



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS ANANINDEUA
Faculdade de Física

ELYSON ROBSON DIAS DE SOUZA E SOUZA

**FÍSICA MODERNA: proposta de abordagem do Efeito Fotoelétrico
no Ensino Superior**

ANANINDEUA – PA

02/2020

ELYSON ROBSON DIAS DE SOUZA E SOUZA

**FÍSICA MODERNA: proposta de abordagem do Efeito Fotoelétrico
no Ensino Superior**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
para obtenção do grau de Licenciado em
Física pela Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Brito da
Silva Júnior

ANANINDEUA – PA

02/2020

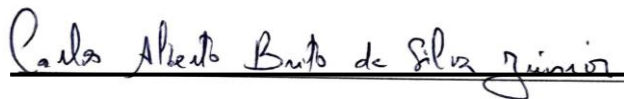
ELYSON ROBSON DIAS DE SOUZA E SOUZA

**FÍSICA MODERNA: proposta de abordagem do Efeito Fotoelétrico
no Ensino Superior**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
para obtenção do grau de Licenciado em
Física pela Universidade Federal do Pará.

Aprovado em: 17/02/2020

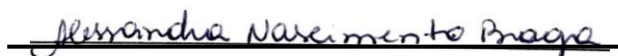
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Carlos Alberto Brito da Silva Júnior
Orientador - FACFIS/CANAN/UFPA



Prof. Dr. Vicente Ferrer Pureza Aleixo
Membro Interno - FACFIS/CANAN/UFPA



Profa. Dra. Alessandra Nascimento Braga
Membro Externo – FBIO/IECOS/CABRAG/UFPA

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

D541f

SOUZA, Elyson Robson Dias de Souza e Souza
FÍSICA MODERNA: proposta de abordagem do
Efeito
Fotoelétrico no Ensino Superior / Elyson Robson Dias
de Souza e Souza. — 2020.
51 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Carlos Alberto Brito da Silva
Júnior

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Curso de Física, Campus Universitário de Ananindeua,
Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2020.

1. Física Moderna e Contemporânea. 2. Efeito
Fotoelétrico. 3. Ensino Superior. 4. Experimentação. 5.
Site Vascak. I. Título.

CDD 530.07

À minha família por todo incentivo e ajuda
para que isso se tornasse possível.

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, pelo dom da vida.

À minha família, em especial minha mãe Elisangela Dias de Souza, minha esposa Laura Caroline Coimbra Ferreira, minhas filhas Elisa Caroline Ferreira de Souza e Carla Emanuele Ferreira de Souza e minha irmã Rosiély Dias de Souza pelo incentivo e entusiasmo a cada conquista.

Aos meus amigos de curso que contribuíram de forma significativa ao longo desta jornada.

À Universidade Federal do Pará pela oportunidade oferecida.

Aos professores e colaboradores envolvidos neste curso pelo empenho e dedicação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Alberto Brito da Silva Júnior pela forma como me orientou neste trabalho, demonstrando paciência e dedicação.

A todos que, de certa forma, contribuíram no decorrer deste curso.

“Isto é uma ordem: sê firme e corajoso. Não te atemorizes, não tenhas medo, porque o Senhor está contigo em qualquer parte para onde fores”.

(Josué 1, 9)

RESUMO

A abordagem de tópicos da Física Moderna e Contemporânea (FMC) nas aulas de Física do Ensino Superior ainda é tema de debates e discussões entre pesquisadores da área. Embora nos dias atuais seja reconhecida sua importância para as tecnologias que encontramos em nosso cotidiano, ainda observamos inúmeros problemas para tratar desse tema em sala de aula. Vários fatores influenciam na abordagem da FMC no Ensino Superior, a começar pela formação dos professores para com o tema, falta de tempo para aplicar um currículo extenso e aulas tradicionais que desinteressam os alunos. Tendo em vista esta perspectiva, o presente trabalho propõe alguns recursos didáticos diferentes dos habituais, visando facilitar o trabalho do professor e um modo de incentivar o aluno para assuntos de FMC. Para tal, trataremos do Efeito Fotoelétrico através de sua história, do contexto da luz até sua aplicabilidade hoje em dia, utilizando-se de experimento de baixo custo – um eletroscópio caseiro e uma fonte de radiação ultravioleta – além de uma proposta de aplicação da simulação do Efeito Fotoelétrico no site Vascak, buscando realizar uma aprendizagem ativa e significativa em sala de aula.

Palavras-Chave: Física Moderna e Contemporânea. Ensino Superior. Efeito Fotoelétrico. Experimentação, site Vascak.

ABSTRACT

The approach to topics of Modern and Contemporary Physics (FMC) in Physics classes in Higher Education is still the subject of debates and discussions among researchers in the area. Although nowadays its importance for the technologies that we find in our daily life is recognized, we still observe numerous problems to deal with this theme in the classroom. Several factors influence the approach of FMC in Higher Education, starting with the training of teachers for the subject, lack of time to apply an extensive curriculum and traditional classes that are of no interest to students. In view of this perspective, the present work proposes some didactic resources different from the usual ones, aiming to facilitate the work of the teacher and a way to encourage the student for FMC matters. To this end, we will deal with the Photoelectric Effect through its history, from the context of light to its applicability today, using a low-cost experiment - a homemade electroscope and a source of ultraviolet radiation - in addition to a proposal for applying the simulation. of the Photoelectric Effect on the Vascak website, seeking to achieve active and meaningful learning in the classroom.

Keywords: Modern and Contemporary Physics (MCP). High Education. Experimentation. Photoelectric effect. Vascak site.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regência durante o Estágio Supervisionado III	131
Figura 2 – Apresentação dos experimentos durante a disciplina Física Moderna II	131
Figura 3 – Henrich Rudolf Hertz (1857-1894).....	133
Figura 4 – Philip Eduard Anton von Lenard (1862 – 1947)	155
Figura 5 – Albert Einstein (1879 – 1955).....	166
Figura 6 – Efeito Fotoelétrico: placa sendo recebendo um feixe de luz e ejetando elétrons.....	199
Figura 7 – Eletroscópio de folhas recebendo luz.....	20
Figura 8 - Balão à vácuo comportando dois elétrodos.....	233
Figura 9 - Gráfico da intensidade da corrente fotoelétrica	233
Figura 10 - Célula fotelétrica	255
Figura 11 – Vladmir Vascak (1955 – 2015)	43
Figura 12 – Tela inicial simulação Efeito Fotoelétrico.....	31
Figura 13 – Comandos para a intensidade da luz	32
Figura 14 – Comando para o comprimento de onda	33
Figura 15 – Comando para alteração de tensão e representação do voltímetro.....	33
Figura 16 – Comando para escolher o material das placas.....	34
Figura 17 – Comando para escolher o material das placas.....	35
Figura 18 – Figura alusiva à questão 1	35
Figura 19– Figura alusiva à questão 2	37
Figura 20 – Figura alusiva à questão 3	38
Figura 21 – Figura alusiva à questão 4	39
Figura 22– Experimento do Efeito Fotoelétrico através do eletroscópio caseiro.....	402

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 O EFEITO FOTOELÉTRICO	133
2.2 A Natureza da Luz	166
2.3 O Efeito Fotoelétrico	199
3 PROPOSTA DE ABORDAGEM DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO SUPERIOR	26
6	
3.1 Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação no processo de Ensino/Aprendizagem	266
3.2 O Ensino de Física Moderna	277
3.3 Aprendizagem Significativa de Ausubel	28
4 SIMULAÇÃO DO EFEITO FOTOELÉTRICO NO SITE VASCAK	311
4.1 O Site Vascak	311
4.2 Instruções sobre o site Vascak: Simulação Efeito Fotoelétrico	311
4.3. Proposta de roteiro para se trabalhar a simulação do Efeito Fotoelétrico do site Vascak	366
5 DEMONSTRAÇÃO DO EFEITO FOTOELÉTRICO POR MEIO DE UM ELETROSCÓPIO CASEIRO	31
5.1 Eletroscópio de folhas e uma fonte de luz ultravioleta	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS	49
ANEXO A	50

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos vêm sendo apresentadas à sociedade novas tecnologias que transformam o mundo e o modo de convivência nele, e isso fica mais evidente quando relacionamos estas tecnologias aos jovens. A ciência tem papel fundamental nessa transformação. No entanto, relacionar o ensino de ciência e avanços científicos e tecnológicos à essa transformação ainda é uma barreira a ser superada. É preocupante como a ementa curricular do Ensino Médio (EM) está desatualizada e descontextualizada em relação à realidade dos alunos, causando uma lacuna na prática pedagógica (GRIEBELER, 2012 e REZENDE JR. e CRUZ, 2009); fazendo com que os alunos advindos do Ensino Médio encontrem muitas dificuldades ao abordarem esses temas no Ensino Superior.

Trabalhos como os de Ostermann e Moreira (2000), Greca e Moreira (2001), Cavalcante e Tavolaro (2001), Rezende Jr. e Ricardo (2003), Moreira (2007) e Machado e Nardi (2007) indicam e advogam a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio pelos métodos de: atualização do currículo para o entendimento da tecnologia; contemporaneidade do conhecimento; entendimento da ciência como construção humana; despertar curiosidade dos alunos; atrair os jovens para a carreira científica; e construção de uma imagem científica sobre a natureza (SILVA e ALMEIDA, 2011).

Para a produção deste trabalho, destaca-se Rezende Jr. e Ricardo (2003), que focam na elaboração de materiais educativos para uma abordagem da Física Moderna e Contemporânea, realizando projetos que auxiliem e dêem apoio aos professores. Atualmente, temas presentes na Física Moderna e Contemporânea têm sua divulgação em blogs, sites, aplicativos de mensagens, programas de tv, jornais e revistas, despertando o interesse de alunos para seus temas, como por exemplo: “Nanopartículas de ferro podem fazer nossos cérebros serem programados por computador” (GARCIA, 2015). A FMC tem muitas outras vertentes que chamam a atenção da sociedade devido à sua aplicabilidade em diversos equipamentos do cotidiano (*notebooks, smartphones, microscópios eletrônicos, microscópios de tunelamento, etc.*), certos de que, para seus funcionamentos, são necessários princípios físicos.

Devido ao fato da rapidez na disseminação de informações, o emprego de

tópicos da FMC torna-se indispensável para que o discente, em sua formação, crie o pensamento crítico e construtivo em cima dessas informações recebidas, sabendo discernir o que realmente é relevante e verdadeiro em meio ao turbilhão de conteúdos da internet.

À vista disso, a ideia central de abordar a Física Moderna e Contemporânea surge quando na disciplina de Estágio Supervisionado III, ver Fig.1, voltado ao segundo ano do Ensino Médio, foi observado que nas aulas não eram tratados temas voltados a esta vertente da Física.

Figura 1 – Regência durante o Estágio Supervisionado III



Fonte: Autor

E a escolha deste tema culmina quando na disciplina Física Moderna II, ministrada pelo Prof. Dr. Carlos Alberto Brito da Silva Júnior, nos é proposto a apresentações de exeperimentos sobre o Efeito Fotoelétrico, ver Fig. 2, sua teoria e aplicações.

Figura 2 – Apresentação dos experimentos durante a disciplina Física Moderna II



Fonte: Autor

Portanto, este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo expor propostas de abordagem da FMC com enfoque no Efeito Fotoelétrico para turmas do Ensino Superior. Estas propostas são formadas por montagem de experimento para explicar o Efeito Fotoelétrico e a aplicação do site Vascak, um laboratório virtual que hospeda várias simulações de experimentos da física.

A ordem didática deste trabalho foi dividida em cinco partes centrais: inicialmente será introduzido o tema central: Efeito Fotoelétrico; em seguida, referenciar a importância da aplicação das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) para o uso do Ensino de Física; logo após será abordada a Aprendizagem Significativa de Ausubel, por conseguinte um tutorial da simulação do Efeito Fotoelétrico presente no site Vascak, além de uma proposta de aula utilizando esse recurso, tendo em vista a visualização do Efeito Fotoelétrico, a verificação da corrente fotoelétrica e sua dependência nos fatores: intensidade luminosa, frequência da radiação e o material que constitui o experimento e a qualidade da sua superfície desse material e, por fim a montagem do experimento sobre o efeito utilizando materiais de baixo custo,. Abrangendo o contexto histórico, ponderar sobre diferentes tipos de radiações luminosas e aplicações do efeito em nosso dia a dia.

