

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL ALIADA À TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: UMA FERRAMENTA PARA ENSINO E APRENDIZAGEM DO EFEITO FOTOELÉTRICO⁺*

Stenio Octávio de Oliveira Cardoso

Centro Universitário Una

Belo Horizonte – MG

Adriana Gomes Dickman

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Belo Horizonte – MG

Resumo

Neste trabalho, é relatado o processo de elaboração e aplicação de uma sequência de atividades que se apoia no uso de simulações computacionais para o ensino do efeito fotoelétrico, explorando os conhecimentos prévios dos alunos e, de maneira gradual, introduzindo novos conceitos. A sequência é composta pelas seguintes etapas: pré-teste; organizadores prévios; aplicação da simulação com roteiro de estudo; organizador explicativo; teste final. Essas etapas são o resultado da interpretação da Teoria de aprendizagem significativa de Ausubel para aquisição de conhecimento, priorizando a organização da estrutura de conceitos. Acredita-se que o uso de simulações computacionais pode levar a ganhos cognitivos ao educando, desde que sejam utilizadas consistentemente com uma teoria de aprendizagem. Nas atividades, foi utilizada a simulação do efeito fotoelétrico desenvolvida pelo projeto PhET da U-

⁺ Computer simulation and meaningful learning theory: a tool for teaching and learning the photoelectric effect

^{*} *Recebido: fevereiro de 2012.
Aceito: junho de 2012.*

niversidade do Colorado. A sequência de atividades foi aplicada a uma turma do terceiro ano do Ensino Médio de uma instituição de ensino particular. Analisando as respostas da avaliação final, pode-se afirmar que, no geral, houve um entendimento dos alunos em relação aos conceitos relacionados ao fenômeno em questão, sendo identificado principalmente um ganho no grau de inclusividade dos mesmos. Dessa maneira, apoiados em um índice de acerto acima de 67% para a maioria das questões, pode-se considerar a sequência elaborada como um material potencialmente significativo para o ensino do efeito fotoelétrico.

Palavras-chave: *Aprendizagem significativa. Simulação computacional. Efeito fotoelétrico. Ensino Médio.*

Abstract

We elaborate a sequence of activities characterized by the use of computer simulations in Physics education, according to Ausubel's theory of meaningful learning. Among the Physics topics, we choose the photoelectric effect, a component of modern Physics and responsible for many technological advances present in everyday life. The sequence consists of the following activities: pre-test, advance organizers, computer simulation using a guide of activities, expository organizers, and final evaluation test. These activities follow from our interpretation of Ausubel's theory; at all stages we try to relate the subject and the use of the computer simulation to the theory of meaningful learning. In the activities, simulations of the photoelectric effect developed by PhET project at the University of Colorado were used. The sequence of activities was applied to High School students in a private school. Our data show that most students understand the general concepts related to the phenomena once they have participated in the activities. We believe that the use of computer simulation contributed significantly to this result (rate above 67% for most questions), helping students to verify their hypotheses about the phenomena.

Keywords: *Meaningful learning. Computer simulations. Photoelectric effect. High School.*

I. Introdução

O avanço da tecnologia tem sido extremamente importante para a sociedade, proporcionando agilidade na comunicação, otimização dos processos de produção, modernização de equipamentos, gerando grande facilidade na execução de procedimentos médicos, pesquisas nos mais variados campos de conhecimento, entre outros.

O filósofo Adam Schaff descreve uma época na qual a cultura é modificada pela tecnologia inventada pelo homem, e prevê que esse processo de informatização terá efeitos em várias situações, como lazer, trabalho, comunicação e também na área educacional, afirmando que

Quando falamos de sociedade informática referimo-nos a uma sociedade em que todas as esferas da vida pública estarão cobertas por processos informatizados e por algum tipo de inteligência artificial, que terá relação com computadores de gerações subsequentes (SCHAFF, 1990, p. 49).

De acordo com Schaff (1990), o surgimento de tecnologias e soluções utilizando a informática é consequência da inserção dos computadores no meio social, no qual essa ferramenta passa a ser usada como uma fonte de opções para novas descobertas e, por este motivo, sua utilização precisa ser melhor compreendida.

A cada momento em que a tecnologia se renova, é necessário que os seus construtores se informem mais. Assim, de acordo com Medeiros e Medeiros (2002), a educação brasileira tem tomado novos rumos que apontam em direção à busca da formação de um novo profissional, e um cidadão crítico e participativo na sociedade.

Assim, as escolas tentam se adequar incorporando meios tecnológicos que possibilitem a aprendizagem por meio de metodologias contextualizadas com a sociedade moderna, utilizando, por exemplo, a *internet* e o computador como ferramentas de ensino para buscar um rendimento cognitivo superior dos estudantes. Nesse contexto, uma questão importante que surge é como utilizar essas tecnologias para promover o aprendizado.

Em uma visão geral, a tendência no contexto escolar é diversificar o processo de ensino, o que leva ao surgimento de novas dificuldades e novos desafios para a educação. Sabe-se que a educação passa pela necessidade de modificar a estrutura de ensino, que surge em função de proporcionar ao aluno uma formação com conhecimento para o mundo contemporâneo, que esteja apto a viver socialmente e engajado no mercado de trabalho. Para isso, será necessário que o aprendiz

desenvolva, até o Ensino Médio, uma grande quantidade de competências e habilidades.

O Ministério da Educação (MEC) expressa uma preocupação nesse sentido por meio da elaboração de documentos oficiais, cuja finalidade é orientar os currículos proporcionando uma melhora no processo educacional. Assim, além de mencionar uma mudança de currículo e da visão sobre o ensino nas escolas, o governo prevê a implantação de tecnologias como práticas de ensino objetivando a inserção do estudante na sociedade após o término do Ensino Médio. Dessa maneira, de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN),

(...) a denominada “revolução informática” promove mudanças radicais na área do conhecimento, que passa a ocupar um lugar central nos processos de desenvolvimento, em geral. É possível afirmar que, nas próximas décadas, a educação vá se transformar mais rapidamente do que em muitas outras, em função de uma nova compreensão teórica sobre o papel da escola, estimulada pela incorporação das novas tecnologias (BRASIL, 2002, p. 5).

Entretanto, o cenário atual de ensino não condiz com a situação social real dos nossos alunos que, em muitos casos, enfrentam práticas pedagógicas ultrapassadas, meios tradicionais que, em geral, levam a uma formação descontextualizada com a realidade da sociedade informatizada.

A atitude e as iniciativas de como trabalhar as áreas de conhecimento irão definir o profissional e o cidadão a serem formados nas escolas e, para que os estudantes sejam bons frutos para o país, é necessário buscar metodologias inovadoras com a coerência e a responsabilidade de construir um ambiente educacional favorável ao processo de aquisição de conhecimento. Pensando nessa questão, os PCN afirmam que

*A formação do aluno deve ter como alvo principal a aquisição de conhecimentos básicos, **a preparação científica e a capacidade de utilizar as diferentes tecnologias relativas às áreas de atuação.** Propõe-se, no nível do Ensino Médio, a formação geral, em oposição à formação específica; o desenvolvimento de capacidades de pesquisar, buscar informações, analisá-las e selecioná-las; a capacidade de aprender, criar, formular, ao invés do simples exercício de memorização (BRASIL, 2002, p. 5-6, grifos nossos).*

O que os PCN idealizam para a educação brasileira é constatado de forma contrária por Villani (1984), Pereira *et al* (2007) e Ricardo e Freire (2007), que pesquisaram as concepções dos alunos sobre a física ensinada. Nesses trabalhos, constata-se que metade dos alunos pesquisados aponta uma rejeição pela Física, e

aqueles que se declaram a favor da disciplina só a adotaram como válida por causa dos cálculos existentes no curso. Percebe-se, assim, que uma disciplina como a Física, que tem a possibilidade de envolver os alunos com os princípios fundamentais das tecnologias presentes no seu cotidiano, é apresentada em sala de aula como uma sequência de cálculos matemáticos.

As dificuldades encontradas pelos alunos do Ensino Médio para aprender física, segundo Villani (1984), são decorrentes dos desencontros entre o que o professor ensina e o que o aluno pensa em fazer com as instruções ali apresentadas:

Quando um docente prepara uma aula normal de Física, considera que seus estudantes conheçam bem pouco do assunto estudado ou, no máximo, que eles tenham informações distorcidas a respeito. Consequentemente, sua meta torna-se preencher as lacunas dos alunos, em primeiro lugar com exposições de leis e fórmulas fundamentais, e depois com exercícios e problemas nos quais as mesmas leis são utilizadas [...] muitos professores reconhecem que o que foi aprendido pelos estudantes raramente ultrapassa o mero significado instrumental de ser o indispensável para “passar” nas provas [...] (VILLANI, 1984, p. 76-77).

Pereira *et al.* (2007), em suas investigações sobre a opinião dos alunos sobre o ensino de Física, questionam a importância do professor no momento de preparar e ministrar sua aula, fator que pode desmotivar o aluno a buscar o entendimento da física e sua aplicação no cotidiano. Segundo Pereira, os professores “deveriam não apenas transferir conteúdos, mas estimular o diálogo entre o espaço escolar e o mundo.” (PEREIRA *et al.*, 2007, p. 5)

Tendo em vista o cenário da educação, e o avanço da informática, por que não utilizar um meio que está difundido na sociedade para tentar suprir as necessidades e dificuldades dos alunos, ao aprenderem física?

O grande objetivo da utilização de tecnologia no processo de aprendizagem é fazer dela ferramenta de ensino e, considerando computadores e *internet*, o ensino de física por meio desses equipamentos pode superar, ou no mínimo amenizar, a problemática gerada pelo ensino atual. Dessa forma, busca-se levar ao estudante a formação física adequada, deixando que a matemática faça sua parte de forma menos constante. Isso significa produzir aulas interessantes, que priorizem a metodologia e não somente o conteúdo, o raciocínio científico, o aluno pesquisador e o desenvolvimento da estrutura cognitiva.

A proposta deste trabalho consiste primeiramente em promover a inserção do computador na educação como ferramenta de ensino utilizada principalmente para a exposição e interatividade de fenômenos físicos, contribuindo para melhorar

o aprendizado do estudante. Para tanto, busca-se auxiliar a aprendizagem de Física moderna no terceiro ano do Ensino Médio, por meio do estudo do Efeito fotoelétrico usando simulações computacionais. Dessa maneira, pode-se mostrar o fenômeno de forma idealizada e com grande riqueza de detalhes, o que dificilmente aconteceria em uma aula sem esse recurso.

Embora haja muitas discussões sobre o uso do computador como ferramenta de ensino, percebe-se, porém, que não há um embasamento teórico definido sobre como usá-lo. Existem trabalhos, como relatos de experiências, que afirmam ocorrer uma melhora no rendimento de alunos quando os professores passam a utilizar este recurso (LOPES e FEITOSA, 2009). Dessa forma, a exemplo de Machado e Nardi (2006), busca-se inserir o uso das simulações computacionais no ensino de Física, embasado em uma teoria de aquisição do conhecimento, a Teoria da aprendizagem significativa, formulada por Ausubel. Essa teoria procura conhecer a estrutura cognitiva do aluno e, a partir dela, apresentar conceitos de maneira gradual, partindo de conceitos mais amplos para conceitos mais específicos (MORREIRA; MASINI, 2001).

A simulação computacional torna o aprendiz parte ativa no processo de ensino e aprendizagem, pois proporciona interatividade que, quando aliada às ideias de Ausubel, permite que o aluno realize atividades conceituais que levam à aprendizagem significativa, ou seja, à aquisição do conhecimento. Além disso, a utilização de simulações computacionais promove a diversificação das aulas de Física, através da exposição de situações inusitadas que não podem ser vistas facilmente.

