

FÍSICA MODERNA PARA O ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM DO EFEITO FOTOELÉTRICO COM A METODOLOGIA SIMULADA EM PLATAFORMA DIGITAL

José Estanislau Sant'Anna de Souza

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Amazonas e do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:

Dra. Rita de Cassia Mota Teixeira de Oliveira

Manaus

2021

FÍSICA MODERNA PARA O ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM DO EFEITO FOTOELÉTRICO COM A METODOLOGIA SIMULADA EM PLATAFORMA DIGITAL

José Estanislau Sant'Anna de Souza

Orientadora:

Dra. Rita de Cassia Mota Teixeira de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Amazonas e do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Profa. Dra. Rita de Cassia Mota Teixeira de Oliveira

Prof. Dr. Fábio Gomes Ribeiro

Prof. Dr. Marcio Gomes da Silva

Manaus

2021

S586p SOUZA, José Estanislau Sant'Anna de

Física Moderna para o Ensino Médio: Uma abordagem do efeito Fotoelétrico com a Metodologia simulada em plataforma digital / José Estanislau Sant'Anna de Souza - Amazonas: UFAM / IFAM, 2020.

viii, 77 f.: il.; 30cm.

Orientador: Rita de Cassia Mota Teixeira de Oliveira

Dissertação (mestrado) – UFAM/UFAM / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2019.

Referências Bibliográficas: f. 74-77.

1. Ensino de Física Moderna. 2. Radiação do Corpo Negro. 3. Efeito Fotoelétrico. I. Souza, José Estanislau Sant'Anna de. II. Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Física e Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Efeito Fotoelétrico: Conceitos e Experimentos.

À minha família e amigos,
em especial à minha filha Juliana
Guimarães Sant'Anna pela
paciência e compreensão nos
momentos em que estive ausente me
dedicando a este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por me dar forças para continuar este trabalho. Agradeço à minha orientadora Dra. Rita de Cássia pela oportunidade de compartilhar comigo os seus conhecimentos, fundamentais ao desenvolvimento deste trabalho, por acreditar em mim, e me dar a oportunidade de crescer como ser humano e como profissional. Também a todos os professores que me deram aula ou que dividiram comigo um pouco do seu tempo, em especial ao Prof. Dr. Marcio Gomes da Silva, coordenador do Polo VI. À Sociedade Brasileira de Física (SBF) e a UFAM / IFAM pela oportunidade de elevar meu conhecimento através da implantação do programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Ao meu professor Benedito dos Santos Xavier, que soube ensinar e cobrar as letras da matemática.

Aos meus amigos que adotei como família, Fernando, Hileia e Guilherme, onde parte esclareceram e contribuíram para o andamento deste projeto.

A todos os funcionários da universidade e do Instituto, pelo carinho e atenção. e a todos os colegas da turma 2019 do MNPEF pela convivência durante esta etapa de nossas vidas.

RESUMO

FÍSICA MODERNA PARA O ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM DO EFEITO FOTOELÉTRICO COM A METODOLOGIA SIMULADA EM PLATAFORMA DIGITAL

José Estanislau Sant'Anna de Souza

Orientadora:

Dra. Rita de Cassia Mota Teixeira de Oliveira

Qualificação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Sociedade Brasileira de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O Respectivo trabalho tem como objetivo, a adequação de conteúdos de Física Moderna, particularmente o Efeito Fotoelétrico, que faz parte do conteúdo programático da disciplina de física do terceiro ano do ensino médio, por uma perspectiva metodológica de sequências didáticas, utilizando experimentos de forma virtual, simuladores virtuais e construção de placas de energia solar, essas ações serão complementares ao livro didático, considerando que este trabalho é utilizado com dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). É bem provável que vivamos num mundo interconectado, sendo que as mídias e/ou aplicativos são corriqueiras na sociedade. Para tanto, temos que ter conhecimento dos conceitos físicos que envolvem o funcionamento das referidas tecnologias, porém, não são sempre incluídos na linguagem dos alunos. Em nossa proposta para sanar este problema e acompanhar, principalmente a evolução da tecnologia, consideramos que o Ensino de Física não pode censurar temas abordados no Ensino Médio, simplificando assim conceitos de Física Moderna e Contemporânea. A possibilidade de utilizar plataformas digitais, como simulações computacionais *on-line*, quando se aborda conteúdos que nas Escolas Públicas não possuem recursos, para construir seus laboratórios, mesmo sendo multidisciplinares. Uma das alternativas viáveis para enfrentar estas condições, montamos uma sequência didática centrada em utilização virtual dos fenômenos apresentados pela Física Moderna, como é o caso do Efeito Fotoelétrico. Na fase de avaliação, utilizamos um conjunto de questões que levam em consideração o conhecimento prévio dos alunos quanto aos conteúdos abordados e visam despertar o interesse a respeito dos temas, abordando a importância que as aulas práticas têm

na vida do aluno do Ensino Médio, oportunizando o conhecimento dos mecanismos educacionais, os objetivos e os seus significados.

Palavras-chave: Física Moderna; Efeito fotoelétrico; Aulas Virtuais; Ensino de Física; Sequência Didática.

ABSTRACT

MODERN PHYSICS FOR HIGH SCHOOL: AN APPROACH TO THE PHOTOELECTRIC EFFECT WITH SIMULATED METHODOLOGY IN DIGITAL PLATFORM

José Estanislau Sant'Anna de Souza

Advisor: Dra. Rita de Cassia Mota Teixeira de Oliveira

Master's qualification submitted to the Brazilian Society of Physics Graduate Program in the Professional Master's Course in Physics Teaching (MNPEF), as part of the necessary requirements to obtain the title of Master in Physics Teaching.

