

USO DAS SIMULAÇÕES NO ENSINO DE FÍSICA: analisando uma simulação à luz das teorias do efeito fotoelétrico

USE OF SIMULATIONS IN PHYSICS TEACHING: analyzing a
simulation in the light of photoelectric effect theories

Marlon Fernando dos Santos

marlon.fernando16@hotmail.com

Oberlan da Silva

oberlan.silvalxxii@gmail.com

RESUMO

Estudos demonstram que a utilização das simulações computacionais no ensino de Física, vem a ser uma alternativa viável para a prática educativa em qualquer nível de ensino. Oferecendo aos alunos uma experiência direta, permitindo a manipulação e observação de situações que imitam ou se aproximam de um Fenômeno Físico. Nesta perspectiva, nossa investigação objetiva analisar a eficácia da simulação do Fenômeno do Efeito Fotoelétrico, comparando-a com o que preconiza as teorias do referido Fenômeno. A metodologia proposta se deu através da pesquisa bibliográfica, bem como o uso do simulador, com o objetivo de analisar sua efetividade. Os resultados evidenciaram que a simulação computacional utilizada está de acordo com as Teorias do Efeito Fotoelétrico. Assim, o seu uso no ambiente escolar é relevante para uma melhor compreensão dos conteúdos de Física Moderna, pois possibilita que o próprio aluno possa usar a simulação e entender a Física ali representada.

Palavras-chave: Ensino de Física. Efeito Fotoelétrico. Simulação Computacional.

ABSTRACT

Studies show that the use of computer simulations in Physics teaching becomes a viable alternative for educational practice at any level of education. Offering students a direct experience, allowing the manipulation and observation of situations that imitate or approach a Physical Phenomenon. In this perspective, our investigation aims to analyze the effectiveness of the simulation of the Photoelectric Effect Phenomenon, comparing it with what the theories of the referred Phenomenon advocate. The proposed methodology was based on bibliographic research, as well as the use of the simulator, in order to analyze its effectiveness. The results showed that the computer simulation used is in accordance with the Theories of the Photoelectric Effect. Thus, its use in the school environment is relevant for a better understanding of the contents of Modern Physics, as it allows the student to use the simulation and understand the Physics represented there.

Keywords: Physics Teaching. Photoelectric effect. Computer Simulation.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a utilização das tecnologias da informação e comunicação ganhou um espaço significativo dentro dos processos de ensino e aprendizagem. Diante das dificuldades envolvidas, tais como: formação docente, precariedade dos espaços educacionais e baixa qualidade de equipamentos, o seu uso vem aos poucos desafiando esses entraves e se tornando cada vez mais presente nas atividades escolares, em várias áreas do conhecimento e em diversos setores da sociedade (WANG, 1998).

Há muito tempo, as tecnologias da informação e comunicação foram promovidas como meios apropriados para que os cidadãos desempenhem papéis ativos na melhoria das perspectivas educacionais (SELWYN, 2008). No final de 1980, verificou-se no Brasil um avanço significativo do uso das tecnologias da informação e comunicação mediadas por computadores no ambiente escolar. Os computadores pareciam proporcionar um novo método de ensinar.

Para Almeida (2003) as tecnologias da informação e comunicação proporcionam um acesso rápido à informações atualizadas por meio de mecanismos automatizados de busca, mostrando que as TICs auxiliam no processo de ensino-aprendizagem gerando muitas contribuições para a prática escolar em qualquer nível de ensino.

Com o surgimento das tecnologias da informação e comunicação, os professores contam com novos métodos que os auxiliam no processo de ensino-aprendizagem. Giordan (2005) e Vianna e Alvarenga (2009), destacam os sistemas tutoriais, as caixas de ferramentas, simulações, animações, vídeos, a comunicação mediada por computador, a aquisição de dados por meio de computadores e a web que engloba todos os aspectos.

No ensino de Física as tecnologias da informação e comunicação podem ser aplicadas como uma ferramenta mediadora, podendo contribuir significativamente para o processo de ensino e aprendizagem. Medeiros e Medeiros (2002) recomendam que seja necessário se posicionar criticamente em relação à forma de utilização e as expectativas de mudanças depositadas no uso das tecnologias, do contrário, o poder educacional dos computadores será bastante reduzido.

Os famosos laboratórios virtuais são um exemplo das tecnologias da informação e comunicação aplicadas no ensino de física. As atividades experimentais, embora aconteçam pouco nas salas de aula, são apontadas como a solução que precisaria ser implementada para a tão esperada melhoria no ensino de Ciências (GIL PÉREZ et al., 1999).

Nesse sentido, as tecnologias da informação e comunicação oferecem boas condições em se tratando de acrescentar um novo tipo de atividade, um exemplo são as atividades virtuais, como as simulações. Giordan (2005) define simulação como uma combinação de um conjunto de variáveis com o intuito de reproduzir as leis que interpretam o fenômeno.

Desde a década de 80 com a fundação da internet, houve o despertar do uso do computador, em especial, as simulações como ferramenta no auxílio do ensino de Física (GIORDAN, 2005). Lapa (2008) descreve o quanto as simulações são importantes:

A importância dos simuladores na pesquisa sobre o uso das tecnologias da 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).

No ensino de Física, as simulações computacionais colocam o estudante em contato direto com o computador, como um manipulador de situações ali desenvolvidas, algumas tentam imitar enquanto outras tentam se aproximar de um fenômeno físico real. É possível operar com algumas grandezas físicas e observar esses resultados imediatamente.

Com o surgimento e disseminação do novo Coronavírus, causador da doença Covid-19, trouxe para a sociedade mundial reflexos e dificuldades que podem ser notados nos mais diversos setores. Segundo Todos pela Educação (2020), este cenário pandêmico, trouxe desafios imensos para todos eles, em especial para educação, onde ocorreu a interrupção das aulas presenciais.

Com o intuito de conter a propagação do Coronavírus, foram adotadas medidas e protocolos de distanciamento social, ocasionando diversos impactos na dinâmica do ensino devido às mudanças desse período pandêmico. Diante desse cenário, surgiu um novo modelo de ensino, que se elevou com a parada das aulas de forma presencial em todo o sistema educacional, causando prejuízos principalmente na rede pública, através da entrada do ensino remoto, encontrando as famílias e as escolas despreparadas. Para Silva e Peixoto (2020), os sistemas de ensino almejam soluções remotas para a educação, utilizando-se de plataformas digitais que sejam disponíveis, confiáveis e valiosas para este cenário de crise.

De acordo com a UNESCO e UNICEF (2020), estima-se que na América Latina e no Caribe, 95% dos alunos matriculados ficaram temporariamente fora da escola devido à paralisação das atividades presenciais de ensino durante a Pandemia do Covid-19.

