



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

**O USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DO EFEITO
FOTOELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO**

VALDENES CARVALHO GOMES

Campina Grande – Paraíba

Outubro de 2011

VALDENES CARVALHO GOMES

**O USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DO EFEITO
FOTOELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO**

*Dissertação apresentada ao Programa de
Programa de Pós-Graduação em Ensino
de Ciências e Educação Matemática da
Universidade Estadual da Paraíba, como
parte dos requisitos para obtenção do
Título de Mestre.*

Orientadora: Profa. Dra. Morgana Lígia de Farias Freire

Campina Grande – Paraíba

Outubro de 2011

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

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL-UEPB

G633u Gomes, Valdenes Carvalho.
O uso de simulações computacionais do efeito fotoelétrico no ensino médio [manuscrito]/ Valdenes Carvalho Gomes. – 2011.

111 f. : il.

Digitado

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual da Paraíba, 2011.

“Orientação: Prof^a. Dra. Morgana Lígia de Farias Freire, Departamento de Física”.

1. Ensino de física. 2. Efeito fotoelétrico. 3. Teoria de Ausubel. 4. Ensino médio. 5. Didática de ensino. I. Título.

21. ed. CDD 530

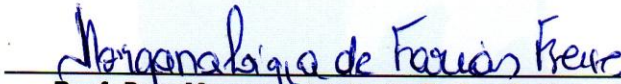
VALDENES CARVALHO GOMES

**O USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DO EFEITO
FOTOELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO**

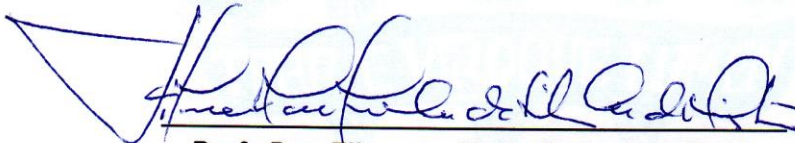
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre.

Aprovado em: 14 / 10 / 2011


Banca examinadora


Prof. Dra. Morgana Lígia de Farias Freire

Orientadora


Profa Dra. Filomena Maria Gonçalves Moita

Universidade Estadual da Paraíba


Prof. Dr. Rômulo Rodrigues da Silva

Universidade Federal de Campina Grande

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha esposa Jane e minhas filhas Luiza e Julia, que sempre me apoiaram e me fortaleceram em todos os momentos necessários, dando-me a energia precisa para que pudesse encontrar uma forma de transformá-la e aproveitar de forma revitalizante para superar os obstáculos encontrados.

“Os nossos pais amam-nos porque somos seus filhos, é um fato inalterável. Nos momentos de sucesso, isso pode parecer irrelevante, mas nas ocasiões de fracasso, oferecem um consolo e uma segurança que não se encontram em qualquer outro lugar”.

Bertrand Russell

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me fortalecer em mais uma conquista profissional.

À professora Morgana Lígia, por ter acreditado em meu potencial de orientando e por sua dedicação e contribuição na nossa pesquisa compreendendo meus momentos de construção do saber.

Aos professores do curso de Pós-Graduação de Ensino de Ciências e Educação Matemática, pelas suas contribuições cognitivas.

A coordenação do curso, nas pessoas dos professores Rômulo do Rego e Ana Paula Bispo, pelos atendimentos necessários até mesmo em horários inoportunos para solucionar nossos problemas.

Aos amigos de turma em especial a Geraldo Mota, Bruno Camelo, Ruth Brito, Cláudio Rejane e Kalina Lígia, que sempre estiveram juntos contribuindo para o sucesso de meu trabalho.

Ao secretário do curso de Pós-Graduação Ricardo, por todas as ajudas prestadas nas horas de precisão.

A professora Edlene e Neuma, que me deram todo o apoio necessário e incentivo para realização de nossa pesquisa.

Aos meus grandes amigos professores Adeildo e Luciclaúdio, que sempre me deram apoio nas horas vagas encorajando e incentivando a concretizar essa vitória.

A todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para que minha pesquisa fosse concretizada e tivesse o alcance desejado.

Minha única forma de agradecer a vocês é dizendo “*Muito Obrigado*”.

O USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DO EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO

RESUMO

Estudos demonstram que a utilização das tecnologias de informação e comunicação contribui para a prática educativa em qualquer nível de ensino. No entanto, ela impõe mudanças nos métodos de trabalho dos professores, gerando modificações no funcionamento das instituições e no sistema educativo. Uma tecnologia de informação e comunicação educacional deve envolver algum tipo de objeto material, que faça parte da práxis educativa relativa ao processo de ensino com algum tipo de relação entre o professor-tecnologia e tecnologia-estudante. No nosso trabalho objetivamos investigar como uma simulação computacional pode ajudar o ensino de um conteúdo de física moderna e contemporânea no ensino médio. Uma simulação computacional é uma atividade que permite o estudante manipular e observar situações que imitam ou se aproximam de um fenômeno físico real. A intervenção didática foi realizada em quatro encontros consecutivos cada um com cem minutos de duração. Para a produção e execução dessa intervenção fizemos o uso de um texto didático, de um roteiro para realização da atividade com o simulador computacional, de um questionário de avaliação e de uma atividade de verificação de aprendizagem. Os resultados revelaram que os estudantes classificaram a simulação computacional como uma boa forma de expor o conteúdo. Assim, a utilização de simulações computacionais pode se constituir numa perspectiva de um ensino atraente, entretanto, deve ser feita de forma compatível com a metodologia de ensino a ser empregada.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de física, Efeito fotoelétrico, Teoria de Ausubel, Simulação computacional.

ABSTRACT

Studies showed that the use of information and communication technologies contributes to the educational practice in any level of education. However, it requires changes on the teacher's working methods, generating changes on the operation of the institutions and on the educational system. An information and communication technology must involve some kind of material object, which is part of the educational praxis related to the teaching process with some kind of relationship between the teacher-technology and technology-student. In our work we aim to investigate how a computer simulation can help the teaching of a content of modern physics in high. A computational simulation is an activity that allows the student to manipulate and observe situations that mimic or approximate to a real physical phenomenon. The didactic intervention was performed in four consecutive meetings, each with one hundred minutes long. For this production and performance, we made use of a didactic text, a guide for the activity performance with the computational simulator, an evaluation questionnaire and a learning check activity. The results revealed that the students classified the computational simulation as a good way to approach the subject. Therefore, the use of computational simulations can provide an attractive teaching perspective, however it must be performed in a compatible way to the adopted teaching methodology.

Key-words: Physical Teaching; Photoelectrical effect; Ausubel Theory; Computational Simulation.

SUMÁRIO

Introdução	10
1. Considerações sobre o ensino de física moderna e contemporânea	16
1.1. Física moderna e contemporânea: Desafios e perspectivas	16
1.2. O efeito fotoelétrico	23
1.3. O Ensino de Física e suas várias formas de abordagens	31
1.4. O uso de simuladores e o ensino de Física	34
1.5. A Teoria de Ausubel	38
2. Percusso metodológico	46
2.1. A Abordagem metodológica	46
2.2. A Escolha do conteúdo	47
2.3. Descrição do simulador computacional utilizado	48
2.4. A Escolha da escola	51
2.5. A Intervenção didática	52
2.5.1. Primeiro encontro	53
2.5.1.1. Problematização inicial (Motivação)	53
2.5.1.2. Aplicação do conteúdo na sala de aula	54
2.5.2. Segundo encontro	55
2.5.2.1. Divisão da turma	55
2.5.2.2. Uso do simulador	55
2.5.3. Terceiro encontro	56
2.5.4. Quarto encontro	57
3. Resultados e discussões	58
3.1. Problematização inicial	58
3.2. Aplicação do conteúdo na sala de aula	59
3.3. O Uso do simulador computacional do efeito fotoelétrico	64
3.4. Avaliação da intervenção didática	68
3.5. Avaliação de verificação da aprendizagem	83
Considerações finais	85
Referências	87
Apêndices	95
A. Texto base para expor o conteúdo	97
B. Roteiro para atividade experimental no laboratório de informática.	102
C. Questionário para avaliação da metodologia empregada.	105
D. Atividade de verificação da aprendizagem.	108
E. Declaração da escola para realização da pesquisa	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do efeito fotoelétrico	24
Figura 2 - Ilustração do aparelho usado para estudo do efeito fotoelétrico com polaridade emissora negativa.	26
Figura 3 – Ilustração do aparelho usado para estudo do efeito fotoelétrico modificada com polaridade emissora positiva.	26
Figura 4 – Gráfico da energia versus frequência	27
Figura 5 - Ilustração de uma porta automática com sensores fotoelétricos de presença	30
Figura 6 – Ilustração da iluminação pública com auxílio de placas solares e de sensores fotoelétricos	30
Figura 7 - A aprendizagem significativa na visão cognitiva clássica de Ausubel. A aprendizagem significativa subordinada.	40
Figura 8 - Diagrama de assimilação do conteúdo: aprendizagem significativa.	43
Figura 9 - Imagem da página principal do Site do PhET.	48
Figura 10 - Simulador usado no efeito fotoelétrico.	49
Figura 11 – Exposição do conteúdo efeito fotoelétrico usando um simulador computacional como recurso didático principal em uma turma de terceiro ano ensino médio, que denominamos de Turma 1	61
Figura 12 – Exposição do conteúdo efeito fotoelétrico usando um simulador computacional como recurso didático principal em uma turma de terceiro ano ensino médio, que denominamos de Turma 2	61
Figura 13 – “Atenção e importância” dada pela Turma 1 ao se fazer a apresentação do conteúdo efeito fotoelétrico tendo como recurso didático principal o uso de um simulador computacional.	63
Figura 14 – “Atenção e importância” dada pela Turma 1 ao se fazer a apresentação do conteúdo efeito fotoelétrico tendo como recurso didático principal o uso de um simulador computacional.	63
Figura 15 – Estudantes da Turma 1 no laboratório de informática se preparando para fazer o uso do simulador computacional.	64
Figura 16 – Estudantes da Turma 2 no laboratório de informática se preparando para fazer o uso do simulador computacional.	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percentuais das respostas dos estudantes na avaliação da exposição do conteúdo efeito fotoelétrico com uso da simulação computacional.	69
Gráfico 2 – Percentuais das respostas dos estudantes na avaliação na compreensão do conteúdo efeito fotoelétrico com uso da simulação computacional.	71
Gráfico 3 – Percentuais das respostas dos estudantes sobre a importância das simulações computacionais na facilitação da aprendizagem.	73
Gráfico 4 – Percentuais das respostas dos estudantes sobre a importância das simulações computacionais na sua participação da aula.	75
Gráfico 5 – Percentuais das respostas dos estudantes sobre a exposição do conteúdo com a simulação computacional feita pelo professor.	78
Gráfico 6 – Percentuais das respostas dos estudantes sobre o seu interesse nas aulas de física com o uso das simulações computacionais.	80
Gráfico 7 – Porcentagem do rendimento dos estudantes da Turma 1 na avaliação de verificação da aprendizagem.	83
Gráfico 8 – Porcentagem do rendimento dos estudantes da Turma 2 na avaliação de verificação da aprendizagem.	84

Introdução

As tecnologias da informação e comunicação estão a cada dia mais presente na sociedade e nos processos produtivos das organizações. Muitas vezes usamos essas tecnologias sem nos dar conta. Um exemplo disso são os celulares, imaginemos a quantidade de tecnologia usada para o funcionamento dos mesmos, entretanto, os utilizamos sem ao menos percebermos isso.

O alto grau de desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação ocasiona profundas modificações no modo de vida das pessoas. Cada vez é mais acentuada a sua presença em várias áreas do conhecimento e em diversos setores da sociedade. Uma definição completa e abrangente da tecnologia da informação é dada por Wang (1998, p. 3) como “uma força fundamental na remodelagem de empresas por meio de investimentos em sistemas de informação e comunicações, de modo que sejam promovidas vantagens competitivas e outros benefícios estratégicos”.

Há vários anos, “as tecnologias de informação e comunicação foram promovidas como meios particularmente apropriados para que os cidadãos desempenhem papéis ativos na melhoria das perspectivas educacionais” (SELWYN, 2008, p. 819).

No Brasil, no final de 1980, verificou-se um avanço do uso das tecnologias de informação e comunicação mediadas por computador no ambiente escolar. Os computadores pareciam quebrar as barreiras no sentido de buscar um modo novo de ensinar.

Pesquisas revelam que o uso das tecnologias de informação e comunicação, como ferramentas, trazem uma grande contribuição para a prática escolar em qualquer nível de ensino, mas, para isso são necessárias mudanças nos métodos de trabalho dos professores, gerando modificações no funcionamento das instituições e no sistema educativo (ROSA e ROSA, 2007). Uma tecnologia educacional deve envolver algum tipo de objeto material, que faça parte da práxis educativa, relativa ao processo de ensino e de

aprendizagem, havendo algum tipo de relação entre o educador (em sentido amplo ou restrito) e a tecnologia, ou entre o educando e a tecnologia.

Com o advento das tecnologias de informação e comunicação, os professores dispõem de novos métodos de auxílio ao processo de ensino e aprendizagem. Entre os quais citamos Giordan (2005) e Viana e Alvarenga (2009) que destacam os sistemas tutoriais, as caixas de ferramentas, simulações, animações, a comunicação mediada por computador, os vídeos, a aquisição de dados por meio de computadores e por fim o que pode englobar todos os aspectos reunidos que seria a “web”.

Quanto à aplicabilidade das tecnologias da informação e comunicação no ensino de física, aplicamos que ao se fazer o uso da ferramenta como mais um meio de mediar a transmissão de conhecimento e não como um fim em si, o aprendizado dos estudantes pode ser alcançado de uma forma mais apreciável, tornando assim a relação entre professor e estudante mais objetiva aos seus propósitos. As tecnologias de informação e comunicação como aplicação dos computadores no ensino de física, podem melhorar a assimilação do conhecimento por parte dos estudantes, desde que essa aplicação faça parte de um processo educacional coerente em suas propostas (BRANSFORD et al., 2000; FIOLEAIS e TRINDADE, 2003).

Exemplo das tecnologias da informação e comunicação aplicadas no ensino de física são os famosos laboratórios virtuais. As atividades experimentais favorecem uma aproximação dos estudantes com os fenômenos físicos e podem estabelecer discussões a respeito desses, assim como podem permitir uma melhor compreensão dos conceitos e da própria atividade ou trabalho científico (SÉRÉ, 2004; GIL-PÉREZ et al., 2006).

Por considerarem necessária uma reflexão sobre os processos de ensino e aprendizagem que podem ser mediados pelas tecnologias de informação e comunicação, em particular, as simulações no computador Hohenfeld e Penido (2009, p. 10) colocam que “as atividades experimentais permitem uma transposição didática que considere a física como um elemento de construção humana indo além da apropriação dos conceitos científicos”. Por

isso eles defendem que essas características podem ser alcançadas tanto no uso de laboratórios convencionais como dos laboratórios virtuais. No entanto, não se trata em substituir um tipo pelo outro, mas sim deve-se levar em conta o fato de as tecnologias de informação e comunicação oferecerem condições propícias em termos de acrescentar um novo tipo de atividade, as atividades virtuais, como as simulações, por exemplo.

As simulações computacionais como experimentos assistidos por computadores aplicados ao ensino de física têm sido destacadas ou foco de investigação em diversos trabalhos a exemplo VEIT et al., 1987; REIS, 2002; VEIT e ARAUJO, 2005; WEISS e NETO 2006; VEIT et al., 2005; GONÇALVES, 2005; PAULA, 2007; VASCONCELOS et al. , 2007; HECKLER et al.,2007; LAPA, 2008; SILVA et al., 2008; ALIPRANDINI et al., 2009; SANTOS et al., 2006, entre outros. Desde a década de oitenta com a criação da internet, houve o despertar do uso computador (GIORDAN, 2005), em particular, as simulações como ferramenta no auxílio do ensino de física. A importância das simulações é descrita por Lapa

[...] tal importância dos simuladores na pesquisa sobre o uso das Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino de Física, se fundamenta no fato das leis naturais serem expressas por modelos teóricos. Tais princípios quando reproduzidos no computador, dão ao estudante a possibilidade de intervenção nesses modelos. Com isso as ações dos aprendizes ultrapassam a posição de meros expectadores, colocando-os no papel de construtores e testadores de hipóteses (LAPA, 2008, p. 28).

São inúmeras as definições dadas à simulação. Para Pegden et al. (1990, p. 433) simulação é “processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégia para a sua operação.” Para Giordan (2005, p. 287) simulação é “a combinação de um conjunto de variáveis de modo a reproduzir as leis que interpretam o fenômeno. Já segundo Santos et al. (2006, p. 86) simulações são “ferramentas computacionais capazes de auxiliar na construção do conhecimento e podem ser usadas para ressignificar o conhecimento mediante significados claros, estáveis e diferenciados previamente existentes na estrutura cognitiva do aprendiz.”

As simulações computacionais voltadas ao ensino de física é um processo que coloca o estudante diante de um computador como “manipulador” de situações ali desenvolvidas, as quais imitam ou se aproximam de um fenômeno físico real. Permite ao estudante operar com grandezas físicas e observar resultados “imediatos”, decorrentes das modificações de situações e condições (que, às vezes, é de difícil manipulação em um laboratório convencional). As vantagens em termos de utilização podem ser vistas sob dois aspectos: a animação do fenômeno em estudo e a representação gráfica. Essas utilizações permitem aos estudantes uma melhor compreensão dos aspectos físicos-matemáticos que envolvem o fenômeno em estudo.

Por que apesar do grande avanço observado na pesquisa em ensino de física ainda existe pouca utilização em sala de aula? Para Pena e Ribeiro Filho (2009) isso se deve a pouca repercussão das novas propostas curriculares no âmbito escolar, diz respeito às concepções alternativas dos estudantes, pequeno número de experiências pedagógicas sobre novas abordagens, recursos e metodologias, ausência de atividades experimentais e outros. Dos exemplos citados por esses temos: resultados referentes à inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio; e, melhor rendimento dos estudantes quando têm aulas de laboratório, ou fazem uso das tecnologias de informação e comunicação, em relação ao desempenho deles quando a abordagem é tradicional ou quando um dado recurso não é utilizado etc.

Os conteúdos de física moderna e contemporânea ainda são escassos nas escolas do ensino médio, adicionado a isso ainda temos que esses são conteúdos que requerem certa abstração em relação aos conteúdos clássicos e a montagem de um laboratório convencional que explorem esses conteúdos é caro, pois não são acessíveis à maioria das escolas do ensino básico pelo alto custo dos equipamentos. No entanto, conteúdos básicos de física moderna e contemporânea, tais como quantização da carga elétrica, radiação de corpo negro, relatividade restrita, efeito fotoelétrico, efeito Compton, modelos atômicos etc. são fundamentais para a formação do estudante na contemporaneidade.

A proposta de formalização teórica desses conteúdos já está efetivada na ementa do ensino médio, mas o seu ensino e aprendizado significativo dependerá muitas vezes da capacidade dos professores e estudantes de vincular os mesmos a diversas situações que parecem “fictícias” ou “utópicas”. Pois passar de uma física determinística, do mundo macroscópico, para uma física do mundo microscópico que envolve ideias revolucionárias como a mecânica quântica e a teoria da relatividade, que influencia outras formas do saber humano para se formar um cidadão para a sociedade não é algo tão trivial.

Para evidenciar a necessidade da compreensão destes conteúdos temos uma Carta ao Editor feita por Pena no ano de 2006 à Revista Brasileira de Física intitulada “Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de física moderna e contemporânea na sala de aula?” naquela carta o mesmo faz referência a diversos pesquisadores de ensino de física como Terrazzan (1992), Ostermann et al. (2000), Valadares e Moreira (1998), Pinto e Zanetic (1999), Ostermann e Cavalcanti (2002) que colocam várias justificativas e razões da importância desses conteúdos e, conseqüentemente, a urgência para inclusão dos mesmos no ensino médio. Pena finaliza dizendo que “[...] a participação dos professores de Física - mediante divulgação de textos, relatos de experiências, recursos, materiais e propostas didáticas referentes a tópicos e ideias de Física Moderna e Contemporânea - torna-se indispensável para a atualização, revisão e/ou reformulação dos currículos de física do ensino médio”.

No nosso trabalho, fizemos o uso das simulações computacionais, disponibilizadas de forma gratuita no site do Phet (Physics Education Technology), a internet, como objeto de auxílio no ensino da física moderna e contemporânea no nível médio. Com o intuito de evidenciar que esses recursos podem ser usados como um laboratório alternativo, ou seja, um laboratório virtual sem custo financeiro, formalizando em si um recurso pedagógico que permite uma melhor compreensão de um conteúdo ou fenômeno físico.

O objetivo geral de nossa pesquisa é investigar como uma simulação computacional pode ajudar o ensino de um conteúdo de física moderna e contemporânea: o efeito fotoelétrico, numa intervenção didática.

Temos como objetivos específicos: Abordar o conteúdo efeito fotoelétrico com um simulador computacional, descrevendo as grandezas físicas envolvidas; Verificar o desempenho dos estudantes acerca dos questionamentos propostos com o uso da simulação computacional; Elaborar uma proposta de intervenção didática para aplicação em sala de aula correspondente ao conteúdo efeito fotoelétrico tendo como recurso didático principal um simulador computacional.

Esta dissertação foi dividida e organizada em seis capítulos. No primeiro descrevemos a nossa motivação pela escolha das simulações computacionais como recurso didático para abordar conteúdos de física moderna e contemporânea.

No capítulo 2, apresentamos algumas considerações sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea enfatizando os desafios encontrados e perspectivas futuras. No capítulo 3, apresentamos nosso referencial teórico, em que destacamos as formas de abordagens de ensino de física, o uso de simuladores no ensino de física e a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. No capítulo 4, apresentamos a metodologia empregada na pesquisa, explanando a escolha do conteúdo escolhido e a intervenção didática. No capítulo 5, apresentamos os resultados obtidos e as discussões de nossa pesquisa. E, finalmente, no Capítulo 6, apresentamos as considerações finais.

