte = ddp que faz voltar para a placa o fotoelétron mais rápido. (A12)</i>

Fonte: Elaborado pelos autores.

No quarto e último dia, referente à fase da Aplicação do Conhecimento, utilizamos a simulação “Física e o Cotidiano / Efeito Fotoelétrico”. Para esse momento, optamos por dividir os estudantes da turma em quatro grupos e levamos um computador portátil com a simulação previamente instalada para eles realizarem o desafio de montagem do circuito de um despertador inteligente e de uma armadilha. Como a atividade foi realizada por um grupo de cada vez, optamos pela montagem de apenas dois dos cinco dispositivos disponíveis para que houvesse tempo de todos os grupos realizarem a atividade planejada. A preparação e execução desta atividade consumiram os primeiros 50 minutos da aula.

O desempenho de cada grupo, que foi definido de forma livre pelos próprios estudantes, foi avaliado em termos do número de tentativas e erros na montagem dos circuitos (Figura 2), acompanhado das observações realizadas pelo professor/pesquisador durante a realização da atividade.

³ Analogia feita por Einstein para explicar a natureza da luz (onda x partícula).

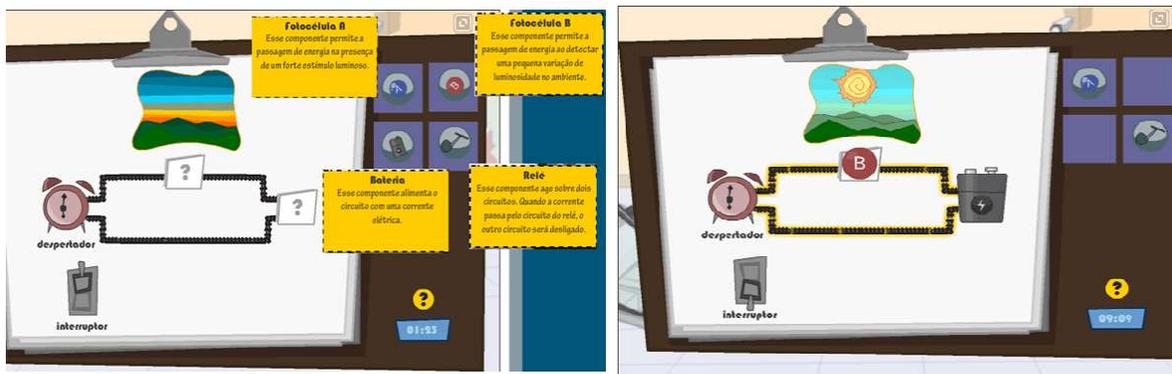


Figura 2: Circuito com a função de cada componente elétrico e o montado pelos alunos

A síntese do resultado dessa atividade encontra-se no Quadro 5 a seguir.

Quadro 5: Síntese do resultado da atividade realizada na fase de Aplicação do Conhecimento.

GRUPO	DISPOSITIVO	TENTATIVA	ERRO	OBSERVAÇÕES
1	Despertador	1	0	O grupo analisava o circuito em questão e tentava usar os conhecimentos adquiridos nas aulas. No caso da armadilha, errou apenas por não ter percebido que havia uma célula fotoelétrica específica para forte estímulo luminoso.
	Armadilha	2	1	
2	Despertador	2	1	O grupo tentou encontrar uma lógica para montar os circuitos se valendo também de algum raciocínio baseado no que aprenderam nas aulas anteriores. Encontrou rapidamente a posição correta das células fotoelétricas, mas demoraram a perceber o papel da bateria nos circuitos.
	Armadilha	3	2	
3	Despertador	2	1	O grupo optou por usar a intuição para montar os circuitos, sem reflexão prévia e tampouco aplicação do que foi trabalhado nas aulas. Fizeram basicamente o uso de tentativa e erro, ocasionando uma grande quantidade de erros para a montagem do circuito da armadilha.
	Armadilha	5	4	
4	Despertador	1	0	O grupo analisava o circuito em questão com cautela e aplicava os conhecimentos adquiridos nas aulas, ou seja, não ligava o dispositivo enquanto não tinham certeza da correta montagem do circuito. Procurou entender primeiramente a função de cada elemento do circuito e utilizou o conceito de efeito fotoelétrico corretamente.
	Armadilha	1	0	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nos 50 minutos restantes da aula, uma segunda atividade foi realizada, dessa vez fazendo uso de imagens, quando o professor propôs a seguinte questão aos alunos: Escolha um dos sistemas (porta automática, poste e câmera digital) e explique o seu funcionamento relacionando com o efeito fotoelétrico. As respostas dos alunos foram dadas de forma escrita, e, por meio da análise de conteúdo, pudemos inferir alguns padrões de raciocínio que foram divididos em categorias apresentadas no Quadro 5 para a etapa final da Aplicação do Conhecimento. Enriqueceria a pesquisa, sob um caráter mais holístico, se analisássemos dessa forma as respostas dos alunos para cada uma das cinco perguntas das etapas anteriores, mas optamos por apresentar os resultados de praticamente todos os instrumentos utilizados nos três momentos pedagógicos, que é justamente o que pôde ser feito na análise da aplicação do produto educacional da dissertação de mestrado.