Dessa forma, se faz necessário a utilização do ensino remoto como uma adaptação das aulas presenciais e quando possível, utilizando-se das tecnologias da informação e comunicação como recursos didáticos ao processo pedagógico. As TICs podem aperfeiçoar o processo de aprendizagem por parte dos estudantes, principalmente quando se utiliza abordagens diferenciadas de conteúdos teóricos. Além de ser um aliado a livros didáticos em aulas presenciais, também tem um papel importante quando não se pode realizar as aulas presenciais e práticas, em laboratórios.

Nesse contexto, a web desempenha um papel importantíssimo, visto que, sem esse recurso, seria impossível ministrar aulas e compartilhar atividades remotamente.

Para Carvalho et al., (2021):

O espaço escolar tem vivenciado fortes mudanças, como a expansão da informação, o avanço das tecnologias e a crescente globalização de mercados. Tudo isso afeta de forma significativa a escola, entretanto, nada foi tão

estranhador e urgente, quanto à crise sanitária em decorrência da infecção humana pelo novo Coronavírus (CARVALHO et al., 2021).

Diante da pandemia que assola o mundo e atinge o Brasil desde março de 2020, esforços tecnológicos foram adotados no sentido de transição do ensino presencial para o ensino remoto. Dessa forma, as simulações virtuais vêm desempenhando um papel importante no processo de ensino e aprendizagem, pois se tornaram instrumentos mais propícios para serem trabalhados em aulas virtuais.

Nesse sentido, este trabalho apresenta um simulador que retrata um cenário virtual e animado relacionado ao fenômeno do Efeito Fotoelétrico. Temos como objetivo analisar a eficácia da simulação do Fenômeno do Efeito Fotoelétrico do PhET – Interactive Simulations, comparando-a com o que preconiza as teorias do referido fenômeno, seguindo uma abordagem de validação das atividades disponíveis na referida simulação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conhecendo o Fenômeno do Efeito Fotoelétrico

O Efeito Fotoelétrico foi descoberto em um experimento realizado por Heinrich Hertz, em 1887. Em seu experimento, Hertz fez uso de uma bobina de indução de alta voltagem para provocar faíscas entre duas esferas metálicas. Quando isso acontecia o circuito se fechava e a carga elétrica poderia oscilar rapidamente produzindo radiação eletromagnética. Após vários experimentos, Hertz descobriu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorria com uma maior facilidade ao incidir luz ultravioleta sobre eles (EISBERG e RESNICK, 1979).

No ano de 1888, Wilhelm Hallwachs mostrou que corpos irradiados com luz ultravioleta adquiriam carga positiva. Para explicar o fenômeno, Lenard e Wolf sugeriu que a luz ultravioleta faria com que partículas do metal deixassem a superfície do mesmo (GOMES, 2011). Tal fenômeno no qual os elétrons são desprendidos de um material pela incidência de radiação luminosa ficou conhecido como Efeito Fotoelétrico.

Para Gomes (2011) o Efeito Fotoelétrico tem sua raiz na ideia da quantização da energia proposta por Planck, em 1900, com o intuito de explicar o espectro de radiação do corpo negro, ou seja, obter a expressão que descrevesse o espectro do corpo negro obtido experimentalmente. O pensamento de Planck na energia como quantizada era apenas uma espécie de artifício matemático (EISBERG e RESNICK, 1979).

Ao se observar as propriedades do Efeito Fotoelétrico notou-se que elas divergiam das previsões clássicas, em que se esperava que a radiação eletromagnética se comportasse apenas como uma simples onda no processo em que os elétrons são ejetados. De acordo com o pensamento clássico a energia cinética dos elétrons deveria aumentar com a intensidade da radiação eletromagnética, deveria haver um tempo razoável para emissão de elétrons e não deveria depender de forma descontínua da frequência da onda eletromagnética. Experimentalmente foi observado que a energia cinética não varia com a intensidade da luz, não há atraso perceptível para que tal radiação arrancasse elétrons e para frequências baixas não há Efeito Fotoelétrico.

Este fenômeno foi explicado 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). Devido à explicação da lei do Efeito Fotoelétrico, Albert Einstein recebeu o prêmio Nobel de Física em 1921.

Segundo Einstein, a luz deveria ser composta de pacotes, ou *quanta*, que depois viriam a ser chamados de fótons, os quais podem ser quantificados sua Energia através da relação expressa na Equação 1, em que f é a frequência da onda eletromagnética, h é a constante de Planck e n é o número inteiro positivo (quantização). O termo, produto $h \cdot f$, representa a energia fundamental ou a energia de um quantum.

$$E = n \cdot h \cdot f \quad (1)$$

Substituindo a frequência da onda eletromagnética, f , em função da velocidade de propagação da onda e do comprimento desta onda, chegamos a Equação 2.

$$E = n \frac{hc}{\lambda} \quad (2)$$

Essa nova interpretação para a luz, proposta por Einstein faz referência a novas considerações para poder usar de uma nova interpretação da causa e da ocorrência do Efeito Fotoelétrico diferentemente de Hertz (GOMES, 2011). Agora a intensidade da luz deve ser dada pelo número de fótons emitidos por unidade de tempo. Dessa forma, após a interação de um único fóton com o elétron do material ele é completamente absorvido, e terá uma energia cinética K , quantificada através da Equação 3.

$$K = h \cdot f \quad (3)$$

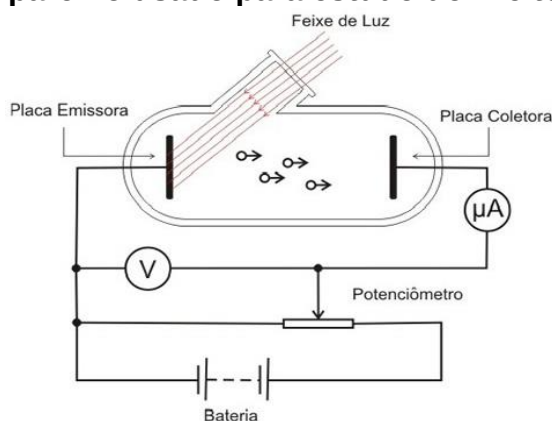
De acordo com Gomes (2011), as partículas de luz deveriam se chocar contra os elétrons e durante essa colisão haveria transferência de energia, porém, o elétron está preso no material e, para liberta-se é preciso receber certa dose de energia, ou seja, um trabalho a ser realizado.

Para que o elétron seja ejetado do material a energia do fóton absorvida deve ser maior ou igual à função trabalho (φ). A energia cinética do material ejetado é expressa por $K_{m\acute{a}x}$ e é quantificada através da Equação 4, em que o termo $h \cdot f$ expressa a energia do fóton incidente na placa metálica e φ a função trabalho (EISBERG e RESNICK, 1979):

$$K_{m\acute{a}x} = h \cdot f - \varphi \quad (4)$$

Na Figura 1 podemos observar o aparato experimental semelhante ao usado para estudar o Efeito Fotoelétrico com polaridade emissora negativa.