2 O EFEITO FOTOELÉTRICO

2.1 Um resumo histórico

O físico alemão Henrich Rudolf Hertz (1857-1894), no ano de 1887, notou que elétrons de uma superfície metálica eram ejetados após a incidência de específicas radiações eletromagnéticas sobre a mesma, sendo esta uma das primeiras evidências da descoberta do Efeito Fotoelétrico (EISBERG e RESNICK,1979; THORNTON e REX, 2013). Dentre seus trabalhos publicados, um relatava sobre seus experimentos com osciladores que criavam ondas eletromagnéticas, esses osciladores eram compostos por duas esferas metálicas onde cada uma dispunha de uma haste e, na extremidade desta haste, uma outra esfera metálica de tamanho menor, ambas ligadas por uma bobina de Rühmkorff (1981), que ao ser alimentada por uma corrente elétrica oscilante fazia com que surgissem faíscas entre as esferas, algo observado por Hertz, ver Fig. 3.

Figura 3 – Henrich Rudolf Hertz (1857-1894)



Fonte: Hype Science

Então, Hertz constrói um ressoador utilizando um fio grosso de cobre circular interrompido por um arco pequeno que têm em uma de suas pontas uma pequena esfera e na outra um parafuso que recuava ou avançava para o controle da fresta do circuito. Ao serem captadas ondas eletromagnéticas pelo ressoador, faíscas elétricas eram emitidas entre a esfera e a ponta do parafuso. Através da

manipulação deste circuito, Hertz pôde obter o comprimento de onda da radiação eletromagnética e, entre várias experiências, ele observou que ao incidir radiação ultravioleta, a esfera carregava-se negativamente e criavam-se faíscas mais facilmente, fenômeno este que mais tarde foi denominado Efeito Fotoelétrico. Em seguida, o físico italiano Augusto Righi (1850 – 1920), no ano de 1888, notou que dois eletrodos agiam como um par voltaico ao serem expostos a uma radiação ultravioleta, outra experiência relativa ao Efeito Fotoelétrico. No mesmo ano, o físico alemão Wilhelm Hallwachs (1859–1922), utilizando-se da radiação ultravioleta obtida de uma lâmpada de quartzo e irradiando a luz desta lâmpada sobre uma placa de zinco até então descarregada e isolada, verificou que a placa carregava-se positivamente. Um ano após, este mesmo físico divulga que outros metais (Rubídio [Rb], Potássio [K], Sódio [Na], Lítio [Li], Magnésio [Mg] e Tório [Th]), ao serem incididos por radiação ultravioleta também agiam como o zinco.

Antes ainda, em 1872, a primeira observação experimental do Efeito Fotoelétrico foi realizada pelo físico russo Aleksandr Grigoryevich Stoletov (1839 – 1896) por intermédio de seu experimento que se constituía de dois discos metálicos de 22 cm de diâmetro, um em forma de rede e outro compacto, que eram postos verticalmente diante de um arco voltaico e ligados por meio de uma bateria elétrica e de um galvanômetro. Este galvanômetro registrava uma corrente elétrica no momento em que o disco maciço, ligado ao polo negativo da bateria, era iluminado por uma luz ultravioleta.

Stoletov, em 1888, criou um experimento para desenvolver o estudo sobre o Efeito Fotoelétrico, o qual consistia em iluminar a placa negativa de um condensador com luz ultravioleta. Notou-se uma corrente elétrica contínua em um circuito abrangendo esse condensador, que dependendo da intensidade da luz incidida e da área iluminada, interferia proporcionalmente nesta corrente elétrica contínua. Stoletov verificou a existência de uma corrente de saturação, quando se relacionava à foto-corrente descoberta no seu experimento e à diferença de potencial externa ao circuito considerado, sendo essas relações conceituadas como as primeiras leis do Efeito Fotoelétrico.

Confere ao físico húngaro-alemão Philip Eduard Anton von Lenard (1862 – 1947), ver a Fig. 4, à descoberta das leis do Efeito Fotoelétrico. Ele era assistente de Hertz e em 1899, percebeu, em suas experiências, que elétrons eram emitidos de

superfícies metálicas quando estas eram expostas à radiação eletromagnética. Porém, apenas no ano de 1902, Lenard pôde apresentar as hoje afamadas Leis do Efeito Fotoelétrico. São elas:

I. Os elétrons emitidos têm velocidades iniciais finitas, são independentes da intensidade da luz incidente, porém, dependem de sua frequência;

II. O número total de elétrons emitidos é proporcional à intensidade da luz incidente.

Figura 4 – Philip Eduard Anton von Lenard (1862 – 1947).



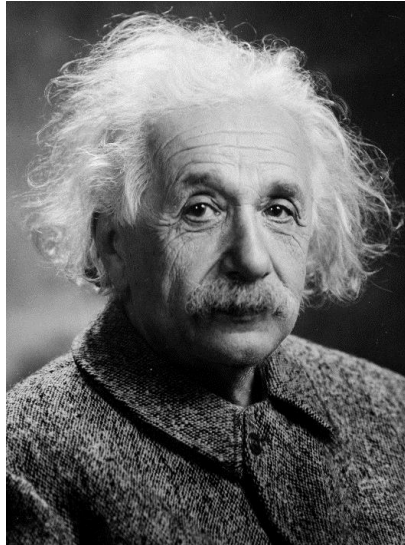
Fonte: Nobel Prize

O físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831 – 1879), não pôde explicar tais leis pelo eletromagnetismo que ele desenvolvera, pois segundo esse eletromagnetismo, a incidência de radiação eletromagnética e a velocidade do elétron arrancado eram compatíveis, ou seja, quanto maior a intensidade da radiação incidente, mais veloz seria o elétron ejetado. O eletromagnetismo de Maxwell também declarava que pelo fato da radiação ser distribuída em uma onda, era preciso de um determinado tempo de incidência de radiação para que ocorresse a emissão do elétron do material emissor.

Tal fenômeno foi elucidado pelo físico alemão Albert Einstein (1879 – 1955), ver Fig. 5, através de seu estudo sobre quantização da luz, no ano de 1905, onde ele entendia que a energia da radiação eletromagnética não era subdividida equitativamente sobre as frentes de ondas de frequência, mas sim aglomerada em regiões pequenas de energia, chamadas por ele de “quantum de luz” que ao chocar-se com um elétron do material emissor, concede energia ao elétron, que a emprega para superar a energia de ligação que o prende ao material emissor. Esta diferença

de energia, pelo Princípio da Conservação da Energia, é a energia cinética com que o elétron é emitido do material.

Figura 5 – Albert Einstein (1879 – 1955)



Fonte: Canal Ciência

O químico norte-americano Gilbert Newton Lewis (1875-1946), em 1926, dá o nome de fóton ao quantum de luz e Albert Einstein ganha o Prêmio Nobel de Física em 1921 devido a sua explicação do Efeito Fotoelétrico.

2.2 A Natureza da Luz

Segundo Alvarenga e Máximo (2013), Platão e Aristóteles, pensadores da Grécia Antiga, perguntavam-se sobre a natureza da luz e acerca do fato de podermos ver as coisas. Para Aristóteles, a difusão de uma corrente imaterial que ia dos objetos até nossos olhos era o que caracterizava a luz. Já para Platão nossos olhos emitiam raios que se alastravam em direção aos objetos, revestia-os e retornavam aos olhos, fazendo com que pudéssemos ver os objetos. Contudo, os fenômenos ocasionados pela luz não satisfaziam-se com tais hipóteses. Em vista disto, cientistas importantes como Maxwell, Young, Huygens e Newton, no decorrer dos anos, criaram ideias sobre a natureza da luz.

De acordo com Guimarães, Piqueira e Carron (2013), por muitos séculos reproduziu-se a ideia de que a luz era propagada em linha reta e que seria constituída de pequenas partículas, até que Leonardo da Vinci, por volta de 1500,

percebeu que existia uma similitude entre a reflexão da luz e o eco, sugerindo que a luz poderia assumir um movimento ondulatório tal como o som.

O físico inglês Isaac Newton (1643-1727), defendia o modelo corpuscular da luz, isto é, a luz seria formada por pequenos corpúsculos; já o físico holandês Christian Huygens (1629-1695) firmava-se no modelo ondulatório da luz, no qual a luz seria uma onda. Essas eram as duas grandes frentes acerca da natureza da luz no século XVII. Seus distintos pontos de vista geraram muita polêmica na comunidade científica da época e foi um marco histórico da física, sendo que tais segmentos científicos só foram elucidados, realmente, no século XIX.

Ainda de acordo Alvarenga e Máximo (2013), Newton comparou o que ocorre com a luz à pequenas esferas que, ao chocarem-se elasticamente em um plano liso, são refletidas de modo que formam um ângulo igual ao da reflexão. Tal comparação foi utilizada na tentativa de provar a sua teoria corpuscular da luz. Sendo assim, um feixe de partículas, ao chocar-se em uma superfície lisa, reflete elasticamente. A isso dá-se o nome de reflexão. Para Newton, a refração consistiria em um feixe luminoso propagado no ar que, ao penetrar na água, este feixe é aproximado à normal. Isto é, ao aproximar-se da água, uma força agiria sobre as partículas do feixe luz e essa força de atração alteraria a direção do movimento das partículas do feixe. Tendo uma atração à normal estando dentro da água, Newton concluiu que o feixe de luz possui uma velocidade maior estando submerso em relação à sua velocidade no ar. Porém, como não era possível calcular a velocidade da luz com precisão naquela época, tal conclusão não pôde ser comprovada com certeza.

Contudo, refração e reflexão da luz podiam ser explicadas pela ideia dos movimentos ondulatórios, haja vista que ondas se refletem e se refratam respeitando as mesmas leis. Ainda no século XIX, constatou-se o fenômeno da interferência, que é um aspecto do movimento ondulatório. Este fenômeno observado com feixes luminosos caracterizou-se como uma firme evidência do modelo ondulatório.

Segundo Guimarães, Piqueira e Carron (2013), o fenômeno da interferência pôde ser demonstrado primeiramente pelo físico e médico inglês Thomas Young (1773 – 1829) no ano de 1801, onde seu experimento era construído com três divisórias: na primeira divisória havia uma pequena abertura, causando uma difração da luz incidente; na segunda divisória haviam outras duas aberturas colocadas lado a lado, ocasionando novas difrações; na terceira divisória observam-se os deslustres

obtidos das ondas resultantes das difrações da segunda divisória. Substituindo estas aberturas por frestas estreitas, surgem franjas ao invés de deslustres, possibilitando uma melhor visão do fenômeno da interferência, onde as partes mais iluminadas seriam seus máximos e as menos iluminadas seriam seus mínimos, tendo o seu ápice de iluminação ao centro e, em seguida, regiões de menos intensidade de iluminação e entre as faixas mais iluminadas intercalam-se as partes menos iluminadas (mínimos). No meio científico, a experiência de Young teve grande repercussão e, com isso, a teoria ondulatória foi aceita.

Em 1862 descobria-se a velocidade da luz na água através do físico francês Leon Foucault (1819 – 1968). Tal feito foi alcançado pelo método dos espelhos girantes proposto por Fizeau em 1849, mas Foucault utilizou distâncias muito menores em relação à proposta inicial, podendo assim medir com maior exatidão a velocidade da luz. Com este método concluiu-se que a velocidade da luz na água é menor do que sua velocidade no ar, contradizendo a teoria corpuscular de Newton ao tratar da refração, pondo assim, um fim em uma discussão de mais de 150 anos.

A teoria eletromagnética de Maxwell teve grande relevância para a compreensão do aspecto ondulatório da luz, mostrando que ela propaga-se através de um meio e com uma determinada velocidade, que é excessivamente alta quando equiparada a outras velocidades de eventos cotidianos. No vácuo a luz alcança sua maior velocidade, independente de frequência e cor, atingindo a marca de $3,0 \times 10^8$ m/s.

Entretanto, conforme Fuke e Kazuhito (2010), Albert Einstein, em 1905, comprovou que a luz ora age como onda ora age como partícula (dualidade onda partícula), esclarecendo em definitivo esse efeito por intermédio da teoria do Efeito Fotoelétrico, que lhe rendeu o Prêmio Nobel anos mais tarde. Contudo, necessitava da teoria corpuscular da luz de Newton para efetivar sua teoria. Isso posto, Einstein nomeia sua partícula luminosa de fóton e esta retém uma certa energia (E). Assim, a relação entre a energia e a frequência (f) coincide e está relacionada pela constante de Plank(h) através da Eq. 1:

$$E = h.f. \quad (1)$$

Utilizando-se do aspecto angular (ω) para expressar a frequência (f) e a constante de proporcionalidade (2π), temos que .

$$\omega = 2\pi f \rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi}$$

E sabendo que:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \rightarrow h = 2\pi\hbar$$

Desta forma podemos chegar à energia do fóton na Eq. 2:

$$E = h.f \rightarrow E = 2\pi\hbar \cdot \frac{\omega}{2\pi} \rightarrow E = \hbar \cdot \omega \quad (2)$$

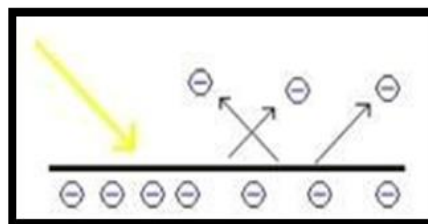
Segundo Alvarenga e Máximo (2013), um fóton é formado no momento em que um elétron de um átomo passa de uma camada mais interna para outra mais externa, recebendo energia e, ao voltar ao estado anterior, essa energia que ele recebeu é emitida. À essa diferença de energia é que corresponde o fóton, ou seja, nesta transição do elétron entre camadas é que surge o fóton.