Entende-se que a simulação não deve ocupar todo o processo de ensino de Física, substituindo artifícios e materiais usados tradicionalmente por alunos e professores. A simulação computacional deve ser usada como ferramenta de ensino de maneira consciente e estruturada, fazendo parte das atividades dos alunos de forma constante, mas não exclusiva. Essa suposição é tão verdadeira que, para inserir a simulação computacional no estudo de um determinado conteúdo, por meio de um roteiro de atividades elaborado segundo a estrutura da teoria de Ausubel, foi necessário considerar a utilização de recursos como vídeos, textos, imagens, e questionários de avaliação. Dessa maneira, compreende-se que não se pode transformar o ensino de Física somente com o uso de informática, computadores e simulações computacionais, mas pode-se ampliar a oportunidade de ocorrer a construção do conhecimento em contextos que passem por processos informatizados, de vários conteúdos e disciplinas, principalmente a Física.

Em síntese, busca-se, neste trabalho, dar um embasamento teórico à utilização das simulações computacionais mediadas pelo computador, e através de um

roteiro de aula inserir a simulação como ferramenta de ensino de física, na tentativa de proporcionar uma aprendizagem efetiva.

O produto educacional proposto neste trabalho consiste das seguintes etapas:

1. Pré-teste
2. Organizadores prévios
3. Aplicação da simulação com roteiro de estudo
4. Organizador explicativo
5. Teste final.

As etapas enumeradas acima são o resultado da implementação da interpretação da proposta de Ausubel para aquisição de conhecimento e, nessa configuração, procura-se em todos os momentos interligar o conteúdo e a aplicação da simulação computacional à Teoria da aprendizagem significativa.

Na próxima seção, é feita uma breve discussão sobre a teoria de Ausubel mostrando sua relação com a estrutura do roteiro de aula, além de uma revisão da literatura sobre o uso de simulações no ensino de tópicos da física moderna. Na terceira seção, é apresentada a metodologia de elaboração e aplicação do roteiro de atividades e a explicação das etapas que compõem este produto. Na quarta seção, são discutidas as etapas de aplicação do roteiro de atividades, a população pesquisada e a análise e discussão dos dados coletados no pré-teste e teste final. Na última seção, estão as considerações finais sobre todo o processo desenvolvido neste trabalho.

II. Referencial teórico

Apesar das inúmeras pesquisas na área de Ensino de física que buscam formas diversificadas de ensino ou práticas pedagógicas eficazes, novas formulações de currículo e mudanças na maneira de avaliar a aprendizagem, em geral pressupõe-se que, na Física, o aluno ainda seja um observador, memorizando fórmulas e exercícios já usualmente trabalhados. Nesse contexto, o aluno frente a uma situação inusitada tende a ficar desestruturado, pois não possui elementos na sua estrutura cognitiva que o auxiliem na confecção de um raciocínio para resolver o problema. O aprendiz que somente faz uso de uma aprendizagem mecânica, ou seja, caracterizada pelo armazenamento temporário de informações de forma arbitrária e sem conexão com os conhecimentos prévios da sua estrutura cognitiva, terá uma imensa dificuldade em resolver problemas novos, pois estes requerem competências e habilidades a serem desenvolvidas em uma aprendizagem significativa.

II.1 Aprendizagem significativa e uso de simulações

A concepção de aprendizagem significativa, segundo Ausubel (2003), é um processo de interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio relevante, também chamado de subsunçor¹, existente na estrutura cognitiva do aprendiz. A aprendizagem receptiva significativa ocorre quando o material a ser aprendido é apresentado ao aluno em sua forma final e a nova informação é incorporada à estrutura cognitiva de forma não-literal e não-arbitrária, se existirem os subsunçores necessários (MOREIRA; MASINI, 2001).

Segundo Ausubel; Novak; Hanesian (1980), um dos principais obstáculos para que ocorra aprendizagem significativa é a falta de organização prévia e hierarquizada do conhecimento do aprendiz, dificultando o relacionamento entre os subsunçores e a nova informação a ser incorporada. Para Ausubel, uma possível solução para essa dificuldade seria o uso dos organizadores prévios que

[...] seriam introduzidos antes do próprio material de aprendizagem, sendo utilizados para facilitar o estabelecimento de uma disposição significativa da aprendizagem, com isso, os alunos reconhecem que elementos dos novos materiais de aprendizagem podem ser significativamente aprendidos relacionando-os com os aspectos relevantes da estrutura cognitiva existente (AZEVEDO, 2010, p. 46).

Logo, organizadores prévios servem de âncora para aprendizagem e levam ao desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitam a aprendizagem subsequente. No caso de um material ser totalmente novo, um organizador explicativo é usado para formação de subsunçores que sustentariam de forma ordenada a relação com o novo material. A aprendizagem em sala de aula, em geral, se baseia na utilização de recursos que dificultam as relações entre os conceitos e sua integração à estrutura cognitiva do aluno, tornando o material não significativo (MOREIRA; MASINI, 2001).

Sendo o efeito fotoelétrico abstrato e de difícil ilustração, a simulação computacional, aliada à teoria de Ausubel, pode ser uma ferramenta na construção, ilustração e relação entre as variáveis que dão significado ao fenômeno em ques-

¹ Os termos *subsumer* e *subsumption*, originalmente utilizados por Ausubel, foram traduzidos como *subsunçor* e associados a “ideia âncora” e “processo de ancoragem” (MOREIRA, 2001).

tão. Os símbolos e as imagens produzidos pela informática podem proporcionar, em diferentes níveis, um ganho cognitivo. Paralelamente, a simulação irá fornecer, de maneira dinâmica, imagens sobre o fenômeno, variáveis que podem modificar o resultado apresentado pela simulação e também realçar os principais aspectos e as propriedades sobre o seu acontecimento. Cada imagem fornecida pela simulação pode potencializar um significado para o indivíduo de forma idiossincrática.

Como as simulações oferecem aos estudantes opções para testar hipóteses e situações inusitadas, pressupõe-se que isso leve o aprendiz a formular perguntas, participando ativamente do processo. As respostas aos seus questionamentos podem ser visualizadas em forma de imagens dinâmicas e interativas através da representação gráfica contida nas simulações computacionais. Dessa forma, o aprendiz torna-se parte integrante do problema e da situação simulada, podendo, assim, relacionar conceitos prévios com um novo material. O *feedback* sobre os questionamentos do estudante e a sistematização do conteúdo estudado favorecem a interatividade entre professor e aluno.

Após a aplicação da simulação computacional, podem-se utilizar mapas conceituais como organizadores explicativos que definirão em ordem decrescente o grau de inclusividade dos conceitos tratados no fenômeno estudado. No caso de serem aplicados testes de compreensão, estes devem, de acordo com Moreira e Masini (2001), serem fraseados de maneira diferente e apresentados num contexto de alguma forma diverso daquele originalmente encontrado no material instrucional.

II.2 O uso do computador no ensino de física

Várias pesquisas apontam que o uso do computador como ferramenta pedagógica pode proporcionar uma melhora na eficiência e no trajeto do desenvolvimento da estrutura cognitiva de alunos do Ensino Médio. Pietrocola e Brockinton (2007) fazem referência ao uso de simulações computacionais para ensinar Física moderna, e apoiam o uso coerente de recursos computacionais no ensino de física, em geral:

Pensamos que simplesmente lançar mão de recursos computacionais não garante e nem implica em um ensino de qualidade, através do qual os estudantes realmente possam construir seus conhecimentos. Porém, como qualquer ferramenta, seu uso racional, orientado, tendo seu uso direcionado por suas capacidades e, principalmente, suas limitações pode conduzir a belíssimas obras de arte (PIETROCOLA; BROCKINTON, 2003, p. 4-5).

Fiolhais e Trindade (2003), em seu trabalho sobre o uso de computadores para o ensino da Física, reconhecem as dificuldades que os estudantes têm com as disciplinas da área das ciências exatas e posicionam-se a favor do uso de computadores como medida atual e significativa para tentar mudar a visão dos alunos de Ensino Médio em relação à Física:

A necessidade de diversificar métodos para combater o insucesso escolar, que é particularmente nítido nas ciências exatas, conduziu ao uso crescente e diversificado do computador no ensino da Física. O computador oferece atualmente várias possibilidades para ajudar a resolver os problemas de insucesso das ciências em geral e da Física em particular (FIOLHAIS; TRINDADE, 2003, p. 259).

Diante da evolução tecnológica, dos avanços na programação que possibilitam a criação de animações e simulações computacionais sofisticadas, torna-se necessário discutir quais são as reais possibilidades do uso dessa tecnologia, qual papel ela assume e, não menos importante, quais são os seus limites para a educação.

A simulação computacional proporciona ao aluno um ambiente interativo e construtor do conhecimento, que é muito valioso para o estudo da Física. De acordo com Toniato *et al.* (2006), o computador é uma ferramenta no processo de ensino-aprendizado, e em conjunto com as simulações computacionais na física, assume papel de um laboratório. O computador em si, ou seja, a máquina, responde a comandos executados pelo estudante através das simulações, porém, o que o estudante visualiza com seus comandos é a reação ou simulação de uma situação ou de um fenômeno equacionado pelo modelo representado pela simulação computacional.

Dessa maneira, entende-se o papel do computador no ensino de física, como facilitador do processo de ensino e aprendizagem, uma ferramenta que, aliada à outra (simulação computacional), serve como apoio pedagógico para a diversificação do ensino dessa disciplina. O que esse conjunto de tecnologias faz é proporcionar ao estudante uma visualização dinâmica dos fenômenos representados, além das várias possibilidades citadas por Medeiros e Medeiros (2002), dentre as quais, maior concentração nos conceitos abordados; coleta de grande quantidade de dados em pouco tempo; espaço para geração e teste de hipóteses; engajamento em tarefas interativas; visualização de conceitos abstratos; contribuição para resolução de problemas; interação com modelos científicos e formação de conceitos.

Tavares (2008) destaca que as simulações computacionais podem contribuir para a melhoria do ensino de física ao facilitar a animação de sistemas dinâ-

micos, que, em geral, é feita a partir de diagramas estáticos. Lopes e Feitosa (2009) também citam algumas vantagens do uso do computador como ferramenta de ensino, e comentam que uma simulação bem utilizada pelo professor pode promover o entusiasmo dos alunos para a aula. Para Veit e Teodoro (2002), a modelagem computacional pode retirar da Física a fama de disciplina de difícil entendimento, passando a ter maior aceitação pelos alunos. Em suas palavras,

A introdução de modelagem² no processo ensino/aprendizagem tende a desmitificar esta imagem da Física, possibilitando uma melhor compreensão do seu conteúdo e contribuindo para o desenvolvimento cognitivo em geral, pois modelagem facilita a construção de relações e significados [...]
(VEIT; TEODORO, 2002, p. 3).

Na revisão da literatura sobre o uso dos computadores e das simulações na educação, percebe-se que a grande maioria dos trabalhos publicados é a favor do uso racional dos mesmos, ou seja, as tecnologias devem auxiliar os professores no processo de ensino com perspectiva de melhora no rendimento cognitivo dos alunos. Dessa forma, o computador pode proporcionar várias possibilidades para que uma aprendizagem significativa ocorra, mudando o contexto atual e promovendo uma inovação do método didático de ministrar aulas de física.

Entre tantas possibilidades e facilidades que as simulações computacionais podem proporcionar ao professor e ao estudante, é sensato mencionar algumas situações que podem desfavorecer o seu uso no ensino da Física.

Uma situação que poderia mascarar a objetividade da simulação computacional seria tratá-la como se esta incorporasse todas as propriedades do mundo real. As simulações são projetadas em modelos simplificados, deixando de considerar aspectos de grande influência no ato da experiência real. Logo, a simulação computacional pode ser usada pelo professor como ferramenta de ensino, mas deve-se assegurar que os aprendizes saibam que a representação virtual de um fenômeno não supre todas as propriedades de uma experiência no mundo real (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002). Essa orientação é dada por Medeiros e Medeiros (2002), quando afirmam que:

² Para Veit e Teodoro (2002, p.3), modelagem tem o “sentido de processo de representação. É uma representação simplificada de um sistema, mantendo apenas as características essenciais”.

Uma animação não é, jamais, uma cópia fiel do real. Toda animação, toda simulação está baseada em uma modelagem do real. Se essa modelagem não estiver clara para professor e educando, se os limites de validade do modelo não forem tornados explícitos, os danos potenciais que podem ser causados por tais simulações são enormes (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002, p. 81).