The Respective work has as objective, the adequacy of contents of Modern Physics, particularly the Photoelectric Effect, which is part of the syllabus of the physics discipline of the third year of high school, from a methodological perspective of didactic sequences, using experiments in a virtual way., virtual simulators and construction of solar energy boards, these actions will be complementary to the textbook, considering that this work is used with the dissertation of the National Professional Master in Physics Teaching (MNPEF). It is very likely that we live in an interconnected world, and media and/or applications are commonplace in society. For that, we have to have knowledge of the physical concepts that involve the operation of these technologies, however, they are not always included in the students' language. In our proposal to solve this problem and follow, mainly, the evolution of technology, we consider that Physics Teaching cannot censor topics covered in High School, thus simplifying concepts of Modern and Contemporary Physics. The possibility of using digital platforms, such as online computer simulations, when dealing with content that in Public Schools do not have resources, to build their laboratories, even though they are multidisciplinary. One of the viable alternatives to face these conditions, we set up a didactic sequence focused on the virtual use of the phenomena presented by Modern Physics, as is the case of the Photoelectric Effect. In the evaluation phase, we use a set of questions that take into account the students' prior knowledge of the contents covered and aim to arouse interest in the themes, addressing the importance that practical classes have in the life of high school students, providing opportunities for knowledge of educational mechanisms, objectives and their meanings.

Keywords: Modern Physics; Photoelectric effect; Virtual Classes; Teaching Physics; Following teaching

Manaus
2022

Lista de Símbolos:

V – Voltímetro

V_{ext} – Voltagem externa

E – Emissor de radiação E

\vec{E} – Campo elétrico

ν – Frequência de onda eletromagnética

C – Coletor

V_{dpe} – Diferença de potencial de contato

V_0 – Potencial de corte

e – Carga eletrônica

$K_{m\acute{a}x}$ – Energia potencial dos fotoelétrons

S. I. – Sistema Internacional

h – Constante de Planck

J – Joule

s – Segundo

Φ – Função trabalho

σ – Constante de Stefan-Boltzmann

T – Temperatura absoluta

λ – Comprimento de onda

K – Kelvin

m^2 – Metro quadrado

cm^2 – Centímetro quadrado

W – Watt

ε – Emissividade do material

$R(\lambda)$ – Radiância espectral

$\lambda_{m\acute{a}x}$ – Comprimento de onda para qual a radiância é máxima

μm – micrômetro

rad – Radiation Absorbed dose

Gy – Gray

Sv – Sievert

Kg – Quilograma

mm – milímetro

Pb – chumbo

g – Grama

cm^3 – Centímetro cúbico

Z – Número atômico

C_{14} – Carbono 14

$^{\circ}C$ – Grau Celsius

Na – sódio

C – Carbono

Cd – cádmio

Ag – prata

Pt – platina

Mg – magnésio

Ni – níquel

Se – selênio

Pb – chumbo

CN – Corpo Negro

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

Sumário

INTRODUÇÃO	14
APRESENTAÇÃO À FÍSICA MODERNA	18
2.1 <i>INSPEÇÃO DA LITERATURA</i>	18
2.2 <i>CONTEXTO HISTÓRICO</i>	18
2.3 <i>A CONSTANTE DE PLANCK E A ORIGEM DA FÍSICA MODERNA</i>	19
2.4 <i>A LEI DE STEFAN-BOLTZMANN</i>	34
2.5 <i>RADIÂNCIA ESPECTRAL</i>	34
2.6 <i>A LEI DE DESLOCAMENTO DE WIEN</i>	35
2.7 <i>PROCEDIMENTO DE PLANCK</i>	35
2.8 <i>LEI DE WIEN</i>	38
2.9 <i>DETERMINAÇÃO DE PLANCK</i>	38
2.10 <i>LEI DE PLANCK</i>	39
2.11 <i>APLICAÇÃO: RADIAÇÃO CÓSMICA DE FUNDO</i>	41
2.12 <i>EFEITO FOTOELÉTRICO</i>	41
METODOLOGIA	49
3.1 <i>EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA</i>	49
3.2 <i>SEQUÊNCIA DAS APLICAÇÕES</i>	50
3.3 <i>QUAL O PAPEL DO PROFESSOR NESTE TRABALHO</i>	51
3.4 <i>INSERÇÃO DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO</i>	52
3.5 <i>AS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO E INFORMAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA</i>	54
3.6 <i>APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE JEROME BRUNER</i>	56
3.7 <i>DESCRIÇÃO DOS ESTÁGIOS DE JEROME BRUNER PARA O ENSINO</i>	59
3.8 <i>DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS: PROPOSTAS DIDÁTICAS PARA APLICAÇÃO EM SALA DE AULA</i>	61
APLICAÇÃO DO PRODUTO	63
4.1 <i>ATIVIDADE NA PANDEMIA</i>	63
4.2 <i>LOCAL DO EXPERIMENTO</i>	63
4.3 <i>RELATO DA APLICAÇÃO DA PROPOSTA DIDÁTICA</i>	64
4.3.1 <i>Conteúdo</i>	64
4.3.2 <i>Duração</i>	64
4.3.3 <i>ESA 1: Apresentação da proposta</i>	65
4.3.4 <i>ESA 2: Revisão de Conteúdo e Conhecimento</i>	67
4.3.5 <i>ESA 3: Aplicação do Conhecimento do ESA 2</i>	68
RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	70
5.1 <i>PERFIL DA ESCOLA</i>	70
5.2 <i>PESQUISA COM OS ALUNOS</i>	70
5.3 <i>ESCOLHA DA TURMA</i>	72
5.4 <i>ANÁLISES ESTATÍSTICAS</i>	72
CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS	81
APÊNDICE A - PROGRAMAÇÃO NO IDE ARDUÍNO	84
APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DOS DISCENTE	86
APÊNDICE C – PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO DOS EXPERIMENTOS A SEREM UTILIZADOS PELO PROFESSOR.	88
APÊNDICE D – RESPOSTA DOS ALUNOS AO CONTEÚDO APRESENTADO	90
APÊNDICE E – PORTARIAS DO MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA.	96
APÊNDICE F – MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA.	102