Como visto no experimento de Young, os fótons podem assumir um caráter ondulatório e, em outras situações, nota-se nos fótons a natureza de partículas, como visto no Efeito Fotoelétrico. Sendo assim, as ideias somam-se, comprovando o seu aspecto dual, onde a luz pode se comportar tanto como onda quanto como partícula.

2.3 O Efeito Fotoelétrico

Conforme Guimarães, Piqueira e Carron (2013), ao incidir ondas eletromagnéticas em um material metálico, elétrons ejetam-se deste material, ocasionando o Efeito Fotoelétrico. Por exemplo, uma placa metálica exposta a um feixe de luz com uma alta frequência, os elétrons desta placa absorverão certa quantidade de energia até o ponto em que essa energia seja suficientemente capaz de arrancá-los da placa literalmente (ver Fig. 6).

Figura 6 – Efeito Fotoelétrico: placa metálica recebendo um fóton de luz e ejetando elétrons.

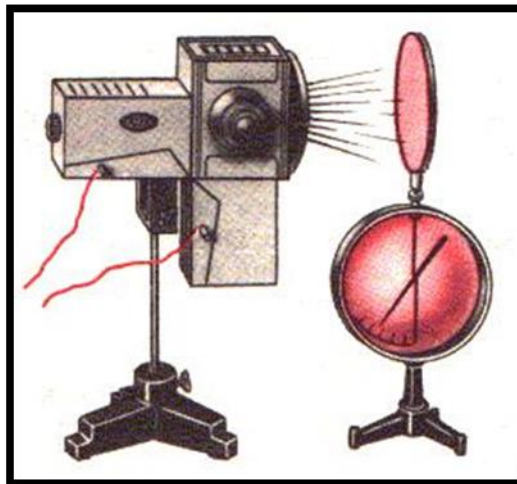


Fonte: Infoescola

O núcleo do átomo mantém elétrons em sua volta, retidos ali por forças de atração, mas se a eles for fornecida energia suficiente, logo deixarão suas órbitas. O Efeito Fotoelétrico vem comprovar justamente isso: a saída desses elétrons das órbitas dos átomos dos materiais aos quais pertencem. Este efeito consiste na incidência de radiação sobre um material, normalmente metais, e esta radiação possui energia superior à energia de remoção dos elétrons do metal. Havendo energia cinética, a energia da radiação incidente deverá ser maior que a energia de remoção dos elétrons e , não havendo energia cinética, a energia da radiação incidente deverá ser igual à energia de remoção.

O Efeito Fotoelétrico pode ser observado através do eletroscópio de folhas, como mostra a Fig. 6. Coloca-se no eletroscópio uma lâmina de zinco e com o auxílio de um arco voltaico carrega-se esta lâmina. Caso ela esteja carregada positivamente não interferirá na descarga, mas se a lâmina estiver carregada negativamente, o eletroscópio será descarregador ao incidir nele o feixe de luz.

Figura 7 – Eletroscópio de folhas recebendo luz



Fonte: Fisica.net

A explicação desse fenômeno é simples: a luz faz com que os elétrons sejam emitidos da placa de zinco. Para tanto, é necessário que a placa esteja com carga negativa, pois quando está com carga positiva tal fato não ocorre devido a placa atrair os elétrons emitidos pela luz, voltando ao eletroscópio.

Contudo, ao colocar-se um vidro normal em frente à lâmina e incidir o feixe de luz, nota-se que a lâmina não descarrega, mesmo quando eleva-se a intensidade da luz, tal feito deve-se ao fato da absorção dos raios ultravioletas pelo vidro, concluindo assim que são os raios ultravioletas que ocasionam o Efeito Fotoelétrico.

Porém, a teoria ondulatória da luz não podia explicar este fato, uma vez que nela se compreende que, mesmo ondas de luz de pequenas frequências, mas com grandes amplitudes – e logo grande força de ação e intensidade – seriam capazes de retirar os elétrons da lâmina carregada.

Ainda conforme Alvarenga e Máximo (2013), a intensidade da luz não era o que arrancava os elétrons com maior energia cinética do metal, apenas fazia com que se ejetasse mais elétrons. É o que ocorre, por exemplo, com a luz vermelha que tem baixa frequência: ela excita os elétrons para fora de uma peça metálica e classicamente, a luz é uma onda contínua onde a energia espalha-se pela onda. Entretanto, com maior intensidade de luz, mais elétrons eram ejetados, opondo-se à visão clássica que relata que os mesmo elétrons se movimentariam mais rápido, isto é, com mais energia cinética em relação às ondas.

Ao incidir a luz azul, têm como efeito a existência de elétrons muito mais rápidos, isso deve-se ao fato de que um fóton azul possuir mais energia que um fóton vermelho. Assim, atingido o elétron azul ao chocar-se com o elétron da placa metálica, ele o faz com mais energia, repassando um maior movimento a este elétron. Tal entendimento corpuscular da luz pôde explicar o porquê de quanto maior intensidade mais elétrons ejetados, uma vez que, ao colidirem mais fótons na placa metálica, maior será a probabilidade de elétrons serem atingidos.

Para Guimarães, Piqueira e Carron (2013), um entendimento melhor sobre o Efeito Fotoelétrico é obtido ao determinar ao que depende os elétrons ejetados, sob a incidência da luz, por uma superfície e a velocidade ou energia cinética desses elétrons. Visando explicar melhor este efeito, monta-se um experimento utilizando um balão de vidro à vácuo e, no seu interior, dois eletrodos. Em uma janela de quartzo incidem raios de luz direcionados a um dos eletrodos. Um potenciômetro ajuda a variar a diferença de potencial nos eletrodos, diferença esta medida por um voltímetro. Já o polo negativo é ligado à uma pilha e, sob a ação da luz, este eletrodo ejeta elétrons que movimentam-se no campo elétrico, gerando corrente elétrica. Se nem todos os elétrons atingirem o outro eletrodo, isso significa que teremos um potencial pequeno, mas se aumentar a diferença de potencial entre os eletrodos, sem alterar o feixe de luz, a corrente tem a sua intensidade aumentada, chegando ao seu valor máximo, após o que deixa de crescer. (fig. 6). Chamamos de saturação o valor máximo que alcança a intensidade da corrente (L) e a corrente de

saturação é obtida através do número de elétrons ejetados do eletrodo iluminado em um segundo.

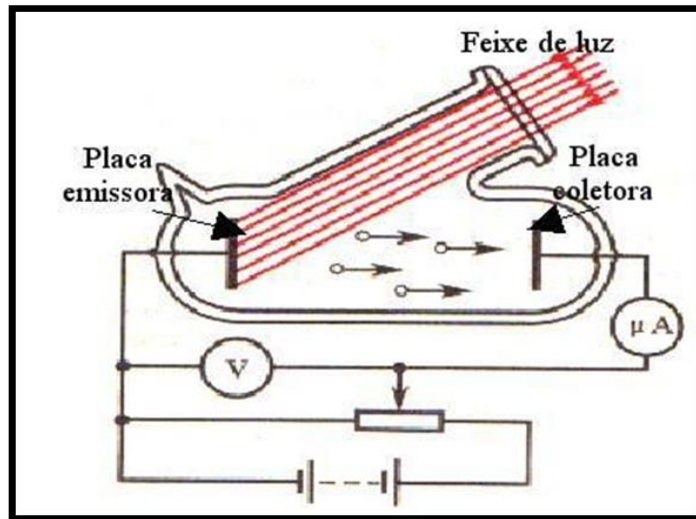
Agora, variando o feixe de luz, constatou-se que a quantidade de elétrons expelidos pela superfície do metal em um segundo é diretamente proporcional à energia que possui a onda de luz incidida no mesmo intervalo de tempo, ou seja, quanto mais energia possuir o feixe luminoso, maior será sua eficácia na retirada de elétrons da superfície recebedora. Medindo agora a energia cinética, isto é, a velocidade dos elétrons, verificamos que a intensidade da corrente fotoelétrica não é nula, mesmo que seja zero a diferença de potencial, significando assim, que parte dos elétrons ejetados chega ao outro eletrodo mesmo não havendo diferença de potencial. Alterando a polaridade da bateria, é reduzida a intensidade de corrente até anular-se. Isto ocorre quando o potencial de polaridade inversa alcança o valor do potencial de frenagem (U_p), então os elétrons são bloqueados e forçados a retornar ao eletrodo sob a ação do campo elétrico, ver Fig. 6.

O valor máximo da energia cinética dos elétrons ejetados alcançam quando a ação do fóton de luz é dependente U_p pode ser obtida pelo teorema da energia cinética e o cálculo do potencial de paragem na Eq. 3:

$$\frac{mv^2}{2} = eU_p. \quad (3)$$

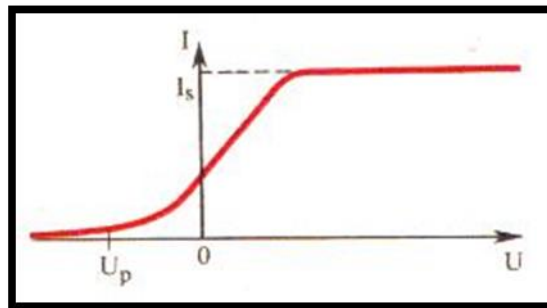
Foi comprovado por experimentos que o U_p independe da intensidade luminosa, ver Fig. 8, energia repassada ao eletrodo por unidade de tempo, não alterando-se a energia cinética dos elétrons. Tal fato é incompreensível na ótica da teoria ondulatória já que, quanto mais intensa for à luz, as forças atuantes sobre os elétrons pelo campo eletromagnético da onda de luz também seriam maiores. Portanto, os elétrons receberiam mais energia. Os experimentos comprovaram que a energia cinética dos elétrons ejetados sob a ação da luz é influenciada pela frequência da luz. Os fotoelétrons têm sua energia cinética máxima proporcional à frequência da onda luminosa e não à intensidade desta onda. Não nota-se o Efeito Fotoelétrico quando a frequência for menor que um dado valor (f_{min}), pois depende do material que é feito o eletrodo.

Figura 8 - Balão a vácuo comportando dois eletrodos.



Fonte: Fisica.net

Figura 9 - Gráfico da intensidade da corrente fotoelétrica.



Fonte: Fisica.net

Conforme Guimarães, Piqueira e Carron (2013) relatam ainda, a lei da conservação de energia é utilizada para calcular a energia cinética que consta no fotoelétron. Uma porção de luz com energia hf faz com que se realize o trabalho de partida (W), ou seja, este é o trabalho extremamente necessário para arrancar um elétron do metal e repassar-lhe uma determinada energia cinética. Portanto, chega-se a Eq. 4.

$$h \cdot f = W + \frac{mv^2}{2} \quad (4)$$

Com a Eq. 4 foi permitido elucidar o que cerca o Efeito Fotoelétrico, pois segundo Einstein, a intensidade da luz é proporcional ao número de quantum (porções de energia contidas no feixe de luz) e, conseqüentemente, foi possível descobrir o número de elétrons extraídos da superfície metálica. Os elétrons arrancados têm sua velocidade dependente da frequência da onda luminosa e do

trabalho de arranque, que está atrelado ao material ao qual ele faz parte e à qualidade da superfície desse material. A velocidade dos elétrons ejetados não depende da intensidade de luz à qual é submetido.

Em uma determinada substância, o Efeito Fotoelétrico já acontece ao ter-se uma frequência da luz superior ao valor mínimo. Cabe notar que, para que um elétron seja arrancado do metal, sem repassar-lhe energia cinética, basta que realize um W , logo, ele deve ser inferior à energia de um quantum:

$$h \cdot f > W$$

A frequência limite pode ser obtida pela Eq. 5:

$$f_{min} = \frac{W}{h} \quad (5)$$

A natureza da substância é que determina o trabalho de arranque W . Dessa forma, o limite vermelho – como é conhecida a frequência limite para o Efeito Fotoelétrico – muda conforme a substância.