Cabe ao professor orientar o estudante a construir, mesmo de forma simplificada, o modelo físico que ilustra um fenômeno, o que permitirá ao aluno compreender o raciocínio e as relações que devem ser feitos para compreendê-lo (FIO-LHAIS; TRINDADE, 2003).

II.3 Ensino de Física moderna

A mudança da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) alterou as características do Ensino Médio. Assim, este deixa de ser etapa preparatória para o Ensino Superior, passando a ser a etapa final da formação básica. Como consequência dessa mudança, foram inseridos outros princípios e objetivos para a formação básica do estudante. Nessa fase, portanto, o estudante deve desenvolver competências e habilidades para compreender o mundo, a sociedade e aprender a aprender.

Os PCN, e posteriormente seu complemento, os PCN+, dão forma à estrutura de ensino e aos aspectos realmente importantes na formação básica. Assim, os PCN incluíram na estrutura de conteúdos a serem abordados pela Física, a física moderna, responsável por grande parte das tecnologias atuais. Entre os tópicos abordados em física moderna estão a equivalência massa e energia, a teoria da relatividade especial, o efeito fotoelétrico, o corpo negro e o princípio da incerteza.

Como a física moderna demanda uma nova forma de pensar sobre alguns fenômenos, alguns trabalhos discutem como deve ocorrer a inserção desse conteúdo tão importante no Ensino Médio, e buscam a melhor maneira de relacioná-lo com o mundo da tecnologia.

Pietrocola e Brockinton (2003) discutem a importância de inserir a Física moderna e contemporânea no Ensino Médio, e mencionam a existência de poucos trabalhos que investigam a atualização do currículo escolar. Os autores apontam o fato de as escolas não possuírem laboratórios para reproduzir fenômenos explicados pela física moderna, e ressaltam, ainda, que uma possível solução para esse problema seria a utilização de recursos computacionais, como simulações, animações e ambientes de hipermídia disponíveis em *sites* e em laboratórios virtuais.

Sales e Vasconcelos (2008) e Levin (2007) defendem uma metodologia que aborde uma visão histórica da física moderna, a utilização de recursos tecnológicos como simulações e animações, e a elaboração de experiências de fácil construção.

Valadares e Moreira (1998) abordam tópicos de física moderna, como o Efeito fotoelétrico e a radiação do corpo negro, utilizando experimentos de fácil construção. Neste trabalho, os autores relacionam tecnologias atuais cujo funcionamento tem como base esses conteúdos, citando os postes de luz e os leitores de código de barras que funcionam através do efeito fotoelétrico.

Machado e Nardi (2006) inserem conceitos de física moderna no Ensino Médio por meio do suporte da hiperídia. Neste trabalho, os autores, fundamentados na Teoria da aprendizagem de Ausubel, buscam identificar se

(...) os aspectos históricos, filosóficos, tecnológicos, sociais e ambientais da ciência, objetivando o ensino de física moderna, poderiam contribuir para estudantes do Ensino Médio construir conceitos científicos e noções sobre a natureza da ciência, incluindo concepções sobre as inter-relações, desta com a tecnologia, a sociedade e o ambiente (MACHADO; NARDI, 2006, p. 474).

O sistema de hiperídia utilizado pelos autores busca a inserção da teoria da relatividade especial e dos fenômenos nucleares que possibilitam estabelecer uma relação entre massa e energia. Verificou-se que a aplicação da proposta didática proporcionou bons resultados, contribuindo para motivar os estudantes, aumentar a atenção sobre o conteúdo, facilitar a visualização e interpretação dos fenômenos (MACHADO, NARDI, 2006).

No trabalho de Sales e Vasconcelos (2008), aplicado em alunos de Ensino Médio, usa-se um objeto de aprendizagem (OA), recurso digital que dá suporte à aprendizagem, para estabelecer relação entre grandezas do Efeito fotoelétrico e no cálculo da constante de Planck (h). Ao avaliar a proposta, os autores concluem que a metodologia de modelagem exploratória promove mudanças conceituais nos alunos, contribuindo para a aprendizagem significativa do fenômeno (SALES; VASCONCELOS, 2008).

Garcia e Dickman (2005) construíram uma simulação interativa sobre o Efeito fotoelétrico, que foi testada em alunos de Engenharia. Após a utilização dessa ferramenta, os alunos apresentaram uma disposição maior para participar de atividades extraclasse, além de um entendimento melhor e mais detalhado do fenômeno.

Logo, observa-se que as discussões sobre a inserção da física moderna no Ensino Médio são a favor de mudanças na estrutura de ensino, justificadas, também, pelo avanço tecnológico e novas propostas para a formação do cidadão. Entende-se, portanto, que a utilização de simulações computacionais para ensinar física é apontada como uma experiência positiva em vários trabalhos na área, melhorando o processo de aprendizagem, e proporcionando, em muitos casos, um ambiente propício para a aprendizagem significativa.

III. Metodologia

Nesta seção, apresenta-se a sequência de atividades proposta, organizada de acordo com a teoria da aprendizagem significativa, utilizando simulações computacionais para o ensino do Efeito fotoelétrico. Discute-se a metodologia de elaboração de cada etapa do produto, levantando seus objetivos e as relações com a teoria a que se propõe.

III.1 Escolha do conteúdo

Baseando-se no avanço da ciência e das teorias que a compõe, e buscando a discussão de um conteúdo proposto no currículo do Ensino Médio e também pelos Parâmetros Curriculares Nacionais, optou-se em escolher como assunto o efeito fotoelétrico, fenômeno explicado pela física moderna e que é a base de funcionamento de vários equipamentos presentes no cotidiano.

O efeito fotoelétrico, explicado por Albert Einstein em 1905, e considerado um dos fenômenos cujo entendimento marca o início da física quântica, consiste na ejeção de elétrons de uma placa metálica, quando a radiação incide sobre esta. Einstein supôs que a radiação é constituída por fótons, cuja energia é diretamente proporcional à frequência da radiação. Assim, um elétron, para ser ejetado, absorve a energia de um fóton, que é usada para este se liberar da estrutura do metal e adquirir energia de movimento. Experimentos mostram que existe uma frequência mínima, abaixo da qual elétrons não são ejetados. Como cada metal possui estrutura atômica diferente, a frequência limite é diferente para cada metal.

Atualmente, vários dispositivos e equipamentos têm seu funcionamento baseado no efeito fotoelétrico. Um exemplo é o dispositivo que controla a abertura de porta em elevadores. Esse dispositivo é acionado quando a presença de um corpo interrompe o feixe de luz que é emitido de um lado da porta do elevador para o outro. Esse feixe de luz incide sobre um metal provocando o efeito fotoelétrico, ou seja, gerando uma corrente elétrica que aciona um sistema que fecha a porta.

Quando esse feixe é interrompido, cessando o Efeito fotoelétrico e consequentemente a corrente elétrica, um segundo sistema é acionado, possibilitando a abertura da porta do elevador.

O exemplo acima ilustra uma situação na qual, de acordo com os PCN+, é necessário que o aprendiz compreenda de forma conceitual os fenômenos tecnológicos atuais para ser capaz de identificar, interpretar e lidar com as situações do cotidiano, como “reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social” (BRASIL, 2002, p. 150). Mais especificamente, ainda de acordo com os PCN+, o aluno deve “Compreender os processos de interação das radiações com meios materiais para explicar os fenômenos envolvidos em, por exemplo, fotocélulas, emissão e transmissão de luz, telas de monitores, radiografias” (BRASIL, 2002, p. 29).

Pensando nas grandes mudanças da sociedade, os PCN proporcionam uma reflexão sobre o currículo do Ensino Médio. Um novo currículo deve proporcionar à vida do aprendiz três situações: a vida em sociedade, a atividade produtiva e a experiência subjetiva (BRASIL, 2002). Entre esses momentos, entende-se que a interpretação e o conhecimento sobre situações cotidianas devem ser compreendidos e abordados no nível médio de educação. Dessa maneira, o estudo de fenômenos ligados à radiação possibilita o aprendiz a adquirir competências e identificar, por exemplo, riscos e benefícios que decorrem da utilização de diferentes tipos de radiação, possibilitando torná-lo um agente consciente do mundo atual.

III.2 Elaboração da sequência de atividades

TAVARES (2008), de acordo com Teoria da aprendizagem significativa, menciona três condições necessárias para que a aprendizagem seja efetiva:

Para que aconteça aprendizagem significativa em relação a um determinado assunto são necessárias três condições: o material instrucional com conteúdo estruturado de maneira lógica; a existência na estrutura cognitiva do aprendiz de conhecimento organizado e relacionável com o novo conteúdo; e a vontade e disposição do aprendiz de relacionar o novo conhecimento com aquele já existente (TAVARES, 2008, p. 101).

Este trabalho concentra-se na elaboração de um material instrucional com as características citadas por Tavares (2008), na forma de textos e vídeos, com a função de promover ou realçar subsunçores existentes na estrutura cognitiva dos aprendizes. As outras duas condições já pressupõem que se saiba qual o grau de

instrução ou se conheçam os conceitos prévios presentes na estrutura cognitiva dos alunos, ou seja, deve-se garantir a existência de subsunçores que irão se relacionar com os novos conceitos, além da pré-disposição do aluno para aprender o novo conteúdo.

No presente trabalho, foi elaborado um produto educacional que envolve o uso de simulações computacionais por meio de um roteiro de aula, para alunos do terceiro ano do Ensino Médio, visando à assimilação de conceitos da física moderna, mais especificamente do efeito fotoelétrico com embasamento na teoria da aprendizagem significativa. Acredita-se que, desse modo, o aluno poderá agir de forma ativa, adquirindo novos conceitos, assimilando-os em sua estrutura cognitiva de forma clara e substancial.

Na Fig. 1 é apresentado um esquema da ordem de estruturação pressuposta neste trabalho, considerando todas as etapas descritas por Ausubel para facilitar a aprendizagem significativa. O esquema é um resumo das etapas do plano de aula a ser seguido, representadas pelos quadros azuis. Os quadros verdes representam os pressupostos, os objetivos e os materiais usados em cada estágio.



Fig. 1 – Quadro explicativo da estrutura de pesquisa. Fonte: Arquivo pessoal

Nas subseções que se seguem, é detalhado o processo de elaboração de cada etapa da seqüência de atividade.

III.2.1 Pré-teste

Na tentativa de atender à essência da teoria de aprendizagem de Ausubel, ou seja, de conhecer a estrutura cognitiva e os conceitos prévios dos alunos, elaborou-se um pré-teste (Apêndice I.A) sobre os conceitos circundantes ao Efeito fotoelétrico, que foi aplicado antes de o aluno ter qualquer contato com o novo mate-

rial. Além de identificar partes da estrutura cognitiva do aprendiz, também foi identificada a disposição deste para relacionar o novo material, de maneira substantiva e não-arbitrária, à sua estrutura cognitiva.

As três primeiras questões abordam tópicos importantes para a compreensão do efeito fotoelétrico, a saber: estrutura do modelo atômico; propriedades dos fenômenos ondulatórios; e transferência de energia em colisões.

A primeira questão do pré-teste tem o objetivo de verificar se o aluno possui conceitos relacionados à estrutura da matéria. Buscam-se subsunçores sobre a composição da matéria, o modelo de um átomo, e principalmente a consciência da existência de partículas subatômicas, como os elétrons. A segunda questão busca identificar no aluno conceitos relacionados aos fenômenos ondulatórios. A necessidade desses conceitos será fundamental para o aluno entender, por exemplo, como a energia de um fóton depende da frequência da radiação. A terceira questão do pré-teste busca encontrar no aluno conceitos estruturados sobre conservação e transferência de energia. Entende-se que esses conceitos e princípios serão necessários para a aprendizagem significativa do fenômeno, quando for discutida a equação do efeito fotoelétrico, que relaciona a energia cinética do elétron com a energia do fóton e a função trabalho do material.