Lista de Figuras

Figura 1 William Herschel ao lado do seu Experimento.	21
Figura 2 Representação de um CN onde a radiação externa à cavidade e que penetra pelo Orifício é absorvido nas paredes internas (M.M.M, C.S., D. G. M., & V. C. , 2014).	22
Figura 3 A largura da seta são proporcionais às quantidades envolvidas parcela refletida pelo corpo quente é maior que refletida pelo corpo frio - compensação.	23
Figura 4 Fornalha A com orifício voltado para o orfício da fornalha B, depois que se igualam.	24
Figura 5 Emissão de radiação na camada de uma esfera.	26
Figura 6 Representação de hemisfério para o calculo de integral.	27
Figura 7 Espectro de emissão de um corpo negro a temperatura de 5000 K.	31
Figura 8 Curva de radiância espectral da radiação de cavidade em 3 temperaturas diferentes, à medida que a temperatura cresce, o comprimento de onda com o máximo comprimento de onda se desloca para valores mais baixos.	35
Figura 9 Diagrama usado por Lenard para observar o Efeito Fotoelétrico e provar que as partículas emitidas são os elétrons.	44
Figura 10 fotocorrente I em função da tensão do anodo V para a luz de frequência de duas intensidades I1 e I2, fonte: Paul A. Tipler e Llewellyn.	44
Figura 11 Para I constante e duas frequências f1 e f2, como $f_2 > f_1$, a interpretação do efeito sugere que o valor absoluto da tensão do corete deve ser maior para f2, o que é confirmado pelos resultados experimentais, fonte: Paul A. Tipler e Llewellyn.	44
Figura 12 Energia potencial dos elétrons nas proximidades da superfície de um metal.	45
Figura 13 Dados obtidos por Millikan para o potencial de corte em função da frequência, fonte: Paul A. Tipler e Llewellyn.	46
Figura 14 Hieraquirzação dos tópicos a ser trabalho em sala de aula, usando a Física Moderna. ..	54
Figura 15 Plataforma do site Tinkercad.	66
Figura 16 Parte interna do Tinkercad, neste temos estruturas montadas.	66
Figura 15 Plataforma do site Tinkercad.	67
Figura 17 Modelo de montagem interna como um laboratório virtual.	67
Figura 15 Plataforma do site Tinkercad.	67
Figura 18 Representação do processo de reestruturação do roteiro de atividades.	71
Figura 19 Resultado da turma "A" e "B" para exercícios avaliativos.	73
Figura 20 Resposta da questão 01, a pergunta está no Apêndice B.	74
Figura 21 Resposta da questão 2, apêndice B.	74
Figura 22 Resposta da questão 3, apêndice B.	75
Figura 23 Responsta da questão 4, apêndice B.	75
Figura 24 Resposta da questão 5, apêndice B.	76
Figura 25 Resposnta da questão 6, apêndice B.	76
Figura 26 Resposta da questão 7, apêndice B.	77
Figura 27 Resposta da questão 8, Apêndice B.	77
Figura 28 Resposta da questão 9, Apêndice B.	78
Figura 29 Resposta da questão 10, Apêndice B.	78
Figura 30 Apresentação do nível de aprendizagem dos alunos.	92
Figura 31 Desenvolvimento e habilidade no conteúdo abordado.	92
Figura 32 Entendimento dos alunos sobre o Efeito Fotoelétrico.	94
Figura 33 Compreensão dos alunos sobre o material apresentado tanto em vídeo quanto powerpoint.	95

Lista de equações

Equação 1 Densidade Eletromagnética	24
Equação 2 Densidade de Energia.	24
Equação 4 Densidades de energia sendo igualadas matematicamente.	25
Equação 5 Pressão da reflexão da radiação.	26
Equação 6 Pressão da absorção total da Radiação do Corpo Negro.	27
Equação 7 Energia total de um corpo.	28
Equação 8 Distribuição Termodinâmica da Densidade de energia do CN.	28
Equação 9 Dependência da densidade de energia de CN.	28
Equação 10 Análise adimensional da densidade de energia do CN.....	29
Equação 11 Distribuição por análise adimensional da densidade do corpo negro.....	30
Equação 12 Valores encontrados dos expoentes que correspondem a cada componente da equação provisória.	30
Equação 13 A análise adimensional no formato experimental da densidade de energia do CN.....	30
Equação 14 Análise feita por Wien usando a equação da densidade de energia.	31
Equação 15 Dedução final de Wien para o deslocamento de energia.	32
Equação 16 Lei de deslocamento de Wien.....	33
Equação 17 Equação de oscilação no eixo x.....	36
Equação 18 Energia Espectral total.	37
Equação 19 Distribuição na Termodinâmica com a Densidade de Energia.	37
Equação 20 A densidade de energia por Wien e Jeans	38
Equação 21 Deslocamento de Wien isolando a temperatura.	38
Equação 22 Relação Termodinâmica para altas frequências.....	38
Equação 23 Rayleigh-Jeans para frequências baixas, visto pela Termodinâmica.	38
Equação 24 Densidade de energia, a forma como Planck deduziu.	39
Equação 25 Densidade de energia para altas e baixas frequências.....	40
Equação 26 Unificação da equação para alta e baixas frequências, ou seja, essa é a equação de Planck.	40
Equação 27 Equação do Efeito Fotoelétrico.	45
Equação 28 Frequência mínima.	46
Equação 29 Energia Potencial.	47
Equação 30 Equação do Efeito fotoelétrico com a função trabalho.....	47
Equação 31 Potencial de Corte do potencial elétrico.....	48

Lista de tabelas

Tabela 1 Substituição de unidade adimensional para encontrarmos os expoentes referentes.	30
Tabela 2 Distribuição dos expoentes que correspondem a cada componente da equação sugerida. ...	30
Tabela 3 Valores de função trabalho para alguns elementos.	46
Tabela 4 Resumo de atividades executada.	65
Tabela 5 Componentes usados para as automações com suas respectivas características e funções.	88

INTRODUÇÃO

Fatos importantes que contribuíram para a descobertas da Física Moderna, sendo apresentados diversos experimentos que marcaram na história no desenvolvimento da ciência, citamos os forneceram uma compreensão sobre a estrutura da matéria e dos átomos e também sobre a natureza da luz, seguimos como exemplo a descoberta a existência dos raios X, um tipo invisível de radiação extremamente penetrante, em 1895, Wilhem Röntgen; descobriu a existência da radioatividade, em 1896 por Antoine Becquerel (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994).