No caso do zinco, seu limite vermelho é o comprimento de onda $\lambda_{max} = 3,7 \cdot 10^{-7} m$ (no espectro, corresponde à radiação ultravioleta). É exatamente por este motivo que o Efeito Fotoelétrico se interrompe ao deter o feixe de luz com um vidro capaz de reter os raios ultravioletas.

O zinco possui um trabalho de arranque menor que o ferro ou o alumínio, por isso sua escolha para as primeiras experiências sobre o efeito. Já nos metais alcalinos, nota-se que seu trabalho de arranque é menor conforme seu comprimento de onda λ_{max} corresponde a um limite vermelho maior. Relativamente verifica-se no sódio $\lambda_{max} = 6,8 \cdot 10^{-7} m$.

Einstein conseguiu calcular a constante de Plank h através de sua equação, mas para tal, é preciso determinar experimentalmente a frequência f da luz, o trabalho de arranque W e identificar a energia cinética dos elétrons fotoelétricos. Cálculos apropriados fizeram chegar ao resultado $h = 6,63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ e este mesmo valor numérico foi encontrado por Plank em seus estudos sobre o fenômeno da radiação térmica. Tal coincidência obtida nos resultados comprava a hipótese sobre a descontinuidade de emissão e absorção da luz pelas substâncias.

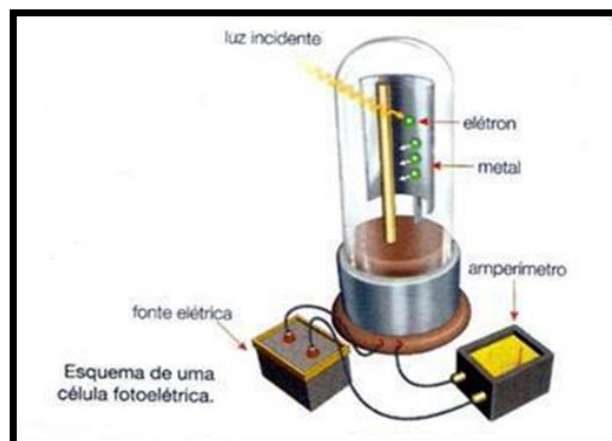
Em seu postulado, Einstein afirma que qualquer forma de energia pode ser quantizada. Chamou de quanta de fóton os elementos de onda. Porém, para que haja o efeito fotoelétrico, é necessário radiações energéticas. Um exemplo é quando

comparamos uma luz pouca energética (luz vermelha) com uma luz muito energética (luz azul): a luz vermelha, ao iluminar uma placa, produzirá elétrons de baixa energia; já a luz azul, ao iluminar esta mesma placa, emitirá elétrons mais energéticos. Fótons menos energéticos geram elétrons ejetados de energia baixa, bem como fótons mais energéticos produzirão elétrons de alta energia.

Um fóton transporta um quantum de luz e, para cada fóton, a sua energia é proporcional à sua frequência. Cada elétron recebe a energia de um fóton e este elétron ao fugir do metal capta um mínimo de quantidade de energia. Como o fóton não se subdivide, ou um elétron absorve um fóton ou nada é absorvido.

Células fotoelétricas – também chamadas de fotocélulas – são dispositivos que utilizam o Efeito Fotoelétrico em seu funcionamento, ver Fig. 10. As fotocélulas são capazes de converter energia luminosa recebida (seja do sol ou outra fonte) em energia elétrica. São utilizadas também como sensor para medir a intensidade de luz. Elas são formadas por um cátodo que tem sua superfície côncava e coberta por prata ou algum metal alcalino, um ânodo e uma cúpula de vidro. À fotocélula é ligada uma bateria onde o polo positivo é conectado ao ânodo, e o polo negativo ao cátodo. Ao receber luz, o cátodo ejetará elétrons e estes são atraídos pelo ânodo, gerando corrente elétrica.

Figura 10 - Célula fotoelétrica



Fonte: Física.net

O exemplo acima citado é apenas uma das várias aplicações do Efeito Fotoelétrico. Outras mais comuns são os Led's, os sensores de portas automáticas e de sistemas de iluminação, sistemas de alarmes automáticos, caixas de supermercado, entre outros; mostrando a gama de utilizações deste efeito.

3 PROPOSTA DE ABORDAGEM DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO SUPERIOR

3.1 Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação no processo de Ensino/Aprendizagem

Durante os últimos anos, muito têm se falado sobre a qualidade do ensino de física, onde cientistas, profissionais da área e alunos tem buscado propostas e ações visando a melhora deste ensino. Muitas dessas ações visam superar limitações das metodologias consideradas tradicionais que se pautam em exercícios de lápis e papel e exposição apenas pelo professor (GALIAZZI *et al.*, 2001). Tais métodos são considerados obsoletos e desmotivacionais para o ensino, gerando aulas que se atém apenas ao repasse de fórmulas e memorização.

Para Pires e Veite (2006), isto faz com que o aluno não consiga relacionar os conceitos expostos a fatos de seu dia a dia, dificultando ainda mais o processo de aprendizagem. Dentre os possíveis meios de solucionar esses problemas, surgem os recursos computacionais que, cada vez mais, compõem a vida das pessoas. Afinal, os estudantes, desde cedo demonstram interesse e domínio sobre os recursos tecnológicos e a utilização da informática associada à internet, o que deve favorecer na formação de conceitos pouco compreendidos (ANDRADE, 2010). Através da comunicação, informações, conhecimentos e conteúdos diversos são entregues à comunidade em geral, e saber utilizar esta tecnologia pode ser o pontapé inicial para motivar os alunos ao estudo. Mas, para tanto, é necessário repensar a questão escola-meios de comunicação, fazendo com que essa relação traga frutos a seu favor.

Partindo deste ponto de vista, o professor pode inserir as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC's) em suas aulas, de modo a tornar o Ensino de Física mais prazível. Vale destacar que a introdução das TDIC's está consonante com a organização do Ensino Superior no Brasil, que a partir da promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) de 1996, regimentada em 1998 pelas Diretrizes do Conselho Nacional de Educação, foram formados parâmetros que passaram a normatizar a definição geral prestada na LDBEN, chamados de Parâmetros Curriculares Nacionais, os chamados PCNs (WEBBER,

2006). Em busca de objetivos novos e metodologias para os princípios da reforma curricular, os professores tomam como cerne os PCN's a modo de orientar-se e difundir tais princípios. Dessa forma, com a incorporação das TDIC's, os alunos poderão ter mais interação e aguçar habilidades na busca e criação de seu senso crítico e de seu conhecimento científico. Uma das habilidades que se busca nesse processo de inserção de TDIC's é que, com o site Vascak, o aluno possa compreender o Efeito Fotoelétrico e suas aplicabilidades, saber calcular a energia de um fóton e os conceitos sobre fóton e quantum.

Houve uma predileção pelo site Vascak, por conta deste possuir um simulador computacional que nos auxilia nas aulas sobre Física Moderna, com o enfoque no Efeito Fotoelétrico, problemática com poucos métodos de abordagem no Ensino Superior, sendo predominantemente utilizado o método tradicional de ensino. Tal projeto visa ajudar os profissionais da área de Física em suas aulas, trabalhando conceitos vistos em livros didáticos de formal conceitual, aplicando uma abordagem experimental por meio da simulação contida no site.

3.2 O Ensino de Física Moderna

A Física Moderna está nos mais diversos aparelhos e equipamentos sofisticados que temos hoje, mas que, muitas das vezes não sabemos como estes funcionam. São exemplos do emprego da Física Moderna no cotidiano: sensores eletrônicos, *laser*, raio-x, ultrassom, etc.

Para Ostermann e Moreira (2000), uma das razões para que se aborde o ensino de Física Moderna no processo de ensino/aprendizagem é o fato de que é necessário que se desperte a curiosidade dos alunos e o conhecimento da Física como um empreendimento à humanidade, utilizando de temas atuais para uma melhor visão da ciência, desmistificando o conceito linear do desenvolvimento científico, o qual os livros didáticos estão carregados e presentes nas salas de aula também.

Para que ocorra esta abordagem da Física Moderna é necessário cautela, uma vez que os professores necessitam de um aprofundamento nesta área e que tenham um pleno entendimento para poder falar sobre, superando bloqueios e medos ao abordar este tema. Uma vez que os alunos são advindos do Ensino Médio

e estes até então não estudaram este tópico da Física, o melhoramento profissional e compreensão deste tema no Ensino Médio atual é relatada também nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's):

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).

Desse modo, os PCN's, e subsequentemente, os PCN's+, criaram uma configuração estrutural ao ensino e às características de fato relevantes na educação básica, buscando disseminar e orientar os professores acerca dos princípios da reforma curricular na pesquisa por metodologias inovadoras para o ensino. Assim, de acordo com esses parâmetros, "a formação do aluno deve ter como objetivo principal adquirir conhecimentos básicos, a preparação científica e a capacidade de utilizar as diferentes tecnologias relativas às áreas de atuação" (BRASIL, 1999, p.15).

3.3 Aprendizagem Significativa de Ausubel

Ausubel, o pai da aprendizagem significativa, criou sua teoria nos anos 1960, período em que a educação resumia-se única e exclusivamente a treinar o aprendiz, sem se preocupar com os aspectos de reflexão entre o estimular e o responder, tendo como eixo o desempenho e reforço da pessoa que seria analisada. Essa linha era mais comportamentista e recebeu o nome de behaviorismo, tendo como principal divulgador B. F. Skinner. (SKINNER, 1972)

A aprendizagem significativa leva em consideração os conhecimentos prévios que o indivíduo possa ter para que ele aprenda algo novo, um novo conhecimento, uma explicação, uma ação, um procedimento; fatos que o ajudarão neste processo. Parte do professor conhecer seus alunos, dialogar com eles e os conflitar para extrair o que cada aluno carrega de bagagem de conhecimento e saber utilizar isso para poder repassar um ensino de qualidade.

Dessa forma, o aluno relaciona o que está aprendendo com o que já conhece em seu cotidiano, transformando essa nova informação em algo significativo para ele. A teoria da aprendizagem significativa relata que, ao conflitar as novas

informações em seu interior cognitivo, o indivíduo ancora esse novo conhecimento em uma estrutura denominada subsunçor.

No subsunçor, a informação nova é tida como subordinada ao conhecimento prévio do indivíduo. E sendo essa nova informação relevante ao indivíduo, ela pode ancorar-se em toda a estrutura cognitiva do mesmo e, havendo compatibilidade substantiva entre os dois, constitui-se uma aprendizagem significativa. A relação professor-aluno é de suma importância na aprendizagem significativa, uma vez que o papel do professor é de ancorar novos conhecimentos aos subsunçores dos alunos, ou até mesmo modificá-los. A aprendizagem é dinâmica, pois ela é uma interação entre aluno e professor, a partir do conhecimento prévio que o aluno tem (MEES, 2015).

Ausubel pôs como contraponto à aprendizagem significativa a aprendizagem mecânica, e esta só aparece quando o aprendiz, ao deparar-se com um conhecimento novo, não consegue ligar à situações já existente em sua cognição, ao seu conhecimento prévio. Desta forma o aluno somente memoriza a temática a ser estudada e a fixa pela repetição. De acordo com Ausubel (1982), nem sempre os subsunçores estão presentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Nesse caso ele propõe que se ocupe essa lacuna entre o que o aprendiz já conhece e a nova informação a ser estudada com materiais denominados organizadores prévios.

Para Ausubel, a aprendizagem mecânica é um dos meios a se chegar à aprendizagem significativa. Compete ao professor encontrar caminhos que levem à aprendizagem significativa, deixando de estereotipar como vilã do ensino a aprendizagem mecânica. Ausubel classifica a estrutura cognitiva como todos os conceitos e ideias organizados e armazenados pelo aluno, e este, ao se deparar com um novo conteúdo a ser estudado, realiza ligações com o que já existe em sua estrutura cognitiva, influenciando assim no processo de ensino-aprendizagem.

Ausubel diz que parte do aluno o desejo de querer aprender e ter predisposição para isto, relacionando o conteúdo a ser estudado com o que já existe em sua estrutura cognitiva, o que é um passo importante para o processo de aprendizagem significativa. E o professor deve prover o incentivo e a participação do aluno com novas metodologias, abordagens e matérias, de maneira que aumente o interesse dos alunos; ademais, deve também estimular os subsunçores dos alunos guiando-os aos conceitos a serem ensinados. De modo claro, a interpelação e o

material de aula devem ser iminentemente significativos, relacionando a vida desses alunos aos conceitos a serem estudados, o que ele pode aprender ao que ele já aprendeu em seu dia a dia.