1. Considerações sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea

1.1. Física Moderna e Contemporânea: Desafios e Perspectivas

Há aproximadamente vinte anos, tem-se discutido a necessidade da introdução de conteúdos ou temas de física moderna e contemporânea no ensino médio. Diversas pesquisas foram realizadas apontando essa questão, incluindo levantamento de propostas, concepções de ensino e desenvolvimento de sequências didáticas para aplicação em sala de aula. Vários estudiosos tratam do assunto a exemplo de: TERRAZZAN, 1992; CAMARGO, 1996; MENEZES e HOSOUME, 1997; PAULO, 1997; VALADARES E MOREIRA, 1998; PINTO e ZANETIC, 1999; OSTERMANN e MOREIRA, 2000a; BROCKINGTON e PIETROCOLA, 2004, PEREZ e CALUZI, 2004; MACHADO e NARDI, 2006; VIANA e CORRÊA Filho, 2006, TAVARES, 2008; VALENTE et al., 2008, entre outros.

Segundo Alvetti (1999) quatro projetos brasileiros contribuíram com a inserção de conceitos de física moderna na educação brasileira. Três deles foram introduzidos na década de setenta: o PEF (*Projeto de Ensino de Física*), o PBEF, (*Projeto Brasileiro de Ensino de Física*) e o FAI, (*Física Alto-instrutiva*). O mais recente da década de noventa é o GREF (*Grupo de Reelaboração do Ensino de Física*), que até hoje vem sendo analisado por pesquisadores em educação.

O GREF conduziu um projeto de ensino de física na educação de nível médio partindo de conteúdos referentes à vida cotidiana. Nele, o entendimento da física moderna e contemporânea aparece como uma necessidade para a compressão de equipamentos e tecnologia do cotidiano dos estudantes. Mesmo levando em consideração a fragilidade dos conhecimentos da física clássica pelos estudantes, “*não se deve aceitar a ideia restritiva de pré-requisitos, que tende a julgar jovens adolescentes como incapazes de perceber*

a complicada lógica quântica, antes de dominarem todo o instrumental clássico” (CAVALCANTE et al., 1999, p. 154-155).

Percebemos que o ensino de física moderna foi propiciado nesse último projeto brasileiro destacado, buscando uma mudança do currículo para o ensino médio tendo em vista que era necessária a proximidade do ensino de física com a física moderna e contemporânea. Terrazzan (1992) ressalva sobre os conteúdos ministrados no ensino de física nas escolas de ensino médio:

[...] os conteúdos que comumente obrigamos a denominação de física moderna, não atingem os nossos estudantes. Menos ainda os desenvolvimentos mais recentes da física contemporânea (TERRAZZAN, 1992, p. 210).

Mais de cem anos passados desde o desenvolvimento da teoria quântica da relatividade restrita e, embora suas contribuições sejam indispensáveis no desenvolvimento e aplicações das tecnologias atuais, elas não fazem parte efetivamente do conteúdo programático de grande parte das escolas do ensino médio. Em outras palavras o ensino não tem acompanhado os avanços tecnológicos acontecidos nas últimas décadas e tem-se revelado distante da realidade dos estudantes.

São diversas pesquisas propostas na área de ensino que se articulam propondo reformas e diretrizes do atual currículo de física das escolas do ensino médio. Para ter ideia, na década de 90, Terezzan (1992) já dava indícios que os currículos de física das escolas do ensino médio são pobres e muitos semelhantes, usualmente são divididos em temas como: mecânica, física térmica, ondas, óptica e eletromagnetismo que são ditados pelos manuais de física.

Então já se permeava a questão: Por que devemos esperar a entrada do século XXI para iniciarmos a discussão nas escolas da Física do século XX? A resposta do pesquisador em ensino de física João Zanetic foi que "ensinamos a física do século XX antes que ele acabe", de acordo com Terezzan (1992, p. 211)

Passado mais de 20 anos, existe ainda hoje uma enorme lacuna do que se apresenta como o conteúdo ministrado no ensino médio e as aplicações tecnológicas. Nas palavras de Oliveira (2006):

A enorme lacuna que se apresenta hoje, entre o conteúdo formal de Física ministrado nesse segmento do ensino e as profundas transformações tecnológicas ocorridas, mostra que tópicos de Física Moderna e Contemporânea passam a ser fundamentais no sentido de contextualizar o aluno no mundo tecnológico atual e conseqüentemente permitir ao aluno participar da atual sociedade, exercendo plenamente seu papel de cidadão (OLIVEIRA, 2006, p.2).

No ano mundial da Física, 2005, em que comemoramos os cem anos da relatividade restrita a Sociedade Brasileira de Física (SBF) propôs diretrizes que pudessem nortear as ações da SBF no decênio 2005-2015. A comissão reuniu-se por diversas vezes no período novembro de 2003 a julho de 2004, e para algumas reuniões convidou engenheiros e autoridades ligadas à gestão da ciência e tecnologia do Governo Federal. Essas diretrizes culminaram com o Livro Física para o Brasil, sendo um dos focos a busca de maior inserção da física brasileira na vida do país. O trecho seguinte nos faz refletir e nos deixa claro a enorme lacuna que ainda permeia com relação aos conteúdos de física moderna e contemporânea nos cursos do ensino superior e, conseqüentemente, do ensino médio.

No mundo inteiro, os conteúdos da física – tanto nos cursos destinados aos físicos quanto naqueles oferecidos como disciplinas de serviço – há muito oferecem uma visão inadequada do quadro atual dessa área do conhecimento, de seu dinamismo e de sua abrangente inserção na ciência e na tecnologia. O problema é mais grave nas disciplinas de física básica – geralmente, as únicas oferecidas aos estudantes de engenharia e de outras ciências –, o que contribui para o desprestígio da física frente ao público educado. Passamos a impressão de que física é algo centrado em roldanas, planos inclinados, piões, circuitos elétricos, lentes etc. Tópicos como relatividade e física quântica, que já completam um século, são classificados como física moderna e quase omitidos nas ementas da física básica (CHAVES e SHELLARD et al., 2005, p. 222-223).

Dentre tantos benefícios justificados em favor da inserção de conteúdos de física moderna e contemporânea todas convergem para a sua importância,

como revelado no trabalho de Corrêa et al. (2003): relegar a um segundo plano o ensino de física moderna pode significar andar na contramão dos objetivos da escola básica para formar o cidadão, conforme consta na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei 9.394/96) em seu artigo 22.

A Física estudada, hoje, nas escolas do ensino médio se concentra em conteúdos antes de 1900, isto é, não corresponde ao progresso dessa ciência, são mais de cem anos de atraso. A física moderna agora não é tão moderna, por isso a denominação de física moderna e contemporânea. No entanto os estudantes sentem fascínio com temas como buracos negros, energia escura, big-bang, etc., exibidas diariamente em meios de comunicação como: televisão, jornais ou em revistas de divulgação científica. Mas ficam as indagações desses fascínios, porque os estudantes quase não têm contato com esses temas no ambiente da sala de aula.

É importante considerar a influência dos conteúdos de física moderna e contemporânea para o entendimento do mundo atual bem como a necessidade de se formar cidadãos inseridos e atuantes nesse mundo extremamente tecnológico (TERRAZZAN, 1992).

Para Ostermann e Moreira (2000b) algumas das razões para a inclusão do ensino da física moderna nas instituições de ensino são: (1) despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a física como um empreendimento humano; e, (2) o ensino de temas atuais da física pode contribuir para transmitir aos estudantes uma visão mais correta dessa ciência e da natureza do trabalho científico, superando a visão linear do desenvolvimento científico, presente nos livros didáticos e nas aulas de física.

Quanto à ausência dos conhecimentos dos conteúdos de física moderna e contemporânea é preciso que os professores quebrem essas barreiras, pois segundo os PCNs (Parâmetros Curriculares Nacionais):

Para o Ensino Médio meramente propedêutico atual, disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais (BRASIL, 1999, p. 209).

Quebrar as barreiras para:

[...] uma educação com o sentido que se deseja imprimir, só uma permanente revisão do que será tratado nas disciplinas garantirá atualização com o avanço do conhecimento científico e, em parte, com sua incorporação tecnológica (BRASIL, 1999, p.209).

Pois, a física deve ser considerada como uma atividade científica de compreensão do mundo e de aplicabilidade na realidade do cidadão. A física moderna e contemporânea deve ser entendida como um ramo dessa ciência. Para isso é necessário criar relações entre a mesma e mundo exterior para termos de fato o cidadão contemporâneo que tanto almejamos, ou seja:

[...] constituição de um cidadão contemporâneo crítico, em permanente aprendizado e atuante em sua realidade, capaz de emitir juízos de valor com argumentação científica e e/ou lógica. Nesse processo a participação do professor é fundamental. (ARAÚJO et al., 2009, p.10).

Hoje vivemos numa sociedade exposta a inovações tecnológicas. A maioria dos estudantes nessa faixa de ensino possui ou fazem uso indiretamente de dispositivos eletro-eletrônicos em que são impostas tarefas para seu simples manuseio. Por isso, os conteúdos de física moderna e contemporânea exercem uma grande influência na sociedade contemporânea, sendo imprescindível para o entendimento do “mundo” que nos rodeia. Concordamos com Pietrocola e Brockington (2003) que:

A necessidade de uma atualização curricular que passe a englobar conhecimentos de Física Moderna e Contemporânea já é ressentida no meio acadêmico há pelo menos 15 anos (PIETROCOLA e BROCKINGTON, 2003, p. 2).

Em relação ao mundo atual, em que o estudante está cercado de tecnologia de forma direta ou indireta independente de classe social, faz-se

necessário que o mesmo tenha o mínimo contato com conceitos modernos de física que o faça pensar, interpretar e despertar as diversas formas de funcionamento dos mesmos, pois, segundo Terrazzan (1992):

Aparelhos e artefatos atuais, bem como fenômenos cotidianos em uma quantidade muito grande, somente serão compreendidos se alguns conceitos estabelecidos a partir da virada deste século forem utilizados (TERRAZZAN, 1992, p.210).

Sendo assim, começou a se discutir o que ensinar e como ensinar física moderna e contemporânea no ensino médio brasileiro. Pois, temos pela frente um “novo mundo”, muito pequeno, denominado física quântica e um muito rápido, denominado de relatividade, com um formalismo matemático amplo e com novos modelos de interpretação.

Como relata Terrazzan (1992), teríamos que analisar com muito cuidado a inserção desta nova área, não deixando de lado o objetivo principal que seria a compreensão de um novo mundo e de todos os avanços tecnológicos recentes:

O processo de seleção dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, adequados ao tratamento da física no 2º grau, deve-se basear no equilíbrio que a própria ciência física impõe para que haja consistência na apresentação dos tópicos e para que privilegie leis gerais e conceitos fundamentais (TERRAZZAN, 1992, p.211).

Assim devemos adequar esses tópicos para uma melhor compreensão desse “novo mundo” e o formalismo matemático avançado teria que ficar um pouco de lado ou até mesmo simplificado para uma melhor interpretação. Destacamos o caráter histórico envolvido no ensino de física moderna em que muitos livros retratam experiências para desenvolvimento de atuais modelos. Segundo Greca e Moreira (2001) este impacto teria que ser entendido ressaltando todas as mudanças que este ensino passou ao longo da história, fazendo com que esse seja mais brando assemelhando-o a uma visão mais humanista.

A inserção dessa nova física ou dessa interpretação de mundo, no ensino médio, tenta se consolidar nos últimos anos como uma forte tendência de renovação curricular. A iniciativa dessa tendência deve costar na maior parcela de livros didáticos, pois parte desses (ao mais utilizados), no ensino médio, incorporou de alguma maneira conteúdos de física moderna e contemporânea. (VALENTE et al. 2007, p. 3).

Gostaríamos destacar que:

[...] É viável ensinar física moderna e contemporânea no ensino médio, tanto do ponto de vista do ensino de atitudes quanto de conceitos. É um engano dizer que os alunos não têm capacidade para aprender tópicos atuais. A questão é como abordar tais tópicos (OSTERMANN e MOREIRA, 2000b, p. 11).

E como sabemos na física, o professor se depara com conceitos ou conteúdos que requerem certa abstração.

[...] Se houve dificuldades de aprendizagem não foram muito diferentes das usualmente enfrentadas com conteúdos da física clássica [...] Os alunos podem aprende-la se os professores estiverem adequadamente preparados e se bons materiais didáticos estiverem disponíveis (OSTERMANN e MOREIRA, 2000b, p. 11).

E mesmo que o professor possa ter grande capacidade de explanação e justificação de um determinado conteúdo, se houver dificuldades de ensino de um determinado fenômeno físico, que é dinâmico, com recursos corriqueiros giz e quadro negro, que são estáticos, temos que:

[...] uma boa simulação pode comunicar melhor do que imagens estáticas, ou mesmo do que uma sequência delas, ideias sobre movimentos e processos em geral. Nisso se fundamenta, basicamente, a decantada superioridade das representações computacionais àquelas contidas nos livros didáticos (MEDEIROS e MEDEIROS, 2002, p.81).

Por isso, é necessário promover a difusão de tecnologias de comunicação e informação para auxiliar o ensino. Achamos que o uso de simulações para fins didáticos no ensino de física, principalmente no ensino de física moderna e contemporânea, pode ser um material didático que poderá contribuir para a qualidade do ensino.

O uso de simuladores computacionais no ensino de física não implica no abandono das aulas expositivas, pois necessitamos também da formalização de certos conceitos e fenômenos, nem de descartar as experiências em salas de aula ou laboratórios tradicionais, pois precisamos desenvolver certas habilidades e acima de tudo, lembrar que: “O mundo físico e o virtual não se opõem, mas se complementam, integram, combinam numa interação dada vez maior, contínua, inseparável” (MORAN, 2007, p.9).

1.2. O Efeito Fotoelétrico

Partindo do pressuposto da importância da inserção de física moderna e contemporânea e dos conteúdos relevantes do ponto de vista conceitual, histórico e do formalismo matemático temos que o efeito fotoelétrico é um exemplo desses a que nos referimos.

Em 1887, Heinrich Hertz investigava a natureza eletromagnética da luz, neste mesmo ano, examinando a produção de descargas elétricas entre duas superfícies de metal em potenciais diferentes, ele observou que uma faísca proveniente de uma superfície gerava uma faísca secundária na outra. Houve a constatação de que o fenômeno não era de natureza eletrostática. Após uma série de experimentos, Hertz, confirmou que a luz poderia gerar faíscas e que o fenômeno deveria ser devido apenas à luz ultravioleta. Em 1888, estimulado pelo trabalho de Hertz, Wilhelm Hallwachs mostrou que corpos metálicos irradiados com luz ultravioleta adquiriam carga positiva. Para explicar o fenômeno, Lenard e Wolf sugerindo que a luz ultravioleta faria com que partículas do metal deixassem a superfície do mesmo. Thomson, dois anos

depois da descoberta de Hertz, sugeriu que o efeito fotoelétrico consistia na emissão de elétrons¹.

Elétrons emitidos de uma superfície de um metal quando a mesma é atingida por luz de frequência suficientemente alta (é necessária luz ultravioleta para todos os metais exceto os metais alcalinos). Este fenômeno é conhecido com efeito fotoelétrico (Figura 1).

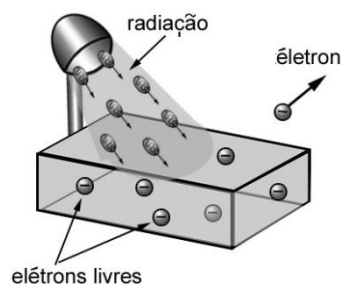


Figura 1 – Esquema do efeito fotoelétrico².

Em termos históricos o efeito fotoelétrico tem sua raiz na ideia da quantização da energia proposta por Planck em 1900 para explicar o espectro de radiação de corpo negro (denominando de catástrofe do ultravioleta), ou seja, obter a expressão que descrevesse o espectro do corpo negro obtido experimentalmente. Embora para Planck pensar na energia como quantizada era apenas uma espécie de artifício matemático (EISBERG e RESNICK (1979)). As propriedades observadas do efeito fotoelétrico eram divergentes das previsões clássicas, em que se esperava que a radiação eletromagnética se comportasse simplesmente como uma onda no processo de ejeção dos elétrons. Ao fazer essas considerações do pensamento clássico deve-se observar que a energia cinética dos elétrons deveria aumentar com a intensidade da onda eletromagnética, deveria “demorar” para haver emissão de elétrons dependendo de intensidade da luz e que a energia cinética não deveria depender de forma descontínua da frequência da onda eletromagnética. Entretanto, experimentalmente, a energia cinética não varia com a intensidade da luz, não há atraso perceptível para emissão dos elétrons e para frequências baixas não existe o efeito fotoelétrico.

¹ Trecho retirado e modificado do sítio: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod03/index.html>.

² Retirado de <http://modeloatomico3.blogspot.com/2011/04/efeito-fotoeletrico.html>.

O efeito fotoelétrico³ tem sua explicação baseada na ideia da quantização da energia usada por Planck, que não se tratava apenas de um artifício matemático para explicação do problema da radiação do corpo negro, mas era uma característica universal da luz ou das ondas eletromagnéticas. Einstein assumiu que a energia das oscilações eletromagnéticas é dada por:

$$E = n h \nu.$$

Onde ν é frequência da onda eletromagnética, h é uma constante denominada constante de Planck e n são números inteiro positivos (quantização). O termo $h\nu$ é a energia fundamental ou a energia de um quantum.

Tendo como base teórica essa nova interpretação para a luz, proposta por Einstein faz referências a novas considerações para poder usar de uma nova interpretação da causa e da ocorrência do efeito fotoelétrico diferentemente de Hertz.

Assumir a quantização da energia, ou o quantum, seria adotar o caráter corpuscular que seria manifestado no processo de interação da radiação com a matéria (absorção e emissão). A intensidade da luz deve agora ser dada pelo número de fótons⁴ emitidos por unidade de tempo. Assim para um único fóton ao interagir com o elétron do material é completamente absorvido por esse, e após a interação terá uma energia cinética K dada por:

$$K = h\nu.$$

As partículas de luz deveriam se chocar contra os elétrons, transferindo energia para eles durante a colisão. No entanto o elétron está preso no material e, para libertar-se de sua "prisão energética" precisava receber certa dose de energia que, fisicamente corresponde a um trabalho a ser realizado.

³ Este fenômeno foi descoberto por Hertz em 1887, cuja explicação foi dada no ano de 1905 por Albert Einstein, e que se tornou revolucionária, em que propôs a hipótese da quantização da radiação eletromagnética pela qual, em certos processos, a luz comporta-se como pacotes concentrados de energia, chamados fótons (CAVALCANTE et al., 2002). Albert Einstein recebeu o Prêmio Nobel de 1921 pela descoberta da lei do efeito fotoelétrico.

⁴ O fóton também é o quantum da radiação eletromagnética (incluindo a luz).

Essa dose de energia para arrancar o elétron é chamada de função trabalho (ϕ). A energia cinética do material ejetado $K_{M\acute{a}x}$ é dado por (EISBERG e RESNICK (1979):

$$K_{M\acute{a}x} = h\nu - \phi.$$

Como já foi denominado anteriormente $K_{M\acute{a}x}$ era a energia cinética máxima, $h\nu$ era a energia do fóton incidente na placa metálica e ϕ a função trabalho.

A Figura 2 apresenta o esquema do aparelho usado para a realização de experimentos de investigação do efeito fotoelétrico. Um feixe de luz ultravioleta incide sobre uma superfície metálica (placa emissora), provocando a emissão de elétrons dessa superfície. Se alguns desses elétrons atingirem a placa coletora, haverá uma corrente elétrica no circuito.

Na Figura 3 deve-se observar que a placa emissora está sob potencial elétrico positivo de modo que o campo elétrico na região entre as placas provocará uma desaceleração do elétron, assim ele perde energia cinética ao longo do percurso entre as placas. Logo podemos encontrar uma nova variável para o efeito denominada potencial frenador, que faz com que os elétrons não cheguem a placa coletora e com isso cessa a corrente elétrica.

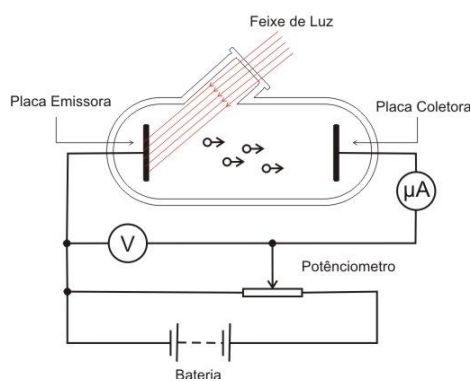


Figura 2: Ilustração do aparelho usado para estudo do efeito fotoelétrico com polaridade emissora negativa. (Fonte: <http://pt.wikipedia.org>)

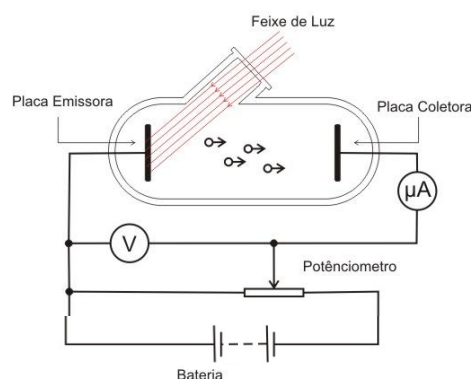


Figura 3: Ilustração do aparelho usado para estudo do efeito fotoelétrico modificada com polaridade emissora positiva. (Fonte: <http://pt.wikipedia.org>)

Porém, explica Eisberg e Reskick (1979) que surgia a objeção de uma frequência limite para que o efeito ocorra denominado de frequência mínima ou

frequência de corte, que pode ser analisada quando a energia cinética dos fotoelétrons é nula. Fazendo com isso que o fóton incidente tenha exatamente a energia necessária para retirar o elétron do metal sem que lhe sobre nenhuma quantidade a ser usada como energia cinética.

$$K_{M\acute{a}x} = 0$$

$$h\nu_0 = \varphi$$

$$\nu_0 = \frac{\varphi}{h}$$

Logo, chegava-se a uma interpretação de que por mais intensa que fosse a luz incidente na placa metálica não teria energia necessária para ejetar os fotoelétrons. Na Figura 4 destacamos a frequência mínima ou frequência de corte no eixo das abcissas (eixo x) e sua declividade representada por h que seria a constante de Planck.

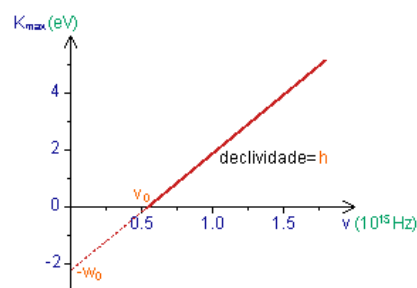


Figura 4: Gráfico da energia versus a frequência⁵.