Na passagem do século, em 1900, o físico alemão Max Planck, propôs que a energia carregada pelo campo eletromagnético, sendo apresentada em valores quantizados, múltiplos inteiros de uma quantidade mínima é constante. Nesta mesma ótica, em 1905, por meio da sua teoria da relatividade, Albert Einstein mostrou que referenciais que se movem com velocidades muito altas, próximas à velocidade de propagação da luz, experimentam a passagem do tempo e a medida das distâncias de maneiras diferenciadas (TIPLER, 2006).

Niels Bohr em 1913, propôs que os níveis de energia dos elétrons estão espalhados ao redor dos núcleos atômicos, isto é, sua energia é dada por um múltiplo inteiro de um valor mínimo. Em 1924, a dualidade onda-partícula, estabelecida pelo físico Louis De'Broglie, mostrou que qualquer corpo pode comportar-se como uma onda. Então, nestes termos, em meados de 1926, surge a Mecânica Quântica, tal fato é resultado do trabalho de físicos como Werner Heisenberg e Erwin Schrödinger (ISSACSON, 2007).

Os subsídios em que a Física Moderna conseguiu explorar muito o mundo microscópico e as grandes velocidades relativísticas, fornecendo explicações para diversos fenômenos físicos que eram, não compreendidos (BAKER, 50 ideias da física quântica que você precisa conhecer, 2015).

Os conceitos da Física Moderna que surpreenderam e revolucionaram a Ciência, até hoje os seus conceitos são utilizados no Ensino Médio, atribuindo aos professores, destaque ao tema, contudo na maioria dos casos, são mencionados somente nos capítulos finais do livro do Ensino Médio, sendo em pequenas inserções de conteúdo e com pouca abrangência. Terrazan quando cita nos livros de Física do Ensino Médio utilizados no Brasil, mesmo os que se baseavam nos “manuais estrangeiros de ensino de Física utilizados no século passado”

(TERRAZZAN, 1992)- neste caso, o século XIX. Tais manuais limitavam-se à divisão clássica da Física em Mecânica, Física Térmica, Ondas, Óptica e Eletromagnética. Nos dias atuais é possível encontrar, com frequência, tópicos superficiais da física moderna em livros destinados ao ensino da Física.

A consolidação no final do século XIX para a Física Moderna e na primeira metade do século XX, nos quais foi palco de uma revolução que mudou a forma de interpretar o mundo físico. Assim que se tornou mais fundamentado, acabou sendo transposto aos diferentes níveis de ensino, obtendo maior inserção nos níveis universitários.

Delineando novas tendências tecnológicas é importante que possamos inserir juntos aos professores de Ensino Médio – EM, para que possa refletir sobre a problemática e colhendo subsídio em que possa ser estabelecidos na programação do Ensino de Física – EF, que seja incluídos tópicos de Física Moderna no Ensino Médio, apresentam-se inúmeros trabalhos, que sugerem conteúdos pontuais e específicos no currículo do Ensino Médio. Uma das preocupações dos pesquisadores da época, estava relacionado à própria agregação destes conteúdos na forma curricular para o Ensino e, uma outra, frisava a necessidade desses conteúdos serem “apresentados sob um ponto de vista mais moderno” (TERRAZZAN, 1992). Os caminhos que levam em conta a Física, enquanto construção humana da formação e do ensino, tendo-se por objetividade o Ensino Médio. Enquanto construção humana, o autor sugere reflexões sobre o nível de aprofundamento no tratamento matemático e na apresentação em relação às teorias clássicas, indicando a possível inserção do assunto na discussão dos limites da Física Clássica. A situação precária em termos de formação de profissionais e alunos em relação à Física, não mudou ou se agravou da última década do século XX para esta segunda década do século XXI. Conhecer o problema, remete à contribuição que propiciará a estes profissionais carentes de formação e informação. Devemos ter em mente que, possivelmente, a maioria dos educandos que frequentam os bancos escolares, que optam por formações humanas, que excluem o cálculo, não tenham frustração ou aversão a estas disciplinas.

A Lei de Diretrizes e Base da Educação (LDB, 1996) ressalta que o ensino médio com etapa final da educação básica que deve completar o aprendizado e o desenvolvimento do discente, iniciado no ensino fundamental, passa para todos e não apenas para aqueles que continuarão seus estudos nas universidades. Nestes termos, uma proposta para o ensino de Física Moderna com o tema Efeito Fotoelétrico, deverá responder à alguns questionamentos feitos por quaisquer pessoas:

1. Quais devem ser os objetivos e as metas do Ensino Médio?
2. Quais devem ser as contribuições específicas do Ensino de Física Moderna para a formação dos jovens?
3. Como integrar o ensino de Física Moderna aos esforços de outras disciplinas

para formar competências e habilidades básicas e necessárias à vida cidadã?

Considerando que os questionamentos não devem ser considerados as especificidades da Física Moderna como ciência, como ensinar escolhas que prioritariamente devem ser ensinadas. As escolhas precisam de uma tomada de decisão nas instituições educacionais, sendo considerado a autonomia e flexibilidade curricular, em que são aspectos fundamentais de transformação do meio para os professores de física.

Em conformidade às Diretrizes Nacionais para o Ensino Médio (LDB, 2018), a Física Moderna está incluída no currículo da Base Nacional Comum, na área de Ciências Naturais e suas Tecnologias. A diversidade de possibilidades normalmente é apresentada para incluir a ciência da Física Moderna, no currículo escolar, sendo apresentadas várias correlações entre níveis de compreensão pelo público e para um bom desenvolvimento econômico.