Figura 1 – Aparelho usado para estudo do Efeito Fotoelétrico



Fonte: SÓ FÍSICA (2008)

Um feixe de luz ultravioleta está incidindo sobre uma superfície metálica (placa emissora), provocando a emissão de elétrons. Caso esses elétrons cheguem à placa coletora, haverá uma corrente elétrica no circuito.

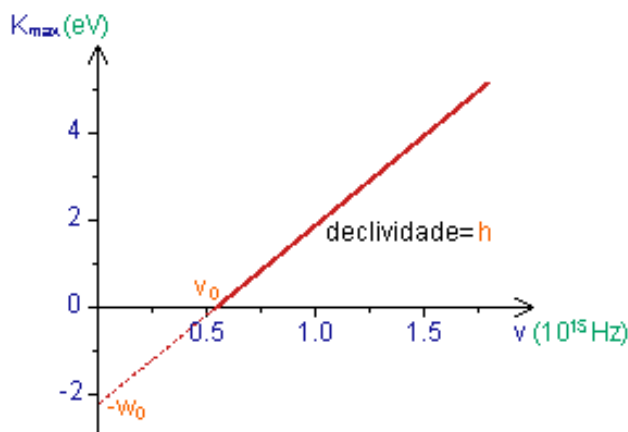
Em uma nova situação em que se tenha uma polaridade emissora positiva a placa emissora ficará sobre potencial elétrico positivo e o campo elétrico na região entre as placas provocará uma desaceleração do elétron, fazendo com que ele perca energia cinética em seu percurso. Dessa forma, uma nova variável é encontrada, denominada de potencial de corte, fazendo com que os elétrons não consigam chegar à placa coletora, cessando a corrente elétrica.

Eisberg e Resnick (1979) explicam a objeção que surgia de um limite de frequência que a luz incidente deveria ter para conseguir ejetar elétrons, denominada de frequência mínima ou frequência de corte, e pode ser analisada quando a energia cinética dos fotoelétrons é nula. Dessa forma, um fóton de frequência f_0 tem exatamente a energia necessária para ejetar os fotoelétrons, sem que lhe sobre nenhuma quantidade de energia cinética, substituindo na Equação 4, reduziríamos ao resultado expresso pela Equação 5.

$$0 = hf_0 - \varphi \quad \therefore \quad f_0 = \frac{\varphi}{h} \quad (5)$$

Assim, chegava-se à conclusão de que uma luz de maior intensidade não tem energia suficiente para arrancar elétrons. Na Figura 2 podemos observar a frequência mínima ou frequência de corte no eixo das abscissas (eixo x) e a constante de Planck representada pela declividade da reta.

Figura 2 – Gráfico da energia máxima com a frequência



Fonte: INSTITUTO DE FÍSICA (s.d.)

Denominamos de Potencial de corte, representado por V_o , a energia cinética máxima dos elétrons, como expresso na Equação 6, em que “e” representa a carga elementar do elétron.

$$K_{max} = e \cdot V_o \quad (6)$$

Associando a relação expressa na Equação 6, da expressão da energia cinética máxima atribuída por Einstein temos uma relação matemática, representada na Equação 7 (GOMES, 2011).

$$eV_o = hf - \varphi \quad \therefore \quad V_o = \frac{hf}{e} - \frac{\varphi}{e} \quad (7)$$

Dessa forma, a equação de Einstein previa uma relação linear entre a frequência e o potencial de corte sendo o valor da declividade da curva, ilustrado na Figura 2, h/e . Pinto (2007) afirma que a equação também previa a existência de uma frequência em que não era possível arrancar elétrons, pois o quantum de energia absorvido pelo elétron seria igual à função trabalho, resultando em uma energia cinética igual a zero. Por mais intensa que fosse a luz os seus quanta não tinham energia suficiente para fazer com que o elétron superasse a função trabalho e fosse liberado da superfície metálica.

2.2 O uso de simuladores e o ensino de Física

O uso de simuladores no ensino de Física tem grande potencial, tanto no ensino de Física Clássica quanto de Física Moderna e Contemporânea, mas é importante salientar que as simulações devem ser usadas como uma complementação e não como uma substituição de um experimento prático. Para Medeiros e Medeiros (2002) as simulações apesar de serem fáceis e espetaculares apresentam suas limitações, podendo gerar uma tendência perigosa de um uso exagerado e na substituição de experimentos reais como se tivesse o mesmo status epistemológico e educacional.

Pietrocola e Brockinton (2003) supõem que na Física Clássica se têm muitos experimentos bons e que ainda podem ser feitos com materiais de baixo custo, já os simuladores entram como um aliado, pois eles podem contornar algumas dificuldades e alguns obstáculos tais como: condições climáticas, precisão de alguns instrumentos, influência de outros meios etc.

Pietrocola e Brockinton (2003) afirmam 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 simulações computacionais que além de contribuir para esta atualização curricular também traz à luz uma discussão da atualização dos mecanismos que podem ser utilizados para o ensino de Física (PIETROCOLA e BROCKINTON, 2003).

O uso de simuladores também se torna bem útil para abordar experiências difíceis de serem realizadas na prática ou até mesmo impossíveis, seja por falta de materiais, custo alto, por serem perigosas, que envolvem fenômenos muito lentos ou muito velozes, entre outras.

Os recursos computacionais são de grande importância, principalmente a simulação que é uma ferramenta que pode auxiliar o professor a simplificar seus objetivos de ensino e com isso uma melhor compreensão dos conteúdos de Física Moderna. Para Pietrocola e Brockinton (2003):

Uma simulação é capaz de traduzir o que é “impossível” de ser feito por palavras e, no caso da Física Moderna, 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).

Com o avanço significativo das tecnologias, o computador se tornou de grande utilidade, rompendo barreiras quase que intransponíveis pelo ensino tradicional, uma vez que a interatividade, os recursos multimídia e a facilidade em assistir muitas vezes a mesma aula, podem fazer a diferença e contornar as dificuldades na clareza no ensino por parte dos professores.

Como a maioria dos educadores, Veit e Teodoro (2002) também defendem o uso do computador, mas como uma ferramenta que vai auxiliar a construção do conhecimento. Atualmente o uso de computadores se apresenta como uma ferramenta fundamental.

Para os autores há uma necessidade em se adaptar e divulgar novas metodologias com o objetivo de melhorar a qualidade de ensino nas escolas. Com o avanço sistemático da tecnologia no desenvolvimento de novos aplicativos e softwares, relacionada ao uso do computador, com a utilização de simulações de fenômenos físicos, podem tornar o processo de ensino-aprendizagem de Física mais eficiente.

Entretanto, pesquisa e prática de ensino em sala de aula se distanciam. Por isso é importante que se reflita sobre o papel das tecnologias computacionais e as suas implicações na educação científica e tecnológica (GOMES, 2011). Mas, é bom deixar claro que o computador usado de forma inadequada pode atrapalhar, pois

dependem de vários fatores, entre eles a qualidade da simulação computacional utilizada e o porquê de utilizá-la.