O cenário atual mostra uma certa indiferença por parte do professor à falta de interesse dos estudantes para com o ensino. Ao que parece, não é de sua competência alterar esta perspectiva, e sim do meio em que vive o aluno. A aprendizagem significativa está aí para mudar este panorama, tendo como base o que Ausubel denomina como mais relevante para o processo de ensino e aprendizagem. Se tivesse que reunir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria que o fator mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Levante isso e ensine-o de acordo (AUSUBEL, NOVAK & HANESIAN, 1980).

Tavares (2010) diz que para melhorar a aprendizagem significativa o professor deve facilitar o entendimento do aluno por meio da proposição da matéria de ensino, do trabalho dos subsunçores mais importantes para a aprendizagem do conteúdo a ser ensinado. Observa-se o prévio conhecimento do aluno e utiliza-se métodos que tornem a matéria mais conceitual ao ponto de vista deste aluno.

Vimos que, para potencializar a aprendizagem significativa, deve-se ter uma boa escolha do material e da abordagem significativa. A utilização de laboratórios virtuais em determinadas situações em ensino de física, surge como um forte material significativo para essa aprendizagem, ainda mais em escolas carentes de infraestrutura de laboratórios físicos. Promover discussões sobre fenômenos e conceitos da física, trabalhar explicações de fenômenos e possibilitar a interação das aulas com o cotidiano tendem ao favorecimento da aprendizagem significativa, uma vez que grande parte dos alunos, atualmente, já estão inseridos em um contexto altamente tecnológico.

4 SIMULAÇÃO DO EFEITO FOTOELÉTRICO NO SITE VASCAK

4.1 O SiteVascak

O site Vascak é uma plataforma digital desenvolvida pelo Prof. Dr. em Engenharia Física Vladmir Vascak, nascido em 8 de janeiro de 1955, na Tchecoslováquia, e falecido em 2 de setembro de 2015, em Campton, New Hampshire-US, ver Fig. 11. O site oferece, além de simulações de Física, conteúdos referentes à matemática, informática, ciência da computação e até mesmo pequenas aulas de francês, entre outras.

Figura 11 – Vladmir Vascak (1955 – 2015)



Fonte: Site Vascak

Em muitas escolas é evidente a dificuldade de se ter um laboratório para experimentação de física, então, plataformas como o Vascak surgem como uma possibilidade de suprir essa carência de forma lúdica e de fácil interação com os fenômenos ali demonstrados. No caso deste trabalho, o site é uma boa solução para que possamos apresentar o Efeito Fotoelétrico de maneira dinâmica em sala de aula.

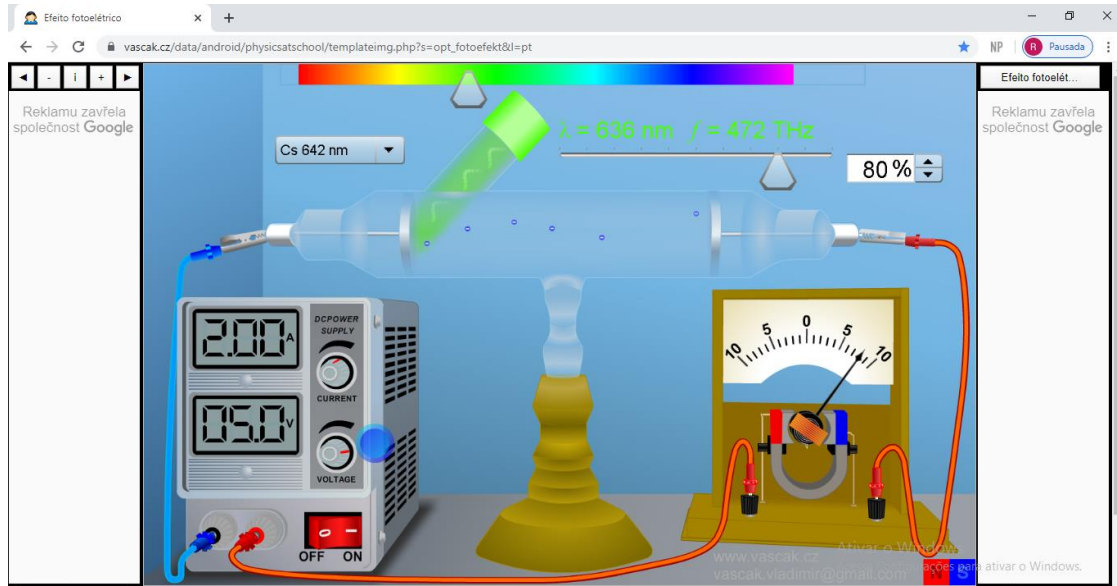
4.2 Instruções sobre o site Vascak: Simulação Efeito Fotoelétrico

Apresenta-se aqui algumas possibilidades de simulação do Efeito Fotoelétrico presentes no site Vascak, disponível em https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/templateimg.php?s=opt_fotoefekt&l=pt, com utilização apenas online, sem possibilidade de download.

I – Possibilidades da simulação:

Tela inicial da simulação do Efeito Foto elétrico, disponível em https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_fotoefekt&l=pt, da Fig. 12.

Figura 12 – Tela inicial simulação Efeito Fotoelétrico



Fonte: Site Vascak

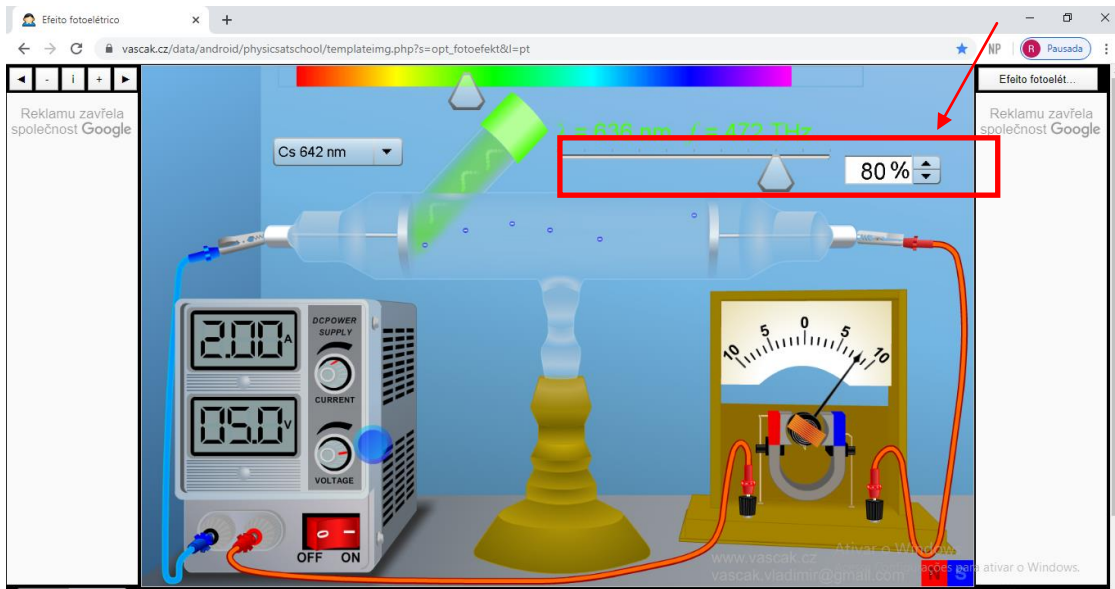
Neste layout é possível escolher a intensidade da luz, o comprimento de onda, o material da placa que sofrerá o Efeito Fotoelétrico, a tensão elétrica entre as placas e observar o potencial de corte.

II – Intensidade da luz

Nesta opção, podemos alterar de 0% à 100% a intensidade da luz.

A seta vermelha indica os comandos de intensidade da luz que ficam à direita na parte superior do simulador. A variação pode ser feita deslizando a palheta para a direita ou para a esquerda, ou clicando nas setas para cima ou para baixo que ficam ao lado do valor em percentagem, ver Fig. 13.

Figura 13 – Comandos para a intensidade da luz

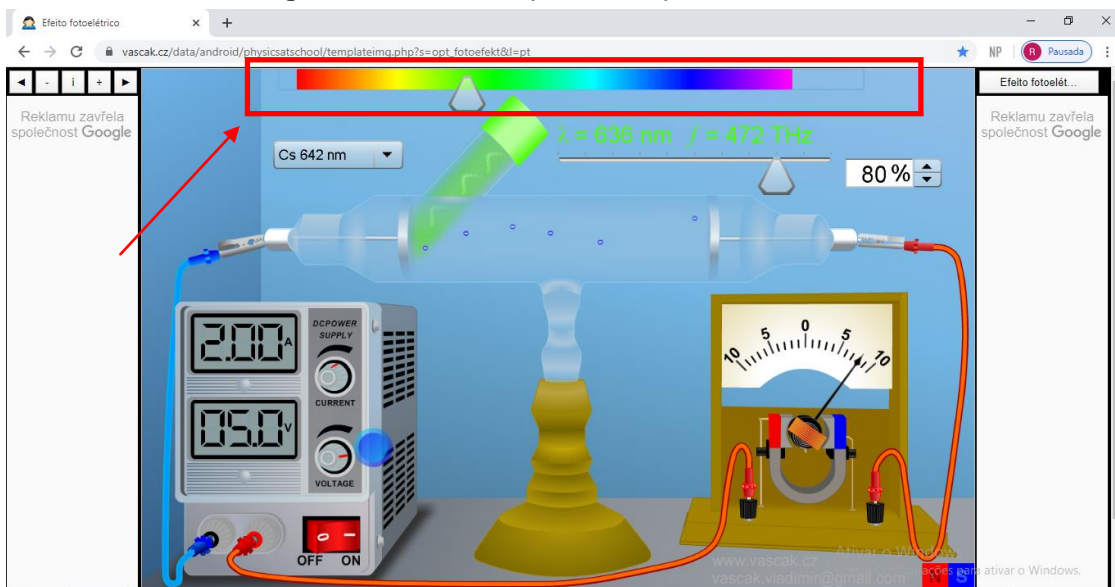


Fonte: Site Vascak

III – Comprimento de onda

Esta opção é realizada deslizando a palheta do comando sob o espectro de luz que fica centralizado na parte superior da simulação. Como o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência, a variação ocorre de $\lambda = 800 \text{ nm}$ (comprimento de onda) e $f = 375 \text{ THz}$ (frequência) até $\lambda = 200 \text{ nm}$ e $f = 1500 \text{ THz}$, ou seja, indo do infravermelho ao ultravioleta, ver Fig. 14.

Figura 14 – Comando para o comprimento de onda



Fonte: Site Vascak

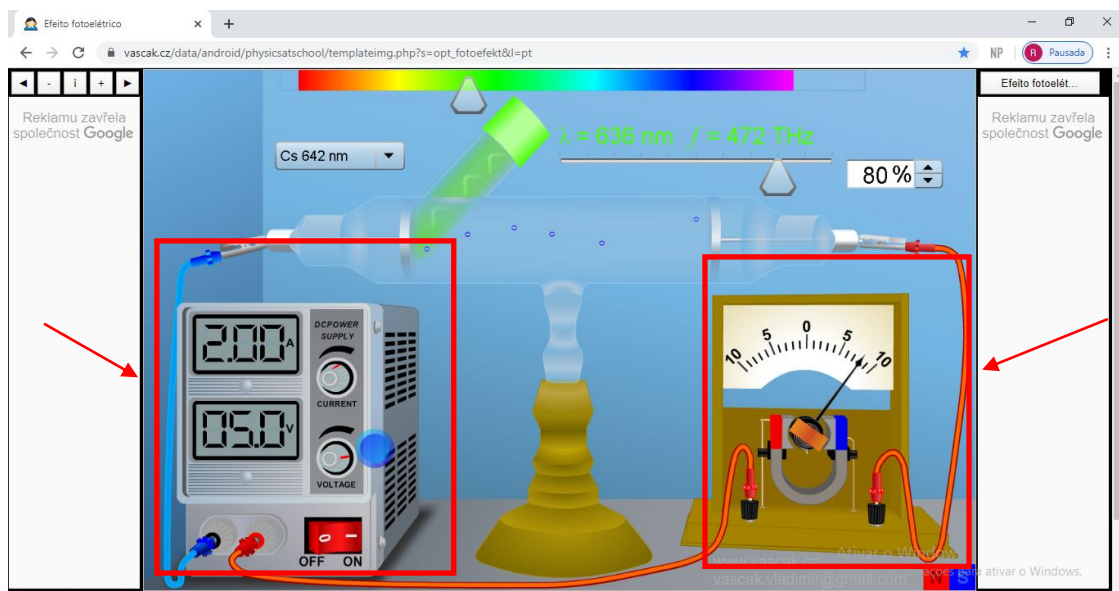
Deve-se ressaltar aqui que a simulação apresenta a cor preta para as radiações infravermelho e ultravioleta, o que pode levar o aluno a um entendimento incorreto a respeito dessas radiações, visto que essas faixas de ondas não são vistas pelo olho humano, pois não apresentam cores.