Apresentando os termos, a visão que expressam um argumento de participação de um indivíduo, pressupõe-se a compreensão em Ciência, alcançada com a inclusão desta disciplina na grade de ensino. As habilidades de ensino favorecem o ensino que podem contribuir com satisfação na realização de tarefas e a capacidade de aprender a partir de manuais técnicos.

Devemos desenvolver no ensino de Física Moderna aqueles conhecimentos, habilidades e valores que tenham potencial para aumentar a capacidade dos jovens de interferir na criatividade no mundo. Os conceitos de Física Moderna podem contribuir muito para a formação do jovem, visto a característica apresentada a seguir:

- Lidar com conhecimento universais e particulares;
- Estabelecer claramente limites de validade e aplicabilidade destes conhecimentos;
- Construir explicações racionais para eventos vivenciados;
- Expandir a imaginação, ao lidar com o microscópico e macroscópico, aumentando a capacidade de lidar com tangível e o intangível;
- Usar conhecimento empíricos articulando vínculos essenciais entre eles;
- Estabelecer o que é possível e o que é impossível, no que diz respeito aos fenômenos naturais e ao funcionamento de dispositivo tecnológico.

Considerando o Efeito Fotoelétrico e da radiação do Corpo Negro, sendo cada um desse interligados com conteúdo, para que possa ser apresentado aos alunos da melhor maneira possível, foi empregado uma metodologia a ser exposta conforme as bibliografias do ensino médio, expor como no ensino superior, a fim de fazer uma comparação entre eles; evidentemente diferentes que resultam em modos para o entendimento.

Como Parâmetro Curricular Nacional que consiste na inovação e ligação do mundo real apresentado pela Física, ao longo da trajetória histórica, as sugestões de algumas mudanças na forma do ensino, tentando estabelecer possíveis soluções para os problemas em ensino de Física Moderna.

E neste trabalho, apresentamos uma alternativa para a realização de nossas atividades, considerando o Ensino híbrido, que é a combinação do aprendizado *on-line* com o *off-line*, essa metodologia apresenta um modelo que mescla momentos em que o discente estuda sozinho, de maneira virtual, com outros em que a aprendizagem ocorre de forma presencial, valorizando a interação entre pares e entre alunos e professor.

A parte presencial, necessariamente com uso da tecnologia, o professor ou tutor se torna o responsável por propor atividades que valorizem a interação interpessoal, propondo trabalhos que envolvam toda a turma ou pode dividir em grupos menores para realizarem projetos.

Com relação ao ensino administrado com o auxílio de recursos digitais, permitindo que o aprendiz tenha controle sobre onde, como, o que é com quem vai estudar, os dispositivos móveis, como *tablets* e celulares facilitam a utilização em diferentes ambientes, criando um leque de possibilidades sobre esse tema, podendo ser desenvolvido em sala de aula, biblioteca, laboratório de informática ou em casa.

Considerando que tenham momentos diferentes, o *on-line* e o presencial, o objetivo do aprendizado híbrido é que esses dois momentos sejam complementares e promovam uma educação mais eficiente, interessando e personalizada. As instituições de ensino podem categorizar as formas como ele vem manifestando as opções de apresentar essa metodologia do aprendizado.

Para tanto, apresentamos uma proposta curricular para o ensino de Física Moderna, especificamente efeito fotoelétrico, no terceiro ano do Ensino Médio, considerando tais ações como:

- Utilizar experimento de forma virtual, como elemento motivador e facilitador da aprendizagem, por meio da interatividade com o objeto de estudo;
- Compreender o Efeito Fotoelétrico com uso de Simuladores virtuais;
- Estimular por meio de experimentos a construção de placas de energia solar, por meio de LED's.

APRESENTAÇÃO À FÍSICA MODERNA

2.1 Inspeção da literatura

Um das formas de confrontarmos os alunos com os conhecimentos da Física que será contextualizada em sala de aula, considerando que pretendemos ter um avanço no Ensino e Aprendizado para o Ensino Médio, para que sejam mais eficazes, temos que fazer alusão aos tópicos de Física Moderna apresentado nos livros didáticos, umas das maneiras necessárias é uma boa revisão do Ensino de Física. Temas que possam abordar para subsidiar: Mecânica, Ondas, Termodinâmica, Óptica e Eletromagnetismo, respaldando assim tópicos da Física Moderna (LIMA, 2018).

2.2 Contexto histórico

Considerando que a Física houve uma transformação significativa após a época de Newton, sendo um marco com a teoria da relatividade, em seu apogeu da física clássica com e a física Quântica, iniciada por Max Planck, no ano de 1900, argumenta que a energia troca-se, na radiação emitida por corpos aquecidos e os átomos da parte sólida estariam quantizados, a descrição matemática do efeito fotoelétrico, estava suposta que a luz torna-se absorvida e emitida em quanta discretos e relacionanda com a frequência da luz (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994).

A natureza quântica da radiação em seu estudo da radiação térmica emitida por corpos considerados negros, conforme descrição, temos que quando a radiação incide sobre um corpo considerado opaco, é visto que parte é refletida e o restante é absorvido. A parte de absorção pode ser descrita da seguinte forma: A radiação absorvida com o aumenta da energia cinética dos átomos existentes no processo, equilibrando-o. Na translação dos átomos, a energia cinética média determina a temperatura do corpo, e a energia absorvida, causando a subida da temperatura. Consequentemente, os átomos emitem radiação eletromagnética, reduzindo assim a energia cinética das oscilações, e reduzir a temperatura por conseguinte (BELICH JUNIOR, 2012).