Caso o aluno tenha esses conceitos formados em sua estrutura cognitiva, podem-se chamá-los de subsunçores, pois são conceitos prévios, necessários para o entendimento do efeito fotoelétrico. No caso da ausência desses subsunçores, o material instrucional deverá se encarregar de fornecer a fundamentação teórica dos conceitos necessários.

Na quarta e na quinta questão, busca-se identificar nos alunos a intenção de aprender. A quarta pergunta basicamente tem por objetivo conhecer a forma de estudo adotada pelo aluno em disciplinas como Física e Química, que facilmente podem ser interpretadas como sequências de cálculos matemáticos, e a quinta questão tenta identificar no aprendiz um raciocínio frente a situações inusitadas, observando se o aluno possui uma postura de tentar relacionar seus conhecimentos com a nova situação, mostrando a intenção de aprender significativamente o novo conceito.

III.2.2 Organizadores Prévios

Após a aplicação do pré-teste, em uma segunda etapa, sugere-se a apresentação dos organizadores prévios. Esses organizadores têm a principal função de realçar os subsunçores existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, e de fazê-lo lembrar de fatos presentes no cotidiano que justifiquem aprender o assunto a ser

estudado. A parte que cabe ao organizador prévio deve ter conceitos amplos e inclusivos para atender à variedade de estruturas cognitivas identificadas no pré-teste.

Com esse pensamento, sugere-se a apresentação, em um primeiro momento, de dois pequenos vídeos³ que mostram a parte histórica do fenômeno do Efeito fotoelétrico, em que Albert Einstein e Max Planck são os principais cientistas responsáveis pela teoria e fundamentação da natureza dual da luz e como ocorre o efeito fotoelétrico. Os vídeos tratam, também, das dificuldades que os cientistas encontraram para explicar o fenômeno a partir da física clássica.

No vídeo 1, são citados aparelhos e tecnologias atuais que funcionam através do efeito fotoelétrico, como o sensor de presença que é instalado nas portas dos elevadores, ou dos sensores fotoelétricos instalados nos postes de luz. De acordo com a teoria de aprendizagem significativa, pressupõe-se que essas informações possam ser significativas para a assimilação dos conceitos mais específicos e menos inclusivos que ainda serão apresentados. O vídeo tem duração de vinte e três minutos e faz parte de uma série de episódios gravados sobre o tema *ciência*, exibido na programação da Rede Globo de Televisão.

O vídeo 2, com nove minutos de duração, explica por meio de animações como ocorre o efeito fotoelétrico e o comportamento dual da luz, partindo das discordâncias existentes no início do século XX sobre a natureza da luz.

Obedecendo à ordem de inclusividade de conceitos, após a exibição comentada dos vídeos, o aprendiz receberá um texto adaptado do livro de Física de Sampaio e Calçada (2005). Esse livro foi aprovado e distribuído nas escolas estaduais pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), em 2006, e contém um texto que trata o efeito fotoelétrico de forma conceitual e contextualizada, consistente com os vídeos exibidos.

Acredita-se que a exibição dos vídeos, a leitura do texto e a discussão do fenômeno com os aprendizes, proporcionarão aos alunos subsunçores importantes para entender e utilizar a simulação computacional a ser apresentada, juntamente com o roteiro de atividades.

³ Os *links* para acessar os vídeos utilizados na estrutura do trabalho são:
Vídeo 1 – <<http://www.fisica.net/videos/Cientistas/>> e
Vídeo 2 – <<http://www.youtube.com/watch?v=CEuMmMxD-vI>>.

III.2.3 Uso de simulação computacional com um roteiro de atividades

O próximo passo é a utilização da simulação computacional, com o objetivo de tornar o aprendiz parte do experimento e do Efeito fotoelétrico, através da interatividade com as variáveis que permeiam o fenômeno em estudo.

Foram seguidos alguns critérios para selecionar simulações, buscando proporcionar ao estudante uma simulação perfeita, ou que contenha a menor quantidade de erros possível, além de maior conforto e facilidade de utilização. Para tal, optou-se por utilizar os critérios selecionados por Macêdo (2009), padronizando a escolha da simulação. Os critérios adotados foram: **Facilidade de utilização**, escolhendo-se uma simulação cujo funcionamento seja de fácil entendimento e compreensão pelo usuário; **Grau de interatividade**, escolhendo-se simulações que apresentam opções de alteração de variáveis contextualizadas com os conceitos tratados nos organizadores prévios, como a frequência ou comprimento de onda, intensidade da luz e função trabalho; e **Confiabilidade de Origem**, parte das simulações encontradas foi produzida por universidades que mantêm um laboratório virtual de física.

Optou-se por trabalhar, de acordo com os critérios adotados, com a simulação do Efeito fotoelétrico⁴ elaborada pelo projeto PhET da Universidade do Colorado (EUA), que oferece gratuitamente simulações computacionais interativas de fenômenos da Física e de outras áreas do conhecimento.

A simulação foi testada de acordo com as leis básicas aceitas pela sociedade científica para evitar a ilustração de conceitos errôneos para os alunos. Assim, todos os professores que necessitarem dessa ferramenta terão, em sua aula, uma simulação testada e correta.

III.2.3.1 Simulação escolhida

A Fig. 2 ilustra a simulação computacional utilizada, na qual um feixe de luz, de comprimento de onda igual a 367 nm, é irradiado sobre uma placa de sódio, e elétrons são ejetados deste metal. É possível visualizar o feixe de luz em forma de pacotes de energia, os fótons, transferindo sua energia para um elétron que irá se desprender do metal irradiado.

⁴ O *link* para acessar a simulação computacional do efeito fotoelétrico é <<http://www.ensinolivre.pt/?q=node/184>>. Acesso em: 01 nov. 2010.

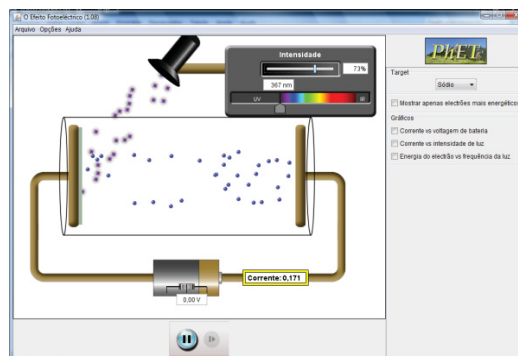


Fig. 2 – Ilustração da luz irradiada sobre a placa de metal e os elétrons sendo ejetados na simulação computacional do Efeito fotoelétrico.

Fonte: <http://www.ensinolivre.pt/?q=node/184>

Na ilustração, a montagem consiste de um circuito elétrico acoplado a um tubo de vácuo contendo as placas de metal. A luz proveniente de uma fonte, representada por uma lanterna, incide sobre o material. O esquema permite que o usuário veja e manipule a intensidade e o comprimento de onda da luz emitida. O espectro eletromagnético mostrado junto ao cursor de ajuste do comprimento de onda contextualiza o significado dessa grandeza. No circuito, é possível ver a intensidade da corrente elétrica gerada, bem como manipular o valor da diferença de potencial entre as placas. No quadro ao lado, há a possibilidade de traçar gráficos entre as variáveis que descrevem o fenômeno.

III.2.3.2 Elaboração do roteiro de atividades

Juntamente com a simulação, o aluno recebe um roteiro de atividades (A-pêndice I.B), cuja função é orientar os aprendizes levando-os à interpretação e estruturação do fenômeno. O roteiro foi elaborado para auxiliar o aluno a perceber gradualmente a importância e o funcionamento da simulação, a influência que cada variável tem no fenômeno e quais são as suas restrições, sempre obedecendo à ordem de inclusividade, partindo de conceitos mais gerais para os mais específicos.

Pressupõe-se que a reprodução do fenômeno pela simulação, após as manipulações de variáveis sugeridas, levará o estudante a relacionar o novo material aos subsunçores já estabelecidos. Por exemplo, quando o aluno alterar o comprimento de onda da luz incidente, perceberá que, para determinados valores, nenhum elétron será retirado da chapa de metal. Com essa possibilidade, pressupõe-se que

o aprendiz consiga estabelecer a relação de que o fenômeno ocorrerá apenas em determinadas situações e que o comprimento de onda da luz incidente é uma variável a ser considerada para a ocorrência do efeito fotoelétrico. Em outras situações, os alunos poderão alterar o tipo de metal ou a intensidade da luz incidente e investigar a influência desses parâmetros no fenômeno.

A primeira parte do roteiro de atividades consiste na localização de variáveis e como alterá-las, como por exemplo, localizar onde são alterados a intensidade ou o comprimento de onda da radiação emitida pela fonte de luz. Em seguida, o aluno deverá usar o roteiro em sua sequência, trabalhando as atividades que o levam à interpretação do fenômeno por meio da simulação computacional.

O roteiro de estudos foi elaborado com uma sequência de atividades que seja semelhante à sequência de conceitos existentes no fenômeno, possibilitando o envolvimento com o novo material e obedecendo à hierarquia de inclusividade de conceitos para o estudante. Quanto à idiosincrasia da estrutura cognitiva dos alunos, buscou-se elaborar um roteiro que tenha um grau de inclusividade alto, relacionando os conceitos mais gerais e substanciais com objetivo de atender a todos.

III.2.4 Organizador explicativo

Em outro momento é apresentado ao aprendiz o organizador explicativo ou mapa conceitual⁵, cujo objetivo é enfatizar as relações hierárquicas entre os conceitos que estão sendo ensinados em uma aula sobre um dado fenômeno. (MOREIRA; MASINI, 2001)

O organizador explicativo deve ser discutido com os aprendizes, pois cada indivíduo possui uma estrutura cognitiva específica, levando à construção de relações entre conceitos novos e prévios de forma diferente, tornando necessária a explicação de quais relações foram ilustradas.

III.2.5 Teste final

Ao final das atividades, aplica-se um teste de avaliação da assimilação do conteúdo, explorando as relações entre as variáveis, diferentemente da forma em que elas foram apresentadas, evitando-se cópias de exercícios de vestibular ou de livros. As questões são elaboradas levando-se em consideração as tecnologias que fazem uso do efeito fotoelétrico, do material que foi apresentado na sequência de

⁵ O mapa conceitual encontra-se disponível no link <<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/20EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm>>. Acesso em: 01 nov. 2010.

atividades, e, principalmente, de questões inusitadas que, de acordo com Moreira e Masini (2001), é a maneira correta de identificar a ocorrência da aprendizagem significativa.

As questões propostas no teste final (Apêndice I.C) têm o objetivo de identificar se o aprendiz consegue estabelecer relações entre os conceitos prévios e os novos conceitos apresentados, se algum subsunçor foi modificado, alterando sua estrutura cognitiva. Para este trabalho, optou-se por aplicar questões contextualizadas e não visualizadas pelos alunos, bem como questões de forma sequenciada, de maneira que uma não possa ser respondida sem o entendimento da anterior.

IV. Aplicação do produto e análise dos resultados

A sequência de atividades foi aplicada a alunos do Ensino Médio do Instituto Regina Pacis – IRP, da cidade de Sete Lagoas (MG). Entre os alunos das turmas de terceiro ano, elaborou-se uma lista daqueles que estariam interessados em participar, e através desta, foram sorteados dez alunos. Anteriormente ao sorteio, os sessenta e seis alunos inscritos estavam cientes de que o trabalho extraclasse não geraria nenhum tipo de conforto quanto a notas ou a estrutura de avaliação e seria aplicado em horários diferentes daqueles já determinados pelo Instituto.

Durante e após o processo de aplicação do trabalho, os alunos apresentaram um comportamento não alheio às atividades, realizando as tarefas que lhes foram pedidas e participando das discussões estabelecidas, facilitando o processo de aquisição de conhecimento. Assim, ao final das etapas, procurou-se analisar os dados coletados no pré-teste e teste final, criando categorias de classificação, agrupando os resultados e buscando apontar aspectos positivos e negativos do processo de aplicação.