Quadro 5: Categorias de respostas dos alunos quantificadas e exemplificadas.

CATEGORIA	N	EXEMPLOS
Relacionaram o funcionamento do dispositivo à emissão de elétrons devido à incidência de luz em uma placa metálica.	5	<i>A luz incide no metal, gerando elétrons, onde automaticamente o difusor do poste é disparado, fazendo acender a luz no poste. (A13)</i> <i>Está fazendo a emissão de elétrons através de um material metálico... irá gerar energia (luz) e fará com que o objeto funcione. (A14)</i>
Relacionaram o funcionamento do dispositivo ao bloqueio ou ausência da incidência de luz infravermelho/ultravioleta) em um receptor.	11	<i>A porta automática possui um radar que incide a luz infravermelha a qual incide diretamente em um receptor mantendo a porta em seu estado de repouso, quando algo impede essa transmissão da luz para o receptor a porta sai do seu estado de repouso. (A11)</i> <i>Os raios ultravioletas que são emitidos pelo sol incide em um dispositivo que fica atrás do poste fazendo com que ele se apague. Ao anoitecer, o dispositivo não recebe mais os raios ultravioletas. (A4)</i>
Relacionaram o funcionamento do dispositivo à existência de um sensor de radiação (infravermelha/solar).	3	<i>O sensor infravermelho, relacionado com o efeito fotoelétrico, detecta quando alguém ou alguma coisa irá passar pela porta. (A15)</i> <i>Existe um dispositivo que "sente" a presença da luz solar durante o dia. (A16)</i>
Relacionaram o funcionamento do dispositivo ao calor emitido por algum corpo	3	<i>Durante o dia o sol aquece a lâmpada. (A5)</i> <i>O efeito fotoelétrico do poste ocorre a partir de sua temperatura, absorve calor e energia. (A17)</i>
Outras explicações	2	<i>Os postes que iluminam a noite as ruas possuem um sistema que é responsável por armazenar a luz proveniente do sol durante o dia. (A2)</i> <i>A radiação do sol emite sinais que ao entrar em contato com o poste a luz é desligada. (A10)</i>

Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir da análise das respostas dos estudantes nesta última etapa, concluímos que a maioria dos alunos (16 dos 18 presentes) soube descrever, mesmo que de forma parcial, o funcionamento dos dispositivos. Podemos afirmar que um dos objetivos do trabalho, dar aplicabilidade aos conhecimentos adquiridos nas aulas de física, foi atingido. As discussões e abordagens sobre o tema em sala de aula contribuíram para que os alunos construíssem o seu próprio entendimento e, assim, pudessem formular uma explicação com base científica para a questão apresentada pelo professor. No entanto, apenas cinco desses 16 alunos souberam explicar de que maneira o efeito fotoelétrico

pode ser utilizado para fazer funcionar os mais variados sistemas. Ao citar a emissão de elétrons a partir da incidência de radiação eletromagnética em uma placa metálica, eles perceberam que um circuito elétrico pode ser alimentado quando ocorre o efeito fotoelétrico.

Podemos observar também que certos alunos utilizaram os termos radiação, infravermelho e ultravioleta, demonstrando a assimilação de alguns conceitos como espectro da radiação eletromagnética e o transporte de energia através da luz. Entretanto, houve respostas equivocadas utilizando conceitos sem relação com a situação, como, por exemplo, o calor. A fase de Aplicação do Conhecimento, que finalizou a sequência didática, mostrou que, de uma maneira geral, houve pouca conexão por parte dos alunos entre os conceitos aprendidos durante as aulas com as situações apresentadas pelo professor.