Historicamente no final do século XIX, acreditava-se que as Leis da Física já estavam todas desvendadas e que a Mecânica Clássica (Newtoniana) e a Termodinâmica, juntamente com o Eletromagnetismo, podiam explicar tudo. No entanto, foi justamente o Eletromagnetismo que trouxe dúvidas sobre o que se conhecia até então. Entre os questionamentos estava a necessidade de um meio (chamado de éter) para as ondas eletromagnéticas se propagarem, o que foi refutado por experimentos mais sensíveis Albert Michelson (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923) em 1887 (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994). O problema do éter foi resolvido por Einstein em 1905 quando ele publicou sua Teoria da Relatividade Especial, que é parcialmente baseada no postulado (e nas evidências do experimento de Michelson-Morley) de que a velocidade da luz é independente da velocidade da fonte que a emite (BAKER, 50 ideias da física quântica que você precisa conhecer, 2015).

No eletromagnetismo, as equações de Maxwell não eram invariantes, este problema logo solucionado pela Teoria da Relatividade Especial de Einstein de 1905, mostrou as transformações galileanas que não definem referenciais inerciais. Em vez disso, a chamada Transformação de Lorentz (BOHM, 2015), propostas independentemente por Lorentz e o físico irlandês George FitzGerald (1851-1901), é a transformação fundamental que desempenha esse papel, essa transformação também reescrita por Einstein em 1905. Presumindo-se que o eletromagnetismo era uma teoria perfeitamente consistente com a relatividade especial e que a Mecânica newtoniana apresentava limitações. Além disso, a incapacidade de explicar a distribuição de energia da radiação do corpo negro, era possível explicar o espectro do corpo negro em frequências baixas e altas, nenhuma teoria poderia explicar a forma de todo o espectro (BOHN, 2015).

2.3 A constante de Planck e a origem da Física Moderna

É suposto que ao definirmos um Corpo Negro, sendo pelo meio ou por uma substância ao absorver a radiação que está sendo incidente sobre este material, vale uma ressalva que não há dependência do comprimento de onda ou sua própria direção. Portanto, a radiação incidente, sempre será refletida ou transmitida, permitindo assim troca com meio externo, reafirmando conceitos da física da termodinâmica, que diz que corpos ao se encostarem, ocasionarão em um equilíbrio térmico, seguindo critérios a seguir:

1. Quando se tratar da termodinâmica não haverá gradiente para a temperatura, ou seja, será constante e homogênea ao Corpo Negro - CN;
2. Quando se tratar da parte mecânica não haverá forças líquidas ou tensões, ou seja, a pressão será constante para todo o CN;

3. Quando se tratar da radiação, o fluxo será sempre constante, em linhas gerais, o fluxo que entra é o mesmo que sai; e
4. Quando se trata da química, todas as reações são balanceadas por uma reação inversa, ou seja, a composição é a mesma em todo o CN.

Para tanto, nesse processo do CN, imaginemos uma abertura em uma de suas paredes, que está sendo confinado em um caixa fechada, a incidência da radiação emitida, será absorvida pela abertura, caracterizaremos que essa radiação emitida pela abertura, denominaremos a radiação do CN tem que seguir as seguintes itens:

- Sendo isotrópica;
- Sendo não polarizada;
- Sendo independente da constituição do corpo
- Sendo dependente da temperatura do corpo e do comprimento de onda.

O espectro de radiação térmica da matéria condensada é um desses problemas que mostram, de forma simples, a natureza quântica do mundo subatômico, manifestada numa escala macroscópica. A apresentação de um modelo para a descrição deste tipo de radiação por Planck, em 1900, é considerada o nascimento da Mecânica Quântica, embora ela realmente só tenha se desenvolvido cerca de 30 anos depois. De fato, como veremos a seguir, a introdução de níveis de energia discretos foi essencial para o sucesso do modelo proposto por Planck (EISBERG, 1979).

Por certo que existem vários métodos que possam ser utilizados para que haja uma melhor determinação da constante de Planck (h), pois existem vários experimentos que comprovam, muitas delas são elementares e outras mais elaboradas, para tanto, temos o Instituto Nacional de Padrão Tecnológico – NIST (National Institute of Standards and Technology) e o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO, que determinam um padrão de massa sendo independente do material de estudo.

2.3 O que é radiação térmica?

Para que possamos entender sobre energia térmica, temos que lembrarmos de processos de energia mecânica, que foi muito bem configurada em conceitos clássicos da física, porém com o desenvolvimento da teoria eletromagnética de Maxwell, pode-se construir conceitos para que possa ser explicado determinados fenômenos calóricos (GONTIJO, 2020).

Em 1800, o astrônomo alemão Sir William Herschel (1738-1822) apresentou um experimento, em que observava as temperaturas das cores, no seu espectro solar conforme figura a seguir, um detalhe que aumentava à medida que estava próximo do espectro vermelho, onde foi determinado a temperatura mais alta para o vermelho, fato que se deu hipótese dos

raios infravermelhos, logo em 1801, o físico alemão Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) esclarece os raios invisíveis do espectro violeta, denominando-os de raios ultravioletas (GONTIJO, 2020).

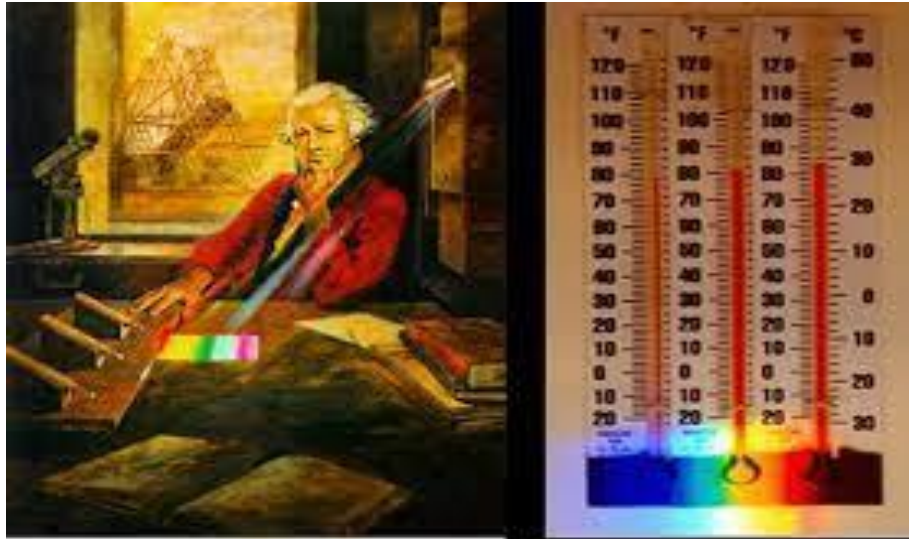


Figura 1 William Herschel ao lado do seu Experimento.