A opção de não motivar os alunos através de pontos extras decorre da tentativa de identificar no aprendiz uma pré-disposição para aprender, uma vontade de buscar o conhecimento, sem tirar proveito das atividades apenas para se sair bem no último ano do Ensino Médio. Dessa maneira, a participação dos alunos foi voluntária, e o interesse ou desinteresse destes reflete os aspectos positivos ou negativos da proposta.

Para efeito de veracidade da pesquisa, a aplicação dos organizadores prévios, o uso das simulações computacionais e a explanação do organizador explicativo foram gravados em áudio e vídeo. As demais atividades não foram gravadas, pois, têm participação exclusiva dos alunos registrada na forma escrita, ao resolver as atividades propostas no pré-teste e avaliação final.

Todas as atividades descritas foram desenvolvidas no laboratório de informática do Instituto Regina Pacis, exceto a aplicação dos organizadores prévios, que ocorreu no auditório do instituto pela necessidade de um projetor de multimídia.

IV.1 População pesquisada

Os dez alunos que participaram das atividades, com idade entre 17 e 18 anos, terão suas identidades preservadas, assim, foram identificados pelos números de 1 a 10.

Na tentativa de caracterizar o perfil do grupo, com base em observações feitas em sala de aula, considerou-se que o grupo de alunos sorteado é heterogêneo, de acordo com as características que se seguem. No grupo, há alunos excelentes, comprometidos, interessados e conscientes dos objetivos e das necessidades de um estudante responsável. Em contrapartida, há alunos que são o oposto do descrito acima, mostrando completo desinteresse pelos estudos, e outros que, apesar dos esforços, encontram muita dificuldade nas disciplinas da área de ciências exatas.

Para ilustrar melhor a situação, no quadro 1 são listadas as notas dos alunos sorteados, referentes à disciplina Física do primeiro ao terceiro ano do Ensino Médio.

Quadro 1 – Aproveitamento em Física dos alunos voluntários do primeiro ao terceiro ano do Ensino Médio.

Alunos	1º ano	2º ano	3º ano	Média
1	70%	74%	68%	71%
2	74%	79%	70%	74%
3	60%	69%	60%	63%
4	70%	66%	63%	66%
5	62%	72%	61%	65%
6	61%	76%	65%	67%
7	79%	72%	66%	72%
8	61%	61%	60%	60%
9	88%	83%	79%	83%
10	79%	74%	69%	74%

Fonte: Histórico dos alunos sorteados.

O quadro 1 indica que o grupo de alunos que participou das atividades não é constituído apenas por alunos que gostam da Física, nem somente aqueles que vão bem ou mal na disciplina. Há alunos como o Aluno 3 e o Aluno 8 que têm

notas baixas, porém, mostram uma pré-disposição em querer aprender; esse fato se confirma quando esses alunos se colocam como voluntários para as atividades propostas. A maioria dos alunos tem média entre 65 e 75%, e o Aluno 9 é o único que apresenta um rendimento acima de 80%.

IV.2 Metodologia de aplicação do trabalho

Em aproximadamente cinco horas foi desenvolvida, com os dez alunos, uma estrutura de atividades embasadas na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, de acordo com o produto elaborado.

Antes de discutir os dados coletados nas avaliações, considera-se que o entendimento da atividade é crucial para a compreensão do trabalho e das observações a serem feitas na discussão dos resultados. Logo, no quadro 2, segue o cronograma das atividades desenvolvidas com os alunos em agosto de 2010.

Quadro 2 – Cronograma de atividade para alunos voluntários do Ensino Médio do Instituto Regina Pacis.

Data	Horário	Gravação	Atividade/Local	Duração
17/08	16:00 às 16:30	Não	Pré-teste/ Sala de computação	30 min.
19/08	16:00 às 17:00	Sim	Organizadores Prévios / Auditório	60 min.
20/08	14:40 às 15:50	Sim	Simulação computacional / Sala de computação	70 min.
27/08	14:40 às 15:50	Sim	Organizadores explicativos / Sala de Informática	70 min.
31/08	15:50 às 17:00	Não	Avaliação Final / Sala de Informática	70 min.

Fonte: Estrutura proposta de aplicação das atividades.

A primeira observação é sobre a duração das atividades. Inicialmente, foram propostos noventa minutos para a aplicação da simulação computacional, e sessenta minutos para a aplicação dos organizadores explicativos. No entanto, o tempo de duração dessas atividades foi inferior ao tempo programado, resultando em aproximadamente quatro horas e vinte minutos de atividades. Os alunos conseguiram realizar as atividades mencionadas em tempo menor do que o previsto. Considera-se que o tempo de execução foi adequado à quantidade de atividades propostas.

Durante a aplicação das atividades, três alunos deixaram de participar de alguma etapa. Nessa condição, em determinados casos, optou-se por não excluir

esse aluno da análise dos dados, e sim compará-lo com outros alunos que participaram em tempo integral de todas as atividades propostas. Assim, o Aluno 5 deixou de realizar a avaliação final, logo, ele foi excluído da análise final. Os Alunos 1 e 7 não participaram da apresentação dos organizadores prévios e organizadores explicativos, respectivamente. Dessa maneira, esses dados podem ser utilizados para identificar a importância dessas etapas na assimilação do novo conteúdo.

IV.3 Análise do Pré-teste

IV.3.1 Análise de conteúdo

Para a análise dos questionários do pré-teste, serão definidas classes para grupos de resposta com determinada afinidade, diferenciando aqueles que têm conhecimento prévio bem ou mal definido, de acordo com a teoria de Ausubel. A primeira classe é definida como **Subsunçor Presente (SP)** e agrupa alunos que detêm conhecimento fundamental para o entendimento do efeito fotoelétrico adquirido em outras situações. A segunda classe, denominada de **Subsunçor Ausente (SA)**, agrupa os aprendizes que não responderam corretamente à pergunta, ou seja, não relacionaram, e nem mesmo mencionaram os conceitos implícitos relacionados ao fenômeno em questão, ou aqueles que simplesmente não responderam à pergunta. A terceira e última classe, denominada de **Subsunçor Mal Definido (SMD)**, agrupa aprendizes cuja resposta utiliza conceitos pertinentes à situação, porém, esses conceitos não são correlacionados corretamente entre si ou com a pergunta. Nesta classe se agrupam aprendizes que passaram pelos conceitos necessários e não aprenderam efetivamente o conteúdo, deixando, assim, conceitos mal formados, assimilados de forma arbitrária e literal.

Na análise da primeira questão, que tem como objetivo identificar conceitos relacionados à estrutura da formação da matéria, oito alunos responderam que a matéria é constituída por átomos, porém apenas três mencionaram elétrons, prótons e nêutrons, sendo classificados como SP, já os outros cinco foram agrupados como SMD. Para os dois alunos restantes, a menor porção de matéria seria formada por partículas, sem especificar quais, classificando-os em SMD. É interessante notar que ninguém se referiu aos *quarks*. Nenhum aluno foi classificado como SA. A resposta do Aluno 9 é um exemplo de resposta coerente, que supera as avaliações para a classe SP: *“Em pó posso dividi-los ainda mais até virarem apenas átomos com ligações, depois em átomos; posso retirar os elétrons da eletrosfera, até dividir mais ainda e chegar nos prótons e nêutrons.”*

Na segunda questão, que tem como objetivo identificar as propriedades de uma onda, todas as alternativas propostas na pergunta têm ligação com a estrutura

de uma onda. Analisando as respostas, observa-se que apenas o Aluno 6, em sua justificativa, relacionou transporte de energia à onda. Esse ponto é importante, pois a luz, sendo uma onda eletromagnética transporta energia, fato essencial para a compreensão do efeito fotoelétrico. Apenas esse aluno marcou os exemplos mar e luz, justificando a resposta corretamente: “*Onda é a forma de propagação de alguma forma de energia. O mar tem em suas ondas a propagação da energia proveniente às vezes de ventos, ou placas tectônicas em movimento, por exemplo. (Daí a origem do Tsunami)*”.

Apenas um aluno menciona *aceleração* na sua justificativa, embora não a tenha marcado nas opções. A maioria dos alunos tem uma visão incompleta dos fenômenos ondulatórios, porém, todos os alunos relacionam comprimento de onda à estrutura de uma onda, variável essencial para o estudo do efeito fotoelétrico. Seis alunos mostraram em suas justificativas que não possuem um conceito cientificamente aceito sobre as grandezas escolhidas, portanto serão classificados como SMD. Exemplo dessa categoria é o Aluno 4, que marcou apenas a opção *comprimento de onda*, porém, faz uma associação de conceitos mal definidos na justificativa: “*O comprimento da onda, pois assim ela se propaga, e pode ser ouvida a alguns metros.*” Três alunos justificaram corretamente as escolhas feitas e foram classificados como SP, enquanto que um aluno não justificou sua escolha, assim sendo classificado como SA.

Na terceira questão, que tem o objetivo de identificar conceitos relacionados à conservação e transferência de energia, 80% dos alunos classificados como SP responderam que haverá transferência de energia de uma bola à outra. Dentre estes, dois mencionaram a conservação de energia. A resposta do Aluno 2 ilustra um exemplo de resposta SP: “*Toda a energia que o indivíduo, ao dar a tacada forte, passou para a bola branca, se transfere para a outra bola no momento do choque.*”

Um aluno disse que haveria “*transferência de trabalho*” e outro associou a situação como um exemplo de “*ação e reação*”. Apesar de cientificamente não se dizer que houve uma transferência de trabalho, pode-se classificar essa resposta como SMD, pois pode-se inferir que o aprendiz considera trabalho como o resultado de uma transformação de energia. Já o aluno que usa a lei de ação e reação para justificar a transferência de energia será considerado como SA. Este aluno identificou nessa lei uma questão vetorial, fugindo do objetivo da questão.

No quadro 3, pode-se observar que, na questão número três, a maioria dos alunos possuem os subsunçores necessários para o estudo do Efeito fotoelétrico. Entretanto, nas questões número um e dois, a classificação SMD supera as demais categorias. Os organizadores prévios foram elaborados de maneira a atender à

necessidade de um material, com o objetivo de trabalhar os conceitos que se apresentam mal definidos ou ausentes.

Quadro 3 – Síntese dos resultados das três primeiras questões do pré-teste.

Questão n° 1		Questão n°2		Questão n° 3	
N° de Alunos	Classificação	N° de Alunos	Classificação	N° de Alunos	Classificação
3	SP	3	SP	8	SP
7	SMD	6	SMD	1	SMD
0	SA	1	SA	1	SA

Fonte: Dados da pesquisa.

IV.3.2 Características da aprendizagem

As questões quatro e cinco do pré-teste (Apêndice I.A) têm o objetivo de identificar as características de um comportamento que leva a uma aprendizagem mecânica ou a uma aprendizagem significativa. Para tal análise, procurou-se identificar, nas respostas dos alunos, uma tentativa de aprender por vontade própria, assim como realizar ligações entre subsunçores com novos conceitos. Assim, os aprendizes são classificados em duas classes: **Características de Aprendizagem Mecânica (AM)** e **Características de Aprendizagem Significativa (AS)**.

Na resposta da quarta questão, que busca identificar a forma que o aprendiz estuda, quatro alunos disseram que estudam e resolvem exercícios; quatro alunos apenas resolvem exercícios; um aluno faz resumos e memoriza a matéria, e um aluno disse que não estuda até o terceiro bimestre. Dois alunos mencionam que também prestam atenção nas aulas, e uma resposta foi bem interessante: “*Mistura de exercícios e teoria, e análise da situação.*”, mostrando que este aluno tenta interpretar as situações discutidas. O fato de o aluno tentar memorizar um exercício é uma característica da aprendizagem mecânica, e o aluno que estuda após o terceiro bimestre não demonstra uma vontade de aprender; realiza suas atividades com a simples intenção de passar de ano, o que também caracteriza uma aprendizagem mecânica. Logo, essas duas situações serão classificadas como AM, juntamente com os quatro alunos que só resolvem exercícios. Os outros quatro alunos que estudam e resolvem exercícios têm características de uma aprendizagem significativa, sendo classificados como AS. A resolução de exercício pode ter dois aspectos nesse contexto: o primeiro, quando o aluno procura resolver esses exercícios como forma de treinamento, porque sabe que a avaliação será de aparência semelhante ao exercício treinado; e o segundo, como verificação de conhecimento, neste contexto

o aluno procura usar o exercício para testar seus conhecimentos, fazendo-os sem o intuito de memorizá-lo.