Também podemos usufruir de um potencial de retardamento do efeito fotoelétrico, denominado potencial frenador ou potencial de corte dado por:

$$K_{M\acute{a}x} = eV_0.$$

⁵ Fonte: http://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/fotoElec/aFotoElecText.htm

onde o “e” como a carga elementar do elétron e V_0 como potencial frenador, que associando à expressão da energia cinética máxima atribuída por Einstein temos:

$$eV_0 = hv - \varphi$$

e

$$V_0 = \frac{hv}{e} - \frac{\varphi}{e}.$$

A equação de Einstein para o efeito fotoelétrico evidenciando uma relação linear entre a frequência (ν) e o potencial frenador (V_0) sendo o valor da declividade da curva na Figura 4 h/e .

A escolha do tema efeito fotoelétrico foi devido a esse ser uma interpretação de característica da luz, ou seja, a luz se evidencia com corpúsculos (evidencia a natureza corpuscular). Segue então, o pressuposto da física clássica, em que a luz seria apenas uma onda eletromagnética.

É importante deixar claro que o efeito fotoelétrico foi descoberto “acidentalmente” por Hertz em 1887 (TIPLER e LLEWELLIN, 2006) e explicado através de uma teoria física quântica por Einstein.

Achamos que uma das dificuldades de assimilação do conteúdo, efeito fotoelétrico, na construção cognitiva do estudante em relação à intensidade da onda eletromagnética que interage com o metal quando usamos recursos didáticos tradicionais (giz e quadro) e imagens ilustrativas (de forma estática nos livros textos).

Outra dificuldade é o efeito depender do material exposto, ou seja, das propriedades de ligações internas entre suas partículas que como já vimos seria denominado de função trabalho. Geralmente, o estudante não consegue discernir bem apenas com o auxílio de recursos didáticos tradicionais, como se

comporta essa absorção de energia para que partículas (elétrons) sejam expelidas (ou ejetados) do metal.

E, por fim, gostaríamos de evidenciar a problemática do próprio aparato usado para quantificar o efeito fotoelétrico. É como se precisasse do circuito para haver o efeito fotoelétrico. Um exemplo disso é uma interpretação dúbia do potencial de corte, denominado também de potencial frenador, com a função trabalho fazendo com que não se tenha uma interpretação correta da intensidade da onda eletromagnética incidida na placa.

Sendo assim, fica difícil para o estudante, seja ele de qualquer nível de escolaridade, visualizar e discutir o funcionamento de alguns meios tecnológicos que os rodeiam apenas com imagens ou diagramas. No caso particular do efeito fotoelétrico como se tem certo grau de abstração e mudanças conceituais com relação à física clássica, o estudante cria embaraços conceituais. E o que resta para esse é a memorização de fórmulas ou expressões matemáticas. Assim, com um simulador computacional é possível dinamizar o próprio efeito fotoelétrico e por isso postulamos que o mesmo facilita a aprendizagem.

Uma simulação computacional sendo do tipo interativa conduz a um nível de abstração da realidade que sem ela seria alcançada apenas por poucos estudantes (TAVARES e SANTOS, 2003).

Em relação à aplicação do efeito fotoelétrico no dia a dia. Por que uma simples luz que acende e apaga todos os dias em um poste de iluminação pública, perto de sua casa? Como a porta de um shopping abre e fecha sozinha? Isso tudo pode ocorrer devido à aplicação do efeito fotoelétrico, pois podemos ter células foto emissivas ou fotocondutivas.

No caso das portas que abrem e fecham sem ninguém por perto, temos a combinação de uma célula fotocondutiva com um relé, fazendo um dispositivo funcionar como maçaneta só com aproximação de uma pessoa ao sensor. De forma estratégica para abri-las em certo intervalo de tempo que proporcione a passagem das pessoas (Figura 5).



Figura 5: Ilustração de uma porta automática com sensores fotoelétricos de presença⁶

Já as luzes que acendem nos postes de iluminação pública, temos os sensores fotos emissivos que fazem o circuito fechar com a passagem da corrente elétrica a partir da intensidade luminosa, quando essa intensidade luminosa diminui o sensor abre o circuito para apagar a lâmpada já que temos externamente luminosidade suficiente para iluminar o ambiente (Figura 6).

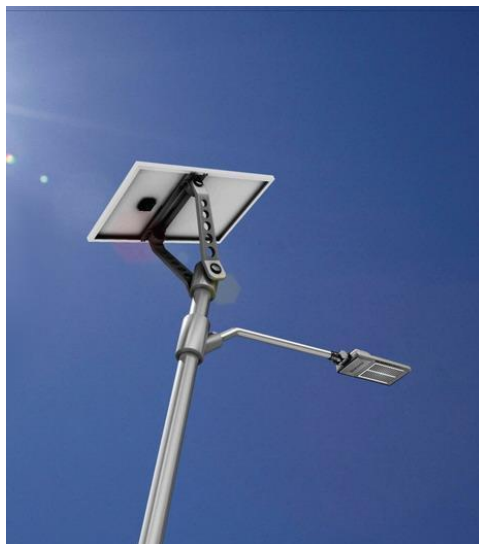


Figura 6: Ilustração da iluminação pública com auxílio de placas solares e de sensores fotoelétricos⁷

⁶ Fonte: <http://portoalegre.evisos.com.br/fotos-del-anuncio/cftv-cancelas-portas-automaacuteticas-alarmes-telefonias-id-43414>

⁷ Fonte: <http://www.portaldoled.com/page/5/>

O nosso referencial teórico é apoiado na teoria da aprendizagem de Ausubel, descrita no terceiro item do próximo capítulo. Porque se propõe a “lançar as bases para a compreensão de como o ser humano constrói significados e desse modo apontar caminhos para a elaboração de estratégias de ensino que facilitem uma aprendizagem significativa” (TAVARES, 2008, p.1).

1.3 O Ensino de física e suas várias formas de abordagens

Ao longo dos séculos que temos formas destacáveis de ensino de física que vamos denominar como tradicional e inovadora (que engloba alternativas pedagógicas à forma tradicional). A tradicional seria aquela que se dá de forma mecânica, para ela o professor é um transmissor de conhecimento e detentor do saber, em que o estudante seria apenas o coletor de informações as quais lhe associa o que seria cabível. A inovadora é destacada por uma aprendizagem de forma mais significativa (os conteúdos têm significados), em que o professor além de ter o conhecimento ao mesmo tempo provoca, estimula e aprende com o seu estudante independente do recurso didático usado.

Dentro da forma tradicional é muito usado como recurso didático a lousa e o pincel, ou o famoso quadro e giz, para transmissão do conhecimento deixando, por exemplo, o estudante com muitas incógnitas a respeito de como interpretar as formulações matemáticas na construção de um modelo físico ou como entender com atitude investigativa fenômenos físicos estudados. Segundo Veit (2005), a física ensinada desse modo não tem significados, torna-se muito difícil, é preciso decorar fórmulas cuja origem e finalidades são desconhecidas.

O novo paradigma de educação “que é” e “está sendo” proposto para os professores, exige desse e dos estudantes uma produção de conhecimento, com criticidade, autonomia e atitude investigativa.

A sociedade do conhecimento, que vem surgindo com a evolução da tecnologia, exige mudanças profundas em relação à visão de mundo e do homem, o que faz necessário redimensionar a educação em todos os níveis de ensino.

A forma inovadora, mesmo com o quadro e giz, o professor é um provocador do conhecimento trazendo para a sala de aula indagações do seu cotidiano levando o mesmo a pensar, a se perguntar e a estimular a criação de um modelo que seja relativamente aproximado com a formulação matemática encontrada. Podendo às vezes fazer o processo inverso, levando consigo o fenômeno físico como modelo para se chegar a uma formulação matemática. Ao longo dos séculos desde Galileu, percebemos como é de suma importância à construção de um modelo para uma boa interpretação do mesmo, isso na maioria das vezes ocorre de forma experimental, pela qual não seria diferente no ensino de física moderna e contemporânea.

Se em um mundo o qual percebemos, podemos sentir e detectar facilmente suas grandezas físicas, como é o mundo da física clássica, já se faz imprescindível o uso da experimentação fugindo do ensino tradicional. Convenhamos que também seja imprescindível o uso de um ensino de física inovador, com o auxílio da experimentação para melhor entendimento dos modelos que evidenciam a física moderna e contemporânea em um mundo imperceptível à faixa de visão do ser humano e muito veloz.

É urgente a melhoria da qualidade no ensino de ciências. Faz um bom tempo que ainda o ensino tradicional associado ao ensino de ciências, em particular à física, tornando-a uma disciplina, que embora esteja ligada de modo intrínseca aos estudos dos fenômenos naturais - a realidade do estudante, parece bem afastada. E, esta associação repercute até hoje na prática de sala de aula em que os estudantes a classificam como “decorativa”, reforçando a ideia de “memorização de fórmulas ou conteúdos”.

Assim, nesta dissertação propomos uma investigação de como uma simulações computacional pode ajudar no ensino de ciências particularizando para o ensino da física. As simulações computacionais no decorrer dos tempos

tornaram-se meios tentadores e fascinantes para os professores inserirem conteúdos de física, principalmente, para aqueles professores que lecionam em escolas que não dispõem de laboratórios (PIETROCOLA e BROCKINGTON, 2003). E isso é mais evidente para conteúdos relacionados à Física Moderna e Contemporânea em que os laboratórios têm um custo médio a elevado.

Uma grande ênfase é dada comumente ao fato de que novas tecnologias educacionais, tais como as simulações computacionais, possibilitaram uma mudança radical no modo de se ensinar a Física. Em muitos aspectos, essa mudança equivale à quebra de um antigo paradigma educacional baseado em aulas expositivas e laboratórios tradicionais (MEDEIROS e MEDEIROS, 2002, p. 80).

A relação entre teoria e prática, entre o fazer e o saber fazer aparece como fundamentais nesta questão. É necessário que os professores saibam construir atividades inovadoras que levem os estudantes a evoluir (mudando as suas concepções espontâneas e chegando as científicas), sendo fundamental que eles saibam dirigir os trabalhos dos estudantes para que possam atingir tais objetivos. E concordamos que o saber fazer é, na maioria das vezes, mais difícil do que o fazer, pois:

O ato de educar é complexo e envolve, por exemplo, o desenvolvimento de formas de pensar, de estruturas mentais e, para isso, não basta que o professor transmita ao estudante um número enorme de informações (OLIVEIRA et al., 2009, p. 23).

Além disso, gostaríamos de destacar que:

Já houve tempo em que o professor era a melhor fonte de informações da qual o estudante dispunha e, nesse caso, essa forma de ensino até poderia se justificar. No entanto, hoje, graças principalmente às tecnologias de informação e comunicação, o acesso ao conhecimento está mais diversificado. O papel da escola e do professor com certeza não é mais o mesmo. O conhecimento está disponível num maior número de publicações nacionais (livros, revistas especializadas, jornais e outros), internacionais (traduzidos ou não) e na rede mundial de computadores. O professor, diante disso, não representa o recurso de mais fácil acesso. (OLIVEIRA et al., 2009, p. 23).

Desta forma, as simulações computacionais, podem promover alternativas de encaminhar o trabalho pedagógico utilizando recursos metodológicos que possam favorecer outra forma de fazer e pensar sobre o ensino de física.

1.4 O Uso de simuladores e o ensino de física

Destacamos a importância do uso de simuladores no ensino de física, tanto no ensino de física clássica como também no de física moderna e contemporânea, porém ressaltando que uma simulação não substituirá um experimento prático. Pois, para Medeiros e Medeiros (2002) umas das limitações das simulações apesar de estarem distribuídas facilmente, é que podem gerar uma tendência perigosa se o seu uso for exagerado, ou seja, substituir experimentos reais como se tivessem o mesmo caráter epistemológico e educacional de um laboratório convencional.

No caso da física clássica, que estamos supondo a existência de muitos experimentos bons, com materiais de baixo custo, os simuladores podem ser um bom aliado para analisar de uma forma mais dinâmica o experimento realizado na prática, pois o simulador pode contornar algumas dificuldades encontradas no decorrer do desenvolvimento da experiência e este pode contornar alguns obstáculos como: condições climáticas, precisão de alguns instrumentos, influência de outros meios etc. (PIETROCOLA e BROCKINTON, 2003).

Todavia concordamos com Pietrocola e Brockinton (2003) em relação ao ensino de física moderna e contemporânea:

[...] que a maioria das experiências de Física Moderna e Contemporânea não pode ser feita nos laboratórios escolares, uma excelente forma de contornar este problema é através do uso de simuladores computacionais que além de contribuir para essa atualização curricular também traz a luz uma discussão da

atualização dos mecanismos que podem ser utilizados para o ensino de Física (PIETROCOLA e BROCKINTON, 2003, p 2).

Para Medeiros e Medeiros (2002), experimentos que são muito caros de ser feitos e perigosos, que envolvem fenômenos muito lentos ou muito velozes, também podem ser assinalados como prioritários para o uso de simulações computacionais no ensino de física.

Muitos autores, inclusive Pietrocola e Brockinton (2003), destacam a importância dos recursos computacionais, em especial a simulação como uma ferramenta que viabiliza o professor a traduzir seus objetivos de ensino transformando-a em uma alternativa eficiente para uma melhor compreensão dos conteúdos de física moderna e contemporânea.

Uma simulação é capaz de traduzir o que é “impossível” de ser feito com palavras e, no caso da Física Moderna e Contemporânea, pode reproduzir o que não pode ser feito em laboratório... Assim, o aluno mesmo sendo incapaz de fazer ou compreender a sofisticação matemática envolvida em um determinado experimento ou fenômeno, pode usar a simulação e entender a Física ali apresentada (PIETROCOLA e BROCKINTON, 2003, p 4).

É inegável que vivemos em uma sociedade conduzida pelos avanços tecnológicos, em que o computador tem muita utilidade. A sociedade tem passado por diversas transformações, as quais têm afetado a educação, deixando os professores muitas vezes desorientados mediante tais mudanças.

Por isso concordamos com Veit e Teodoro (2002), que não tem sentido discutir se devemos ou não utilizar computadores no ensino, em particular na física, pois esses são nos dias atuais uma ferramenta útil em toda atividade científica. O uso de computadores nos dias de hoje se apresenta como fundamental.

Por isso os autores retratam a necessidade de adaptação e divulgação de novas metodologias para a melhoria da qualidade de ensino ofertado nas escolas. Assim partilhamos da hipótese que o surgimento das tecnologias da informação e comunicação, baseado no uso do computador, com o uso de

simulações de fenômenos físicos, associadas a aparatos pedagógicos fundamentados em paradigmas educacionais, tornam-se poderosos contribuintes ao processo ensino-aprendizagem da física.

No entanto, existe um distanciamento entre a pesquisa e a prática de ensino nas salas de aula. Por isso, é importante que se reflita sobre o papel das tecnologias computacionais e as suas implicações na educação científica e tecnológica. Mas, é bom ressaltarmos que a presença do computador em sala de aula, por si só, não garante melhoria do ensino, pois o uso do mesmo com recurso didático depende de diversos fatores, entre os quais a qualidade da simulação computacional a ser utilizada e por que deverá ser utilizada.

A simulação computacional encarada como uma área de conhecimento multidisciplinar é a aplicação de modelos matemáticos à análise e compreensão de problemas complexos em diversas áreas como engenharias, ciências exatas, biológicas, humanas, economia e ciências ambientais. Portanto, o uso adequado dentro do ambiente de sala de aula pode facilitar o aprendizado, já que esta representa ou tenta representar uma determinada realidade com o “status dinâmico”.

A física por ser uma ciência experimental, que objetiva explicar os fenômenos naturais, em que qualquer teoria só tem significado real quando comprovada experimentalmente. E mesmo que o professor tenha uma grande capacidade de explanação e justificação de um determinado conteúdo, haverá sempre dificuldades de ensino de um determinado fenômeno físico, que é dinâmico, com recursos corriqueiros, giz e quadro negro, que são estáticos. Na física, o professor se depara com conceitos ou conteúdos que requerem certa abstração. Por isso:

É verdade que uma boa simulação pode comunicar melhor do que imagens estáticas, ou mesmo do que uma sequência delas, ideias sobre movimentos e processos em geral. Nisso se fundamenta, basicamente, a decantada superioridade das representações computacionais àquelas contidas nos livros didáticos (MEDEIROS e MEDEIROS, 2002, p.81).

Além disso, gostaríamos de enfatizar que “sob o ponto de vista de experiências didáticas, nos dias de hoje, as atividades de ensino de física estão permeadas de propostas envolvendo o uso de computadores” (ARAÚJO et al., 2007, p. 602). Este fato retrata a necessidade de adaptação e divulgação destes novos recursos, particularmente as simulações computacionais, visando a melhoria da qualidade do ensino de física ofertado nas escolas.

Por isso, é necessário promover a difusão da física e o conhecimento das tecnologias da informação e comunicação, particularmente o uso de simulações para fins didáticos no ensino de física moderna e contemporânea.

É óbvio que, para utilizar simulações *on-line* no ensino, é necessário um apetrechamento mínimo das escolas: deverão existir suficientes computadores ligados à Internet, dotados de *software* adequado (MARTINS et al., 2003, p. 3).

Sendo assim, segundo Araújo (2005), temos como forma extremamente importante no processo de ensino-aprendizagem o uso dos simuladores ou modelagem interativa no ensino da Física Moderna e Contemporânea, que irão fornecer ao estudante um novo horizonte para uma melhor compreensão do modelo ou fenômeno utilizado.

Ainda de acordo com Santos, et al. (2006), os experimentos virtuais além de estarem acessíveis a qualquer instante, podendo ser usado fora da aula em uma atividade extraclasse, podem ainda ter roteiros de atividades variadas de estudante a estudante. Baseando em uma aprendizagem construtivista, uma simulação pode fornecer ao estudante uma experiência direta, com certas hipóteses, onde o modelo da própria pode ser modificado suas variáveis e parâmetros realizando assim novas indagações e conceitos.

1.5 A Teoria de Ausubel⁸

Uma teoria trata-se de uma interpretação sistemática ou uma maneira de enxergar as coisas, de explicar observações ou resolver problemas, são as tentativas de interpretar sistematicamente, de organizar, de prever sobre os conhecimentos relativos à aprendizagem.

Segundo Reis (2002) apud Souza (1991) a aprendizagem tem em si um processo de transformação do comportamento do indivíduo – sujeito que aprende, a partir de certo interesse específico. Sendo o interesse programático, lúdico, ou estético através do uso do computador para realizar certa tarefa.

A teoria de aprendizagem significativa ou teoria de Ausubel afirma que é a partir de conteúdos que indivíduos já possuem na estrutura cognitiva, que a aprendizagem pode ocorrer.

Para que haja uma aprendizagem não arbitrária e significativa é necessário, em contraposição à aprendizagem mecânica, que o professor use diferentes recursos ou estratégias para potencializar a atividade relacional do aprendiz.

De acordo com a teoria de aprendizagem significativa quando pretendemos ensinar, devemos tomar como ponto de partida, os conhecimentos prévios dos estudantes denominados de subsunçores os quais são fruto do seu meio de convivência e são fatores que determinam as concepções iniciais do estudante a partir dos seus sentidos.

Para Ausubel (2000) os subsunçores são responsáveis pelo ancoramento dos novos conhecimentos. Após a chegada desses novos conhecimentos (informações) esses se modificam gerando um conhecimento elaborado. Para que a aprendizagem significativa ocorra é necessário que o estudante tenha subsunçores específicos para dar significado ao novo conhecimento.

⁸ A Teoria de Ausubel tem ênfase na cognição. Tem como conceito básico os subsunçores, sendo a ideia chave o construtivismo. O conhecimento é construído.

Nessa teoria apontam-se três condições básicas para que possa haver um processo de aprendizagem significativo:

- **Significatividade Lógica:** Refere-se ao material usado que não deve ser nem arbitrário nem confuso para facilitar o relacionamento com o conhecimento prévio do aluno
- **Significatividade Psicológica:** Refere-se a estrutura cognitiva de conhecimentos prévios que o aluno dispõe para relacionar com o material que se deve aprender.
- **Disposição Favorável:** Refere-se a atitude do aluno e sua disposição para aprender de forma significativa relacionando o que aprende com o que já se sabe.

No entanto a predisposição em aprender não é somente ou simplesmente uma motivação, é algo premeditado que possa estabelecer um esforço consciente e específico ao relacionar os subsunçores ao novo conhecimento adquirido (MOREIRA e MASSINI, 2008). Além disso, deve ficar claro que o significado está no indivíduo e não nos materiais de aprendizagem – os materiais de aprendizagem, esses sim, podem ser potencialmente significativos. Para que a aprendizagem aconteça em relação a um determinado conteúdo deve ter como condição básica a “vontade e disposição do aprendiz de relacionar a nova informação com o conhecimento já existente” (TAVARES, 2010, p.5).

Nessa teoria apontam-se três condições básicas para que possa haver um processo de aprendizagem significativo:

A primeira, a *significatividade lógica* do novo material que é preciso aprender, remete á estrutura interna desse material, que não deve ser nem arbitrária nem confusa para facilitar o estabelecimento de relações substanciais com os conhecimentos prévios do aluno.

A segunda condição é a *significatividade psicológica*: para que a aprendizagem seja possível, o aluno deve dispor de uma estrutura cognitiva de conhecimentos prévios pertinentes e ativados que possa relacionar com o material que deve aprender.

Finalmente, e como uma terceira condição, o aluno deve ter uma determinada atitude ou *disposição favorável* para aprender de

maneira significativa, isto é, para relacionar o que aprende com o que já sabe (COLL e COLS, 2000, p.235).

Moreira (2005) destaca a importância desse conhecimento prévio na aprendizagem do estudante dando a ela certo significado e também formalizando uma melhor reaprendizagem.

A Figura 4 apresenta um esquema que tem como referência a aprendizagem significativa subordinada, que segundo Moreira (2005) é o caso mais comum. No entanto segundo ele:

[...] quando um conceito ou proposição potencialmente significativo mais geral e inclusivo do que ideais ou conceitos já estabelecidos na estrutura cognitiva é adquirido a partir destes, e passa a assimilá-los, a aprendizagem é dita superordenada. Por último, a aprendizagem de conceitos ou proposições que não são subordináveis a, nem são capazes de subordinar, algum subsunçor é considerada combinatória (MOREIRA, 2005, p.2).