Fonte: <https://natalgeo.blogspot.com/2016/11/>

O físico francês Nicolas Sadi Carnot (1796-1832), em seu livro: “Reflexões sobre a Potência Motriz do Fogo e sobre as Máquinas Próprias para desenvolver essa Potência”, publicado em 1824. Carnot apresenta a máquina de calor, sendo uma máquina ideal e sem atrito, que realizava um ciclo completo, usando somente vapor, mais tarde conhecido como ciclo de Carnot (GONTIJO, 2020).

Embora Carnot, com uma série observações escritas em 1832, comparando a “queda” do calórico em máquinas, ou seja, procurou determinar o equivalente mecânico do calor J , que foi determinado nos experimentos realizadas, no período de 1842 e 1843, pelos ingleses, Julius Robert Mayer (1814-1878) e o físico James Prescott Joule (1818-1889) (GONTIJO, 2020).

A forma inicial da Lei da Conservação da Energia, foi caracterizada pelo físico e fisiologista alemão Hermann von Helmholtz (1821-1894), em 1847, hoje conhecida como a Primeira Lei da Termodinâmica. A produção de trabalho na máquina de Carnot foi assimilada pela realização do trabalhos do físico alemão Rudolf Julius Clausius (1822-1888), quando foi introduzido em 1865, o conceito de entropia (S), e as Leis da Termodinâmica, ficaram compreendidas da seguinte maneira (TIPLER, 2006):

- Primeira lei: A energia do Universo é constante.
- Segunda lei Segunda Lei: A entropia do Universo tende para um máximo.

Ao se afastar do processo de máquinas térmicas, mencionamos à radiação calorífica dos primeiros físicos que preocupados em medir a radiação, o dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851), a experiência sobre a absorção e a emissão da radiação calorífica em placas de sal de rocha, o físico escocês Balfour Stewart (1828-1887), dedziu que: “O poder emissor de cada

espécie de substância é igual ao seu poder absorvedor, para cada espécie de raio (comprimento de onda) do calor radiante” (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994).

Para que possamos compreender a emissão (e) e a absorção (a) do calor dos corpos realizadas, em 1859, pelo físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), quando deduziu a relação entre a função do comprimento de onda (λ) da radiação emitida ou absorvida, para o corpo que tinha uma temperatura T , escrevendo matematicamente, temos: $(e/a)_\lambda = I(\lambda, T)$, na sequência foi inserido o conceito de corpo negro. Salientando-se que Kirchhoff presumia que o resultado de suas pesquisas poderia explicar as raiais de Fraunhofer, analisadas em 1814 (BELICH JUNIOR, 2012).

É a radiação emitida por um corpo em função de sua temperatura. Todos os corpos a nossa volta estão constantemente emitindo e absorvendo radiação térmica; para temperaturas usuais a emissão se dá numa faixa de frequência de infravermelho (10¹² -10¹⁴ Hz), que não é visível (BAKER, 2015).

Se um corpo está mais quente que sua vizinhança a emissão de radiação térmica vai predominar sobre a absorção, e se ele estiver mais frio, a absorção vai predominar. Quando um corpo está em equilíbrio térmico com sua vizinhança a emissão é igual à absorção (lei de Kirchhoff) (EISBERG, 1979).

Nosso senso comum diz que corpo negro é um objeto de cor preta que tem como propriedade absorver praticamente toda a luz incidente sobre ele. Esta definição está perto da definição correta, vamos apenas estendê-la e considerar todo tipo de radiação. Um corpo negro é então, um corpo que absorve toda a radiação incidente sobre ele, ou seja, ele não é capaz de refletir a radiação incidente (CARRON W. G., 2003).

A Radiação do Corpo Negro, também denominada Radiação Térmica, é a radiação emitida por um corpo por causa de sua temperatura, mesmo no escuro, como, por exemplo, a fogueira e filamento de lâmpada incandescente. A radiação do corpo negro é um dos assuntos de Física Moderna que pode ser considerado como uma das descobertas não explicadas pela teoria clássica. O tema corpo-negro refere-se não ao brilho, mas à ausência de refletividade (CARRON W. G., 2003). O Sol e outras estrelas são alguns dos corpos muito utilizados experimentalmente, quando se analisa a radiação do corpo negro. Conforme a figura abaixo, apresenta um esquema da radiação de um corpo-negro (EISBERG, 1979).

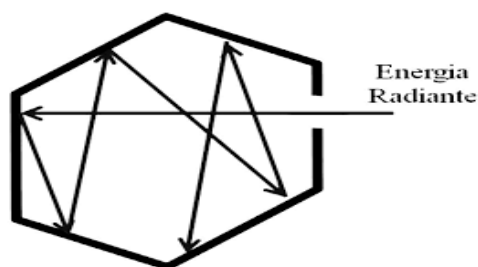


Figura 2 Representação de um CN onde a radiação externa à cavidade e que penetra pelo Orifício é absorvido nas paredes internas (M.M.M, C.S., D. G. M., & V. C. , 2014).

A definição do corpo negro é entendida através da energia radiante que são ondas eletromagnéticas produzidas por meio da aceleração das cargas elétricas. Na organização molecular da matéria, quando ocorre uma “agitação” acompanhada de uma oscilação de cargas elétricas, há a emissão de ondas eletromagnéticas. Isto é, o que se refere como emissão de radiação (BELICH JUNIOR, 2012).