As respostas dadas por esses estudantes nas atividades realizadas confirmaram alguma evolução na aprendizagem do tema, porém dissociada da sua aplicação na realidade. Essa dicotomia entre teoria e prática ainda representa um grande desafio para os professores, pois persistiu neste trabalho apesar da metodologia conter diversos recursos e estratégias que pretendiam favorecer esse aspecto. Uma possível especulação para isso reside no fato da impossibilidade dos alunos terem usado eles mesmos a simulação, criando um ritmo próprio de aprendizagem ao terem que pensar no funcionamento dos dispositivos a partir do conceito do efeito fotoelétrico.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao realizar este trabalho buscamos contribuir para a inserção de conteúdos de FMC no EM e discutirmos a importância de acrescentar essa parte da física nos currículos escolares, após identificarmos, por meio de um levantamento, que a abordagem desses assuntos ainda se apresenta problemática, com destaque para a complexidade dos conceitos e, principalmente, a falta de preparo do professor. Apesar da preocupação por parte dos pesquisadores em inserir FMC no EM, ainda é pequeno o número de trabalhos que sugerem estratégias didáticas para trabalhar esses assuntos, principalmente em se tratando do efeito fotoelétrico, o que nos levou a fazê-lo tópicos desta pesquisa. Isso não significa necessariamente produzir mais uma simulação, mais uma animação nem mais qualquer outro recurso, mas sim problematizar e investigar estratégias didáticas que levem em consideração a aprendizagem da física de forma a promover de fato uma alfabetização científica e não corrobore para a ojeriza que as pessoas têm da física em suas memórias da etapa de escolarização dessa disciplina. Justamente por isso optamos por não desenvolver uma “inovação” como produto educacional, já que encontramos na internet recursos como as simulações computacionais utilizadas na sequência didática que atendem satisfatoriamente o processo de ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico.

É consensual que o efeito fotoelétrico não pode estar ausente em qualquer currículo que contemple a FMC dentre os conteúdos de física nas escolas, fato hoje praticamente inquestionável. Mas qual a melhor forma de abordagem: trabalhar com história e filosofia da ciência? Trabalhar com analogias clássicas? Explorar a aplicação desses conceitos na criação da tecnologia que usamos no nosso cotidiano? Neste trabalho, utilizamos todas essas formas distribuídas nas três etapas correspondentes à dinâmica dos 3MP e obtivemos resultados positivos, em que os conhecimentos dos alunos foram evoluindo gradativamente, corroborando com os resultados de Cardoso e Pires (2007). Consideramos que a introdução de simulações computacionais potencializou a sequência didática e foi importante para minimizar problemas de abstração, muito comuns quando se trabalha com o efeito fotoelétrico, entre outros da FMC, no EM. Utilizamos duas simulações, uma delas após a aula expositiva do conteúdo, para demonstrar e explicar melhor a teoria, e a outra na aula seguinte, para aplicar o que aluno aprendeu. Isso fez com que as aulas se tornassem mais dinâmicas

e até mesmo divertidas, prendendo a atenção dos alunos por mais tempo e promovendo uma maior participação individual e em grupo.

É importante destacar que os alunos, através das suas respostas aos questionários aplicados, demonstraram evolução na aprendizagem dos conceitos envolvidos e uma razoável compreensão do modelo proposto por Einstein para explicar o fenômeno. Antes da intervenção didática, por exemplo, definiam a luz como uma forma de energia que poderia inclusive ser armazenada. Além disso, não conseguiam enxergar a luz como uma onda e muito menos imaginar a sua natureza dual. Conheciam muito superficialmente os conceitos de frequência, comprimento de onda e energia. Porém, no decorrer das aulas e principalmente através do simulador, os alunos começaram a entender a função de cada uma dessas grandezas, associar as cores às diferentes faixas de frequências e finalmente perceberam que a luz possuía todos os elementos de uma onda, definindo-a como uma radiação de natureza eletromagnética. De posse desses conceitos melhor assimilados, os alunos foram capazes até mesmo de sugerir ações ao professor para a resolução de problemas durante a manipulação da simulação. As maiores conquistas da aplicação da estratégia, talvez, tenham sido a concessão de autonomia aos alunos para que chegassem às suas próprias conclusões e o fornecimento de subsídios para que se sentissem capazes de tomar decisões.