Na quinta questão, que busca características de respostas significativas ou mecânicas a problemas inusitados, cinco alunos escolheram o item (d) “*Tentaria escrever uma resposta coerente com algum fenômeno ou situação que já vivenci-ei*”; dois escolheram o item (e) “*Buscaria responder usando as questões que já estudei em sala de aula, da mesma forma que o professor passou no quadro*”, e um aluno escolheu o item (c) “*Escreveria sobre o primeiro raciocínio que tive, sem pensar muito*”. Apenas dois alunos justificaram a escolha feita, um deles disse que escreveria sobre o que ele achava que fosse a resposta e o outro disse que tentaria juntar vários conhecimentos para encontrar uma resposta coerente. Essa resposta demonstra uma intenção em relacionar conhecimentos prévios, até de outras disciplinas, para tentar chegar a uma conclusão correta, sendo caracterizado como AS.

A resposta dos alunos que marcaram as opções (c) e (e), e o aluno que escreveria sobre o que achava que fosse a resposta, não caracteriza uma vontade em relacionar um exercício novo com conhecimentos já adquiridos, sendo classificados como AM. Os alunos que marcaram a opção (d), embora pareça mecanizada, o ato de refletir em buscas de experiências passadas na escola caracteriza uma vontade em relacionar um novo problema com alguma situação que presenciou, sendo classificados como AS.

Quadro 4 – Resumo das questões quatro e cinco do pré-teste.

Questão quatro		Questão cinco	
Alunos AS	Alunos AM	Alunos AS	Alunos AM
1; 2; 6; 7	3; 4; 5; 8; 9; 10	2; 6; 7; 9; 10	1; 3; 4; 5; 8

Fonte: Dados da pesquisa

Após a análise das duas últimas questões do pré-teste, percebe-se que os alunos categorizados como AS, na questão quatro, não são os mesmos categorizados como AS na questão de número cinco. No quadro 4, vê-se que os alunos que apresentaram uma aprendizagem mecânica em ambas as questões, Alunos 3, 4, 5 e 8, são os alunos com o menor aproveitamento em Física, abaixo de 66%, mostrado no quadro 1. Em particular, o Aluno 9, que tem a maior média em Física, de acordo com o quadro 4, apresenta características de uma aprendizagem mecânica e respostas semelhantes às de uma aprendizagem significativa, combinação que produz bons resultados nas provas.

IV.4 Análise da avaliação final

As nove questões da avaliação final (Apêndice I.C) buscam identificar a aprendizagem dos conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico após a participação nas atividades. Apenas um aluno não respondeu ao questionário, assim, a análise que se segue será sobre um total de nove alunos.

Para a análise, foram definidas as categorias **Conceitos Satisfatórios (CS)**, para os aprendizes que responderam de forma correta, com clareza nos conceitos descritos; **Conceitos Ausentes (CA)**, para alunos que responderam de forma a não apresentar nenhum entendimento sobre a questão; e **Conceitos Insuficientes (CI)**, para alunos que responderam com conceitos mal definidos. Essas categorias foram criadas após a análise de todas as questões da avaliação final, com o objetivo de identificar o entendimento do assunto e a eficácia da estrutura de aplicação da proposta.

A primeira questão da avaliação final tem o objetivo de identificar a caracterização do comportamento corpuscular da luz. Sete alunos responderam corretamente, dizendo que a luz é emitida, também, em forma de partículas e que cada partícula (fótons) tem energia definida; um aluno relacionou a intensidade de luz com o número de fótons; apenas um aluno não respondeu à pergunta. A análise desta questão mostra que 78% dos alunos se enquadram na categoria CS, apresentando conceitos claros e bem definidos. A resposta do Aluno 6 retrata o entendimento dos conceitos apresentados, com palavras corretas e termos adequados: *“A luz pode ser emitida de duas formas, onda ou partícula. Essas formas têm módulos variados de acordo com a intensidade. Na forma de partícula, são emitidos pacotes de energia (fótons) que são responsáveis por tirar elétrons, na proporção de 1 para 1, do material.”*

Dentre os alunos participantes, 11% responderam com conceitos mal definidos, sendo categorizados como CI, pois em algum momento foi feita uma ligação entre o conteúdo apresentado e o fenômeno em estudo. A resposta do Aluno 10, classificada como CI, diz que a radiação (luz) não é emitida continuamente, o que caracteriza uma resposta correta, porém, a justificativa *“aumentando a radiação, aumenta-se a quantidade de quantum”*, nos faz refletir sobre o que se quer dizer com o termo “aumentar a radiação”. Assim, percebe-se que o aluno sabe que a radiação é quantizada, porque usa a palavra *quantum* em sua resposta, porém não fica claro se *“aumentar a radiação”* se refere ao aumento de intensidade ou frequência da luz.

A segunda pergunta tem o objetivo de identificar a relação entre a intensidade da luz incidente e o número de elétrons ejetados de um metal no efeito fotoe-

létrico. Analisando as respostas, seis alunos responderam corretamente dizendo que o número de elétrons ejetados irá aumentar quando se aumenta a intensidade da luz, portanto, aproximadamente 67% dos aprendizes apresentaram conceitos claros e bem definidos, sendo categorizados como CS. Um exemplo de resposta CS é a do Aluno 10: *“Irá aumentar, pois, ao aumentar a intensidade da luz, mais elétrons sairão quando a luz entrar em contato com o metal.”* Vale a observação de que, embora a resposta esteja correta, o aluno não relaciona o aumento do número de elétrons ejetados com o aumento do número de fótons emitidos. Essa relação é feita apenas pelo Aluno 6 na resposta dada à primeira questão.

Dois alunos mencionam uma relação inversamente proporcional entre o número de elétrons ejetados e a intensidade de luz. Assim, 22% dos aprendizes responderam de maneira duvidosa, sendo categorizados como CI. Apenas um aluno afirma que a intensidade da luz não interfere no número de elétrons ejetados, sendo classificado como CA (11%).

A terceira questão busca identificar a relação de proporcionalidade entre a energia dos fótons e sua frequência. Dentre as respostas analisadas, seis alunos (67%) relacionaram o aumento da frequência da luz incidente com o aumento/diminuição do número de elétrons ejetados, sendo categorizados como CI. Geralmente, os aprendizes relacionam corretamente o aumento da frequência com o aumento da energia de cada fóton, porém também atribuem essa proporcionalidade ao número de elétrons ejetados do metal. Três alunos (33%) responderam corretamente ao afirmarem que o número de elétrons ejetados não se altera com o valor da frequência, desde que esta seja acima da frequência de corte, sendo, assim, classificados como CS. Uma das respostas categorizadas como CS é a do Aluno 9, *“o número de elétrons ejetados não se alterará, pois quando aumento a frequência, estou aumentando a energia. Logo, se a intensidade da luz não for alterada, a frequência influenciará na energia cinética dos elétrons que estão sendo ejetados”*. Nenhum aluno se enquadrou na ausência de conceitos.

Com base nos resultados das questões dois e três apresentados, entende-se que houve pouca clareza no material apresentado nas relações que envolvem a intensidade da luz, frequência, e energia do fóton.

Na quarta questão, que tem o objetivo de relacionar a energia do fóton com a frequência e o comprimento de onda da onda luminosa, 44% dos alunos possuem conceitos satisfatórios, 56% conceitos insuficientes e nenhum apresentou conceitos ausentes. De acordo com as respostas, quatro alunos responderam corretamente, afirmando que *“Para aumentar a energia do fóton, devemos aumentar a frequência da luz incidente. Já o comprimento de onda terá que diminuir para que a energia do fóton aumente”* (resposta do Aluno 1).

Os alunos categorizados como CI perceberam a relação entre frequência e comprimento de onda da luz emitida e energia do fóton, porém, expressaram os termos de proporcionalidade erradamente, como ilustra a resposta do Aluno 4: *“Devemos aumentar a frequência de luz incidente, para aumentar a energia do fóton. Também devemos aumentar o comprimento de onda para aumentar a energia do fóton”*.

As questões cinco e seis buscam a ideia de conservação de energia nas respostas dos alunos, referindo-se à distribuição da energia do fóton após a ocorrência do efeito fotoelétrico. A resposta será considerada coerente quando o aluno relacionar a energia do fóton com a energia gasta para ejetar o elétron do metal, e o restante é transformado em energia cinética. A análise mostra que aproximadamente 89% dos alunos relacionaram corretamente as trocas de energias, como exemplifica a resposta do Aluno 3: *“A outra parte dessa energia é transformada em energia cinética”* (questão 5) e *“Mais a energia cinética”* (questão 6). 11% dos aprendizes apresentaram respostas incoerentes para essas questões. Assim, entende-se que o Aluno 4 apresenta uma formação de conceitos insuficientes, sendo categorizado como CI, quando afirma que *“A outra forma de energia é a energia que gasta para quantizar o elétron”*.

A sétima questão busca relacionar a intensidade da luz com a energia de cada fóton e a quantidade de fótons. A análise das respostas mostra que quatro alunos responderam corretamente a esta questão, como é ilustrado pela resposta do Aluno 6: *“Quando o valor da intensidade é alterado a energia de cada fóton não altera, mas sim sua quantidade”*. Cinco alunos responderam que o aumento da intensidade de luz aumentaria a energia de cada fóton e o número de fótons, sendo categorizados como CI. Nenhum aluno foi categorizado como CA.

A oitava questão busca identificar um conceito específico do efeito fotoelétrico, a frequência mínima para que ocorra o fenômeno, conhecida como a frequência de corte ou frequência limite. A análise mostra que seis alunos responderam que frequência de corte é o valor mínimo da frequência para que sejam ejetados elétrons da placa irradiada. Um aluno não respondeu à pergunta, sendo, assim categorizado como CA (11%). Outros 22% responderam usando conceitos mal definidos, sendo subordinados à categoria CI, como ilustra a resposta do Aluno 4 *“A frequência de corte é aquela frequência que mede até quando um fóton é quantizado e não é ejetado, isso é o mínimo para que ele se solte. E frequência é a intensidade da luz emitida no fóton.”* Na resposta acima, o aprendiz confunde fóton com elétron, porém, sabe que a frequência de corte é uma grandeza que deve ter um valor mínimo para que o fenômeno aconteça, confunde também, frequência com intensidade de luz.

A nona questão proporciona ao aluno uma oportunidade para o uso das relações matemáticas aprendidas durante os momentos apresentados na estrutura do trabalho, sendo fornecidas as fórmulas que relacionam a energia de cada fóton com a frequência da luz e a função trabalho para ejetar um elétron do metal. As fórmulas não devem ser memorizadas com o simples intuito de substituição de variáveis, mas devem proporcionar ao aprendiz uma visão das relações entre as grandezas que descrevem um determinado fenômeno.

Observa-se que três alunos responderam à nona questão corretamente, usando as equações corretas e realizando a operação com notação científica, sendo categorizados como CS; seis alunos manipularam corretamente as fórmulas, mas apresentaram resultados incorretos apenas por não saberem realizar operações com notação científica, sendo categorizados como CI. Esse fato ressalta uma defasagem no conteúdo sobre notação científica e não sobre as relações matemáticas discutidas. Logo, é necessário adicionar aos organizadores prévios uma revisão sobre notação científica.

IV.5 Interpretação dos resultados

Nesta seção, são interpretados os resultados obtidos na análise dos dados do teste final, contrapondo, quando for pertinente, com os resultados obtidos no pré-teste. Assim, para facilitar a discussão, é apresentado, no quadro 5, um resumo da classificação das respostas às questões da avaliação final.

Quadro 5 – Resumo da avaliação final.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5/Q6	Q7	Q8	Q9
CS	78%	67%	33%	44%	89%	45%	67%	34%
CA	11%	11%	0%	0%	11%	0%	11%	0%
CI	11%	22%	67%	56%	0%	55%	22%	66%

Fonte: Dados retirados da análise da avaliação final.