Finkelstein et al. (2005) demonstram que os ganhos conceituais e de habilidades na utilização de instrumentos de medição podem ser superiores utilizando simulações em comparação com o uso de experimentos reais, desde que as simulações sejam usadas adequadamente. Já para Medeiros e Medeiros (2002), os ganhos educacionais são superiores quando se utiliza experimentos reais.

As simulações computacionais é uma área de conhecimento multidisciplinar em diversas áreas como engenharia, ciências exatas, biológicas, humanas, economia e ciências ambientais. Dessa forma, o uso adequado dentro do ambiente escolar pode facilitar no processo de ensino-aprendizagem.

O ensino de Física tem como objetivo ensinar os fenômenos naturais, em que qualquer teoria só tem significado quando comprovada experimentalmente. Dessa forma, mesmo que o professor tenha uma grande capacidade de explicar determinado conteúdo, sempre vai se deparar com situações em que será difícil ou até mesmo impossível de representar os determinados fenômenos físicos. Muitas das vezes o professor se depara com conceitos ou conteúdos que requerem certa abstração. Por isso, Medeiros e Medeiros (2002), afirmam que uma boa simulação pode se comunicar melhor do que imagens estáticas ou uma sequência delas.

As atividades de Física estão cada vez mais rodeadas de propostas envolvendo o uso de computadores. É necessária uma adaptação e divulgação desses novos recursos principalmente às simulações computacionais, com o objetivo de melhorar o ensino de Física nas escolas.

É óbvio que, para utilizar simulações on-line no ensino, é necessária uma infraestrutura mínima das escolas, ou seja, deverão existir suficientes computadores ligados à Internet e dotados de software adequado (MARTINS et al., 2003).

Sendo assim, Coelho (2002) enuncia que as simulações são comumente utilizadas no ensino de Física, pela ponte que faz entre o estudo do fenômeno da maneira tradicional e os experimentos de laboratório, permitindo que os resultados sejam vistos com clareza, repetidas vezes e com muitas variáveis envolvidas.

De acordo com Santos et al. (2006), os experimentos virtuais além de estarem acessíveis a qualquer instante, podem ainda serem utilizados em outros horários fora da aula, e as experiências podem ser vivenciadas de forma individualizada. Do ponto de vista de uma aprendizagem construtivista, as simulações podem fornecer aos alunos uma experiência direta, fazendo hipóteses e observando os efeitos destas hipóteses. O estudante pode utilizar seu modelo de simulação e fazer observações de acordo com as variáveis desejadas, realizando assim novas previsões.

3 METODOLOGIA

A nossa investigação pode ser caracterizada como de natureza qualitativa; e não se prendeu pela representatividade numérica, no entanto, primou pelo aprofundamento, ao tentar compreender as interações envolvendo ciência e tecnologia, inseridas nos textos estudados e buscando a melhor maneira de retratar o conteúdo (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Quanto aos objetivos a pesquisa foi caracterizada como descritiva, e para Gil (1999), a pesquisa descritiva tem como finalidade principal a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou ainda o estabelecimento de relações entre variáveis.

A técnica de pesquisa foi à exploratória, e que segundo Marconi e Lakatos (2002), a etapa exploratória consiste em investigações do conhecimento como consequência da experiência, com objetivo de formulação de questões e problemas, cuja finalidade pode ser compreendida no desenvolvimento de hipóteses para a familiarização do pesquisador com determinado ambiente.

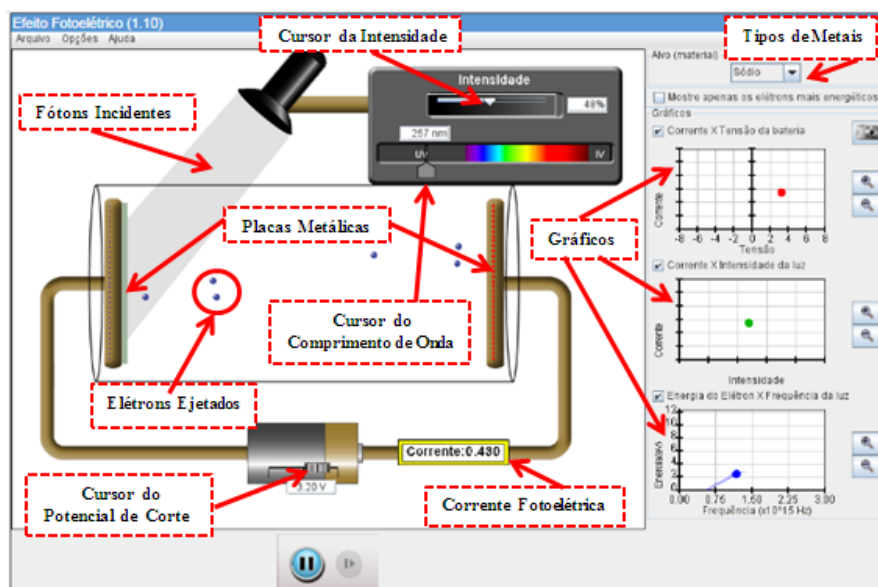
3.1 Descrição do Simulador Computacional Utilizado

O simulador computacional escolhido para efeito de estudo das Teorias do Efeito Fotoelétrico está disponível no site do PhET – Interactive Simulations (PhET, 2021), que faz parte da Universidade do Colorado como projeto de um laboratório virtual, oferecendo diversas simulações relacionadas ao ensino de Física, Biologia, Química e Matemática.

As simulações possuem vários idiomas, são programadas em flash quando acessadas online e em JAVA quando são salvas em um computador e acessadas em off-line, proporcionando ao estudante um âmbito de atividades, em que se pode ter uma interatividade com a mudança de denominadas variáveis e uma interpretação direta de gráficos em tempo real ao fenômeno ocorrido.

Na Figura 3 podemos observar a simulação computacional utilizada.

Figura 3 – Simulação do Fenômeno do Efeito Fotoelétrico



Fonte: PHET COLORADO (2021)

- Cursor da Intensidade: ajusta a intensidade emitida pela fonte, também pode ser analisada como números de fótons incidentes a placa metálica.
- Cursor do Comprimento de Onda: ajusta o comprimento de onda incidente, fazendo referência a frequência das ondas eletromagnéticas incidentes na placa metálica.