Por fim, este trabalho proporcionou um crescimento profissional significativo, em que foi possível aprofundar em um tema que não sentia segurança em trabalhar com os alunos e ainda incorporar a história que envolveu a descoberta do efeito fotoelétrico e desenvolvimento da teoria que explicava esse fenômeno, consolidando os conhecimentos adquiridos durante a formação inicial e até mesmo pela experiência com os anos de docência. Isso nos fez refletir sobre a própria prática, que até então se encontrava inerte e acomodada frente aos avanços na área de ensino de física, pois passamos a conhecer teorias de aprendizagem e recursos pedagógicos que fundamentaram o desenvolvimento da sequência didática apresentada neste trabalho. Dessa forma, considero que o curso de mestrado profissional teve seu êxito ao reconfigurar nossa prática, que passou a ter um foco maior no aluno e na sua vivência, procurando fazer da física uma disciplina mais interessante e aplicável em seu cotidiano.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, K. B.; SANTOS, P. J. S.; KAIANA, G. F. Os Três Momentos Pedagógicos como metodologia para o ensino de Óptica no Ensino Médio: o que é necessário para enxergarmos? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.32, n.2, 2015.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2009.
- BRAGA, A. S.; KILLNER, G. I.; ARAÚJO, F. G. O uso de simuladores computacionais como recurso didático nas aulas de Física: Antes ou depois? In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 22., 2017, São Carlos. **Atas...** São Paulo: SBF, 2017.
- BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da Transposição Didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**, v.10, n.3, 2005.
- CARDOSO, R. C.; PIRES, M. O. C. Uma proposta para associar a luz com ondas eletromagnética no ensino médio em uma abordagem dos Três Momentos Pedagógicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 22., 2017, São Carlos. **Atas...** São Paulo: SBF, 2017.
- CARDOSO, S. O. O.; DICKMAN, A. G. Simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: Uma ferramenta da aprendizagem para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.29, n.2, 2012.

CAVALCANTE, M. A.; RODRIGUES, T. T.T.; BUENO, D. A. Controle Remoto: Princípio de funcionamento (parte 1 de 2). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.30, n.3, 2013.

DELIZOICOV, D. **Didática Geral**. 1 ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2008.

GEHLEN, S. T.; MALDANER, O. A.; DELIZOICOV, D. Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a Educação em Ciências. **Ciência & Educação**, v.18, n.1, 2012.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.24, n.2, 2002.

MINAYO, M. C. de S. **O desafio do conhecimento**. 11 ed. São Paulo: Hucitec, 2008.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R. A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e a Formação de Professores: racionalidade técnica ou racionalidade comunicativa?. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18., 2009, Vitória. **Atas...** São Paulo: SBF, 2009.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os Três Momentos Pedagógicos e o contexto de produção do livro Física. **Ciência & Educação**, v.20, n.3, 2014.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.5, n.1, 2000.

_____. Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.18, n.2, 2001.

PAULO, I. J. C. de; MOREIRA, M. A.. O problema da linguagem e o ensino da mecânica quântica no nível médio. **Ciência & Educação**, v.17, n.2, 2011.

PEREIRA, M. V.; MOREIRA, M. C. do A. Atividades prático-experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.34, n.1, 2017.

RIO DE JANEIRO. **Currículo Mínimo - Física**. Rio de Janeiro: Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro, 2012.

SABINO, A.; PIETROCOLA, M. Saberes docentes desenvolvidos por professores do ensino médio: um estudo de caso com a inserção da Física Moderna. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.21, n.2, 2016.

SILVA, J. R. N.; ARENGHI, L. E. B.; LINO, A. Por que inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v.6, n.1, p.69-83, 2013.

SILVA, L. F.; ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o Efeito Fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.29, n.2, p.313-324, 2012.

SILVA, R. S.; ERROBIDART, N. C. G. Sobre as pesquisas relacionadas ao ensino do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.32, n.3, p.618-639, 2015.

SOARES, A. A.; MORAES, L. E.; OLIVEIRA, F. G. Ensino de matéria e radiação no ensino médio com o auxílio de simuladores interativos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.32, n.3, p.915-933, 2015.