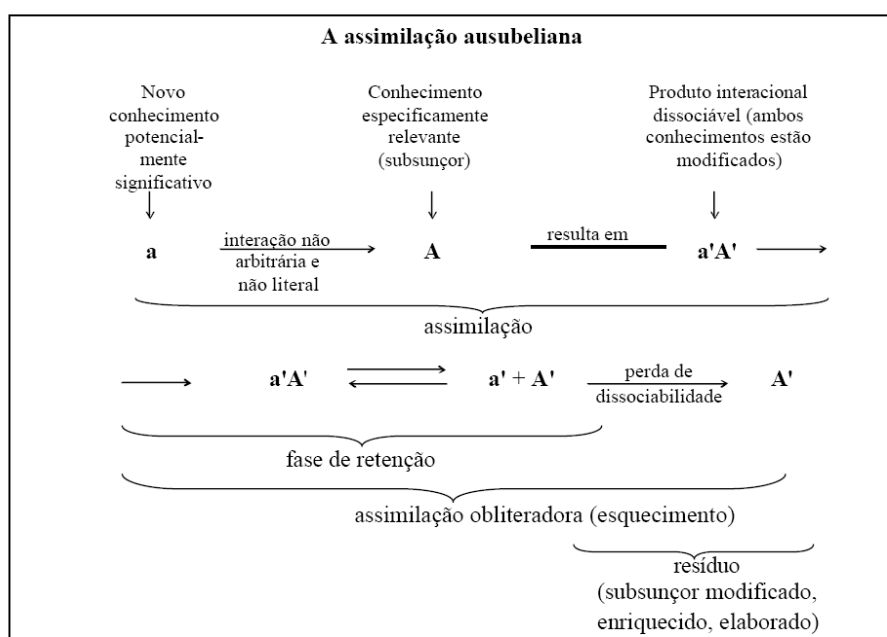


Figura 7 – A aprendizagem significativa na visao cognitiva clássica de Ausubel. A aprendizagem significativa subordinada.

Fonte: MOREIRA (2005, p. 2)

O caso usual da aprendizagem significativa é aprendizagem significativa *subordinada*, podendo ser *superordenada*, em que se refere a um conceito ou proposição potencialmente mais significante em modo geral e inclusiva do que

conceitos ou ideias já estabelecidas, e a partir desses passa a ser assimilada a aprendizagem. Ou ainda, podemos ter uma aprendizagem significativa *combinatória*, esta é dada quando os conceitos ou proposições que não são subordináveis a nenhuma informação prévia.

Na Figura 4, tem-se que o esquecimento “é uma continuação natural da aprendizagem significativa, mas há um resíduo, ou seja, o subsunçor modificado. Os novos conhecimentos acabam sendo obliterados, subsumidos” (MOREIRA, 2005, p.2). No entanto, estão de alguma forma presente no subsunçor e isso facilita a reaprendizagem.

Segundo Morelatti (2002) para que uma aprendizagem seja significativa não basta o significado lógico e psicológico do conteúdo ministrado, depende da intencionalidade do estudante para maiores relações do novo conteúdo com o que já se conhece. A habilidade do professor será crucial nesse estímulo. À medida que o estudante constrói significados, ele estaria incrementando os já existentes fortalecendo assim sua estrutura cognitiva e aumentando a capacidade de fazer novas relações com novas situações que venham a aparecer.

Referimos a teoria de Ausubel como uma teoria construtivista que tem prioridades nas aprendizagens cognitivas, em que o indivíduo tem uma organização mental integrando assim o conteúdo aprendido e formando uma estrutura cognitiva. A estrutura cognitiva será armazenada e mais tarde fará o elo com qualquer modalidade de conhecimento (HECKLER, 2004).

Caso um estudante (aprendiz) tenha certa informação previamente já retida para qualquer área do conhecimento, essa informação terá uma forte influência no processo de aprendizagem. Segundo Moreira (1999), Ausubel determina que esse conceito prévio - subsunçor, já existente nessa estrutura cognitiva do indivíduo seja uma ponte de integração entre a nova informação visando proporcionar uma melhor aprendizagem.

Os conhecimentos prévios subsunçores, não deixam a aprendizagem significativa restrita a tais, pois eles podem sofrer variações de indivíduo para indivíduo, devido à interação como o novo material, tornando assim a

aprendizagem mais inclusiva e aumentando a capacidade de relacionamento com o novo conteúdo (ARAÚJO, 2005).

Para Moreira (1999), o organizador prévio tem como sua principal função:

[...] servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber, afim que o material possa ser aprendido de forma significativa, ou seja, organizadores prévios são úteis para facilitar a aprendizagem na medida em funcionam como pontes cognitivas (MOREIRA, 1999, p. 155).

Não podemos descartar nesse processo a aprendizagem mecânica (HECKLER, 2004; ARAUJO, 2005), aquela em que a nova informação não possui relação alguma com a antiga ou muito pouca dentro da estrutura cognitiva do indivíduo.

Por exemplo, quando um indivíduo tem contato com a física moderna e contemporânea tendo em mente apenas a visão da física clássica, em que toda sua estrutura cognitiva está demasiadamente associada a esta, reflete que para alguns conceitos da física moderna e contemporânea não encontrem relação alguma com o que o aprendiz já tem como organizador prévio. Sendo assim é extremamente importante que possamos confrontá-los com as duas visões: clássica e moderna, fazendo com que o estudante possa assimilar o conteúdo novo, e depois dessa assimilação a aprendizagem se torna significativa.

Se os subsunçores não estiverem presentes para viabilizar a aprendizagem significativa, como é possível desenvolvê-los nos estudantes? Segundo Ausubel a aprendizagem mecânica é necessária e inevitável. Na circunstância de conceitos inteiramente novos tem-se que posteriormente se transformar em significativa. Para acelerar esse processo Ausubel recomenda o uso de organizadores prévios, âncoras criadas com intuito de manipular a estrutura cognitiva, interligando conceitos aparentemente não relacionáveis através da abstração.

Também, temos que após uma aprendizagem mecânica podemos retratar que segundo Araújo (2005) apud Ausubel (2003), respeita-se o diagrama apresentado na Figura 5 para assimilação do conteúdo onde a é uma nova informação a ser assimilada ou relacionada com A , que é o conceito preexistente na estrutura cognitiva do indivíduo e $A'a'$ seria a interação formalizando assim a proposta de uma aprendizagem significativa.

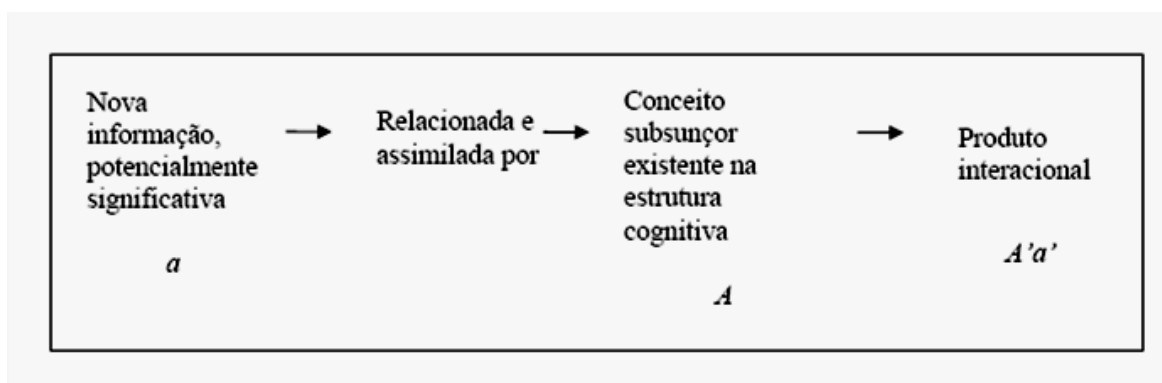


Figura 8 – Diagrama de assimilação do conteúdo: aprendizagem significativa.

Fonte: MOREIRA (2009, p. 19)

Assim quando a nova informação é repassada para o estudante, que se potencializa de forma mais significativa, for assimilada como conteúdo mais inclusivo que o já existente previamente, dá-se uma nova aprendizagem fortalecendo a sua estrutura cognitiva. Deixando claro que tanto o conhecimento prévio como a nova informação, após essa interação, é modificado formalizando um fortalecimento na estrutura cognitiva já existente no indivíduo.

Segundo Helckler (2004, p. 48) para ter um melhor aproveitamento da teoria de Ausubel, tendo como objetivos uma aprendizagem significativa devemos ter os seguintes cuidados:

- a) que o material a ser assimilado seja potencialmente significativo, ou seja, não arbitrário em si. Mesmo materiais arbitrários, podem ser tornados significativos através de organizadores prévios. Portanto, cabe ao professor fazer a organização do material, para que seja potencialmente significativo e quando necessário incluir materiais e informações anteriores que sirvam de organizadores prévios.

- b) ocorra um conteúdo mínimo na estrutura cognitiva do indivíduo, com subsunçores em suficiência para suprir as necessidades relacionais. Nesse caso o professor deve identificar os organizadores prévios que faltam e disponibilizar os mesmos, para que o estudante consiga fazer todas as relações necessárias para o entendimento do conteúdo.

- c) o estudante apresente uma disposição para o relacionamento e não para simplesmente memorizá-lo mecanicamente muitas vezes até simulando uma associação. Muito comum em estudantes acostumados a métodos de ensino, exercícios e avaliação repetitivos e rigidamente padronizados. Cabe ao professor, neste ponto, tomar cuidado com o seu método de ensino, buscando novas alternativas no mesmo, pois salas de aula onde só acontecem exercícios e avaliação repetitivos e padronizados tornam o ambiente favorável à aprendizagem mecânica.

Logo percebemos que a Teoria de Ausubel tem como prioridade dar certo significado ao que o estudante aprendeu, proporcionando um sentido mais amplo das informações que o mesmo possuía em sua estrutura cognitiva.

No nosso caso específico do uso de simulações computacionais para o auxílio nessa aprendizagem do efeito fotoelétrico, deve levar em consideração que acontece primeiramente de forma mecânica se o estudante não predispõe de uma concepção prévia pra o conteúdo que lhe é fornecido. Por isso, acreditamos que a simulação poderá fazer o papel de subsunçor, proporcionando uma aprendizagem significativa.

Para Santos et al. (2006) e Alinpradini et al. (2009), as ferramentas computacionais capazes de auxiliar na construção do conhecimento podem ser usadas para “ressignificar” o conhecimento significados pré-existent na estrutura cognitiva do estudante. Por ser uma ferramenta cognitiva, pode ser usada de forma construtivista corroborando na internalização do conhecimento, facilitando a aprendizagem e dando a ela um novo significado ao que já se tem interiorizado.

As simulações computacionais podem ter um significado em conteúdos ministrados de física moderna e contemporânea, pois, segundo Tavares (2008) um novo corpo de informações consegue fazer conexões entre o material que lhe é apresentado e o conhecimento prévio de assuntos correlatos, assim formalizando e construindo significados pessoais para este novo conteúdo e transformado em conhecimento.

Esta construção de significado não seria uma apreensão literal da informação, mas uma percepção substantiva do material que lhe seria apresentado, e dessa maneira se configuraria uma aprendizagem significativa.

O alcance de uma aprendizagem significativa só ocorre quando o estudante manifesta disposição para que ela ocorra, disposição esta que está diretamente relacionada com a abordagem contextual dos conteúdos em sala de aula. Nesse contexto, a aprendizagem contribui para conduzir o estudante, através de um questionamento reconstrutivo, que complexifica os conhecimentos por meio de diferentes organizações: obtenção de dados e respostas, explorações, tentativas, comparações, fracassos, correções, experimentações, testes, elaborações e reflexões. Tais ações estabelecem os elos necessários para o conhecimento significativo.

2. O Percurso Metodológico

2.1 A abordagem metodológica

Nos capítulos anteriores foi possível delinear os pressupostos teóricos desta dissertação, particularizando a possibilidade de usar simulações computacionais no ensino. Situamos a perspectiva deste trabalho no campo pedagógico, em que os elementos discutidos na introdução serviram como parâmetro para subsidiar a justificativa deste trabalho, a importância dos simuladores na pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação no ensino de Física, permite aos estudantes ultrapassarem a posição de meros expectadores, permitindo o papel de construtores e testadores de hipóteses.

No Capítulo 1, fizemos sobre considerações sobre o ensino de física moderna e contemporânea, no sentido dos desafios a serem vencidos e possíveis perceptivas. E finalizamos esse dando ênfase a um dos conteúdos relevantes que foi o efeito fotoelétrico No Capítulo 2 ressaltamos o referencial teórico do nosso trabalho, em que destacamos o uso de simulações computacionais no ensino de física e a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel

Ao definirmos a questão central que investigamos nessa dissertação, a abordagem metodológica utilizada foi de natureza qualitativa que, segundo Lüdke e André (1986, p.13), “envolve a obtenção de dados descritivos, obtidos no contato direto do pesquisador com a situação estudada, enfatiza mais o processo do que o produto e se preocupa em retratar a perspectiva dos participantes”.

Quanto aos seus objetivos (GIL et al., 1991) a pesquisa foi caracterizada como descritiva, pois descreveu características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis, que envolve o de técnicas padronizadas de coleta de dados (questionário e observação sistemática). E do ponto de vista dos procedimentos técnicos, teve o

participante como observador. De acordo com Lüdke e André (1986), o pesquisador, apesar de falar sobre os objetivos da pesquisa, não revela seu total interesse, somente parte do que pretende. Esse posicionamento é tomado para que não haja alterações nos sujeitos estudados.

Como assinala Agostin (2008, p. 7) para inserir conteúdos de física moderna e contemporânea “é preciso estabelecer uma maneira de atrair jovens para a carreira científica, disseminar os conhecimentos que a ciência e a tecnologia propiciam à população”. Ou seja, buscarem novas e mais eficientes formas de ensino e de aprendizagem que realcem as questões conceituais e imagéticas e que não se atenham apenas aos aspectos mais formais.

2.2 A escolha do conteúdo

Dentre vários conteúdos (ou temas) ministrados no ensino médio para a inserção de física moderna e contemporânea, escolhemos o conteúdo efeito fotoelétrico por estar ligado de forma direta com dispositivos usados no cotidiano dos estudantes, além de que para explicá-lo foi preciso usar a teoria de Einstein, ou seja, ao invés de pensarmos na luz como uma onda, deveríamos imaginá-la constituída de corpúsculos, denominados fótons. Com uso dessa hipótese houve o sucesso da explicação do efeito fotoelétrico, ficando comprovado, assim, que a luz tem um caráter dualístico, dependendo do fenômeno, poderia ser vista como onda (nos fenômenos de interferência e de difração), ou como partícula (no efeito fotoelétrico). Associado a isso temos, ainda, um formalismo matemático simplificado para compreensão dos conceitos fundamentais.

Em algumas experiências vividas de anos dedicados ao ensino de física no ensino médio, percebemos que alguns conceitos relacionados ao conteúdo sugerido eram assimilados de forma incorreta e que geralmente apresentava lacunas conceituais. Precisava-se de algo para que estudantes tivessem em mente de como o efeito fotoelétrico se daria de fato e não apenas do formalismo matemático discutido em sala de aula.

Havia lacunas a respeito do que representava o potencial frenador, da existência de uma frequência de corte e da intensidade da luz causadora do efeito fotoelétrico não influenciar na energia cinética dos elétrons escapados da superfície, ou seja, uma luz muito fraca não deveria fornecer aos elétrons a energia necessária para escapar da superfície do metal, já que se esperava que quanto maior a intensidade da luz mais energia era “doada à placa metálica”.

Quanto ao recurso didático escolhido para ser o foco do nosso estudo, deve-se ao fato de que a maioria das escolas não tem como usufruir de um laboratório convencional de física moderna e contemporânea, devido ao custo de médio a elevado. Por isso fizemos o uso de uma simulação computacional como forma de melhor compreensão e abordagem do efeito fotoelétrico.

2.3 Descrição do Simulador Computacional Utilizado

O simulador computacional escolhido para a atividade experimental virtual do efeito fotoelétrico esta disponível no site do PhET⁹ – Interactive Simulations (PhET, 2010), que faz parte da Universidade do Colorado como projeto de um laboratório virtual para as ciências, tais como a física, química e biologia.

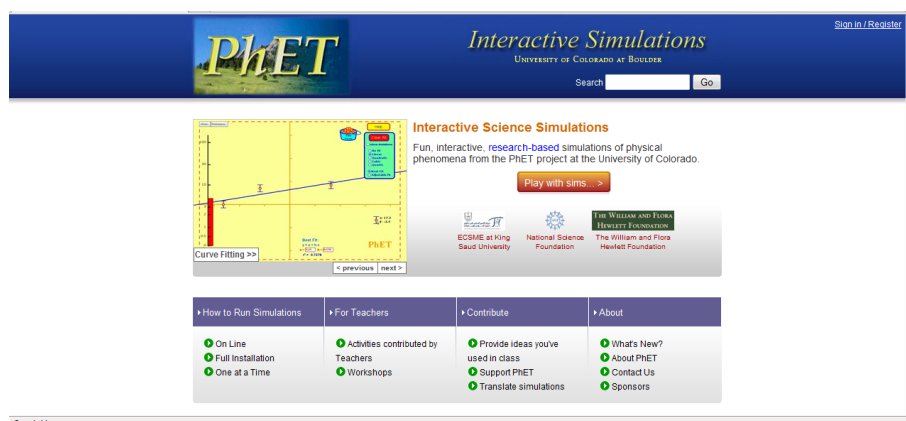


Figura 9 - Imagem da página principal do Site do PhET.

⁹ PhET - Physics Education Technology, agrega simulações inicialmente no âmbito da física, expandindo para outras áreas como a biologia e a química em diversificadas áreas de concentração e temas.

O mesmo possui simulações em vários idiomas, e em flash quando acessados “on line” na rede mundial de computadores (PhET, 2010) e em JAVA quando salvas em uma máquina (computador) e acessadas em “off line”. Podendo ser dado ao estudante um âmbito de atividade construtivista já que o mesmo pode ter interatividade com a mudança de denominadas variáveis e com a interpretação direta de gráficos em tempo real ao fenômeno ocorrido.

A simulação computacional escolhida tende a contemplar os pontos citados no nosso referencial teórico destacado no capítulo anterior visando uma aprendizagem significativa. Assim achamos que foi a melhor encontrada em todos os aspectos, cujo esboço é apresentado a imagem abaixo (Figura 10):

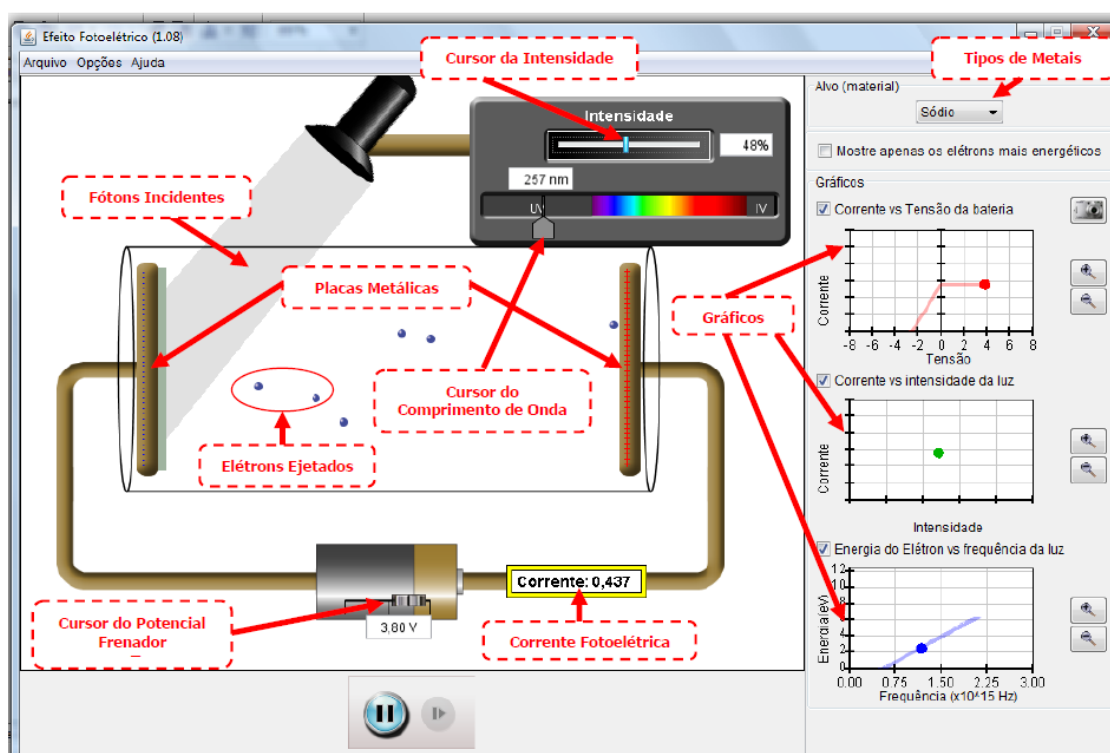


Figura 10 - Simulador do PhET - Interactive Simulations usado no ensino do efeito fotoelétrico.

- **Tipos de metais:** a janela proporciona ao aprendiz usar determinados tipos de metais como: sódio, zinco, cobre, platina, cálcio e magnésio.

- **Cursor da Intensidade:** ajusta o valor da intensidade emitida pela fonte eletromagnética podendo também ser analisada como números de fótons incidentes a placa metálica.
- **Fótons incidentes:** mostra o feixe de fótons com sua respectiva intensidade no meio a ser incidido na placa metálica.
- **Cursor do comprimento de onda:** ajusta o valor do comprimento de onda incidente, também fazendo referências à frequência das ondas eletromagnéticas incidentes na placa metálica.
- **Placas metálicas:** são as placas de um determinado material metálico a ser usado com o auxílio da janela tipos de metais podendo alternar entre seis tipos para avaliar seus comportamentos.
- **Elétrons ejetados:** são os referidos elétrons arrancados das placas metálicas em movimento devido à ocorrência do efeito fotoelétrico para tal incidência de um determinado comprimento de onda.
- **Cursor do potencial frenador:** ajusta os valores do potencial da bateria, para proporcionar a cada comprimento de onda incidente em uma determinada placa metálica, caso se tenha a ocorrência do efeito fotoelétrico, um valor que deixa nula a corrente fotoelétrica, cessando o efeito no circuito elétrico.
- **Corrente fotoelétrica:** mede o número de elétrons que circula o circuito elétrico, proporcionado pela ocorrência do efeito fotoelétrico causado por uma incidência eletromagnética em uma placa metálica.
- **Gráficos:** temos três formas gráficas podendo ser analisadas no nosso simulador:
 - **Corrente versus tensão da bateria:** mostra o comportamento do movimento dos elétrons ejetados em relação ao potencial da bateria, auxiliando na análise do potencial frenador.