- Fótons incidentes: exibe o feixe de fótons com determinada intensidade no meio a ser incidido na placa metálica.
- Placas Metálicas: placas de um determinado material metálico, podendo ser alterado na janela tipos de metais sendo possível alternar entre seis tipos.
- Elétrons Ejetados: são os elétrons arrancados das placas metálicas em razão do Efeito Fotoelétrico para tal incidência de um determinado comprimento de onda.
- Cursor do Potencial de Corte: ajusta o potencial da bateria, variando a tensão que será aplicada entre as placas.
- Corrente Fotoelétrica: mede a intensidade da corrente elétrica que passa através do circuito elétrico, decorrente do Efeito Fotoelétrico causado por uma incidência eletromagnética em uma placa metálica.
- Tipos de Metais: podem-se usar determinados tipos de metais como: sódio, zinco, cobre, platina, cálcio e magnésio.
- Gráficos: têm-se três formas gráficas que podem ser analisadas no simulador.
 - Corrente versus Tensão da bateria: mostra como os elétrons ejetados se comportam em relação ao potencial da bateria, um auxílio na análise do potencial de corte.
 - Corrente versus Intensidade da Luz: mostra como a corrente fotoelétrica se comporta em relação à intensidade da onda eletromagnética incidente, pode-se analisar o número de elétrons incidentes.
 - Energia do Elétron versus Frequência da Luz: mostra como se comporta a equação linear de Einstein para o Efeito Fotoelétrico, auxiliando na interpretação da frequência de corte e na função trabalho do metal.

3.2 Procedimentos metodológicos

Primeiramente foi realizado um levantamento dos principais trabalhos sobre o uso das simulações no ensino de Física, assim como suas contribuições no ambiente escolar, com o intuito de fornecer dados relevantes relacionados à nossa pesquisa. Vale destacar alguns autores de artigos que tratam do assunto a exemplo de: COELHO, 2002; MEDEIROS e MEDEIROS, 2002; MARTINS, 2003; PIETROCOLA e BROCKINTON, 2003; FINKELSTEIN et al., 2005; GOMES, 2011, entre outros.

Na etapa de organização do instrumento de observação foi necessário realizar estudos sobre outras investigações para compreender como poderíamos realizar a pesquisa. Definimos o simulador que faria parte da pesquisa: simulação do Fenômeno do Efeito Fotoelétrico do Phet.

A coleta de dados foi através do uso do simulador com o objetivo de analisar se o mesmo está de acordo com as Teorias do Efeito Fotoelétrico. A análise e interpretação dos dados se deram através do estudo das evidências identificadas com as relações existentes entre o simulador e as Teorias do Efeito Fotoelétrico.

E por fim, os resultados da pesquisa foram produzidos, através dos registros das análises e dos resultados obtidos.

3.3 Instrumentos da investigação

O instrumento de coleta de dados foi o de observação. Marconi e Lakatos (2002) definem observação como uma técnica de coleta de dados para conseguir informações e utiliza os sentidos para se obter determinados aspectos da realidade. Não se restringe a ver e ouvir, mas também em examinar fatos e fenômenos que se deseja estudar ou acompanhar.

3.4 Método de Análise dos dados

A análise de dados foi efetuada através dos dados obtidos com o simulador computacional. De acordo com (MARCONI e LAKATOS, 1996), a análise dos dados é uma das fases mais importantes da pesquisa, pois, a partir dela, é que serão apresentados os resultados e a conclusão da pesquisa, conclusão essa que poderá ser final ou apenas parcial, deixando margem para pesquisas posteriores.

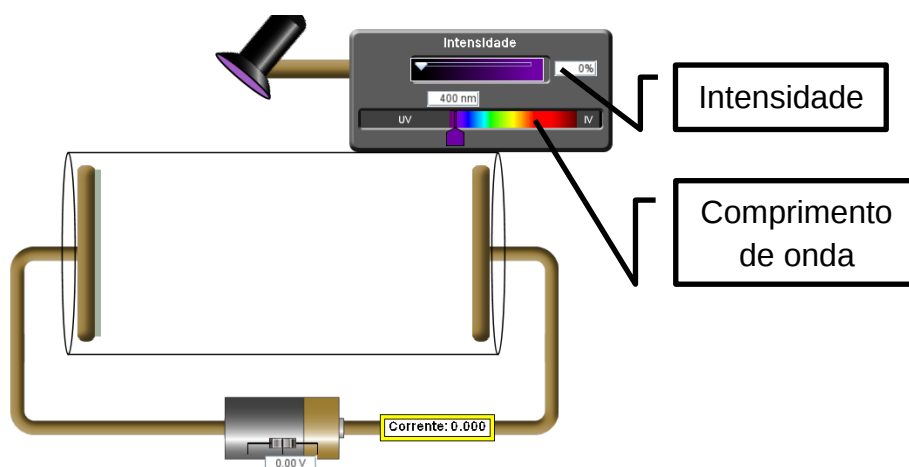
4 RESULTADOS E ANÁLISE

4.1 Breve descrição sobre o que é possível estudar utilizando o simulador efeito fotoelétrico

No que diz respeito a essa nova Era considerada digital, os controles remotos, games e artifícios digitais estão cada vez mais presentes no nosso cotidiano. Dessa forma, é interessante que o Efeito Fotoelétrico seja observado a fim de se ter uma melhor compreensão, através de um simulador. É possível associar o controle remoto a uma fonte de luz presente no simulador, pois emite um feixe de luz de determinada frequência a qual aciona o dispositivo fotossensível presente nos aparelhos controlados por ele.

Com o simulador é possível ajustar algumas características da luz incidente através dos cursores de intensidade e comprimento de onda. Na intensidade, podemos aumentar o número de fótons incidentes no material de prova e com o comprimento de onda, ajustamos a energia desses fótons.

Figura 4 – Descrição de como mudar a intensidade e o comprimento de onda da luz incidente