IV – Tensão da bateria a ser aplicada

No lado esquerdo da simulação, está uma ilustração de uma bateria que ligue-se ao catodo e ao anodo, passando por um voltímetro, no lado direito, que mostra se há ou não corrente elétrica no circuito. Ao abrir a simulação a tensão é de 0V e pode variar de -5V à 5V.

Para realizar a seleção da tensão da bateria, também é necessário deslizar uma palheta que fica abaixo da simbolização da tensão em Volts, ver Fig. 15.

Figura 15 – Comando para alteração de tensão e representação do voltímetro



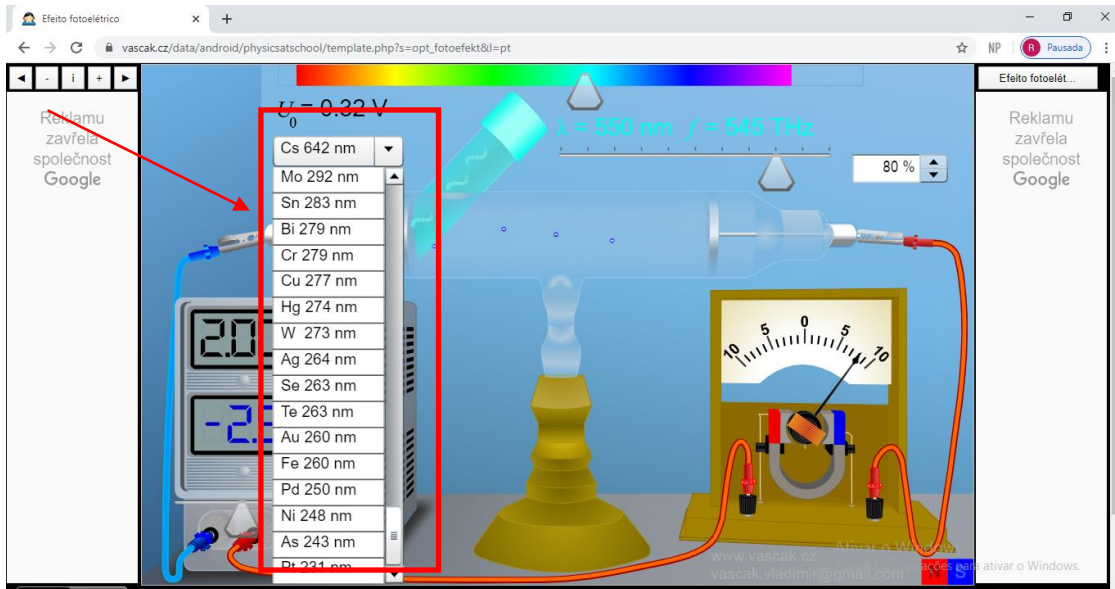
Fonte: Site Vascak

V – Material que ocorrerá o Efeito Fotoelétrico

A simulação tem trinta e seis opções diferentes de materiais, são eles: Césio [Cs], Rubídio [Rb], Potássio [K], Sódio [Na], Lítio [Li], Bário [Ba], Cério [Ce], Cálcio [Ca], Tório [Th], Tálcio [Tl], Magnésio [Mg], Zircônio [Zr], Manganês [Mn], Titânio [Ti], Nióbio [Nb], Chumbo [Pb], Antimônio [Sb], Gálio [Ga], Tântalo [Ta], Cobalto [Co], Molibdênio [Mo], Estanho [Sn], Bismuto [Bi], Crômio [Cr], Cobre [Cu], Mercúrio [Hg], Tungstênio [W], Prata [Ag], Selênio [Se], Telúrio [Te], Ouro [Au], Ferro [Fe], Paládio

[Pd], Níquel [Ni], Arsênio [As] e Platina [Pt]. A seleção é feita logo abaixo da ilustração do espectro, clicando na seta para baixo e escolhendo o material que queira trabalhar. O material que aparece inicialmente preestabelecido é o Césio (Cs), ver Fig. 16.

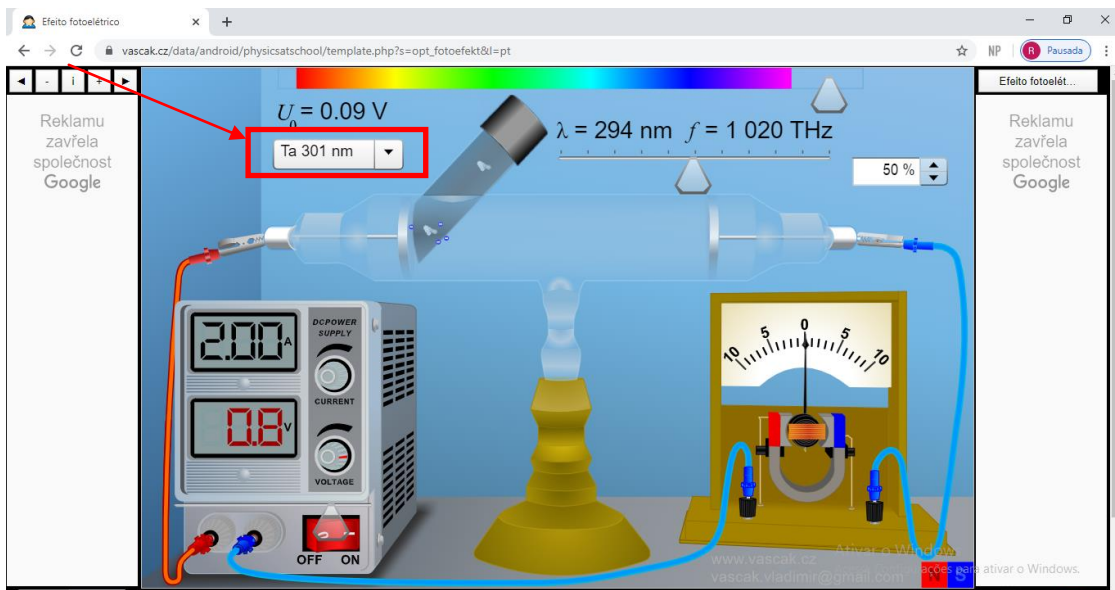
Figura 16 – Comando para escolher o material das placas



Fonte: Site Vascak

VI – Informação do potencial de corte (ver Fig. 17)

Figura 17 – Comando para escolher o material das placas



Fonte: Site Vascak

A simulação representa o potencial de corte como U_0 , que muda ao modo que variamos os comprimentos de onda.

Vale destacar que a simulação do Efeito Fotoelétrico do site Vascak não exibe gráficos de Corrente x Tensão da Bateria, Corrente x Intensidade da Luz e Energia do Elétron x Frequência da Luz.

4.3 Proposta de roteiro para se trabalhar a simulação do Efeito Fotoelétrico do site Vascak

I - Aprendizagem significativa

Inicialmente este roteiro tem como objetivo saber as concepções prévias dos alunos acerca do tema Luz. Independentemente de suas respostas, o importante neste momento é que os alunos expressem suas opiniões e soluções para as perguntas, fazendo relações com o seu dia a dia, tentando dar significado aos fenômenos que os cercam. Sugere-se quatro perguntas iniciais para verificar a relação que os alunos fazem entre a luz e o ato de enxergar, observando suas ideias em relação a luz e se seus pensamentos estão ligados a algum modelo científico referente a luz. As perguntas são:

- O que é a luz?
- O que é preciso para que eu possa enxergar as coisas?
- Do que a luz é feita?
- Por que estudar a luz?

II - Vídeo sobre o Efeito Fotoelétrico:

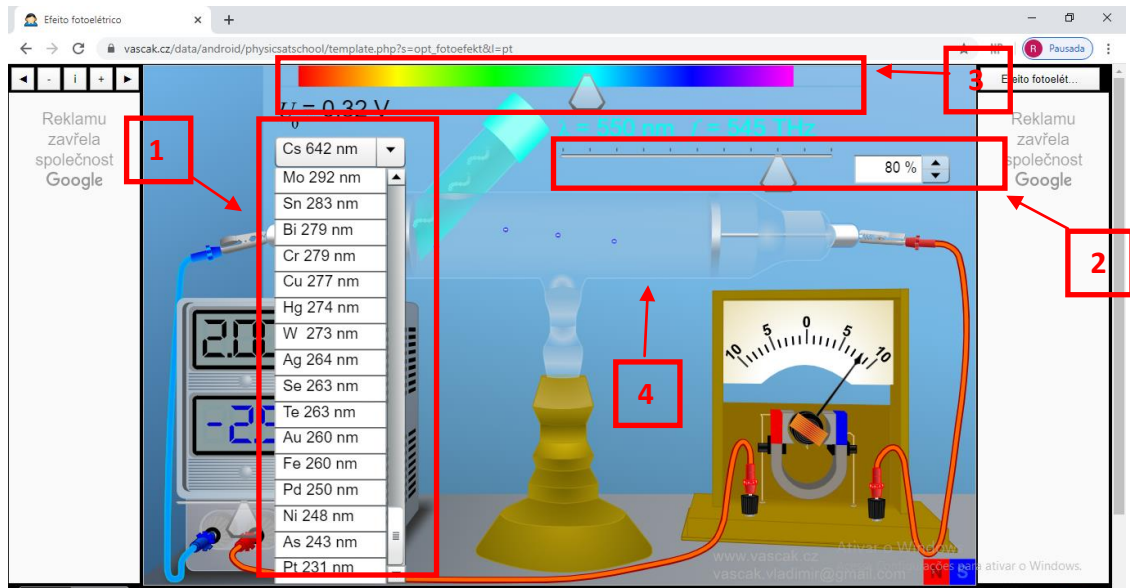
Propõe-se aqui a exibição de vídeo introdutório sobre o que é o Efeito Fotoelétrico e suas aplicações. Sugestão: Efeito Fotoelétrico - Brasil Escola, disponível em https://www.youtube.com/watch?v=9PvZ8GYuz_U.

III – Roteiro de atividades em grupo utilizando a simulação Efeito Fotoelétrico do site Vascak

Esta proposta de roteiro propõe que os alunos, em grupos pequenos, utilizem a simulação Efeito Fotoelétrico para responder a perguntas que serão aplicadas a eles, indagando-os e gerando debates, com o intuito de estimulá-los a descobrirem o melhor meio de se chegar à possível resposta correta da questão. Importante: não dê a resposta final. Deixe que eles conversem entre si e busquem uma conclusão satisfatória.

1) Escolha um elemento e descreva o que acontece quando variamos seu comprimento de onda sem variar a intensidade luminosa, ver Fig. 18.

Figura 18– Figura alusiva à questão 1



Fonte: Site Vascak.

- 1 – Escolha um elemento;
- 2 – Não altere a intensidade luminosa que automaticamente já vem configurada em 80%;
- 3 – Varie o comprimento de onda;
- 4 – No bulbo, observe o que acontece com os elétrons e os fotoelétrons.