- **Corrente versus intensidade:** mostra como se comporta a corrente fotoelétrica em relação à intensidade da onda eletromagnética incidente, auxiliando na análise do número de elétrons incidentes.
- **Energia do elétron versus frequência da luz:** mostra o comportamento da equação linear de Einstein para o efeito fotoelétrico, auxiliando na interpretação da frequência de corte e na função trabalho do metal.

2.4 A Escolha da Escola

Sabendo da possível importância que seria nossa pesquisa e na contribuição que poderia ser fornecida tanto à Instituição, quanto ao estudante decidimos priorizar uma instituição de ensino público.

Tomando a iniciativa da escolha das escolas públicas que possuíam laboratórios de informática para poder concretizar nossas atividades tanto na exposição do conteúdo escolhido quanto na situação prática que poderia ser vivenciada pelo estudante, partimos com essa iniciativa.

Na “Escola Pública 1” ao apresentarmos aos setores responsáveis pedagógicos a nossa proposta de pesquisa e suas contribuições nos deparamos com um empecilho, a escola só teria interesse de aplicação em turmas de Educação de Jovens e Adultos (EJA), porém não com o conteúdo proposto da nossa pesquisa.

Não desistindo de nosso objetivo social tentamos a “Escola Pública 2”, agora na posição de professor visitante para implementação do projeto junto ao professor titular da mesma, que por sua vez não mediu esforços e não colocou nenhum obstáculo ou empecilho para aplicação da mesma.

Porém, ficamos impossibilitados de dar andamento a nossa proposta na escola devido ao laboratório de informática ser muito solicitado e sobrecarregado com atividades de cursos técnicos. Para encaixar horários no laboratório era preciso participar da semana pedagógica, que ocorre todo início

de ano, e também nos vimos inviabilizados devido a prazos estabelecidos para aplicação da nossa proposta de pesquisa.

Então, recorreremos à escola privada e também encontramos dificuldades. Na “Escola Privada 1” esbarramos em um empecilho semelhante ao da “Escola Pública 2”, ou seja, encontramos um laboratório de informática com horários preenchidos e superlotados com atividades de outro nível de ensino, o ensino fundamental.

Na “Escola Privada 2”, na qual o pesquisador era o professor que lecionava a disciplina de física, quando apresentada a nossa proposta de pesquisa e suas principais contribuições, houve o interesse da escola em sua aplicação a mesma possui uma boa infraestrutura (laboratório de informática). Por isso, nossa pesquisa foi realizada em uma escola privada.

Foi instalado em cada sala de aula em que se aplicou a intervenção didática um sistema de mídia composto por: Data Show e Notebook.

Sendo assim, percebemos um incentivo e uma credibilidade pedagógica da “Escola Privada 2” na implementação da nossa proposta visando às contribuições para seus estudantes, que seria uma nova forma de abordagem metodológica.

2.5 A intervenção didática

Para a produção e execução da intervenção tivemos algumas estratégias de trabalho, como elaboração do texto base que iria nortear a nossa atividade expositiva em sala de aula (Apêndice A); elaboração de um roteiro para realização da atividade com o simulador computacional (Apêndice B); questionário de avaliação do recurso didático e da metodologia empregada (Apêndice C) e elaboração de uma atividade de verificação de aprendizagem do conteúdo (Apêndice D).

A pesquisa foi aplicada em duas turmas do terceiro ano do ensino médio da “escola privada 2”, na cidade de Patos no estado da Paraíba. A primeira

“Turma 1” possuía sessenta e um alunos e a segunda “Turma 2” tinha cinquenta e nove alunos.

As escolas se enquadravam no nível de ensino proposto, em que o conteúdo de física moderna e contemporânea, em especial, o conteúdo efeito fotoelétrico fazia parte do conteúdo programático de física.

Escolhemos colocar em prática nossa proposta com uma quantidade de quatro encontros, cada um com duas aulas semanais, formalizando um total de uma hora e quarenta minutos em cada turma por semana.

2.5.1 Primeiro encontro

A intervenção didática foi iniciada com a problematização inicial no sentido de diagnosticar o conhecimento prévio trazido pelos estudantes, com uma duração de trinta minutos, a qual repassamos para os estudantes através de questionamentos levantados relativos ao tema abordado. Terminada essa etapa da intervenção didática aplicamos o conhecimento científico em sala de aula nos sessenta minutos restantes considerando que o encontro teve uma duração de cem minutos.

2.5.1.1 Problematização Inicial (Motivação)

Para problematização inicial do conteúdo usamos as seguintes questões:

- Nos dias de hoje é muito comuns se ouvir ou ler relatos da importância da energia solar. Vocês têm ideia de como se faz essa conversão?
- Todo vocês fazem uso de controles remotos, circuitos de segurança, sistema de acendimento de lâmpadas! Se não fazem uso de todos esses itens pelo menos um deles. Vocês têm ideias de como eles funcionam?
- Vocês têm ideia de como com se deu a explicação física do efeito fotoelétrico e que modificações provocaram na ciência

2.5.1.2 Aplicação do Conteúdo na Sala de Aula

Após a problematização aplicamos o conhecimento científico enfocando as contribuições históricas que existiam partindo do eletromagnetismo, em especial das ondas eletromagnéticas. Sobre a detecção dessas ondas por Hertz como também da sua *observação* do efeito fotoelétrico e da solução apresentada por Albert Einstein para *explicação*.

Para isso fizemos as seguintes indagações:

- O que deveríamos esperar se aumentasse a intensidade da luz com relação aos elétrons ejetados da placa emissora?
- A frequência da luz deveria interferir no efeito? Como?

A partir dessas indagações começamos a abordar o conteúdo sempre permitindo que estudantes fizessem suas considerações de acordo com o nosso referencial teórico, a teoria de Ausubel.

Como recursos didáticos da exposição do conteúdo, usamos apresentações de slides (projeter de slides), quadro e pincel. Na projeção dos slides apresentamos o simulador computacional do efeito fotoelétrico como nosso principal recurso didático na ajuda de possíveis confusões em termos da intensidade e da ejeção dos elétrons, da dependência da frequência e da inexistência de um atraso temporal. Já que esse é uma simulação do aparato experimental do efeito fotoelétrico e permite, por exemplo, verificar a dependência da energia cinética dos elétrons emitidos, da intensidade da luz incidente, da frequência da luz e do tipo de material. O quadro e o pincel foram usados em algumas situações para ajudar os estudantes na compreensão do conteúdo.

Tentamos também propiciar em todos os encontros um ambiente dinâmico de interações entre os estudantes e o professor (pesquisador), buscando desenvolver e viabilizar o processo de internalização que ocorre pelas trocas interpessoais para o intrapessoal. Na medida do possível fizemos

questionamentos a respeito de questões relativas à natureza da ciência e os modelos físicos.

Ainda nesse encontro foi mostrado uma espécie de instruções rápidas do uso do simulador. Ao término desse encontro os estudantes foram incentivados a ler o texto elaborado no Apêndice A e o livro didático adotado pela escola.

2.5.2. Segundo encontro

O segundo encontro foi realizado no laboratório de informática e constituiu-se de duas etapas: divisão da turma e o uso da simulação do efeito fotoelétrico.

2.5.2.1 – Divisão da Turma

No segundo encontro tivemos a divisão da turma em grupos de forma que ficassem dois estudantes por computador, pois o laboratório de informática possuía trinta computadores. Deve-se ressaltar que cada computador estava ligado e a tela que os estudantes encontraram foi a do simulador computacional.

2.5.2.2 – Uso do Simulador

O simulador computacional ou simulação computacional utilizado foi descrito anteriormente no item 3.1. Após a divisão da turma em grupos foi entregue a cada estudante o roteiro da atividade com o simulador.

Antes dos estudantes manipularem o simulador computacional mostramos novamente através de projeções de slides de como poderiam ser encontradas algumas variáveis e os tipos de gráficos com o uso do simulador computacional do efeito fotoelétrico além de algumas funções do seu próprio manuseio como: a função mostrar número de fótons ou intensidade e fotografar

gráficos. Usamos para isso o sódio como material padrão e mostramos como se determina a frequência de corte e o potencial frenador.

Através do roteiro da atividade com o uso do simulador (Apêndice B) foi permitido aos estudantes determinarem a frequência de corte de vários materiais e conseqüentemente das funções trabalho de cada material descrito no simulador do potencial frenador, da dependência da frequência ou do comprimento de onda.

Os estudantes divididos em grupos usaram a atividade e sempre que houvesse dúvidas de manuseio ou conceitual o grupo pedia apoio ao professor. Esse apoio foi de fundamental importância para eliminar possíveis dúvidas do conteúdo abordado.

O roteiro de atividade com o uso do simulador tinha questões dos tipos qualitativos e quantitativos. Ou seja, pedíamos aos estudantes realizar alguns cálculos referentes ao conteúdo abordado (e de erros percentuais para apresentar a confiabilidade do simulador computacional) e alguns questionamentos conceituais.

2.5.3. Terceiro encontro

No terceiro encontro aplicamos um questionário que se encontra no Apêndice C, sem que fosse pedida a identificação do estudante, com seis questões para avaliação do recurso didático foco do nosso trabalho, o simulador computacional, na exposição do conteúdo e da metodologia empregada na intervenção didática.

Nas quatro primeiras questões do questionário pedimos aos estudantes para classificar o uso da simulação em termos da exposição, da clareza, da importância da participação sua participação na intervenção didática. Ou seja, procuramos detectar se a simulação computacional foi importante uma melhor compreensão do efeito fotoelétrico.

As duas últimas questões tentamos diagnosticar a prática docente do professor em relação ao uso da simulação computacional. Para isso recorreremos a como foi apresentado o conteúdo pelo professor e a metodologia empregada na intervenção. Em outras palavras se na sua prática docente houve objetividade e clareza do professor ao usar o simulador computacional como um instrumento de a mais para a aprendizagem.

Após o término do preenchimento do questionário pedimos aos estudantes para exporem algum comentário, sugestão ou crítica com relação à intervenção didática.

Para a avaliação do recurso didático e da metodologia empregada consideramos os resultados obtidos em ambas as turmas: Turma 1 e Turma 2.

2.5.4. Quarto encontro

No quarto e último encontro, resolvemos incorporar dentro do calendário de atividades de avaliações da escola do bimestre uma avaliação de verificação de aprendizagem, as quais os estudantes foram submetidos. Das cinco questões dessa atividade de verificação de aprendizagem três dizem respeito ao uso de sua interpretação do efeito fotoelétrico. A atividade de verificação da aprendizagem aplicada encontra-se no Apêndice D.

3. Resultados e discussões

3.1 - Problematização inicial

Com os questionamentos da problematização inicial, em ambas as turmas, os estudantes afirmaram que já ouviram ou leram relatos da importância da conversão da energia solar, mas não tinham ideia de como se dava essa conversão; também afirmaram que faziam uso de controles remotos, circuitos de segurança e até acendimento automático das lâmpadas, mas não tinham ideia do funcionamento. Já quanto à ideia da explicação do efeito fotoelétrico tivemos as afirmações que tratava-se *da interação entre fótons e elétrons numa situação qualquer, se tratava do uso da luz*, mas disseram que não sabiam das modificações que provocaram na ciência.

Assim, segundo a teoria da aprendizagem significativa o processo de ensino destaca o conhecimento prévio como o fator mais importante. Procuramos encontrar os conhecimentos prévios dos estudantes e por isso assumimos nessa problematização inicial o processo de aprendizagem como processo de atribuição de significado e sentido.

A teoria da aprendizagem significativa ao estabelecer o conhecimento prévio como referência explícita claramente que é um elemento básico e determinante na organização do ensino. Nas palavras de Ausubel, temos que “se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fator singular que mais influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra isso e ensine-o de acordo” (AUSUBEL et al., 1980, p. 137).

Então foi colocado para os alunos que todas as questões estavam relacionadas com o efeito fotoelétrico. E que esse efeito provocou modificações profundas na ciência. Após essas colocações percebemos que os estudantes pareciam demonstrar interesse pelo conteúdo que iria ser abordado.

O processo de aprendizagem depende também do estudante, pois é necessária a maturidade para que seja incorporado o real significado da nova informação. Nesse caso tentamos incorporar mostrando para eles que a problematização inicial faz parte do seu contexto vivencial, para que essa possa se tornar significativa. Além disso, procuramos sempre nos posicionar em sala de aula como um professor facilitador, ajudando os estudantes avançarem no processo de aprendizagem do conteúdo e tendo em mente que o estudante é um cidadão em desenvolvimento.

3.2 Aplicação do conteúdo na sala de aula

Começamos ressaltando a unificação da eletricidade e do magnetismo as equações de Maxwell. E que através dessas equações foi possível unificar a eletricidade e magnetismo além de se obter um tipo de onda especial para a época. Essas ondas hoje são denominadas de ondas eletromagnéticas, que se propagam à velocidade da luz. E por que fazer isso? Queríamos mostrar para os estudantes que a construção da ciência não é algo linear e sim um processo dinâmico que não ocorre por mero acúmulo de fatos.

Quem observou o fenômeno foi Hertz, em 1887, quando investigava a questão das ondas eletromagnéticas, evidenciadas pelas equações de Maxwell. No entanto, nessa investigação ele observou pela primeira vez o efeito fotoelétrico, ou seja, Hertz observou ainda que:

[...] uma descarga elétrica entre dois eletrodos dentro de uma ampola de vidro é facilitada quando radiação luminosa incide em um dos eletrodos, fazendo com que elétrons sejam emitidos de sua superfície. Esse fenômeno foi chamado efeito fotoelétrico (CAVALCANTE e TAVOLARO, 2002, p. 22).

Dissemos que a solução para o problema foi apresentada por Albert Einstein (1879-1955) em 1905, de maneira semelhante à proposta por Planck. Para isso ele considerou que era necessário granular (quantizar) também a radiação. E a ruptura só se deu depois de dez anos, quando a comunidade

científica reconheceu a validade de seu trabalho e a necessidade de introduzir rupturas nas teorias clássicas¹⁰.

É por causa dessas rupturas das leis da física clássica que o uso simulações computacionais podem nos auxiliar bastante na abordagem de conteúdos de física moderna e contemporânea.

A problemática apresentada na aprendizagem do conteúdo talvez se deva pela forma de como abordamos as rupturas das ideias da física clássica. Para isso as indagações abaixo foram extremamente importantes para nortear e abordar o conteúdo. (1) O que deveríamos esperar se aumentasse a intensidade da luz com relação aos elétrons ejetados da placa emissora e (2) Se a frequência da luz deveria interferir no efeito? E como?

E como recursos didáticos usados na exposição do conteúdo, usamos projetor de slides para a apresentação do simulador computacional que proporcionou um ambiente dinâmico de interações entre os estudantes e o professor. Também usamos quadro e pincel para possível esclarecimento. As Figuras 7 e 8 apresentam um momento da aplicação do conteúdo em sala de aula nas Turmas 1 e 2, respectivamente.

¹⁰ Retirado do roteiro de GUTMANN e OLIVEIRA (2002), disponível em <http://www.fis.ufba.br/~edmar/fis101/roteiros/Fotoeletrico.pdf>.



Figura 11 – Exposição do conteúdo efeito fotoelétrico usando um simulador computacional com recurso didático principal em uma turma de terceiro ano ensino médio, que denominamos de Turma 1.



Figura 12 – Exposição do conteúdo efeito fotoelétrico usando um simulador computacional com recurso didático principal em uma turma de terceiro ano do ensino médio, que denominamos de Turma 2.

Podemos destacar nas duas turmas uma boa interação com essa nova abordagem, ou seja, com o uso da simulação computacional, gerando

indagações feitas pelos estudantes. Eis a descrição de quatro indagações dos estudantes da Turma 1 (T1):

“Professor, estas sequências de cores têm uma relação com a frequência da luz não é?” [Estudante 1_T1].

“Colocando uma intensidade de maior valor, podemos mesmo assim não ter efeito fotoelétrico acontecendo na placa metálica?” [Estudante 2_T1]

“Quando se muda o comprimento de onda professor, mesmo com a mesma intensidade temos uma mudança na frequência da luz, e por que não altera o efeito em relação ao tanto de elétrons que saem da placa de sódio?” [Estudante 3_T1]

“Qual a ligação entre a corrente que aparece no simulador ali em baixo sendo indicada e a intensidade da luz, pois muda né quando mudamos a intensidade mesmo tendo só luz azul?” [Estudante 4_T1]

Na Turma 2 (T2), houve várias indagações, mas apresentamos quatro:

“Por que mesmo com certa intensidade quando o senhor muda de material tem vez que o efeito deixa de acontecer, ou seja, não saem elétrons nenhum?” [Estudante 1_T2]

“O senhor disse que Einstein foi quem apresentou a explicação para o efeito fotoelétrico, então o que ele tinha na mente pra relacionar vários tipos de metais diferentes, é como na transferência de calor, que uns são bons e outros não?” [Estudante 2_T2]

“Naquele gráfico ali porque quando a frequência fica no eixo do x apenas o efeito deixa de acontecer?” [Estudante 3_T2]

“Quando muda a frequência, ou seja, quando o senhor muda ali a cor percebe-se que os bichinhos ficam mais agitados mais o efeito continua acontecendo né?” [Estudante 4_T2]

Ficamos muito felizes, pois nesse encontro percebemos que a problematização do conteúdo e uso do simulador computacional tinha despertado interesse dos estudantes. As Figuras 9 e 10 nos revela um momento de atenção e importância dada pelas Turmas 1 e 2, respectivamente.



Figura 13 – “Atenção e importância” dada pela Turma 1 ao se fazer a apresentação do conteúdo efeito fotoelétrico tendo com recurso didático principal o uso de uma simulador computacional.



Figura 14 – “Atenção e importância” dada pela Turma 2 ao se fazer a apresentação do conteúdo efeito fotoelétrico tendo com recurso didático principal o uso de uma simulador computacional.

3.3 Uso do simulador computacional do efeito fotoelétrico

Com a turma dividida em grupos, sendo cada grupo composto de dois estudantes, o uso do simulador computacional pelos estudantes aconteceu no laboratório de informática da escola. Cada grupo ficou com um computador em que a tela de apresentação encontrada por cada grupo foi a do simulador computacional do efeito fotoelétrico. Depois disso, de forma rápida apresentamos como poderiam ser encontradas as variáveis e dos tipos de gráficos. Para o uso do simulador computacional foi pedido a cada estudante responder o roteiro da atividade para o uso do simulador computacional. As Figuras 15 e 16 apresentam o momento de preparação para o uso do simulador computacional no laboratório de informática da escola.



Figura 15 – Os Estudantes da Turma 1 no laboratório de informática se preparando para fazer o uso do simulador computacional.



Figura 16 – Os estudantes da Turma 2 no laboratório de informática se preparando para fazer o uso do simulador computacional.

O roteiro da atividade com o simulador (Apêndice B) virtual tinha questionamentos envolvendo cálculos, as variáveis do efeito fotoelétrico e de erros percentuais, como também questionamentos conceituais.

Destacamos nesse roteiro da atividade com o simulador que as duas últimas questões por suas respostas qualitativas são importantes, não que as demais quantitativas não fossem importantes, pois queríamos desmistificar com o auxílio da simulação computacional a confusão cognitiva existente entre os conceitos da frequência (comprimento de onda) e intensidade da onda eletromagnética, ou seja, apresentar a influência da frequência da luz para acontecer o efeito fotoelétrico e a intensidade da luz não influenciar no aparecimento ou não do efeito fotoelétrico (ou seja, a energia cinética dos elétrons não varia com a intensidade da luz).

Para as questões quantitativas (Questões 1, 2, 3, 4 e 5) do roteiro da atividade com o simulador, percebemos que todas foram respondidas corretamente. No caso das questões qualitativas apresentamos algumas respostas a seguir. Nessa nossa apresentação consideramos as respostas de ambas a turmas (T1+T2) de alguns estudantes.

Questão 6: Usando o simulador como você poderia explicar o efeito ocorrer para um certo metal e para outro não, mesmo deixando a intensidade da luz incidente maior?

“O efeito fotoelétrico independe da intensidade da luz, e sim da frequência que tem que ser maior que a função trabalho de cada metal, para haver o efeito” [Estudante 1_(T1+T2)]

“A intensidade não vai influenciar para que o efeito aconteça, isso vai depender do comprimento de onda que diminuindo temos um aumento na frequência ocasionando o efeito fotoelétrico.” [Estudante 2_(T1+T2)]

“O efeito fotoelétrico depende da frequência incidente e do tipo de metal exposto. Para isso cada metal tem uma frequência limite e uma energia constante referente ao metal exposto. Abaixo da frequência limite não ocorre

o efeito por mais que aumente a intensidade da luz que incide sobre o metal.”

[Estudante 3_(T1+T2)]

“Devido a função trabalho ser diferente, o efeito fotoelétrico não depende da intensidade, pois esta interfere na quantidade de elétrons ejetados pela placa caso o efeito venha a acontecer, sendo determinante para isso a frequência da luz incidente já que a mesma está ligada diretamente a energia incidente na placa. ” **[Estudante 4_(T1+T2)]**

Questão 7: Diminuindo o comprimento de onda de uma certa incidência ao qual temos o efeito fotoelétrico acontecendo, o que podemos afirmar como característica física mudada no efeito? Qual a explicação física para tudo isso?