De acordo com os resultados, pode-se observar que, em cinco das nove questões, a maioria dos alunos apresenta um índice de conceito satisfatório (CS) acima das outras categorias. As questões restantes, apesar de terem a maioria dos alunos classificados na categoria conceito insuficiente (CI), apresentam um índice

nulo de conceitos ausentes (CA). É importante ressaltar também que, neste grupo, a diferença entre a porcentagem de alunos classificados como CS e CI é bem menor. Assim, os dados indicam que houve uma assimilação satisfatória dos conceitos abordados sobre o efeito fotoelétrico.

Um exame das questões 1, 2, 5, 6 e 8, caracterizadas por possuírem CS maior do que CI, mostra que os alunos apresentaram uma compreensão melhor dos conceitos relacionados com a quantização da radiação, modelo corpuscular da luz; influência da intensidade da luz no efeito fotoelétrico; transferência de energia durante o fenômeno; e o fato de haver uma frequência limite para a ocorrência do efeito fotoelétrico.

Uma comparação com os resultados obtidos no pré-teste indica que o material apresentado durante a sequência de atividades sanou a deficiência que foi constatada em relação à estrutura da matéria, pois na primeira questão do teste inicial, a maioria dos alunos foi classificada na categoria subsunçor mal definido (SMD). Na avaliação final os alunos se mostraram familiarizados com a existência de elétrons e com a natureza dual da radiação. A compreensão das relações de transferência de energia no efeito fotoelétrico é consistente com o bom desempenho dos alunos na terceira questão do pré-teste, na qual 80% dos alunos apresentaram subsunçor presente (SP). Os outros conceitos, intensidade da luz e frequência de corte, são elementos novos que foram apresentados aos alunos.

As questões 3, 4, 7 e 9, caracterizadas por apresentarem CI maior do que CS e CA nulo, indicam que os alunos, mesmo após a participação na sequência de atividades, ainda possuem dificuldades, ao definirem as relações entre energia do fóton, quantidade de fótons presentes na radiação e número de elétrons ejetados com frequência e intensidade da radiação. A questão 9, em particular, reafirma a constatação, feita anteriormente, de que os alunos compreendem bem as relações de transferência de energia no processo. Nesse caso, o erro cometido pela maioria dos alunos ocorreu porque os alunos não sabiam trabalhar com notação científica.

Conclui-se, assim, que a sequência de atividades deve ser modificada de modo a oferecer mais oportunidades de se explorar as relações mencionadas acima, com atividades diferenciadas daquelas apresentadas na primeira versão do material.

O Aluno 1 não participou da etapa que trata dos organizadores prévios, em que são proporcionados ao aprendiz os conceitos necessários para o entendimento do fenômeno do Efeito fotoelétrico. Uma análise da avaliação final desse aluno mostra que quatro das nove questões são consideradas como CI, e as outras cinco questões são classificadas como CS. Pensando em como esse aluno obteve um resultado satisfatório na avaliação final sem ter passado pelos organizadores

prévios, considera-se que as outras etapas como a utilização da simulação computacional e a apresentação do organizador explicativo foram suficientes para esclarecer os conceitos discutidos.

O Aluno 7, que não participou da aplicação do organizador explicativo, obteve uma média de aproximadamente 80% de questões CS na avaliação final. Fica claro que a presença desse aluno nas outras etapas do trabalho contribuiu para suprir a necessidade de conceitos relativos ao estudo em questão. É importante ressaltar que esse aprendiz obteve uma média de 67% de subsunções presentes no pré-teste, e que sua média em Física ficou acima de 72% nos três anos de Ensino Médio, condizente com o comportamento de um bom aluno.

É interessante mencionar o Aluno 6, classificado como mediano de acordo com o quadro 1, mas que demonstrou uma participação intensa com respostas coerentes, servindo de exemplo em várias questões classificadas como CS durante a análise dos dados. Isso pode indicar que uma metodologia alternativa pode se adequar melhor ao estilo de estudo dos alunos.

De uma maneira geral, pode-se afirmar que, durante a aplicação da sequência de atividades, foram observados comprometimento dos alunos, envolvimento nas atividades propostas, pontualidade nas horas marcadas e interesse pelo assunto estudado.

V. Considerações finais

A utilização de novas tecnologias na educação faz surgir uma discussão sobre o quanto e como esse meio de informação pode contribuir para o processo de aprendizado. Nesse contexto, apresenta-se uma proposta que busca inserir o uso de simulações computacionais no ensino de Física, por entender que estas podem proporcionar uma interação entre o conteúdo e o aprendiz, possibilitando meios para a investigação e compreensão de fenômenos físicos.

Assim, o objetivo deste trabalho é proporcionar aos docentes uma experiência alternativa para o processo de ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico, utilizando simulação computacional. Para tal, foi elaborada uma sequência de atividades, baseada na teoria da aprendizagem significativa, que prioriza a organização da estrutura de conceitos. Nesta estrutura, o professor tem papel fundamental, seja para selecionar a simulação, para incluir novos conceitos e principalmente para definir a sequência de apresentação do novo material.

Na sequência de atividades, apresentam-se os organizadores prévios, a simulação computacional juntamente com o roteiro de atividades e um mapa conceitual como organizador explicativo. Esse material foi preparado com a intenção

de explorar os conhecimentos prévios dos alunos e, de maneira gradual, introduzir novos conceitos, proporcionando, principalmente aos alunos que têm subsunções mal definidos, uma reestruturação da estrutura cognitiva, para tornar os conceitos mais inclusivos.

A observação da aplicação das atividades propostas mostra que a apresentação dos organizadores prévios, com vídeos e textos, é considerada, por parte dos alunos, como uma aula normal, tornando-a pouco interessante. Contudo, durante a aplicação da simulação computacional, observa-se uma curiosidade dos alunos em testar aquela ferramenta, e que em toda a atividade, a parte mais interessante e que provocou uma maior participação com perguntas e questionamentos foi observada no uso das simulações computacionais.

As observações aqui apresentadas estão em acordo com as observações de Machado e Nardi (2006), ao usarem o computador para ilustrar situações da física moderna. Os autores ressaltam que o computador e a hipermídia utilizada são fatores de motivação para os alunos, por apresentarem uma perspectiva de mudança na estrutura de aula pela facilidade de observação de fenômenos abstratos, e contribuir para a formação de novos conceitos relacionados à estrutura cognitiva do aprendiz.

Analisando as respostas da avaliação final percebe-se que, em geral, há um entendimento dos conceitos referentes ao fenômeno estudado, considerando que, após aplicação das atividades propostas, houve um ganho no grau de inclusividade dos conceitos, e a utilização da simulação computacional em muito contribuiu para esse resultado, pois foi através dela que os alunos puderam testar suas hipóteses.

Na avaliação final, busca-se identificar conceitos diretamente relacionados com o efeito fotoelétrico, como: comportamento dual da luz; relação entre intensidade da luz e o número de elétrons ejetados; relação entre a energia de cada fóton com a frequência e o comprimento de onda da radiação; relação entre a energia do fóton e a energia do elétron ejetado; compreensão da existência de uma frequência mínima para que o fenômeno ocorra; operações de notação científica. A maioria desses conceitos pode ser considerada como específica, portanto, menos inclusivos, e de acordo com teoria de aprendizagem significativa, estão mais facilmente sujeitos à assimilação obliteradora, que é a ação normal de esquecer os detalhes de uma situação com o passar do tempo.

Como resultado da análise dos dados da avaliação final, observa-se que cinco das nove questões respondidas apresentam índice de conceitos suficientes acima de 67%, e todas as questões apresentaram um índice muito baixo de conceitos ausentes, em comparação com as demais categorias, dando oportunidade de

considerar o produto elaborado como um material potencialmente significativo. Os resultados encontrados são semelhantes à investigação de Sales e Vasconcelos (2008), que relatam que houve uma aprendizagem satisfatória do Efeito fotoelétrico por meio da utilização de simulação computacional, levando a mudanças na estrutura cognitiva dos aprendizes.

Como sugestão de melhoria da estrutura dessa investigação, pode-se adicionar ao material uma pequena revisão sobre notação científica que, agregada ao organizador prévio, poderá contribuir para um melhor desempenho dos alunos frente à utilização das equações circundantes ao efeito fotoelétrico. Sugere-se, também, a inclusão de uma nova questão explorando o enunciado da última questão da avaliação final, de modo que o aluno identifique o efeito fotoelétrico no funcionamento dos postes de iluminação.

Finalizando, enfatiza-se a importância do professor no processo de aquisição do conhecimento, na seleção do material, na escolha da simulação, organização da estrutura a ser aplicada e no esclarecimento de dúvidas em relação ao conteúdo. Acredita-se que seja importante a utilização da simulação computacional como ferramenta de ensino, de forma a ser explorada em meios coerentes e em consonância com outras ferramentas já utilizadas pelo professor.

Sugere-se, para trabalhos futuros, o aprofundamento da teoria de Ausubel para mensurar a retenção de conhecimento durante um período de tempo maior, quando se utilizam meios tecnológicos, como a simulação computacional. A aprendizagem efetiva, de forma significativa, pode ser retida no cognitivo por muito tempo, se comparada com os conceitos adquiridos por meios convencionais.

Referências

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Tradução: Lígia Teopisto. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 2003. 242p.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Tradução: Eva Nick, Heliana de Barros Conde Rodrigues, Luciana Peotta, Maria Ângela Fontes e Maria da Glória Rocha Maron. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980. 625p.

AZEVEDO, R. L. **Utilização de Organizadores Prévios para Aprendizagem Significativa do Magnetismo e do Eletromagnetismo**. 2010. 185f. Dissertação

(Mestrado em Ensino de Física) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Minas Gerais. 2010.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Linguagens, códigos e suas tecnologias: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais – PCNS+**. Brasília: 2002

FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 259-272, 2003.

GARCIA, C. P.; DICKMAN, A. G. Ensino do Efeito fotoelétrico em Engenharia – Um Papel para as simulações computacionais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: SBF, 2005, p. 1-5.

LEVIN, E. Conceitos e Métodos da Física moderna numa perspectiva histórica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 305-306, 2007.

LOPES, R.; FEITOSA, E. Applets como Recursos Pedagógicos no Ensino de Física – Aplicação em Cinemática. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18, 2009, Vitória. **Anais...** São Paulo: SBF, 2009, p. 1-12.

MACÊDO, J. A. **Simulações Computacionais como Ferramenta Auxiliar ao Ensino de Conceitos Básicos de Eletromagnetismo: Elaboração de um Roteiro de Atividades para professores do Ensino Médio**. 2009. 137f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Minas Gerais. 2009.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hiperídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 473-485, 2006.

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.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2 ed. São Paulo: Centauro, 2001.

PEREIRA, A. S.; COELHO, M. F. F.; SILVA, M. M.; COSTA, I. F.; RICARDO, E. C. Um estudo exploratório das concepções dos alunos sobre a Física do Ensino Médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17, 2007, São Luis. **Anais...** São Paulo: SBF, 2007, p. 1-12.

PIETROCOLA, M.; BROCKINTON, G. Recursos Computacionais Disponíveis na Internet para o Ensino de Física moderna e Contemporânea. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 3, 2003, Bauru. **Atas...** Bauru: ABRAPEC, 2003.

RICARDO, E. C.; FREIRE, J. C. A. A concepção dos alunos de física do Ensino Médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 251-266, 2007.

SALES, G. L.; VASCONCELOS, F. H. L. Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 3501, 2008.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Física**. 2 ed. São Paulo: Atual. v. único. 2005.

SCHAFF, A. **A Sociedade Informática (as consequências sociais da segunda Revolução Industrial)**. 4. ed. São Paulo: Universidade Estadual Paulista - Brasileira, 1990.

TAVARES, R. Animações interativas e mapas conceituais: uma proposta para facilitar a aprendizagem significativa em ciências. **Revista online Ciência & Cognição**, v. 13, n. 2, p. 99-108, 2008.