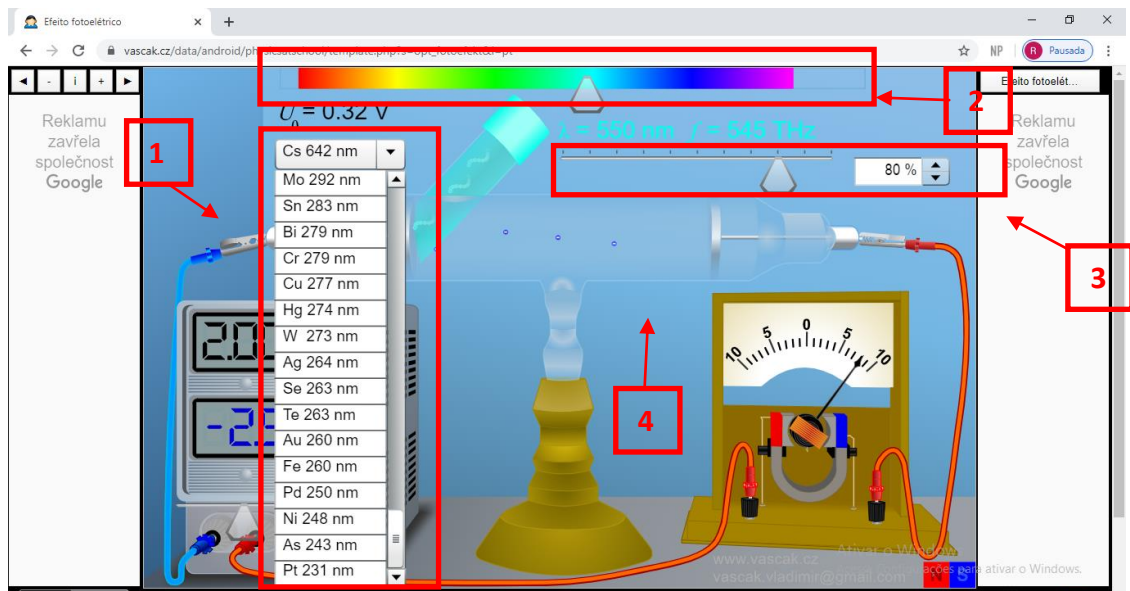
Deseja-se que os alunos efetuem essa experiência com mais de um elemento.

Observações que os alunos podem fazer:

- Em determinados comprimentos de ondas, não é possível ver elétrons sendo ejetados de uma placa a outra;
- A velocidade dos elétrons ejetados aumenta ao ponto que se diminui o comprimento de onda.

2) O que acontece quando se escolhe um comprimento de onda que ejeta elétrons de uma placa para a outra e em seguida altera-se a intensidade luminosa? (ver Fig. 19).

Figura 19 – Figura alusiva à questão 2



Fonte: Site Vascak

- 1 – Escolha um elemento;
 - 2 – Selecione um comprimento de onda que faça com que ejetem elétrons de uma placa para a outra;
 - 3 – Varie a intensidade luminosa;
 - 4 – No bulbo, observe o que acontece com os elétrons e os fótons.
- Deseja-se que os alunos efetuem essa experiência com mais de um elemento.

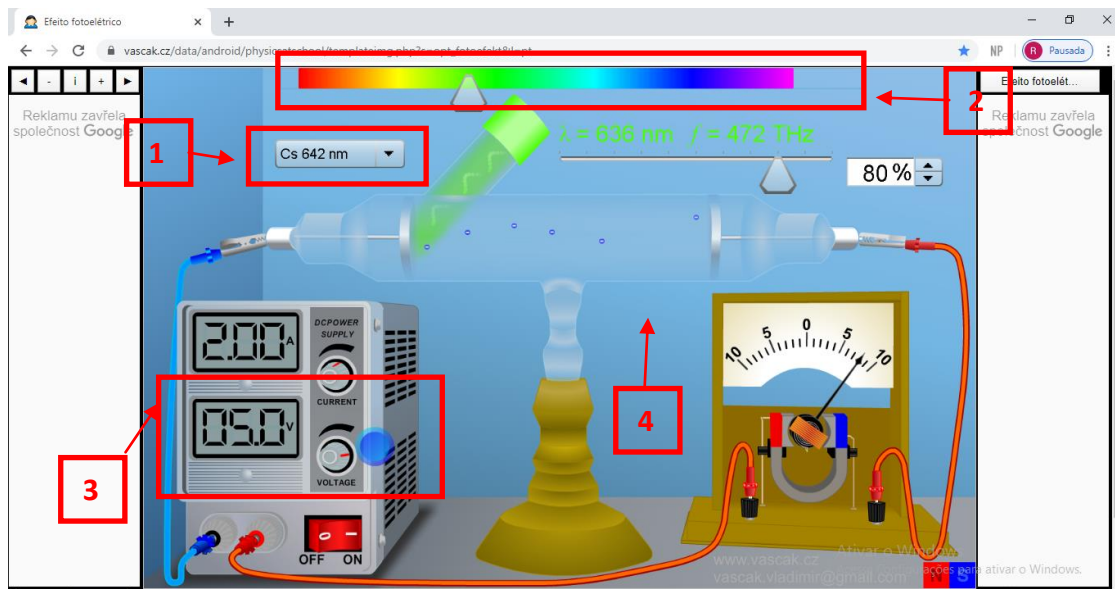
Observações que os alunos podem fazer:

- A velocidade dos elétrons não se altera quando modifica-se a intensidade da luz;
- Ao aumentar a intensidade da luz, mais elétrons são ejetados.

A velocidade dos elétrons ejetados realmente não se altera, uma vez que essa velocidade está associada à energia do fóton, que depende de sua frequência. Já o fato de ter mais elétrons ejetados ao aumentar a intensidade, deve-se à quantidade de fótons que aumenta, ou seja, com mais fótons saindo da lâmpada, mais elétrons serão atingidos na placa.

3) O que acontece quando define-se um comprimento de onda onde elétrons sejam ejetados de uma placa para a outra e em seguida são atribuídos diferentes valores para a tensão? (ver Fig. 20).

Figura 20 – Figura alusiva à questão 3



Fonte: Site Vascak

- 1 – Escolha um elemento;
- 2 – Selecione um comprimento de onda que faça com que ejele elétrons de uma placa para a outra;
- 3 – Varie os valores da tensão;
- 4 – No bulbo, observe o que acontece com os fotoelétrons.

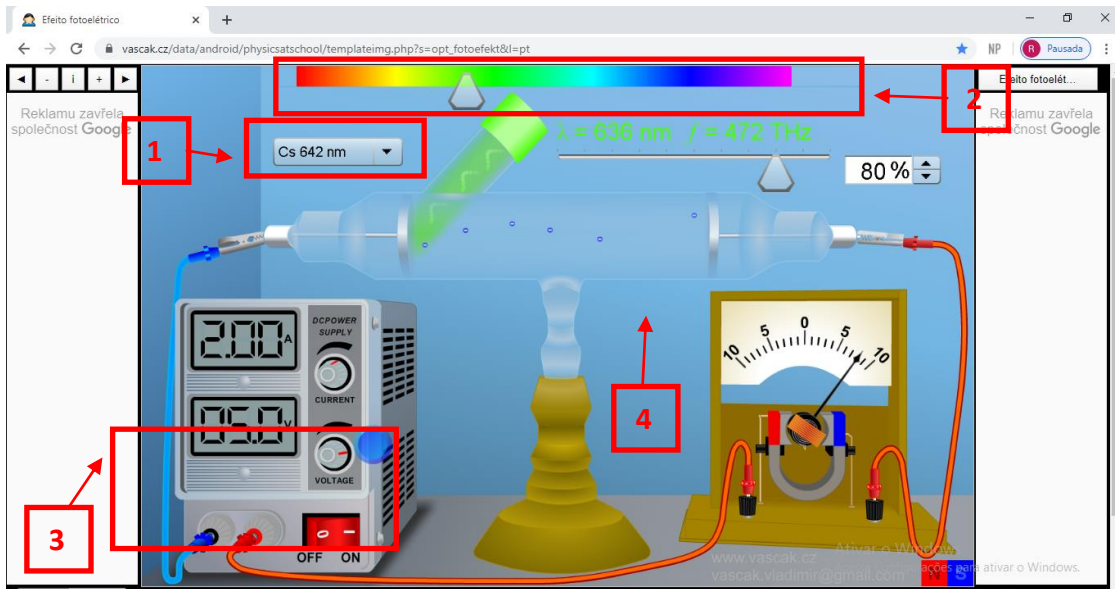
Deseja-se que os alunos efetuem essa experiência com mais de um elemento.

Observações que os alunos podem fazer:

- Mantendo em 0V a tensão, observamos que a velocidade continua a mesma para os fotoelétrons, isto é, a energia cinética não se altera do momento de ejeção do fotoelétron até ele chegar à outra placa;
- Aumentando a tensão, os elétrons também aumentam sua velocidade por conta da atração eletrostática;
- Com a tensão negativa, nota-se a redução da energia cinética dos elétrons, até chegar a um ponto em que os elétrons já não conseguirão chegar à outra placa, voltando para sua placa de origem. A essa tensão limite denominamos de potencial de corte (V_0).

4) Determinando um comprimento de onda que ejele elétrons de uma placa a outra, verifique o valor limite da tensão para que os elétrons não consigam alcançar a outra placa (ver Fig. 21).

Figura 21 – Figura alusiva à questão 4



Fonte: Site Vascak

- 1 – Escolha um elemento;
- 2 – Selecione um comprimento de onda que faça com que ejetem elétrons de uma placa para a outra;
- 3 – Varie os valores da tensão;
- 4 – No bulbo, observe o que acontece com os fotoelétrons.

Deseja-se que os alunos efetuem essa experiência com mais de um elemento.

Observações que os alunos podem fazer:

Operando o comando que varia a tensão, os alunos terão que encontrar uma tensão onde os elétrons ejetados aproximem-se ao máximo da outra placa, sem tocá-la, encontrando assim o potencial de corte.

5) Podemos observar a teoria corpuscular da luz no experimento? Justifique.

- Sim, é possível, uma vez que a teoria corpuscular da luz nos diz que a intensidade da luz influencia no número de elétrons ejetados da placa. Porém, esta é a única verificação desta teoria, uma vez que a velocidade do elétron ejetado – sua energia cinética – depende da energia recebida do fóton e esta é influenciada pela sua frequência, ou seja, quanto maior a frequência da onda de luz incidida, maior será a energia cinética do elétron ejetado.

- Outra verificação está no fato de, se escolhermos uma frequência baixa, onde não ocorra ejeção de elétrons da placa, e aumentarmos a intensidade da luz ou esperarmos um tempo para que o Efeito Fotoelétrico ocorra, este não ocorrerá, pois como já foi dito, a ejeção depende da frequência da onda de luz incidida, o que nos faz entender que a energia advinda da luz não é contínua, e sim discreta.

Importante: Essas são expectativas de respostas que os alunos tenham. O que pretende-se, na verdade, é que eles não alcancem essas repostas formais da física, mas que possam relacionar esse fenômeno com seu cotidiano e refletir sobre. Cabe ao professor, após a experimentação no site, elucidar corretamente o que acontece acerca de cada questionamento realizado.

5 DEMONSTRAÇÃO DO EFEITO FOTOELÉTRICO POR MEIO DE UM ELETROSCÓPIO CASEIRO

5.1 Eletroscópio de folhas e uma fonte de luz ultravioleta

O eletroscópio de folhas é um aparato utilizado para verificar a presença de cargas, isto é, possibilita averiguar se um corpo está carregado eletricamente (NAKANO, 1972). Geralmente é composto por um recipiente transparente com tampa e um suporte de metal que fica isolado dentro deste recipiente. Junto a este suporte há folhas finas de alumínio. Assim, quando se aproxima um corpo eletrizado ao suporte, o instrumento é induzido e as folhas de alumínio denunciam a presença de cargas, fazendo elas fecharem ou se abrirem. O uso de recursos que favorecem a aprendizagem significativa não apenas auxiliam no processo de ensino-aprendizagem como aguçam o instinto pesquisador dos alunos e os despertam para o ensino de física e outras áreas das ciências.

O desenvolvimento da montagem de um eletroscópio de folhas foi pensado como uma proposta de recurso didático para a demonstração do Efeito Fotoelétrico no Ensino Superior.

Como fonte de radiação ultravioleta foi utilizado uma lâmpada de vapor de mercúrio de 400W, cedida gentilmente por um supermercado local.

A montagem do eletroscópio:

- I - Utiliza-se um recipiente de vidro vazio com tampa e higienizado;
- II- Com o auxílio de um prego, faz-se um furo no centro da tampa do recipiente;
- III- Coloca-se no furo uma haste de alumínio com duas folhas finas de alumínio, livres para fazerem o movimento de abre e fecha.

Para a eletrização utilizou-se um pedaço de cano de PVC e uma flanela de algodão.

Montagem da fonte de radiação ultravioleta:

- I- Quebra-se o bulbo externo da lâmpada de vapor de mercúrio, expondo seu interior onde encontra-se um outro pequeno bulbo de quartzo que contem vapor de

mercúrio que, ao ser submetido a uma tensão muito elevada, gera radiação ultravioleta;

II – Realiza-se a ligação correta da lâmpada com o auxílio de um reator próprio para este tipo de lâmpada.

Para a eletrização do eletroscópio:

I - Esfrega-se vigorosamente a flanela no cano de PVC, eletrizando-o negativamente pelo processo de atrito;

II- Pela eletrização de contato, o cano de PVC eletrizou o eletroscópio negativamente também.