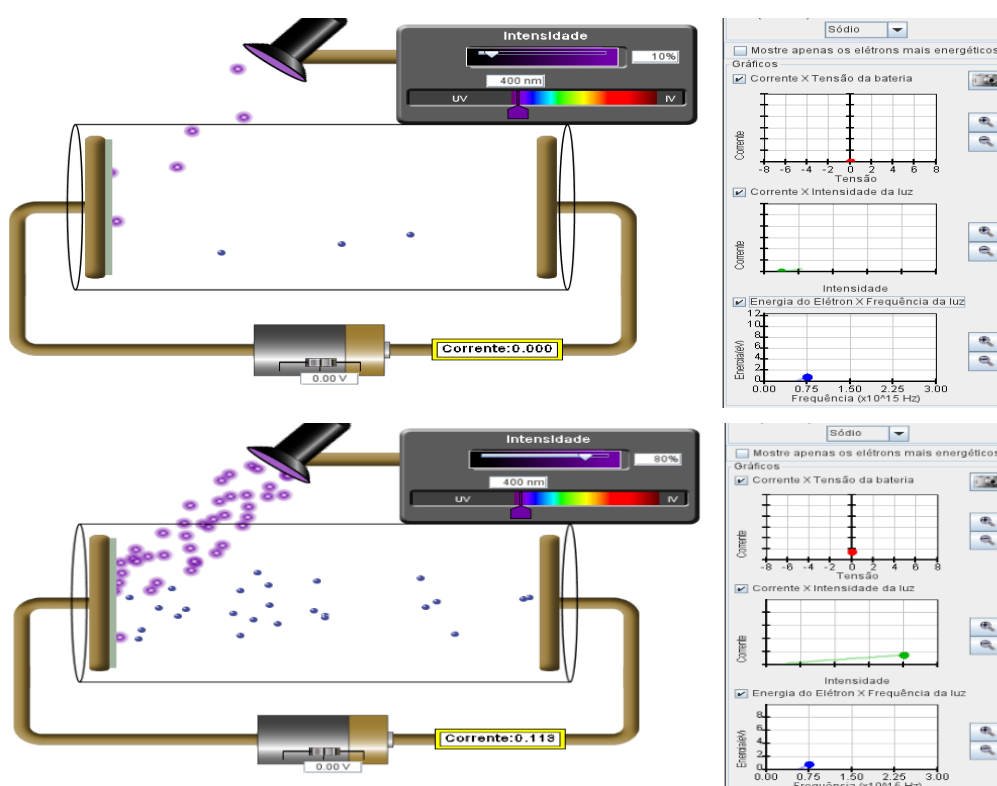


Fonte: PHET COLORADO (2021)

Alterando a intensidade da luz, como visualizamos nas Figuras 5 e 6, a velocidade dos elétrons ejetados não é alterada, pois a energia do elétron está relacionada com a energia do fóton absorvido, que neste caso dependerá da frequência, conforme as Equações 1 e 2.

O que podemos observar variando a intensidade da luz é que há uma variação do número de elétrons ejetados, ou seja, quanto maior a intensidade maior será o número de elétrons arrancados, desde que se tenha uma frequência mínima. A corrente elétrica produzida também varia conforme a intensidade da luz, se a intensidade vai aumentando ou diminuindo a corrente também vai aumentar ou diminuir, mostrando serem diretamente proporcionais.

Figura 5 – Número de elétrons ejetados, corrente e energia com uma intensidade de 10% e 80%



Fonte: PHET COLORADO (2021)

Em relação ao comprimento de onda podemos observar para quais comprimentos de onda do espectro o Efeito Fotoelétrico acontece, e a partir de que ponto a intensidade da luz interfere ou não. Nesta simulação, não é possível ajustar diretamente a frequência, mas é possível selecionar o comprimento de onda. Como o comprimento de onda é inversamente proporcional a frequência, indiretamente estaremos alterando a frequência a partir do cursor comprimento de onda. Neste sentido, podemos relacionar o comprimento de onda/frequência de corte com o tipo de material da placa atingida. Se multiplicarmos a frequência mínima encontrada para cada placa pela constante de Planck (h), encontraremos a função trabalho (ϕ), de cada material, como expresso na Equação 8.

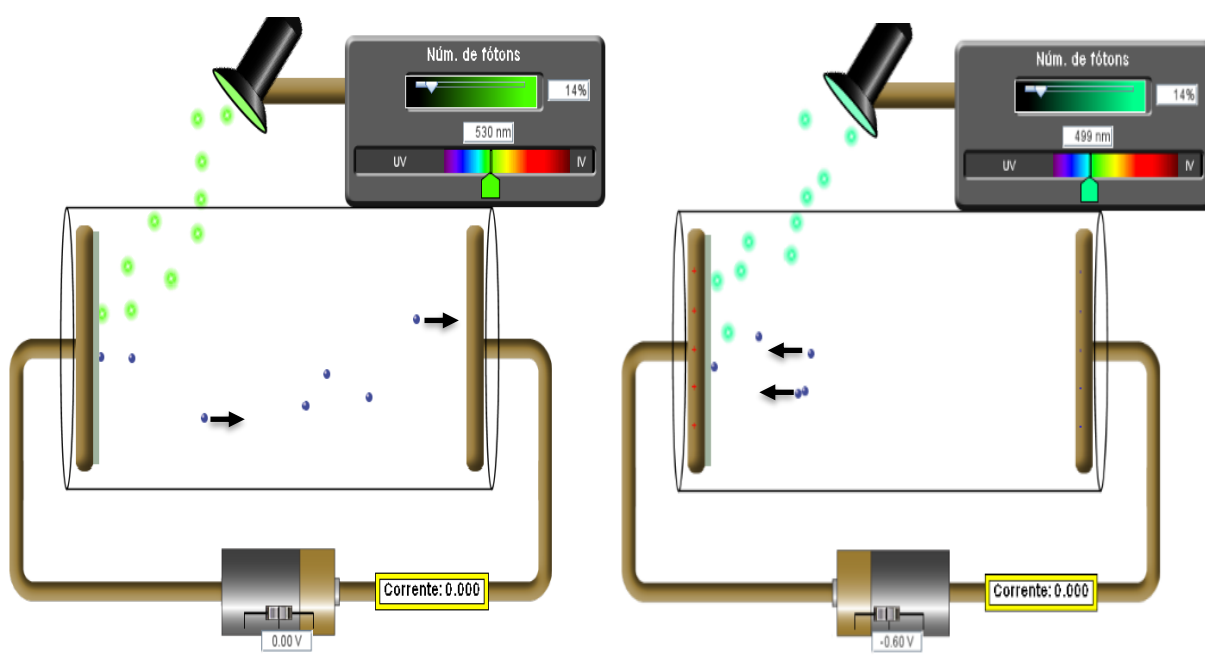
$$f_0 \cdot h = \phi \quad (8)$$

Ainda é possível ajustar a tensão da bateria (ddp aplicada) e podemos escolher a tensão que será aplicada nas placas. Aumentando a tensão, podemos observar que há um aumento na energia cinética dos elétrons, devido à atração eletrostática.

É possível notar que com o aumento da tensão o valor da corrente elétrica não se altera. Adotando valores negativos para tensão, percebe-se que os elétrons têm sua energia cinética reduzida. Com a polaridade da bateria invertida observaremos que para determinados comprimentos de onda haverá um limite em que os elétrons ejetados não possuirão velocidade suficiente para alcançar a outra placa. Este limite é denominado de potencial de corte (V_0). Já os elétrons que conseguem chegar à outra placa são aqueles com energia cinética maior que a energia associada ao potencial da bateria, como expresso pela Equação 9.