“Teríamos um aumento na frequência e, conseqüentemente, um aumento na velocidade do elétron ejetado já que a frequência é diretamente proporcional à energia cinética máxima do elétron ejetado” **[Estudante 1_(T1+T2)]**

“Teremos um aumento na energia cinética dos elétrons, pois quando o comprimento de onda diminui a frequência aumenta fazendo com que a velocidade dos elétrons fossem maior.” **[Estudante 2_(T1+T2)]**

“a velocidade dos elétrons vai aumentar. Se o comprimento de onda diminui teremos um aumento de frequência, na energia cinética e, conseqüentemente, na velocidade” **[Estudante 3_(T1+T2)]**

“vai aumentar a velocidade que os elétrons sairão da placa. A energia cinética aumentará, uma vez que o comprimento de onda é inversamente proporcional à mesma, por tanto aumentará também a frequência.” **[Estudante 4_(T1+T2)]**

Mesmo com alguns pequenos atropelos, percebe-se que os conceitos envolvidos no fenômeno, por exemplo, a importância da frequência da luz

incidente na placa metálica e sua respectiva intensidade foram bem interpretadas pelos estudantes e que nos leva a afirmar que obtivemos bons resultados nesse encontro da intervenção didática.

3.4. Avaliação da intervenção didática

Para a avaliação da intervenção didática ou avaliação metodológica usamos como instrumento de coleta de dados um questionário com seis questões, sem que fosse pedida a identificação do estudante que se encontra no Apêndice C, aplicado em ambas as turmas. A avaliação da intervenção didática tem como objetivo a análise da metodologia empregada. Assim, consideramos os resultados em conjunto das duas turmas (T1+T2).

Devemos destacar que na Turma 1 houve uma participação de 83,6% dos estudantes correspondendo a cinquenta e um estudantes e na Turma 2 uma participação de 88,13% dos estudantes correspondendo a cinquenta e dois estudantes. Os dez estudantes (16,4%) da Turma 1 e os sete estudantes (11,87%) da Turma 2 foram considerados fora desse quadro avaliativo, pois detectamos que os mesmos faltaram em uma ou mais etapas da intervenção didática.

Dentre os resultados obtidos da avaliação da intervenção didática podemos destacar que, de uma forma geral, os estudantes aceitaram o recurso didático e a metodologia empregada e que classificam como uma boa forma de expor o conteúdo.

Para cada uma das questões referentes à avaliação didática obtivemos os resultados a seguir

Questão 1: Como você classifica o uso da simulação computacional para o expor o conteúdo?

O Gráfico 1 apresenta as respostas dos estudantes referente a questão 1. Nessa questão obtivemos que 33,01% e 66,99% classificam a simulação computacional como Bom e Ótimo, respectivamente. Não houve nem resultado referente à Ruim ou Regular em ambas as turmas.

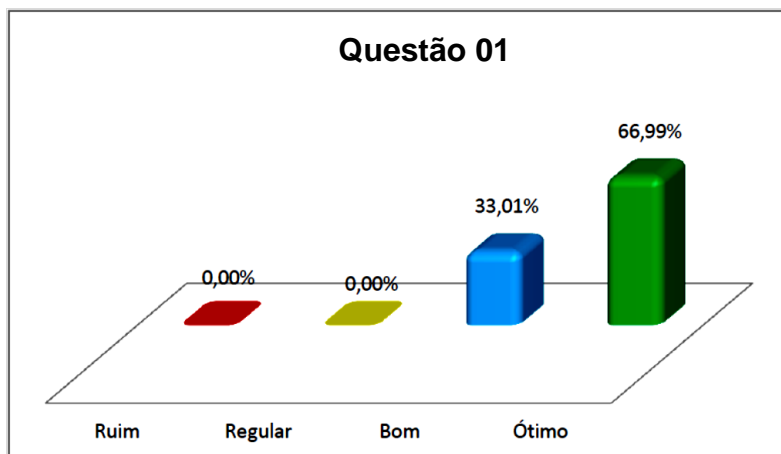


Gráfico 1 – Percentuais das respostas dos estudantes na avaliação da exposição do conteúdo efeito fotoelétrico com uso da simulação computacional.

Na justificativa da questão 1 destacamos algumas respostas mencionadas pelos estudantes:

“Ajuda ao aluno a entender melhor o assunto, deixando a aula menos monótona tornando uma melhor compreensão através de aspectos áudios visuais, porém não basta só o simulador precisa-se de uma base teórica”
[Estudante 1_(T1+T2)]

“Com o auxílio do simulador dentro da sala de aula através do professor aumentou em quase oitenta por cento a aprendizagem, pois tudo aquilo que a gente vê na pratica fica melhor para absorção do assunto”
[Estudante 2_(T1+T2)].

“Do meu ponto de vista é uma maneira de mostrar, na prática e com riqueza de detalhes o que o professor apenas com auxílio de exemplos desenhados no quadro não expressaria tão bem”
[Estudante 3_(T1+T2)]

Percebemos que os nossos resultados, como mencionado anteriormente, foram satisfatórios, pois segundo Medeiros e Medeiros (2002) uma mudança de metodologia buscando o incremento de tecnologias computacionais e fazendo esse relacionamento de uma exposição com um simulador computacional faz romper os paradigma das aulas cansativas e dos laboratórios convencionais despertando assim uma curiosidade maior no conteúdo trabalhado e contribuindo para um melhor aprendizado.

Levando em consideração nosso referencial teórico a escolha de uma boa simulação computacional pode ser responsável por melhores resultados na aprendizagem, pois permite dinamizar o fenômeno. Para Medeiros e Medeiros (2002) a comunicação é muito melhor quando se tem noções das interações de variáveis do fenômeno, proporcionando assim a diferenciação de um livro didático.

Já segundo Helckler (2004) apud Moreira (1999) o recurso didático (no nosso caso a simulação computacional escolhida) tem que ser potencialmente significativa para provocar uma ligação com o que o estudante cognitivamente possui, ou seja, seus conhecimentos prévios e o novo conteúdo a ser abordado.

Questão 2: Como você classificaria a compreensão do conteúdo com o uso da simulação computacional?

O Gráfico 2 apresenta as resposta dos estudantes referentes à questão 2. Obtivemos que 45,63% e 54,37% classificam que a compreensão do conteúdo com a simulação computacional foi Boa e Ótima respectivamente. Não houve resultados referentes à Ruim ou Regular.

Temos ainda que a respeito da compreensão do conteúdo pouco mais da metade dos estudantes classifica com ótima. No entanto, na questão 1 obtivemos que 66,99% dos estudantes classifica o uso da simulação computacional para o expor o conteúdo como Ótimo.

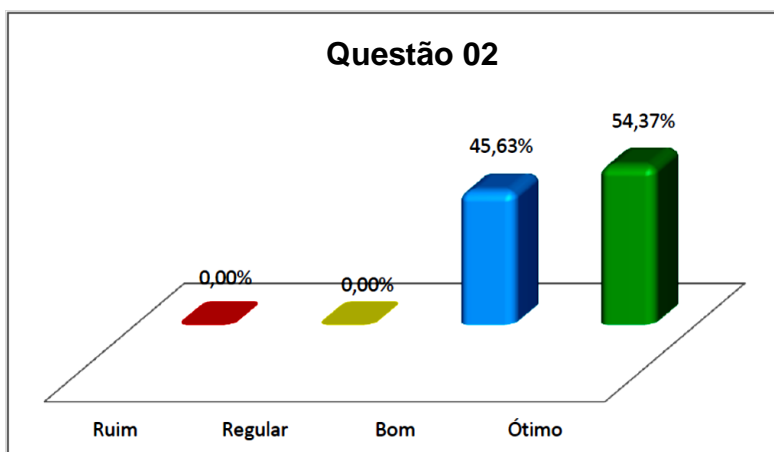


Gráfico 2 – Percentuais das respostas dos estudantes na avaliação na compreensão do conteúdo efeito fotoelétrico com uso da simulação computacional.

Nessa questão destacamos as seguintes respostas:

“Uma ótima simulação mostrando o que talvez não fosse óbvio e claro em um quadro ou lousa, mostrando tudo nos mínimos detalhes, tudo bem explicado”
[Estudante 1_(T1+T2)]

“Podemos observar melhor como de fato ocorre o efeito, só que, por outro lado, dá pra observar o que aquele efeito proporciona no nosso dia-a-dia sendo que os alunos pensam naquilo como um mero simulador” **[Estudante 2_(T1+T2)]**

Através dessas respostas podemos enfatizar a importância da simulação computacional na aprendizagem do estudante, essa tem o “poder” de organizar a construção do conhecimento estruturando os significados já existentes - uma forma construtivista do conhecimento (SANTOS et al., 2006; ALINPRADINI et al., 2009).

Uma resposta que nos chamou atenção foi a seguinte:

“Eu mesmo não saberia como seria este efeito fotoelétrico. A simulação é tão clara que depois de um tempo os elétrons param de passar. Eu realmente controlei cada função, só não sei para que isso vá servir na minha carreira profissional” [Estudante 3_(T1+T2)]

Nela observamos que a simulação computacional teve sua importância para clareza do conteúdo, no entanto o estudante ressalta que não sabe para isso servirá para sua carreira profissional.

Gostaríamos de destacar que durante a intervenção didática tentamos fazer o papel do professor facilitador e aberto para qualquer discussão. E com isso apresentar aos estudantes as aplicações físicas do conteúdo abordado estariam presentes no seu dia a dia, fazendo com isso que o mesmo tivesse uma melhor consciência crítica de cidadania e fortalecendo sua maturidade perante a sociedade. No entanto, no trecho final percebemos que o estudante enfatiza sobre sua carreira profissional, o que nos faz remeter que talvez isso seja resquícios do ensino fragmentado que ainda permeia nossas escolas.

Questão 3: Qual a importância do uso da simulação computacional para entender o conteúdo abordado?

O Gráfico 3 apresenta as respostas dos estudantes referentes à importância da simulação computacional para a facilitação da aprendizagem. Percebemos um equilíbrio em termos de valores percentuais entre os estudantes com relação ao Gráfico 2, em que 49,51% e 50,49% responderam achar importante e muito importante, respectivamente. Não houve respostas referentes a nenhuma e pouco importante, o que nos faz acreditar que a simulação computacional foi importante para entender o conteúdo abordado.

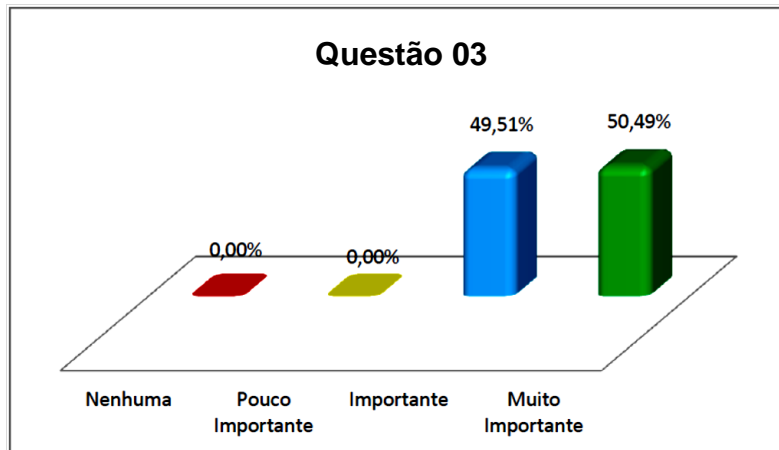


Gráfico 3 – Percentuais das respostas dos estudantes sobre a importância das simulações computacionais na facilitação da aprendizagem.

Dentre suas justificativas de respostas para tal resultado, temos:

“Importante porque na sala de aula não dá muito pra entender como funciona esse efeito, é preciso aprender na prática. Como também outros assuntos devem ser aprendidos na prática e nada melhor que um computador para ajudar na aprendizagem” [Estudante 1_(T1+T2)]

“Quando podemos ver o efeito, entendemos como ele funciona, ao invés de só imaginarmos como acontece; havendo uma melhor integração na sala de aula e esclarecimento de dúvidas” [Estudante 2_(T1+T2)]

“É importante pelo que o simulador consegue abranger em pouco tempo e no entendimento de como funciona, o que quer dizer o assunto de forma mais simplificada” [Estudante 3_(T1+T2)]

No entanto, tivemos algumas respostas que mesmo evidenciando a importância do simulador computacional, temos algumas lacunas a serem preenchidas como as que estão destacadas abaixo:

“A forma prática que o simulador mostra como ocorre o efeito fotoelétrico é muito importante, mas mesmo assim a simulação não substitui uma explicação mais clara e objetiva” [Estudante 4_(T1+T2)]

“Com a ajuda da simulação computacional o assunto se torna mais fácil de aprender o que com palavras pode complicar mais a aprendizagem dependendo também da exposição do professor” [Estudante 5_(T1+T2)]

Na teoria de Ausubel, os conhecimentos resultam da atuação do estudante com o meio social. O estudante desenvolve um papel criativo e ativo no processo de aprendizagem, adquirindo os conhecimentos por si próprio, após as realizações das operações mentais, partindo da estruturação sistêmica das informações adquiridas em sala de aula nos materiais didáticos e na experiência própria. (AUSUBEL, 1968, p. 37-38). Nessa teoria que tem a importância do meio social da aprendizagem, ele também pressupõe que cabe ao estudante realizar a assimilação de novos conceitos. Além da interação social tem-se a linguagem como outro fator importante.

A aquisição do conhecimento na teoria de Ausubel depende da aprendizagem verbal e de outras formas de aprendizagem simbólica (MOREIRA, 1997). As respostas dos estudantes retratam estilos diferentes de aprendizagem dos estudantes 4 e 5. Neste sentido percebemos que se deve planejar uma maior interação entre o material e o estudante, no caso do estudante 5, ou seja, só no vai e vem de interações é possível aprender novos conceitos.

Questão 4: Como você classificaria o uso das simulações computacionais e sua participação na aula?

O Gráfico 4 relaciona a participação na aula por parte do estudante com o uso da simulação computacional. Percebemos que os estudantes relacionaram a como muito importante, importante e pouco importante. 32,04% dos estudantes classificam como muito importante; 66,02% como importante (a maioria) e 1,94% pouco importante (minoria).

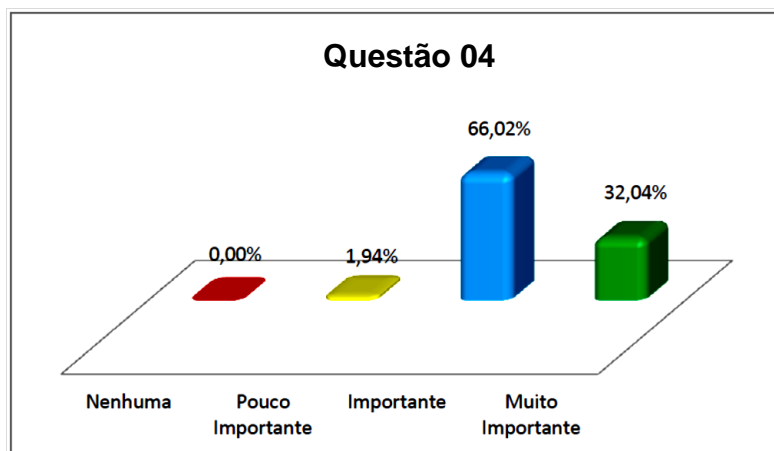


Gráfico 4 – Percentuais das respostas dos estudantes sobre a importância das simulações computacionais na sua participação da aula.

Dentre as respostas dos estudantes que evidenciaram a importância da simulação computacional na sua participação em sala de aula como importante e muito importante, temos:

“O aluno contemporâneo está cansado do estilo de aula tradicional, um recurso como este acaba quebrando uma barreira que existe para deixar o aluno mais participativo na aula” [Estudante 1_(T1+T2)]

“Pois como o uso das novas tecnologias, o aluno tem mais liberdade de discutir com o professor interagindo com suas opiniões e também com suas dúvidas” [Estudante 2_(T1+T2)]

“Com uma maior compreensão do conteúdo, efeito fotoelétrico, conseqüentemente há uma maior interação do professor com o aluno, de modo que a participação da turma é consideravelmente maior” [Estudante 3_(T1+T2)]

Na perspectiva da teoria de Ausubel, percebemos que as simulações computacionais servem como uma ferramenta capaz de transformar a informação em conhecimento, com sua interatividade proporcionando aos estudantes exercitarem as informações, resolver problemas e buscar a aprendizagem de forma independente (YAMAMOTO e BARBETA, 2001). As simulações auxiliam os estudantes nos aspectos sutis do conteúdo efeito fotoelétrico de uma forma lúdica.

Já para aqueles estudantes que classificaram como pouco importante o uso da simulação computacional para torná-lo mais participativo destacamos:

“Desde que a metodologia utilizada pelo professor consiga interagir envolvendo o aluno e o conteúdo, pode ser simulações ou não que a minha participação seria a mesma” [Estudante 4_(T1+T2)]

“Acho pouco importante, pois é bom lembrar que os professores não podem esquecer dos métodos clássicos, já que nem todos tem domínio de informática e isso pode se tornar monótono pra uns e interessantes pra outros” [Estudante 5_(T1+T2)].

“As simulações computacionais dão um espaço de tempo maior para o entendimento do conteúdo, no entanto não há uma interação completa na aula principalmente porque fazemos papéis de mero expectadores” [Estudante 6_(T1+T2)]

Embora a simulação computacional possa ser considerada como um elemento auxiliar ou complementar ao ensino para uns estudantes devido a

sua motivação no processo de ensino-aprendizagem, para outros temos a impressão de que ainda não quebraram as barreiras do ensino tradicional. Para justificar tais respostas nos remetemos que:

[...] a dificuldade de buscar trabalhar o conteúdo de forma diferente da tradicional (ênfase no aspecto conceitual e tendo como único compromisso a aprendizagem) e ter de implementar um currículo que visa ao vestibular, encarado como adiestramento (REZENDE e OSTERMANN, 2005, p. 325-326).

Ou seja, a dificuldade do estudante de quebrar os preconceitos.

A disposição em sentido contrário da aprendizagem significativa, para Ausubel é aprendizagem mecânica (ou automática) onde novas informações são adquiridas praticamente sem interação com os conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, sem ter ligação a conceitos subsunçores específicos, ou seja, sem “ancoragem”. A nova informação é retida de maneira arbitrária e literal, sem interação com aquela já existente ao aluno e pouco ou nada contribuindo para sua elaboração e diferenciação (MOREIRA, 2009). Quando essa aprendizagem se consolida de tal forma o estudante continua sem dar importância ao conteúdo.

Questão 5: Em relação a exposição da simulação computacional pelo professor, objetivando detalhes do conteúdo apresentado, como você classificaria tal exposição?

O Gráfico 5 apresenta os resultados referentes a forma que foi empregada pelo professor para expor o conteúdo fazendo uso da simulação computacional, em que 66,99% e 30,10% dos estudantes classificaram como Ótima e Boa respectivamente e 2,91% como regular. Não houve respostas com relação à classificação ruim.

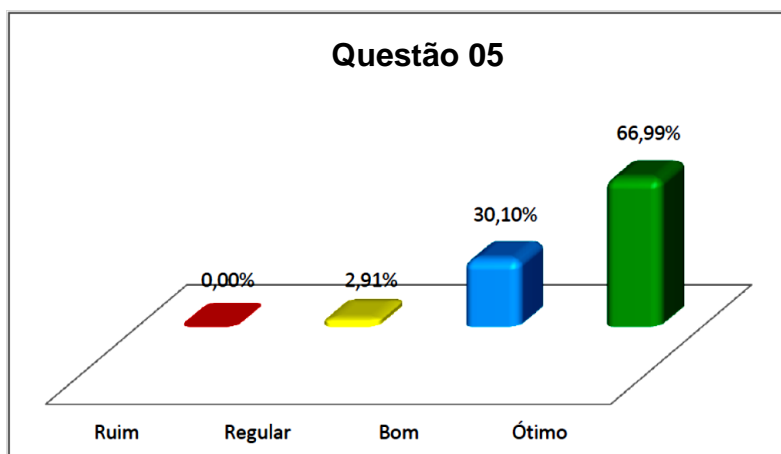


Gráfico 5 – Percentuais das respostas dos estudantes sobre a exposição do conteúdo com a simulação computacional feita pelo professor.

A pequena parcela que não esteve satisfeita com a exposição destaca que a simulação computacional deveria existir com mais aplicações cotidianas, mostrando que o estudante espera realmente contextualizar seus conhecimentos com os conteúdos ministrados. Sendo assim, mesmo que seja uma simulação computacional interativa tem suas falhas por não mostrar aplicações diretas.

Nesse aspecto destacamos algumas respostas, mostrando o que o estudante espera de uma simulação computacional:

“O simulador deveria não conter apenas como o efeito fotoelétrico funciona, mas também mostrar algumas aplicações que o professor chegou a mencionar em sala como uso do mesmo” [Estudante 1_(T1+T2)]

“Deixou alguns aspectos a desejar, mais não por falta de capacidade do professor e sim de alguns recursos da própria simulação” [Estudante 2_(T1+T2)]

Por outro lado, aqueles que se disseram satisfeitos com a exposição destacam os detalhes meramente físicos do efeito fotoelétrico um dos fatores da nossa exposição, ou seja, da intervenção didática.

“Além de ficar bem mais fácil de entender, o professor expos detalhes que colaboram para um melhor entendimento. Essa simulação ajuda até mesmo o professor, pois pelo fato do conteúdo se complicado para explicar e entender, o simulador contribui e muito” [Estudante 3_(T1+T2)]

“Realmente a aula sendo exposta de forma dinâmica, principalmente na física, onde sempre estamos cheios de curiosidades, os detalhes do efeito fotoelétrico mostrados e não só falados nos faz ter mais vontade de aprender e isto foi bem claro nesse conteúdo” [Estudante 4_(T1+T2)]

“Com o uso do simulação o professor pode chegar a detalhar melhor o conteúdo e deixar mais claras as deduções de formulas junto a turma, já que as vezes só visualizamos a matemática da coisa e não as interpretações físicas” [Estudante 5_(T1+T2)]

Segundo HELCKLER (2004) apud Moreira (1999) o responsável para potencializar o material escolhido seria o professor buscar detalhes ou novas informações que fizessem esse elo do conteúdo exposto com conhecimentos prévios tornando assim a simulação computacional mais significativa.

Questão 6: Como você classificaria seu interesse, nas aulas de física, com essa nova metodologia usada?

O Gráfico 6 nos apresenta que 6,80% dos estudantes classificaram como pouco importante, 50,49% como muito importante e 42,72% importante o uso da simulação computacional, não obtendo classificação nenhuma.