TONIATO, D. J.; FERREIRA, B. L.; FERRACIOLI, L. Tecnologia no ensino de física: uma revisão do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 10, 2006, Londrina. **Anais...** São Paulo: SBF, 2006, p. 1-11.

VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no Ensino Médio: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 2, ago. 1998.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, 2002.

VILLANI, A. Reflexões sobre o ensino de Física no Brasil: Práticas, Conteúdos e Pressupostos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 6, p. 76-95, 1984.

Apêndice I

A. Pré-teste

Este teste tem como objetivo principal identificar os conceitos que o aprendiz tem sobre o assunto a ser abordado, portanto, não terá nenhum valor significativo para notas ou qualquer tipo de avaliação.

1) Uma pedra, a água, a madeira ou qualquer outro corpo chamamos de matéria. Podemos quebrar uma rocha em pedaços, e os pedaços em cascalho fino. Este ainda pode ser moído e virar areia fina, que pode ser transformada em pó. Imaginando que podemos continuar esse processo indefinidamente, escreva em sequência de tamanho, a(s) parte(s) que compõe a rocha.

2) Considere uma corda de violão ao ser tocada pelo violonista. O som que escutamos é o resultado das vibrações executadas pelas cordas do violão, assim, cada corda produz uma onda mecânica. Marque a opção que possui alguma ligação com a estrutura de uma onda. Justifique a(s) resposta(s) marcada(s).

Frequência () Mar () Comprimento de Onda () Período () Luz ()
Velocidade () Aceleração () Transporte de energia () Valores definidos de energia

3) Em um jogo de sinuca, o objetivo é colocar dentro da caçapa todas as bolas ímpares ou pares, para isso, todos os jogadores fazem uso de uma bola branca. Este jogo é praticado no Brasil e requer noções de física, mesmo que o jogador, enquanto jogue, não pense assim. A força da tacada, a massa da bola, o ângulo do tiro, todas essas variáveis influenciam em uma jogada certa. Considere uma sinuca que não ofereça atrito para as bolas, e que um jogador decida acertar a bola branca em outra que está parada, com o intuito de colocá-la na caçapa. O jogador, com certa habilidade, dá uma tacada forte e, em seguida, a bola branca colide com a outra em “cheio”. Depois da colisão, a bola branca fica parada e a outra bola continua em um movimento idêntico ao da bola branca. Qual explicação você daria para essa situação?

4) A física faz parte das ciências naturais, juntamente com a química e a biologia. Nos estudos anteriores às provas destas disciplinas, qual a forma de estudo que você usa para se sair bem?

5) Suponha que você esteja fazendo uma avaliação teórica de física, sozinho(a), isto por que perdeu a última prova. Uma das questões da avaliação você nunca tinha resolvido em sala com seu professor, e você somente pode recorrer aos seus pensamentos. Marque a opção que ilustra a sua provável atitude diante da resposta a essa questão:

- a) Deixaria a questão em branco, por que, tenho dificuldade em física;
 - b) Escreveria algumas frases tentando acertar no chute;
 - c) Escreveria sobre o primeiro raciocínio que tive, sem pensar muito;
 - d) Tentaria escrever uma resposta coerente com algum fenômeno ou situação que já vivenciei;
 - e) Buscaria responder usando as questões que já estudei em sala de aula, da mesma forma que o professor passou no quadro.
- Caso tenha outra atitude, escreva abaixo.

B. Roteiro de atividades

Este roteiro tem o objetivo de orientá-lo no desenvolvimento das atividades sobre o Efeito fotoelétrico. Nesta atividade será usada uma simulação computacional para relacionar as propriedades do fenômeno em questão. Portanto, procure seguir as atividades da maneira como elas são apresentadas e em caso de dúvida em como executá-la, busque ajuda com o professor.

Introdução à simulação

1. Você deverá abrir a simulação no local indicado pelo professor.
2. Vamos agora conhecer as variáveis que a simulação nos oferece: (a) Identifique na simulação como alterar a intensidade da luz; (b) Encontre no simulador onde podemos alterar o comprimento de onda; (c) Identifique na simulação o amperímetro, onde está escrito “corrente: 0,000”; (d) Encontre a pilha e a maneira de alterar sua tensão; (e) Do lado direito da simulação, pode-se mudar a placa de metal que está dentro da ampola de vidro, as opções são: sódio, zinco, cobre, platina, cálcio e magnésio; (f) As outras opções serão usadas mais adiante.

Atividades

Nº 1)

- ✓ Encontre a opção de alterar a intensidade de luz. Qual o valor que está marcando inicialmente? Altere o valor da intensidade da luz para 50% e observe o que ocorre.
- ✓ Sem alterar os valores, escreva qual é o valor do comprimento de onda inicial e qual corrente está marcando no amperímetro.
- ✓ Altere o valor da intensidade de luz para 100% e verifique o valor da corrente mostrada pelo amperímetro. Escreva qual diferença você notou comparando o resultado da corrente com o valor encontrado no item anterior.
- ✓ Quando aumentamos a intensidade da luz aumentamos também a corrente do sistema, podemos concluir que a quantidade de elétrons ejetados foi maior, menor, ou igual?

Nº 2)

- ✓ Procure na barra superior “opções” e escolha a opção “mostrar fótons” (fótons). Observe o que irá mudar na simulação.
- ✓ Altere o valor da intensidade de luz para 50% e depois para 100%. O que você pôde notar sobre o número de fótons que são emitidos pela fonte de luz. Este aumentou, diminuiu ou permaneceu igual?
- ✓ Quando alteramos a intensidade da luz, a quantidade de energia de cada fóton aumenta, diminui ou permanece igual?
- ✓ Quando aumentamos a intensidade de luz estamos aumentando, diminuindo ou nada acontece com o número de fótons emitidos?

Nº 3)

- ✓ Einstein determinou que a energia E de cada fóton é igual a constante de Planck h multiplicada pela frequência f da luz. Logo, $E = h \cdot f$. E nos estudos dos fenômenos ondulatórios, podemos verificar que a velocidade de propagação v de uma onda é igual ao comprimento de onda λ multiplicado pela frequência f . Logo, $v = \lambda \cdot f$. Com base nestas duas informações, como podemos relacionar a energia de cada fóton emitido pela luz com o comprimento de onda da luz?
- ✓ A energia de cada fóton será diretamente ou inversamente proporcional a frequência de cada fóton?
- ✓ A energia do fóton será diretamente proporcional ou inversamente proporcional ao comprimento de onda λ ?

Nº 4)

- ✓ Encontre a opção para alterar o comprimento de onda da luz. Com a intensidade de luz a 50% e o comprimento de onda a 400nm observe como os elétrons são ejetados da placa de sódio.
- ✓ Altere o valor do comprimento de onda para 200nm. O que você notou de diferente na simulação?
- ✓ Quando você diminuiu o valor do comprimento de onda a energia de cada fóton aumentou, diminuiu ou não sofreu alteração? E a energia cinética do elétron, aumentou, diminuiu ou não sofreu alteração?
- ✓ Altere o valor do comprimento de onda para 550nm. O que acontece com os elétrons arrancados da placa de sódio? Quando aumentamos o valor do comprimento de onda da luz, a energia dos fótons aumenta, diminui ou não se altera?
- ✓ Procure na barra superior “opções” e escolha a opção “mostrar fótons” (fótons). Os fótons continuam sendo emitidos pela fonte de luz, então, porque eles não conseguem “arrancar” elétrons da placa de metal?

Nº 5)

- ✓ Altere o valor da intensidade de luz para 50% e o valor do comprimento de onda para 400nm.
- ✓ Altere o valor do comprimento de onda para 150nm e observe o movimento dos elétrons “arrancados” da placa de sódio.
- ✓ Altere o material da placa, de sódio para platina. Observe o movimento dos elétrons “arrancados”. Para os mesmos valores de intensidade de luz e comprimento de onda, a energia cinética dos elétrons “arrancados” do sódio e da platina é diferente ou permanece igual?
- ✓ Qual dos dois materiais tem maior facilidade de ejetar elétrons quando são irradiados por uma luz com as características escolhidas acima?
- ✓ Parte da energia do fóton é consumida em forma de trabalho (W) para ejetar o elétron da superfície do metal, a outra parte da energia é transformada em qual tipo de energia?
- ✓ Para obtermos a energia total do fóton tem-se que considerar quais transformações de energia? Escreva a equação que relaciona a quantidade total da energia do fóton, sendo E a energia do fóton, E_{ca} energia cinética do elétron ejetado e W o trabalho necessário para ejetar o elétron.

Nº 6)

- ✓ Altere o metal para sódio, a intensidade de luz para 50% e o comprimento de onda para 400nm.
- ✓ Altere o valor da voltagem da pilha para 1,00V e observe os elétrons ejetados.
- ✓ Nas placas de sódio apareceram os sinais de + e -, indicando que as placas estão carregadas positiva e negativamente.
- ✓ A energia cinética dos elétrons aumentou, diminuiu ou não sofreu alteração? Em caso de qualquer alteração, como você pode explicá-la?

C. Teste final

- 1) A radiação da luz não é emitida continuamente, mas de uma maneira quantizada, de acordo com o modelo corpuscular. Explique essa afirmação.
- 2) O Efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons da superfície dos metais quando irradiados por luz em determinada frequência. Quando aumentamos a intensidade da luz que irradia o metal, mantendo a mesma frequência, o número de elétrons ejetados irá aumentar ou diminuir? Justifique sua resposta.
- 3) A energia de um fóton é dada por $E = h \cdot f$, onde h é uma constante. Em uma situação na qual a frequência da luz seja muito grande, o número de elétrons ejetados da superfície do metal irá aumentar ou diminuir? Justifique sua resposta.
- 4) Podemos relacionar a energia do fóton com o comprimento de onda da luz incidente no material. Com a intenção de aumentar a energia do fóton, devemos aumentar ou diminuir a frequência da luz incidente? E o comprimento de onda? Dados: $E = h \cdot f$; $v = \lambda \cdot F$.
- 5) No Efeito fotoelétrico, parte da energia de um fóton é utilizada para “arrancar” o elétron do metal, outra parte desta energia é transformada em qual tipo de energia?
- 6) Para conseguirmos obter a quantidade de energia total de um fóton, que foi absorvido por um elétron, teremos que adicionar a quantidade de energia gasta para ejetar o elétron do metal e qual outra forma de energia?
- 7) Muitos alunos ao estudarem o Efeito fotoelétrico costumam confundir intensidade da luz com a energia de cada fóton e a quantidade de fótons. Explique com suas palavras o que acontece com a energia de cada fóton e com a quantidade de fótons quando alteramos o valor da intensidade de luz.
- 8) Uma das utilidades do Efeito fotoelétrico é a sua utilização no controle de portas automáticas, que se abrem quando chegamos perto e se fecham quando não há ninguém perto da porta. O mesmo fenômeno também acontece no funcionamento

das portas dos elevadores. Nestes casos, um feixe de luz incide sobre uma superfície fotossensível causando a ejeção de elétrons e formando uma corrente no circuito. Quando a luz deixa de incidir sobre a célula fotossensível, a corrente passa a não existir e outro sistema é acionado para abrir a porta. Assim, esse fenômeno só acontece porque conhecemos a frequência de corte do material utilizado nas fotocélulas. Considerando o fenômeno estudado, diferencie frequência e frequência de corte.

9) Os postes de iluminação contem lâmpadas ligadas a um circuito que possui uma célula fotossensível. Quando a luz do dia acaba, a corrente gerada pelo Efeito fotoelétrico é encerrada, acionando outro circuito para acender a luz que iluminará a rua. Considerando que a luz ultravioleta provoque na célula fotossensível o Efeito fotoelétrico e que tenha a frequência $f = 8 \times 10^{14}$ Hz, responda:

a) Encontre o valor da energia (joule) E de cada fóton;

b) Se o trabalho (W) necessário para arrancar o elétron da célula fotossensível é $2,3 \times 10^{-19}$ J, encontre o valor da energia cinética com que o elétron foi ejetado.

Dados: $E = h \cdot f$; $E = E_c + W$; $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s.