$$\frac{m \cdot v^2}{2} > e \cdot V \quad (9)$$

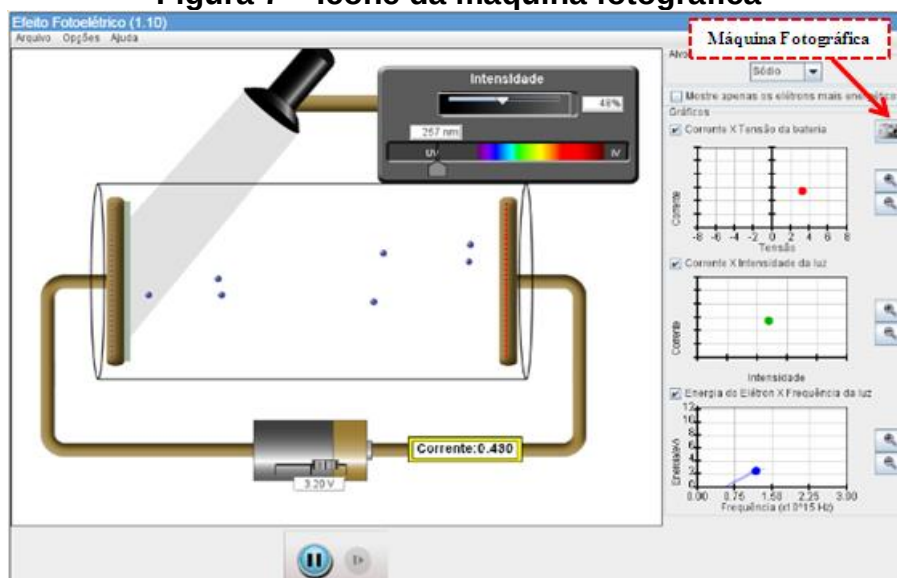
Figura 6 – Elétrons sendo freados e voltando para a placa de onde foram emitidos devido à atração eletrostática



Fonte: PHET COLORADO (2021)

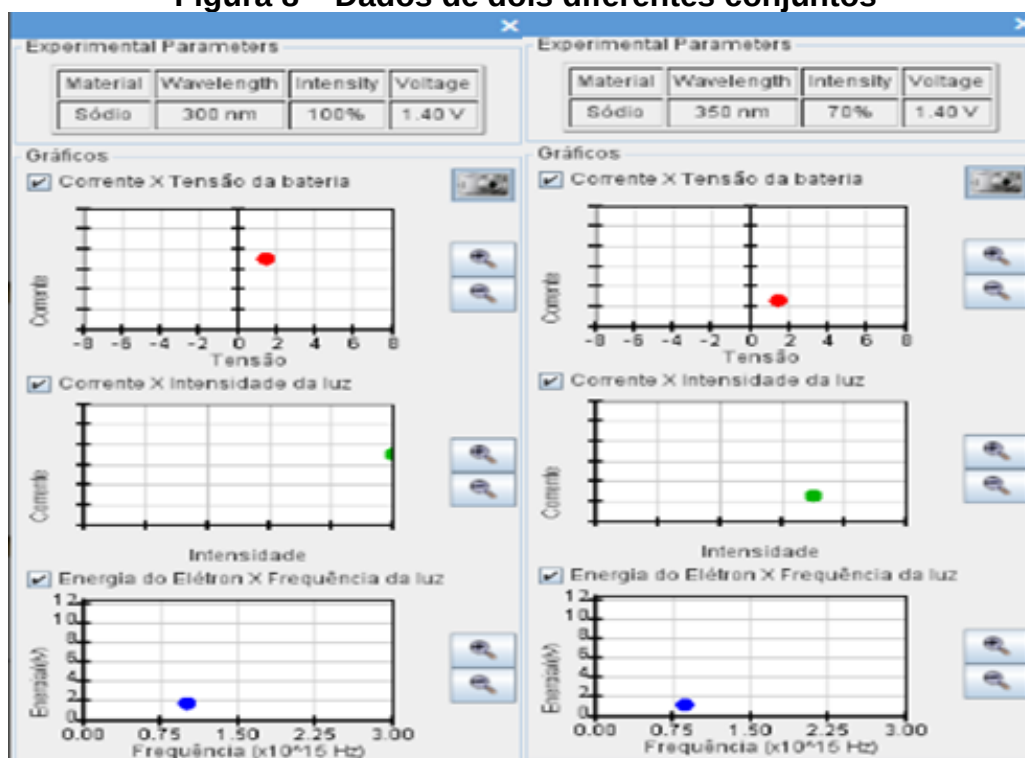
Devido à dificuldade de uma leitura visual através dos valores marcados nos gráficos gerados pelas condições estabelecidas pelo operador das simulações, o programa apresenta uma ferramenta importante à aquisição desses dados de forma numérica. Este procedimento facilita o desenvolvimento de cálculos e possíveis comparações com as teorias estabelecidas para o Efeito Fotoelétrico. Este ícone *máquina fotográfica* localizado no canto superior direito e os respectivos valores de uma simulação estão descritos nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 – Ícone da máquina fotográfica



Fonte: PHET COLORADO (2021)

Figura 8 – Dados de dois diferentes conjuntos



Fonte: PHET COLORADO (2021)

As fotografias permitem comparar dados como energia dos elétrons para o mesmo material, diferentes frequências e intensidade da luz incidente.

Com o gráfico da Energia do Elétron x Frequência da luz, ilustrado na Figura 8, é possível estudar a frequência de corte que a luz incidente deve ter para ejetar elétrons. A frequência de corte representa a frequência mínima para a qual não se

detecta corrente no circuito. Dessa forma, pode-se obter a faixa de operação de frequência para cada material.

Com a faixa de operação de cada material determinada, podemos selecionar um comprimento de onda e variar a tensão. Com o auxílio do gráfico Corrente x Tensão da bateria é possível encontrar o potencial de corte (V_0) para cada comprimento de onda selecionado, como representado na Equação 7. Para cada elemento disponível no simulador é possível fazer uma tabela com as colunas: Comprimento de onda, Frequência e Potencial de corte. De posse desses dados da tabela, podemos traçar um gráfico de Potencial de corte x Frequência e encontrar os parâmetros da reta. Em ambos os casos, compara-se o valor obtido através do simulador com os dados da literatura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização das tecnologias da informação e comunicação na educação contribui e muito no processo de aprendizagem, aproximando professores e alunos, pois através das TICs ambos têm a possibilidade de construir conhecimento por meio da escrita, reescrita, troca de ideias e experiências.

Com as tecnologias da informação e comunicação se tem um leque de modalidades que podem ser aplicadas no ensino de Física. Uma modalidade interessante é as simulações computacionais que estão disponíveis na internet de forma gratuita e que ainda podem ser utilizadas off-line.

Diante da utilização da simulação do Fenômeno do Efeito Fotoelétrico do PhET, podemos constatar que o mesmo está de acordo com as leis que regem determinado fenômeno, mostrando ser produtivo e eficaz no ensino de Física. Além disso, o mesmo pode beneficiar tanto o aluno quanto o professor, auxiliando no processo de ensino-aprendizagem e permitindo que diferentes conteúdos possam ser explorados dinamicamente.

Neste sentido, observamos que há uma concordância geral entre os autores mencionados no que diz respeito às vantagens oferecidas pelos simuladores e os relatam como recursos importantes e essenciais no ensino de Física.