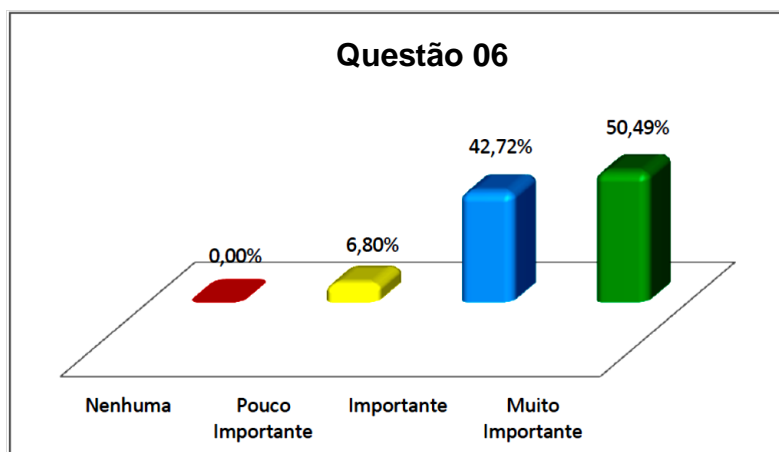


Gráfico 6 – Percentuais das respostas dos estudantes sobre o seu interesse nas aulas de física com o uso das simulações computacionais.

Para aqueles que se dizem não ter interesse com essa nova metodologia, destacamos as seguintes respostas:

“As aulas foram interessantes, mas meu interesse não mudou em nada já que não vou precisar de física, pois vou prestar vestibular pra área de humanas”
[Estudante 1_(T1+T2)]

“Ainda assim continua uma aula muito chata e complicada, onde o aluno tem que dobrar o seu estudo, dando assim muita importância a este conteúdo e as vezes deixando outras disciplinas para depois” **[Estudante 2_(T1+T2)]**

“Independente da metodologia feita pelo professor a física ainda continua a mesma e não sendo atrativa, pois ainda tenho horror a cálculos” **[Estudante 3_(T1+T2)]**

“Não percebo tanto desenvolvimento no meu aprendizado mesmo com essa nova tecnologia a física não entra” **[Estudante 4_(T1+T2)]**

Percebemos que mesmo proporcionando uma melhor aprendizagem e desviando do ensino tradicional (em que a aprendizagem é mecânica, com a memorização de conteúdos) o que evidenciamos é a pré-disposição vinda por

parte do estudante de aprender, que segundo Helcler (2004) apud Moreira (1999) seria imprescindível para o sucesso do processo de aprendizagem significativa.

Levando em consideração que a maioria dos estudantes afirma que despertou um maior interesse e ajudou na aprendizagem temos:

“Não só nesse tipo de metodologia devemos despertar nosso interesse pelo aprender, mas com certeza o interesse aumenta devido a você observar aquilo que realmente acontece com uma margem de erro muito pequena no simulador e chegar a comprovar essa margem nos chega a deixar mais satisfeitos com nosso aprendizado” [Estudante 5_(T1+T2)]

“Em minha opinião o aluno passa a ter maior interesse quando se trata do uso de novas metodologias de ensino, inclusive pra mim passei a ter um maior desempenho depois do uso das simulações computacionais” [Estudante 6_(T1+T2)]

“O simulador não foi só um complemento daquilo que o professor nos passou, deixou a aula mais interativa, interessante e estimulante me fazendo despertar um novo olhar pra física” [Estudante 7_(T1+T2)]

“Como essa metodologia foge dos padrões tradicionais de ensino, ela atrai muito a atenção do aluno, despertando assim um maior interesse e maior dedicação à física favorecendo assim a melhores resultados e um aprender de qualidade, não se tornando apenas uma coisa decorada” [Estudante 8_(T1+T2)]

“Eu não sou fã de física mais confesso que o novo método de ensino me deixou mais interessada no assunto, prendendo mais minha atenção, já que tenho uma facilidade maior com a informática” [Estudante 9_(T1+T2)]

Para essa maioria, percebemos que os aspectos de dinamismo na aula com o uso do simulador computacional foram fatores motivadores, pode

aproximar os estudantes a interpretar e refletirem sobre o que estão fazendo. Para os demais podemos enfatizar que os aspectos afetivos dos estudantes com relação à física foram revelados (negativos), que pode deve ser uma fonte de pesquisa e atenção dos pesquisadores em ensino de física.

Quando estamos intencionados simplesmente na aprendizagem de um só conteúdo podemos ressaltar que aquilo que for descoberto se torna significativo da mesma forma que aquilo que for apresentado ao aprendiz na aprendizagem receptiva. (MOREIRA, 2009, p. 10-11) A importância do laboratório, no ensino de ciências e no ensino de Física, é fundamental, proporcionamos este com uso das simulações computacionais proporcionando no estudante uma aprendizagem receptiva, já que a aprendizagem por descoberta no ensino de física moderna no nível médio seria quase que impossível.

3.5. Avaliação de verificação da aprendizagem

A atividade de verificação de aprendizagem foi proposta dentro do calendário escolar. Consideramos o caráter quantitativo sendo atribuída uma nota de 0,0 a 10,0 para compor a questão burocrática da avaliação escolar da instituição de ensino onde foi aplicada a intervenção didática.

Os resultados da atividade de verificação de aprendizagem da Turma 1 estão apresentados no Gráfico 7. Esses nos revelaram, no geral, um bom aproveitamento, apenas 1,7% obtiveram notas abaixo de 4,0 e 29,3% notas entre 6,1 e 8,0.

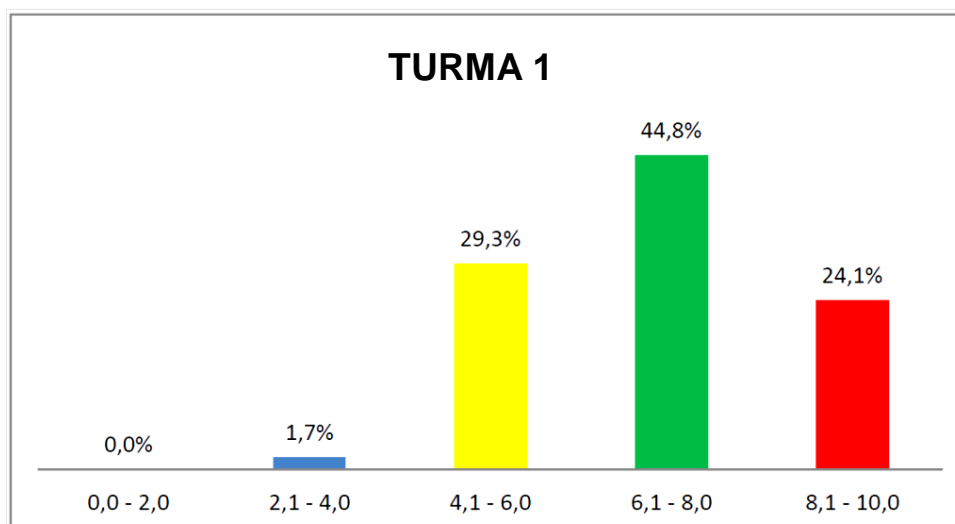


Gráfico 7 – Porcentagem do rendimento dos estudantes da Turma 1 na avaliação de verificação da aprendizagem.

Já na Turma 2, 5,7% dos estudantes obtiveram notas de 0,0 a 2,0; 3,8% notas de 2,0 a 4,0; 18,9 notas de 4,1 a 6,0; 37,7% notas de 6,1 a 8,8; e, 34,0% notas superior a 8,0.

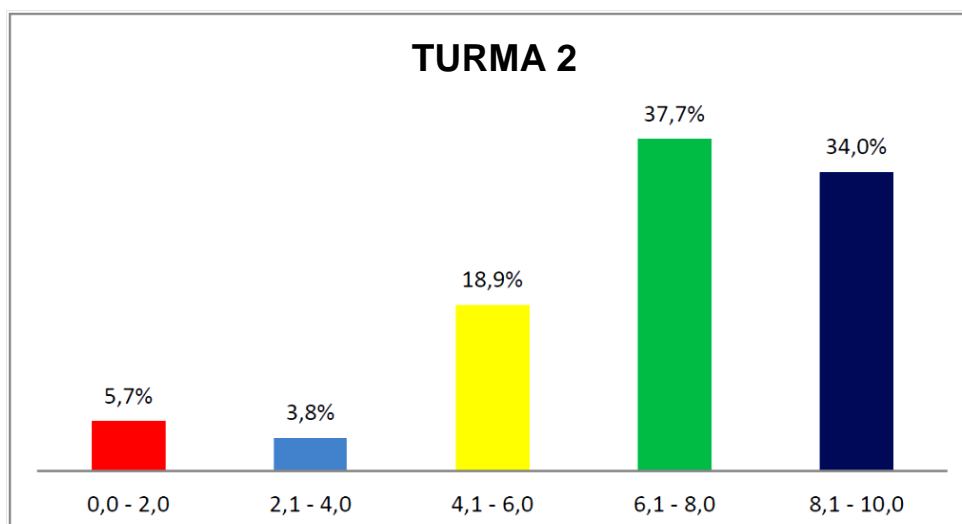


Gráfico 8 – Porcentagem do rendimento dos alunos da Turma 2 na avaliação de verificação da aprendizagem.

Destacamos que mesmo com algumas notas abaixo do valor padrão da escola, de uma forma geral, a intervenção didática com o uso da simulação do efeito fotoelétrico aumentou o rendimento das turmas. Visto que em outras avaliações em que a metodologia foi baseada apenas na exposição de conteúdos obtivemos resultados quantitativos de notas menores em ambas as turmas.

Considerações Finais

A maneira, por vezes, pouco motivadora de apresentar a física é uma das razões para que os estudantes não se interessem pela disciplina. Obviamente, uma das formas para se tentar contornar essa situação é renovar os recursos didáticos aplicados ao ensino. Sem tirar o rigor implícito dessa ciência, o professor pode tornar o ensino da física mais atraente.

O advento das tecnologias de informação e comunicação vem proporcionado várias modalidades de aplicação do ensino de física. Uma das modalidades que particularmente nos chamou a atenção foram as simulações computacionais disponíveis de forma gratuita na internet e que podem ser utilizadas off-line. O uso de simulações no ensino de física pode trazer vários benefícios e pode se configurar como um recurso motivador, pois permite que temas ou conteúdos possam ser explorados dinamicamente em relação, por exemplo, ao livro texto.

Os estudantes classificaram o uso da simulação computacional como bom e ótimos, com os percentuais de 33,01% e 66,99% respectivamente. Em termos da importância para facilitação da aprendizagem que 49,51% dos estudantes responderam achar importante e 50,49% muito importante, não houve respostas a pouco importante e nenhuma.

Além disso, como a física é uma ciência empírica e nem sempre as escolas dispõem de laboratórios convencionais, as simulações vêm a ser uma alternativa, viável. Todavia, deve ser enfatizado que uma simulação computacional não deve substituir uma experiência em um laboratório convencional.

Quanto a classificação do uso das simulação e a participação em sala dos estudantes obtivemos que 32,04% classificaram como muito importante; 60,02% como importante e 1,94% como pouco importante.

A utilização de simulações computacionais com recursos pedagógicos pode constituir-se uma perspectiva de um ensino atraente e eficiente. No entanto, sua utilização deve ser feita compatível com a metodologia de ensino, deve objetivar ao estudante a capacidade de um conhecimento necessário para o cidadão contemporâneo.

A classificação do interesse dos estudantes com relação ao uso da simulação obtivemos que 50,49% classificaram como muito importante e 42,72% como importante.

As simulações computacionais voltadas ao ensino de física permite ao estudante operar com grandezas físicas e observar resultados “imediatos”, decorrentes das modificações de situações e condições (que às vezes é difícil manipulação com um laboratório convencional).

Referências

AUSUBEL, David P.; NOVAK, Joseph D.; HANESIAN, Helen. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AUSUBEL, D. P. **Educational Psychology: a cognitive view**. New York: Holt, Rinechart and Winston, 1968.

ALINPRANDINI D. M., SCHUHMACHER E.; SANTOS M. C. dos S., Processo de Ensino Aprendizagem de Física Apoiada em Softwares de Modelagem. **Anais** do I Simpósio Nacional de Ensino de Ciências e Tecnologia, Blumenau, p. 1370-1379, 2009.

ALVETTI, M. A. S, Ensino de Física Moderna e Contemporânea e a Revista Ciência Hoje, **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 1999.

ARAÚJO, E. A.; LIMA, E. S.; MARINHO E. V.; NASCIMENTO J. P.; SILVA, M. C. F. O.; RODRIGUES, A. G. Sobre a inserção de física moderna no ensino médio em algumas escolas de Santarém – PA: um olhar inicial. **Anais**. SNEF. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 26 a 30 de janeiro de 2009, Vitória-ES, 2009.

ARAUJO, I. S.. Simulação e Modelagem Computacional como Recursos Auxiliares no Ensino de Física Geral. **Tese de Doutorado** Instituto de Física – UFRGS, Porto Alegre, 2005.

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A.. Um estudo exploratório sobre o uso de simulações computacionais na aprendizagem da lei de Gauss e da lei de Àmpere em nível de física geral. **Enseñanza de las ciencias**, número extra, VII Congresso, 2005.

BRANSFORD, J. D; BROWN, A. L; COOKING, R. R. (ed). How People learn: Brain, mind, experience and school. Washington: National Academy Press, 2000.

BRASIL. MEC. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição aplicáveis aos conceitos de física moderna. In: **Anais** do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. São Paulo: SBF, 2004.

CAMARGO, A. J. A introdução de física moderna no 2o grau: obstáculos e possibilidades. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 1996. **Dissertação de mestrado**.

CAVALCANTE, M. A.; JARDIM, V.; BARROS, J. A. de A. Inserção de física moderna no ensino médio: difração de um feixe laser. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 2: p. 154-169, ago. 1999.

CAVALCANTE M. A.; TAVOLARO C. R. C.; SOUZA D. F.; MUZINATTI J. Uma aula sobre o Efeito Fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **Física na Escola**, v. 3, n. 1, 2002.

CHAVES, A.; SHELLARD, R. C. PENSANDO O FUTURO: O desenvolvimento da física e sua inserção na vida social e econômica do país, **Física para o Brasil**. São Paulo : Sociedade Brasileira de Física, 2005. 248p. : il.

CORRÊA, João A. et al. A Inserção da Física Moderna no Ensino Médio. **Anais**. XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, Curitiba, 2002.

EISBERG, Robert ; RESNICK, Robert. **FÍSICA QUÂNTICA, Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. 29ª. Tiragem, Editora Elsevier, Rio de Janeiro. 1979.

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.

GIL-PÉREZ, D. I.; CARRASCOSA, J.; VALDÉS, P. Papel de la actividad experimental en la educación científica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 23, n. 2, p.157-181, ago. 2006.

GIORDAN, M. O Computador na Educação em Ciências: Breve Revisão Crítica Acerca de Algumas Formas de Utilização. **Ciência & Educação**, v 11, n. 2, p. 279-304, 2005.

GONÇALVES, L. de J. Uso de animações visando a aprendizagem significativa de física térmica no ensino médio. Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física. Instituto de Física. Porto Alegre-2005. **Dissertação de Mestrado**.

GRECA M I.; MOREIRA M. A., Uma Revisão da Literatura Sobre Estudos Relativos ao Ensino da Mecânica Quântica Introdutória, **Investigações em Ensino de Ciências**, v 6, n.1, p. 29-56, Porto Alegre, 2001.

LUDKE M.; ANDRÉ, M.E.D.A. Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas, São Paulo: EPU, 1986.

HECKLER, V. Uso de Simuladores e Imagens como Ferramentas Auxiliares no Ensino/Aprendizagem de Óptica. Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física. Instituto de Física. Porto Alegre-2004. **Dissertação de Mestrado.**

HECKLER V., SARAIVA M. de F.; OLIVEIRA FILHO, K. de S. Uso de Simuladores, Imagens e Animações como Ferramentas Auxiliares no Ensino/Aprendizagem de Óptica, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 267-273, 2007.

HOHENFELD, D. P.; PENIDO, M. C. Laboratórios convencionais e virtuais no ensino de Física. **Anais**. VII ENPEC, Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis-SC, 8 a 13, de novembro de 2009.

LAPA, J. M. Laboratórios virtuais no ensino de física: novas veredas didático-pedagógicas. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia e da Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2008. 119p.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Avaliação de um sistema hipermídia enquanto recurso didático para o ensino de conceitos de Física Moderna e sobre a natureza a Ciência. In: **Anais** do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. São Paulo: SBF, 2006.

MARTINS, A. J.; FIOLEAIS, C., PAIVA J. Simulações On-Line no Ensino da Física e da Química. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v.11, n. 2, p. 111-117, 2003.

MEDEIROS A.; MEDEIROS C. M. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 87-90, 2002.

MENEZES, L. C.; HOSOUOME, Y. Para lidar com o mundo real, a física escolar também precisa ser quântica. **Anais** do XII SNEF. P. 282-287, Jan. 1997.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: da visão clássica à crítica. **Anais I Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa**, Campo Grande, MS, Abril de 2005.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**, Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: um conceito subjacente**. In: Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, 1997. Burgos. Actos. p. 19-44.

MOREIRA, M. A.. **A Teoria da Aprendizagem Significativa**. Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências, Porto Alegre, 2009.

MORELATTI, M. R. M. A abordagem construcionista no processo de ensinar e aprender cálculo diferencial e integral. In: Congresso Iberoamericano, 6 , Simpósio Internacional de Informática Educativa, 7. Taller Internacional De Software Educativo, 7. 2002. **Anais**. Vigo. IE ; Universidade de Vigo. 2002.

OLIVEIRA, F. F. **O ensino de física moderna com enfoque CTS: uma proposta metodológica para o ensino médio usando o tópico raios x**. Programa de Pós-Graduação em Educação – Faculdade de Educação – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2006.

OLIVEIRA S. R., GOUVEIA V. de P.; QUADROS A. L. Uma Reflexão sobre Aprendizagem Escolar e o Uso do Conceito de Solubilidade/Miscibilidade em Situações do Cotidiano: Concepções dos Estudantes. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 1, p. 23-30, 2009.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n.1, p. 375-376, 2000a.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. 2000. **Anais. ENPEC-VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Florianópolis, 2000b.

PAULA, R. C. de O. O emprego de simulações computacionais como alternativas a abordagem experimental no ensino de ciências. Departamento de Física, Universidade Católica de Brasília, Brasília – DF, 2007. **Projeto Experimento – FINEP**.

PAULO, I. J. C. de. Elementos para uma proposta de inserção de tópicos de física moderna no ensino de nível médio. Cuiabá: Instituto de Educação – UFMT, 1997. **Dissertação de Mestrado em Educação.**

PEGDEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to simulation**

using SIMAN. McGraw-Hill, NY. 2 ed., 1990.

PENA, F. L. A. Carta ao Editor, Por que, nos Professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e idéias de física moderna e contemporânea na sala de aula? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 1-2, 2006.

PENA, F. L.; RIBEIRO Filho, A. Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de Física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006). **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9 No 1, 2009.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Uma análise da produção acadêmica recente sobre o ensino de física moderna e contemporânea no Brasil. In: **Anais do VI Encontro Nacional Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 215-227, Florianópolis - Santa Catarina, 2007.

PEREZ, J. R. B.; CALUZI, J. J. $E = mc^2$ Ensino médio e divulgação. In: **Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. São Paulo: SBF, 2004.

PhET Interactive Simulations **Project at the University of Colorado** (PhET), <<http://phet.colorado.edu/>> Acessado em: Julho de 2010.

PIETROCOLA, M.; BROCKINTON, G. Recursos computacionais disponíveis na internet para o ensino de física moderna e contemporânea. In: 3ª Encontro de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2003, Bauru. **Anais do 3ª Encontro de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Bauru: ABRAPEC, 2003.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.16, n.1, p. 7-34, 1999.

REZENDE, F; OSTERMANN, F A prática do professor e a pesquisa em ensino de física: novos elementos para repensar essa relação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 3: p. 316-337, dez. 2005.

REIS, M. R. O uso de recursos computacionais hipermídia na compreensão de conceitos da física moderna no ensino médio. **Dissertação de Mestrado** Programa de pós-graduação em Ciências da Computação. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ROSA; C. W.; ROSA, A. B. Ensino de Física: Tendências e desafios na prática docente. **Revista Ibero-americana de Educacion**, v. 7, n 42, p. 1-12. Maio de 2007.

SILVA, J. C. G.; CARVALHO, A. M. P., CHAVEZ, J. D. A. Uma simulação de computador como ferramenta de enculturação científica. In: **Anais** do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – Curitiba – 2008.

SANTOS, G. H.; ALVES, L.; MORET, M. A. Modellus: Animações interativas mediando a aprendizagem significativa dos conceitos de física no ensino médio. **Revista científica da escola de administração do exército**, v. 2, p. 88-108, 2006.

SELWYN, NEIL. O uso das TIC na educação e a promoção de inclusão social: uma perspectiva crítica do reino unido. **Educação Social**, Campinas, vol. 29, n. 104 - Especial, p. 815-850, out. 2008. Disponível em <http://www.cedes.unicamp.br>

SÈRÉ, M.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, p.31-43, nov. 2004.

TAVARES, R.; SANTOS J. N.. Animação interativa como organizador prévio. **Anais**. XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, Curitiba-PR, 2003.

TAVARES, R. Aprendizagem significativa e o ensino de ciências. **Ciências & Cognição**; v. 13, n. 1, p. 94-100, 2008

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

TAVARES, R. Aprendizagem significativa, codificação dual e objetos de aprendizagem. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v.18, n. 2, p. 5-16, 2010.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.9,n.3: p.209-214, dez.1992.

TIPLER, P. A.; LLEWELLIN, R. A. Física Moderna, 3ª. Edição, Tradução Ronaldo Sergio de Biasi, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. – LTC, Rio de Janeiro, 2006

VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando Física Moderna no segundo grau: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.15, n.2, p. 121-135, 1998.

VALENTE, J. A. **Diferentes usos do computador na educação**. Brasília: v. 12, n. 57, p. 3-16, jan./mar., 1993.

VALENTE, L.; BARCELLOS, M.; SALEM, S.; KAWAMURA, M. R. Física Moderna e Contemporânea no ensino médio: expectativas e tendências. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007, Florianópolis. **Anais** do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007.