É possível visualizar o Efeito Fotoelétrico ao carregar negativamente o eletroscópio e, em seguida, aproximar a fonte de radiação ultravioleta, ou seja, as folhas de alumínio, por estarem carregadas com cargas de mesmo sinal, repelem-se. Porém, ao aproximar do eletroscópio a radiação ultravioleta ocasionada pela lâmpada, observa-se o descarregamento das folhas de alumínio. Para ficar mais notório, realiza-se uma comparação com uma lâmpada de Led comum. Carrega-se o eletroscópio e, posteriormente, aproxima-se a lâmpada de Led. Dessa forma podemos verificar que as folhas de alumínio não se descarregam, ver Fig. 22.

Figura 22 – Experimento do Efeito Fotoelétrico através do eletroscópio caseiro



Fonte: Autor

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É notório que, em pleno século XXI, a aplicação da Física Moderna e Contemporânea não está consolidada nas aulas do Ensino Médio. Apesar das várias tentativas de possibilitar a inserção do ensino de Física Moderna no Ensino Médio (como alterações curriculares na disciplina de Física, aprimoramento e formações continuadas de professores e os simpósios, encontros, palestras e congressos que discutem sobre o ensino da Física), ainda encontra-se muita dificuldade em sala de aula para tratar de Física Moderna e Contemporânea, o que continuará recebendo a atenção de especialistas da área, refletindo assim, no processo de ensino/aprendizagem do Ensino Superior também.

Tendo como foco a abordagem do tópico Efeito Fotoelétrico, direcionando o olhar para a relação professor-aluno e suas carências, propondo, primeiramente ao professor, o aprofundar-se no conteúdo, já que por falta exatamente desta inserção, ele só viu tal tópico em sua graduação; por conseguinte sugerir atividades didáticas que auxiliem o trabalho do professor em sala de aula e, de modo simultâneo, despertar a atenção e o interesse dos estudantes que, por muitas vezes encontram-se distraídos e desinteressados. Com este trabalho pretende-se apresentar propostas de abordagem da Física Moderna e Contemporânea através do uso de experimentação e de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação como modo de explicar conceitos referentes ao Efeito Fotoelétrico.

Embora não havendo possibilidade de colocar em prática a proposta apresentada, tenho a convicção de que, se o professor souber direcionar e aplicar as atividades aqui presentes facilitará seu processo de ensinar e, conseqüentemente, o de aprender por parte do aluno. O professor tem papel fundamental, seja na preparação das atividades, seja atuando como mediador na execução quando seus alunos estiverem realizando as tarefas.

Vale salientar que aulas alternativas, tal como a apresentada neste trabalho, têm um caráter complementar no ensino de Física. Aulas expositivas, que utilizam-se de livro, quadro e pincel, continuam sendo insubstituíveis. Abordagem de conteúdos quantitativos necessitam desse material, sobretudo em aulas que efetuarão resoluções de exercícios e problemas.

Para que se chegue ao ponto em que a Física Moderna e Contemporânea seja só mais um conteúdo curricular da Física, ainda há muito o que ser feito. E ao concluir este trabalho têm-se a expectativa de almejar esse futuro para a Física no processo ensino/aprendizagem, atuando com responsabilidade, determinação e foco.

A busca pelo ensino de qualidade ainda é, e será sempre, o propósito mais relevante dos educadores.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, B. A., LUZ, A. M. R. **Física Contextos e Aplicações**, volume 2.1ª edição – São Paulo: Scipione, 2013.

ANDRADE, M, E. **O uso das novas tecnologias da informação e comunicação no ensino de física: uma abordagem através da modelagem computacional**. 2010. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Trad. Eva Nick e outros. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999, 360p

BRASIL ESCOLA. **Efeito Fotoelétrico**. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=9PvZ8GYuz_U. Acesso em 30 jan. 2020.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. **Uma oficina de Física Moderna que visa sua inserção no Ensino Médio**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.18, n. 3, p. 263-276, dez. 2001. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6666>>. Acesso em: 12 dez. 2019.

EFEITO FOTOELÉTRICO. In: PhysicsAnimations. Disponível em: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/templateimg.php?s=opt_foto_efekt&l=pt. Acesso em 30 jan. 2020

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. 35ª reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.

FUKE, L. F., KAZUHITO, Y. **Física para o ensino médio**, volume 3.1ª Ed, São Paulo: Saraiva, 2010.

GALIAZZI, M, C. *et al.* **Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências**. Ciência & Educação, v.7, n.2, p.249 – 263, 2001.

GARCIA, G. Info Grupo Abril. Disponível

em:<<http://info.abril.com.br/noticias/ciencia/2015/06/nanopartículas-de-ferro-podem-fazer-nossos-cérebros-serem-programados-por-computador.shtml>>. Acesso 15 nov. 2019.

GRECA, I. M; MOREIRA, M. A. **Uma revisão de literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória**. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v.6,n. 1, p. 29-56, mar. 2001. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID179/v6_n1_a2001.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2019.

GRIEBELER, A. **Inserção de Tópicos de Física Quântica no Ensino Médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa**. 2012. 135 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/61844/000867227.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 nov. 2019.

GUIMARÃES, O., PIQUEIRA, J. R., CARRON, W. **Física**, volume 2, 1ª edição. São Paulo: Ática, 2013.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. **Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna**. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Universidad de la Rioja, Logroño – Espanha, v.6 n.1, p. 90-116, 2007. Disponível em:<http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen6/ART6_Vol6_N1.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2019.

MEES, A. A. **Implicações das Teorias de Aprendizagem para o Ensino de Física**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~amees/teorias.htm>>. Acesso 15 nov. 2019.

MOREIRA, M. A. **A Física dos quarks e a epistemologia**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 29. n. 2. jun. 2007. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n2/a01v29n2.pdf>>. Acesso em: 02 dez 2019.

NAKANO, H. **Einstein: O efeito fotoelétrico**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciência – FUNBEC, 1972.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Atualização do currículo de Física na escola de 65 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.

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 p. 23-48, jan. 2000. Disponível em:<http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID57/v5_n1_a2000.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2019.

PIRES, M. A.; VEIT, E. A. **Tecnologias de Informação e Comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no Ensino Médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.28, n. 2, 2006.

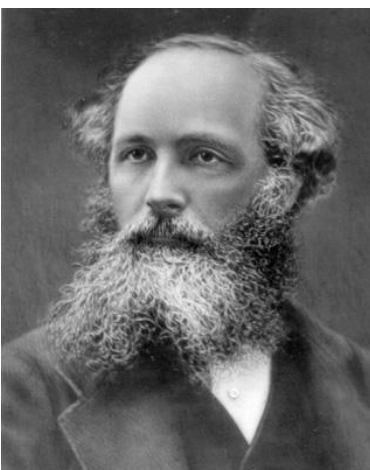
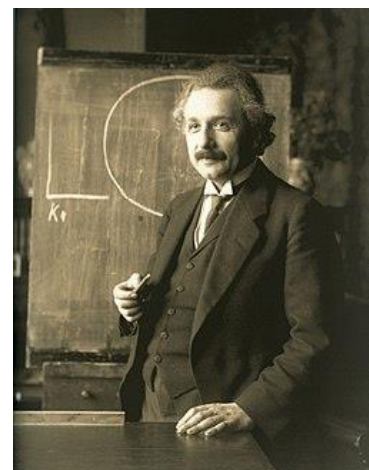
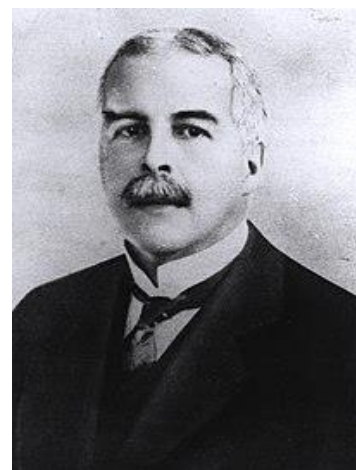
REZENDE JR, M. F e RICARDO, E. C. **Os Parâmetros Curriculares Nacionais e a Inserção da Física Moderna no Ensino Médio: Reflexões sobre o Livro Didático**. In: XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2003, Atas., Curitiba. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xv/atas/atas_XV_SNEF.zip>. Acesso em; 29 nov. 2019.

REZENDE JUNIOR, M. F.; CRUZ, F. F. S. **Física Moderna e Contemporânea na formação de licenciandos em Física: necessidades, conflitos e perspectivas**. Ciência & Educação, Bauru v. 15, n. 2, p. 305-21, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132009000200005>. Acesso em: 29 nov. de 2019.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. **Física Quântica no Ensino Médio: O que dizem as pesquisas**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Florianópolis, v. 28, n. 3, p. 624-652, dez. 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n3p624/20255>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

SKINNER, B. F. **Tecnologia do ensino**. São Paulo, Herder, 1972.

TAVARES, R. **Aprendizagem Significativa, codificação dual e objetos de aprendizagem**. Revista Brasileira de Informática na Educação, v.18, n. 2, 2010.

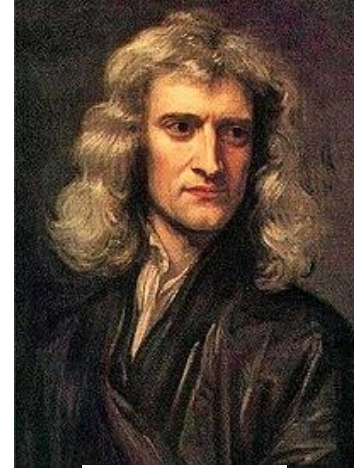
ANEXO A – PERSONALIDADES DA FÍSICA NA ORDEM EM QUE APARECEM NO TRABALHO**Heinrich Rudolf Hertz****Heinrich Daniel
Ruhnkorf****Augusto Righi****Wilhelm Ludwig Franz
Hallwach****Alexander
Grigorievich Stolet****Philipp Eduard Anton von
Lenard****James Clerk Maxwell****Albert Einstein****Gilbert Newton Lewis**



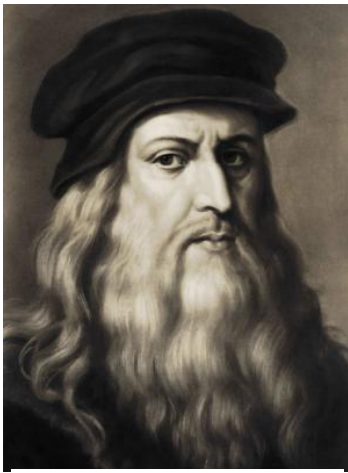
Thomas Young



Christian Huygens



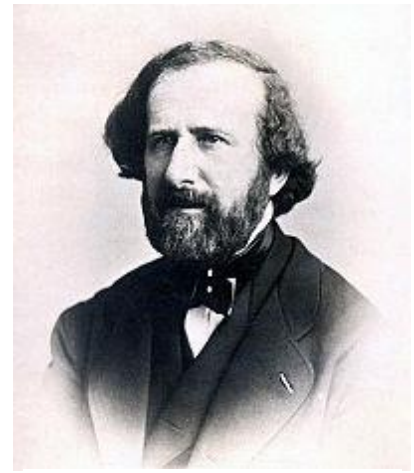
Isaac Newton



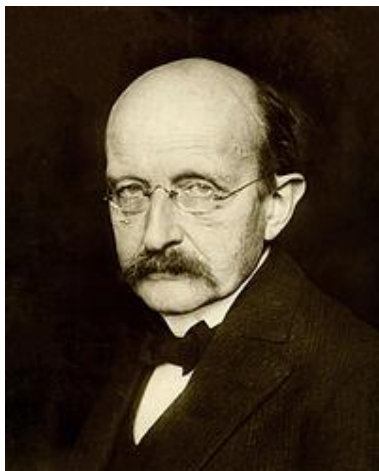
**Leonardo di Ser Piero
da Vinci**



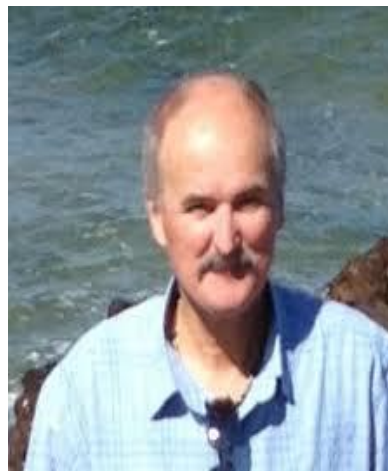
**Jean Bernard Léon
Foucault**



**Armand Hyppolyte Louis
Fizeau**



**Max Karl Ernst Ludwig
Plank**



Vladmir Vascak