Embora haja concordância em relação ao uso das simulações, Medeiros e Medeiros (2002) diverge de outros pesquisadores, afirmando que as simulações apresentam limitações e que os ganhos educacionais são maiores quando se utiliza experimentos reais.

Dessa forma, entendemos que as simulações não deve ser um mero auxílio tecnológico, nem tão pouco utilizada de forma dissociada do conteúdo, e passa a ter uma maior efetividade quando utilizadas adequadamente. Além disso, diante dessa pandemia se fez necessário deixar de lado quadro, giz e metodologias indisponíveis durante o isolamento social, imposto pela Covid-19.

Nesse sentido, as simulações vêm a ser uma alternativa viável, pois a Física é uma ciência empírica e nem sempre as escolas dispõem de laboratórios. Tornou-se ainda mais viável com a pandemia da Covid-19, uma vez que as escolas passaram a ofertar o ensino remoto para os estudantes dos diferentes níveis de ensino.

Como trabalhos futuros, pretende-se estudar a simulação do Fenômeno do Efeito Fotoelétrico no ensino médio, a fim de identificar na prática os possíveis ganhos educacionais.

REFERENCIAS

ALMEIDA, M. E. B. Educação a distância na internet: abordagens e contribuições dos ambientes digitais de aprendizagem. *Educação e Pesquisa. Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal*, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 327-340, jul./dez. 2003. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/298/29829210.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2021.

CARVALHO, E. P. N. et al. A relevância e os cenários da supervisão pedagógica frente ao ensino híbrido no contexto pandêmico do COVID-19 no Tocantins. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 12, 2021. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/21055/18553/252299>>. Acesso em: 16 dez. 2021.

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.

COELHO, Rafael Otto. **O uso da informática no ensino de física de nível médio**. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2002. Disponível em: <http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/coelho/inf_ens_fis_med.pdf>. Acesso em: 05 out. 2021.

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

FINKELSTEIN, N.D.; ADAMS, W.K.; KELLER, C.J.; KOHL, P.B.; PERKINS, K.K.; PODOLEFSKY, N.S.; REID, D.; LEMASTER, R. (2005) When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research** 1, 010103, p.1-8. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/26493963_When_Learning_about_the_Real_World_Is_Better_Done_Virtually_A_Study_of_Substituting_Computer_Simulations_for_Laboratory_Equipment>. Acesso em: 05 out. 2021.

GERHARDT, T.E; SILVEIRA, D.T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Ufrgs, 2009. 120 p. (EaD).

GIL PÉREZ, D. et al. Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz e papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, v. 17, n. 2, p. 311-320, 1999.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GIORDAN, M. O computador na Educação em Ciências: Breve revisão critica acerca de algumas formas de utilização. **Ciência e Educação**, v. 11, n. 2, p. 279-304, 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ciedu/a/DWLBHfym63TNc5Ns6NG7hsM/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 06 dez. 2021.

GOMES, V. C. **O uso de simulações computacionais do efeito fotoelétrico no ensino médio**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011. Disponível em: <<http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/tede/1964/1/PDF%20%20Valdenes%20Carvalho%20Gomes.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2021.

Instituto de Física. Efeito foto-elétrico. **Observações iniciais e expectativas clássicas**, [s.d.]. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/fotoElec/aFotoElecText.htm>. Acesso em: 28 set. 2021.

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 Federal de Feira de Santana, Salvador, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/16020>>. Acesso em: 08 dez. 2021.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E M ROGANTE, S. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração e interpretação de dados**. 3. Ed. São Paulo: Atlas, 1996.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E M ROGANTE, S. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

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. Disponível em: <<https://www.br-ie.org/pub/index.php/rbie/article/view/2203/1966>>. Acesso em: 04 out. 2021.

MEDEIROS A.; MEDEIROS C. M. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino de Física, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2 p. 87-90, 2002. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v24_77.pdf>. Acesso em: 01 set. 2021.

PhET – Physics Education Technology. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric>. Acesso em: 14 set. 2021.

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: ABRAPEC.

PINTO, S. S. **Uma Simulação sobre o Efeito Fotoelétrico**. Monografia (Especialização) - Curso de Licenciatura em Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/8235/1/SSPinto.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2021.

SANTOS, G. H.; ALVES, L.; MORET, M. A. Modellus: Animações Interativas mediando a Aprendizagem Significativa dos Conceitos de Física no Ensino Médio. **RICAM Revista Interdisciplinar de Ciências Aplicadas à Atividade Militar**, v. 1, n. 2, p. 83-102, 2006. Disponível em: <<http://www.ebrevistas.eb.mil.br/RICAM/article/view/2879/2319>>. Acesso em: 05 out. 2021.

SELWYN, N. O uso das TIC na educação e a promoção de inclusão social: uma perspectiva crítica do Reino Unido. **Educação Social**, Campinas, v. 29, n. 104, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/es/a/nYFkRnh3SLHWGLbTYQ7bVLf/?lang=pt>>. Acesso em: 01 dez. 2021.

SILVA, F. C. S; PEIXOTO, G. T. B. Percepção dos professores da rede estadual do Município de São João da Barra - RJ sobre o uso do Google Classroom no ensino remoto emergencial. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 10, 2020. Disponível em: <https://redib.org/Record/oai_articulo3006343-percep%C3%A7%C3%A3o-dos-professores-da-rede-estadual-do-munic%C3%ADpio-de-s%C3%A3o-jo%C3%A3o-da-barra--rj-sobre-o-uso-do-google-classroom-ensino-remoto-emergencial>. Acesso em: 14 dez. 2021.

Só Física. Efeito fotoelétrico. **Virtuous Tecnologia da Informação**, 2008-2021. Disponível em: <https://www.sofisica.com.br/conteudos/fisicamoderna/FisicaQuantica/efeito_fotoelet_rico.php>. Acesso em: 23 set. 2021.

Todos Pela Educação. Ensino a Distância na Educação Básica frente à Pandemia da Covid-19, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.todospelaeducacao.org.br/_uploads/_posts/425.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2021.

UNESCO. Global Monitoring of school closures caused by COVID-19 – 2020. Disponível em: <<http://data.uis.unesco.org/>>. Acesso em: 13 dez. 2021.

UNICEF. Covid-19: Mais de 95% das crianças estão fora da escola na América Latina e no Caribe – 2020. Disponível em: <<https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/covid-19-mais-de-95-por-cento-das-criancas-fora-da-escola-na-america-latina-e-caribe>>. Acesso em: 13 dez. 2021.

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. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v24_87.pdf>. Acesso em: 02 set. 2021.

VIANNA, C. J. E ALVARENGA, K. B. O uso das mídias no ensino de física sob a perspectiva de artigos em revistas especializadas. In: **Anais do II Seminário de Educação Comunicação, Inclusão e Interculturalidade**. São Cristóvão, Sergipe, 2009.

WANG, C. B. **Techno vision II**. São Paulo: Makron Books, 1998.