VALENTE, L.; BARCELLOS M. E.; SALÉM S.; KAWAMURA, M. R. D. Física Nuclear: caminhos para a sala de aula. In: **Anais** do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Curitiba: SBF, 2008.

VASCONCELOS, F. H. L.; MELO, B. R. S; SALES, G. L.; FILHO, J. A. de C.; PEQUENO, M. C. Uma Análise do Uso de Objetos de Aprendizagem como Ferramenta de Modelagem Exploratória Aplicada ao Ensino de Física Quântica. In: **Anais** do XXVII Congresso da SBC, Rio de Janeiro, 2007.

VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Modelagem computacional no ensino de física. In: **Anais** do XXIII Encontro de Físicos do Norte Nordeste – 2005

VEIT, E. A.; THOMAS, G.; FRIES, S. G.; AXT, R.; FONSECA, L. O efeito fotoelétrico no segundo grau via microcomputador. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, 4(2): p. 68-88, 1987.

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**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 87-90, 2002.

VEIT, E. A. **Novas Tecnologias no Ensino de Física no Nível Médio**. Disponível em: <<http://www.ufgrs.br/cref/ntef>> Acessado em fevereiro de 2010.

VIANA, C. J.; ALVARENGA, K. B. O uso das mídias no ensino de física sob a perspectiva de artigos em revistas especializadas. In: **Anais** do II Seminário Educação, Comunicação, Inclusão e Interculturalidade, p. 172-185, 2009.

VIANA, D. R.; CORRÊA FILHO, J. A.. Uma Análise de Applets de Física Moderna e Contemporânea para o Ensino Médio. In: **Anais** do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. São Paulo: SBF, 2006.

WEISS, J. M.; NETO, A. S. de A. Uma investigação a respeito da utilização de simulações computacionais no ensino de eletrostática. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 1, n.1, p. 43-54, 2006.

YAMAMOTO, I; BARBETA, V. B. Simulações de experiências como ferramenta de demonstração visual da teoria de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 215-225, 2001.

Apêndices

Apêndice A

Texto base para expor o conteúdo

O EFEITO FOTOELÉTRICO

Historicamente podemos destacar que Hertz em meados de 1887, fez experimentos de onda estacionária, refletindo os seus pulsos primários em uma placa metálica e daí determinou o comprimento de ondas da radiação eletromagnética utilizada e a velocidade da luz. O experimento foi realizado com ondas de comprimento 1 m, na faixa que caracteriza o que é chamado hoje de radiofrequência.

Ao realizar esses experimentos, Hertz verificou um outro efeito. A centelha secundária (na abertura do anel) era mais intensa quando a abertura do anel era iluminada pela centelha primária. Esse resultado foi publicado em no mesmo ano em um artigo intitulado *On an Effect of Ultraviolet Light upon the Electric Discharge* (Sobre um efeito de Luz Ultravioleta na descarga elétrica). Thomson, dois anos depois da descoberta de Hertz, postulou que o efeito fotoelétrico consistia na emissão de elétrons.

Em termos históricos o efeito fotoelétrico foi inspirado na ideia da quantização da energia proposta por Planck em 1900 para explicar o espectro de radiação de corpo negro (catástrofe do ultravioleta), ou seja, obter a expressão que descrevesse o espectro do corpo negro obtido experimentalmente. Embora para Planck pensar na energia como quantizada era apenas uma espécie de artifício matemático, as propriedades observadas do efeito fotoelétrico eram divergentes das previsões clássicas, em que se esperava que a radiação eletromagnética se comportasse simplesmente como uma onda no processo de ejeção dos elétrons.

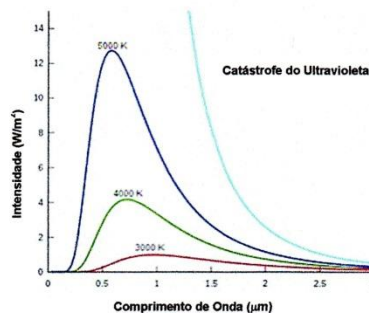


Figura 1 – Radiação do Corpo negro

Durante alguns anos a hipótese de Planck não foi levada a sério. No entanto, em 1905, mesmo ano em que Publicou seu primeiro trabalho sobre a relatividade, Einstein retomou essa idéia. Ele analisou novamente o problema do corpo negro e mostrou que a análise ficava mais coerente quando se admitia que, mesmo depois de abandonar o corpo, a radiação se comportava como se fosse composta de "pacotes". Einstein chamou cada "pacote" de **quantum** (palavra latina cujo plural é quanta). Mais tarde, cada **quantum** foi chamado de fóton, por sugestão do químico americano G. N. Lewis (1875-1946), bastante conhecido por seu trabalho sobre valência.

Ainda nesse trabalho de 1905, para testar a teoria quântica da radiação, Einstein mostrou que ela explicava o efeito fotoelétrico, cujas características também intrigavam os físicos e do qual falaremos mais adiante.

Quando ondas eletromagnéticas atingem um corpo, às vezes observamos que elétrons são "arrancados" desse corpo. Em princípio isso pode acontecer com vários materiais, mas é um efeito mais facilmente

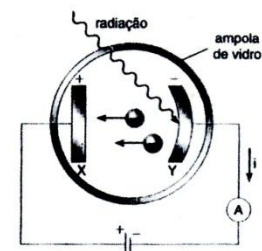


Figura 2 – Célula Fotoelétrica

observável em metais. A emissão de elétrons pela absorção de radiação é chamada de efeito fotoelétrico.

O efeito fotoelétrico pode ser observado usando o dispositivo esquematizado na Figura 2, chamado de fotocélula. Duas placas metálicas X e Y são colocadas no interior de uma ampola de vidro, no interior da qual foi feito vácuo. A radiação incide na placa Y.

Se houver emissão de elétrons, estes serão atraídos pela placa positiva (X), estabelecendo-se uma corrente elétrica no circuito, que poderá ser detectada por um amperímetro sensível (A). É desse modo que funcionam, por exemplo, as portas de edifícios que se abrem automaticamente quando nos aproximamos. Quando chegamos perto da porta, nosso corpo interrompe o fluxo de radiação e a corrente se anula. Quando a corrente se anula, é acionado o mecanismo que abre a porta.

À primeira vista o efeito fotoelétrico tem uma explicação simples. A onda eletromagnética transfere energia ao elétron. Uma parte dessa energia é usada para realizar o trabalho (ϕ) de extração do elétron e o restante transforma-se em energia cinética (K) do elétron. No entanto, os resultados experimentais são intrigantes do ponto de vista da Física Clássica.

Em primeiro lugar há a questão da frequência. De acordo com a Física Clássica, esse efeito não deveria depender da frequência da onda. No entanto, a experiência mostra que, para cada metal, o efeito só é obtido quando a frequência é maior ou igual a um valor mínimo chamado frequência de corte (f_0). Na tabela a seguir damos os valores de f_0 para alguns metais. No caso dos metais alcalinos (sódio, potássio, etc.), essa frequência corresponde à luz visível. No entanto, para os outros metais, o valor de f_0 está na região do ultravioleta.

Tabela: Frequência de corte (ν_0) para alguns metais

Metal	f_0 (Hz)
Sódio	$5,5 \cdot 10^{14}$
Potássio	$4,22 \cdot 10^{14}$
Cobre	$1,13 \cdot 10^{15}$
Prata	$1,14 \cdot 10^{15}$
Platina	$1,53 \cdot 10^{15}$

Em segundo lugar há a questão do tempo. De acordo com a Física Clássica, em geral, o tempo necessário para que um elétron adquira a energia necessária para escapar é da ordem de horas, dias ou mesmo meses. No entanto, o que se observa é que, desde que exista o efeito fotoelétrico, entre o momento em que a radiação atinge o metal e o momento em que o elétron escapa, o tempo é extremamente curto ($3 \cdot 10^{-9}$ s); a emissão é praticamente imediata.

Em terceiro lugar há a questão da intensidade da radiação. Quando a frequência está acima da frequência de corte, o efeito sempre ocorre, mesmo que a intensidade da radiação seja muito pequena. A intensidade influi no número de elétrons "arrancados" e assim influi na corrente (i) medida no circuito da Figura 2. No entanto, a intensidade da radiação não influi na energia cinética adquirida por cada elétron.

A explicação dada por Einstein é que a radiação é formada por quanta (fótons). Cada elétron absorve apenas um fóton. Se a energia desse fóton for menor do que a necessária para extrair o elétron, este não será emitido, por mais tempo que a radiação fique incidindo sobre o corpo.

Sendo E a energia do fóton, E_c a energia cinética adquirida pelo elétron e ϕ o trabalho realizado para "arrancar" o elétron, temos:

$$E = E_c + \phi \quad (I)$$

A energia do fóton é dada por:

$$E = hf$$

No efeito fotoelétrico a velocidade adquirida pelo elétron é muito menor do que a da luz; assim, a energia cinética pode ser calculada pela fórmula clássica:

$$Ec = \frac{1}{2} . mv^2$$

Por tanto, a equação (I) fica:

$$hf = \frac{1}{2} mv^2 + \varphi$$

O trabalho φ realizado para "arrancar" o elétron vai depender da profundidade do elétron. Os que estão mais próximos da superfície são mais fáceis de "arrancar" do que os que estão mais profundos. Quanto maior o trabalho necessário para "arrancar" o elétron, menor será sua energia cinética. O trabalho mínimo necessário para "arrancar" um elétron é chamado de função trabalho e será representado por φ_0 . Neste caso, a energia cinética adquire seu valor máximo ($E_{cmáx}$):

$$hf = E_{cmáx} + \varphi_0$$

$$E_{cmáx} = hf - \varphi_0 \quad (II)$$

Equação de Einstein para o Efeito Fotoelétrico

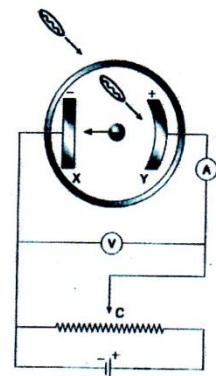


Figura 3

Se a frequência for a de corte, teremos energia cinética nula, e da equação II tiramos:

$$hf_0 = \varphi \quad (III)$$

Para obtermos o valor da energia cinética máxima, podemos usar um dispositivo como o esquematizado na Figura 3. Ele é semelhante ao da figura 2, mas observe que a polaridade da bateria foi invertida, de modo que a placa X repele os elétrons emitidos pela placa Y. Desse modo apenas os elétrons com as maiores energias cinéticas conseguem atingir a placa X. Deslocando o cursor C para a direita, aumentamos a diferença de potencial entre X e Y. Fazemos isso vagarosamente até que a corrente registrada pelo amperímetro se anule. Nesse momento, os elétrons mais energéticos não conseguem atingir a placa X. Nessa situação a diferença de potencial é chamada potencial de corte ou potencial frenador, sendo representada por V_0 . Sendo e a carga elementar, devemos ter:

$$E_{cmáx} = eV_0 \quad (IV)$$

Da equação II, tiramos:

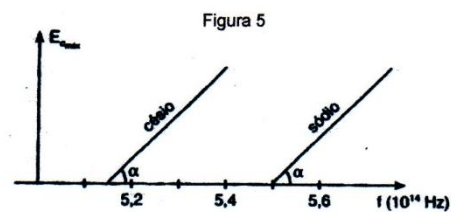
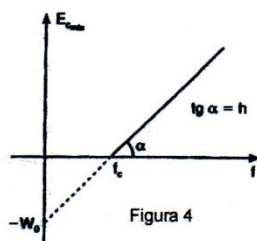
$$E_{cmáx} = hf - \varphi$$

$$eV_0 = hf - \varphi$$

$$V_0 = \frac{hf}{e} - \frac{\varphi}{e} \quad (\text{V})$$

Equação de Einstein para o Potencial Frenador

Portanto, se fizermos um gráfico da energia cinética máxima em função da frequência, devemos obter uma semi-reta de coeficiente angular h como representa a Figura 4. Como h é uma constante universal, para todos os metais as semi-retas devem ter a mesma inclinação como mostra a Figura 5.



BIBLIOGRAFIA

EISBERG, Robert ; RESNICK, Robert. **FÍSICA QUÂNTICA, Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. 29ª. Tiragem, Editora Elsevier, Rio de Janeiro. 1979.

CAVALCANTE, Maria Almeida; TOVALARO, Cristiane R. C. Efeito Fotoeletrico. *Física na Escola*, v. 3, n. 1, 2002.

BISCUOLA, José Gualter; BÔAS, Niwton Villas; DOCA, Ricardo Helou. **Tópicos de Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise Dimensional**. 17 Edição reformulada e ampliada, Editora Saraiva, São Paulo, 2007.

VALIO, Adriana Benetti Marques... [et al]. **Física: Ensino Médio, 3º. Ano**. Coleção ser Protagonista, 1 Ed., Editora SM, São Paulo, 2009.

Apêndice B

**Roteiro para atividade experimental no
laboratório de informática**

Título: **Exercícios**

Data: ____ / ____ / ____

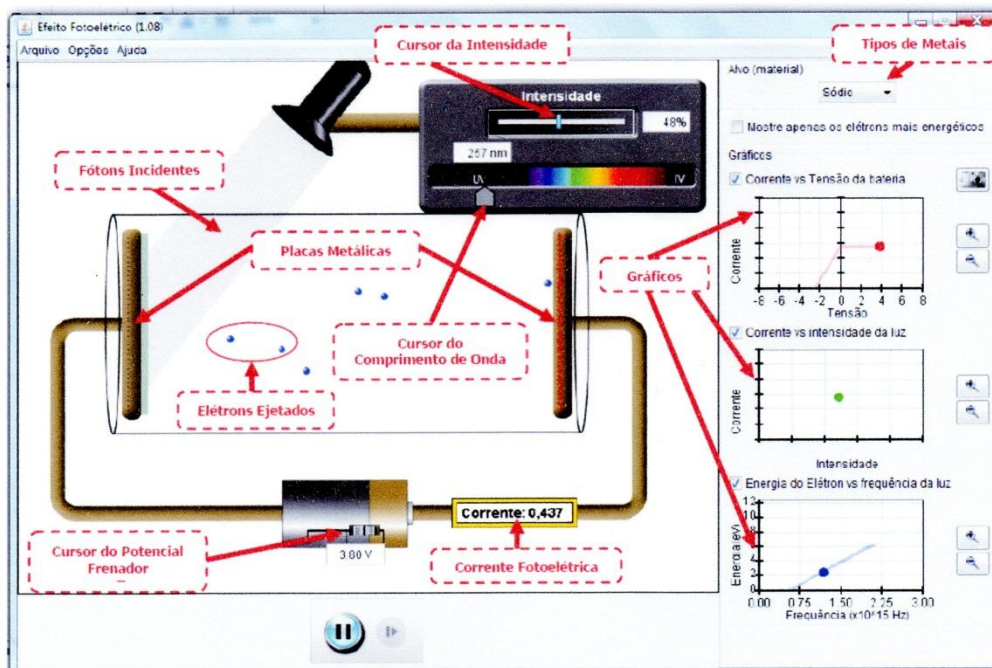
Série: **3ª Série do Ensino Médio**

Física – Valdenes

Aluna(o):

Nº:

Apresentação do Simulador



Atividade Experimental

1. Preencha a tabela abaixo com o auxílio do simulador para os comprimentos de onda máximos que proporcionam o efeito fotoelétrico de cada metal sugerido e a complete com a frequência de corte de cada metal com seus respectivos cálculos.

METAIS	λ (comprimento de onda)	F_{\min} (frequência de corte)
SÓDIO		
ZINCO		
COBRE		
PLATINA		
CÁLCIO		
MAGNÉSIO		

2. Encontre a função trabalho para cada metal explicitando seus cálculos com base no preenchimento da tabela anterior. Faça uma pesquisa em algum livro didático ou na internet e compare os valores tabelados com o que foi encontrado com o auxílio do simulador e estime o erro percentual entre ambos.

3. Encontre com um certo valor de comprimento de onda que proporcione o efeito fotoelétrico na platina, no zinco e no magnésio valores para as máximas velocidades admitida explicitando seus cálculos como justificativa para tal.

4. Encontre com base no item anterior e para o mesmo metal e comprimento de onda escolhido o valor do potencial frenador.

5. Usando o simulador como você poderia explicar o efeito ocorrer para um certo metal e para outro não, mesmo deixando a intensidade da luz incidente maior?

6. Diminuindo o comprimento de onda de uma certa incidência ao qual temos o efeito fotoelétrico acontecendo, o que podemos afirmar como característica física mudada no efeito? Qual a explicação física para isso tudo?

Apêndice C

Questionário para avaliação da metodologia empregada



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA - UEPB
PRÓ-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

AVALIAÇÃO METODOLÓGICA

Como você classifica o uso da simulação computacional para expor o conteúdo? _____

Ruim Regular Bom Ótimo

Se possível justifique sua resposta descrevendo alguns aspectos positivos ou negativos _____

Como classificaria a compreensão do conteúdo com o uso da simulação computacional? _____

Ruim Regular Boa Ótima

Se possível justifique sua resposta descrevendo alguns aspectos positivos ou negativos _____

Qual a importância do uso da simulação computacional para o entender o conteúdo abordado? _____

Nenhuma Pouco Importante Importante Muito Importante

Se possível justifique sua resposta descrevendo alguns aspectos positivos ou negativos _____

Como classificaria a compreensão do conteúdo com o uso da simulação computacional?

Nenhuma Pouco Importante Importante Muito Importante

Se possível justifique sua resposta descrevendo alguns aspectos positivos ou negativos

Em relação à exposição da simulação computacional pelo professor, objetivando detalhes do conteúdo apresentado, como você classificaria tal exposição?

Ruim Regular Bom Ótimo

Se possível justifique sua resposta descrevendo alguns aspectos positivos ou negativos

Como classificaria seu interesse, nas aulas de física com essa nova metodologia utilizada?

Nenhum Pouco Importante Importante Muito Importante

Se possível justifique sua resposta descrevendo alguns aspectos positivos ou negativos

Prezado aluno, relate o que você quiser com relação a esta proposta. Devo deixar claro que você não será identificado e sua opinião vai ser muito importante para a melhoria e justificativa do trabalho. Desde já agradeço o preenchimento deste e a veracidade dos relatos apresentados.

Apêndice D

Atividade de verificação da aprendizagem.

Título: AC1 2ª. Unidade	Data: ___ / ___ / ___	Nota:
Série: 3ª série do Ensino Médio	Física – Valdenes	Turma/Turno:
Aluna(o):	Nº:	

Leia com atenção antes de iniciar o exercício de avaliação

1. Não amasse, não dobre e não suje esta folha;
2. Não faça qualquer marca ou anotação fora dos locais previstos;
3. Questão rasurada será cancelada;
4. A avaliação só será aceita se for escrita com caneta esferográfica de cor AZUL ou PRETA;
5. Não será permitido o empréstimo de qualquer material escolar, como: CANETA, GRAFITE, BORRACHA, etc;
6. Serão anuladas **todas** as provas do dia se o aluno:
 - Portar celular ou quaisquer instrumentos eletrônicos;
 - Usar qualquer mecanismo ilícito de facilitação (“fila”) para a realização das provas.
7. O aluno deverá entregar a prova mediante carteira limpa ou será punido na AP.
8. Cada questão subjetiva terá peso 2,0 (dois) e as questões objetivas peso 1,0 (um).

1. (peso 0,5)

2. (peso 1,0)

3. (Peso 1,0)

**Questões retiradas por não
fazerem parte do conteúdo
específico**

4. (peso 0,5) Considere as seguintes afirmações sobre o efeito fotoelétrico.

I - O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.

II - O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo ondulatório para a luz.

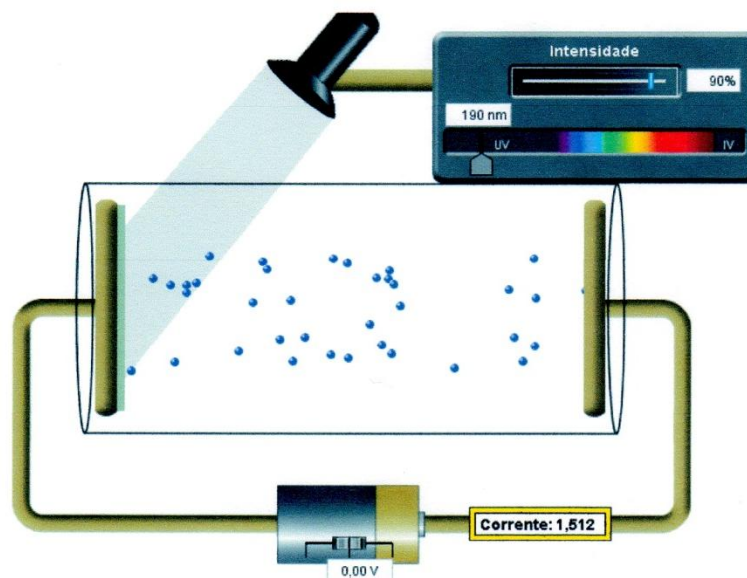
III - Uma superfície metálica fotossensível somente emite fotoelétrons quando a frequência da luz incidente nessa superfície é menor que um certo valor mínimo, que depende do metal.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e II.
- d) Apenas I e III.
- e) I, II e III.

5. (Peso 0,5) Analisando a figura do simulador para o acontecimento do efeito fotoelétrico abaixo e considerando que a função trabalho do sódio, metal usado na simulação, como $2,4\text{eV}$. Determine:

- a) a velocidade dos elétrons mais velozes.
- b) o potencial frenador para tal situação.



Apêndice E

Autorização da escola para realização da pesquisa.

FERA COLÉGIO E CURSO LTDA

C.N.P.J (MF) 09.006.630/0001-48 Rua Antônio Justino, S/N – Tel.: (83) 3421-2325

Bairro: Belo Horizonte – CEP 58.704-620 – Patos – Paraíba

AUTORIZAÇÃO

Eu, Edileny Medeiros Cavalcante Soares, autorizo Valdenes Carvalho Gomes, professor de Física do Ensino Médio deste Estabelecimento de Ensino a desenvolver sua pesquisa com âmbito pedagógico e objeto de estudo de sua dissertação de mestrado vinculada a Universidade Estadual da Paraíba.

Patos, 22 de julho de 2011


Edileny Medeiros Cavalcante Soares
DIRETORA AUTORIZAÇÃO 6196