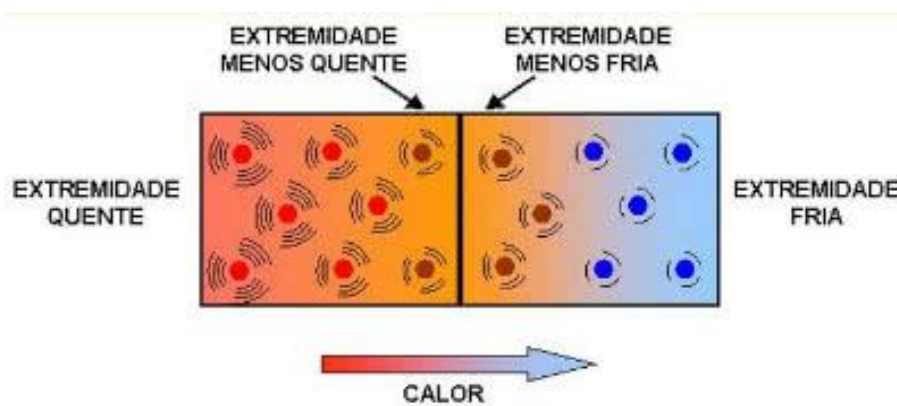


Figura 3 A largura da seta são proporcionais às quantidades envolvidas parcela refletida pelo corpo quente é maior que refletida pelo corpo frio - compensação.

Fonte: <https://www.todamateria.com.br/equilibrio-termico/>

Caso está agitação atômica seja decorrente de uma agitação térmica, a radiação é denominada radiação térmica. Um outro aspecto importante é que os corpos, em geral, absorvem a energia radiante, a qual provoca-lhe aumento na “agitação” molecular e consequentemente acréscimo de temperatura (PRESTES & SILVA, 2013). Diz-se que o corpo está em equilíbrio térmico com o ambiente ao seu redor, quando a sua taxa de emissão de energia radiante é igual à sua taxa de absorção; caso contrário, haveria variação em sua temperatura, violando a hipótese térmica. Então, um bom absorvedor de energia radiante é também um bom emissor. O absorvedor ideal em equilíbrio térmico com o meio ambiente é chamado corpo negro. A figura abaixo representa dois corpos em equilíbrio térmico (EISBERG, 1979).

A quantidade de energia irradiada por unidade de tempo e por unidade de área é chamada de poder emissivo, designado pela letra $R(\lambda)$ – Radiância espectral. Em 1879, Josef Stefan (1835 – 1893) determinou uma relação empírica, demonstrada pouco mais tarde por Ludwig Eduard Boltzmann (1844 – 1893), segundo a qual se verifica que o poder emissivo do corpo negro é proporcional à temperatura absoluta (T) elevada à quarta potência $R(\lambda) = \sigma T^4$. A constante σ , conhecida como constante de Stefan-Boltzmann, vale, no S. I. $\sigma = 5,6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$. A energia irradiada por um corpo não é uniforme quanto ao comprimento de onda. Havendo comprimento de ondas da ordem de aproximadamente $2 \times 10^{-4} \text{ cm}$ a irradiação é máxima (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

No final do Século XIX, alguns físicos se destacaram, Maxwell, Boltzmann, Kirchhoff, Stefan, Jeans, Rayleigh, Einstein e muitos outros, que contribuíram para a criação da Física Quântica. Em destaque foi Planck, que idealizou do eletromagnetismo, pacotes de ondas, em que pode unificar as equações de Wein e Rayleigh-Jeans (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Para que possamos compreender matematicamente, deve-se seguir o princípio eletromagnético, temos que a densidade de energia utilizado é representada por:

Equação 1 Densidade Eletromagnética

$$u = \frac{1}{8\pi}(E^2 + B^2)$$

Considerando que para definirmos uma nova densidade de energia, se faz necessário que atribuamos uma média da equação 1:

$$\bar{u} = \frac{\text{densidade de energia}}{\text{unidade de frequência}} \left(\frac{\text{erg/seg}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$\bar{u}dv = \text{densidade de energia } v + dv$$

Tomando a menor porção para que possa ser identificado integralmente em todos os eixos tomados, temos então:

Equação 2 Densidade de Energia.

$$\int_0^{\infty} \bar{u}dv = u \left(\frac{\text{erg/seg}}{\text{cm}^3} \right)$$

Para que entendamos bem esse processo, temos que voltar no tempo, no ano de 1895, quando então Kirchhoff em suas anotações percebeu que uma fornalha ao qual havia madeira e ferro, percebendo que sua variação de cor era proeminente, mas a questão era, quais componentes mudavam de cor? Então propôs um experimento desta forma, um forma com uma abertura, sendo que haviam dois e que os orifícios estavam de frente um para o outro, emitindo calor, conforme a ceta vermelha apresentado na figura abaixo.

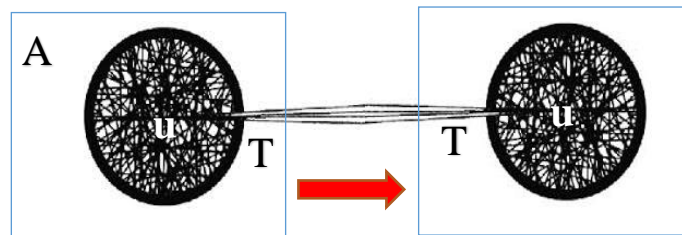


Figura 4 Fornalha A com orifício voltado para o orifício da fornalha B, depois que se igualam.

Fonte: <http://fisicanodiaadia.blogspot.com/2012/02/o-corpo-negro.html>

Contudo, Kirchhoff, tomou as devidas precauções e anotações, ficando desta forma para a densidade, que envolve tanto temperatura quanto frequência:

Equação 3 Densidades de energia sendo igualladas matematicamente.

$$\bar{u}_A(v, T) = \bar{u}_B(v, T)$$

Partindo deste presuposto que a energia migraria de A para B, então a fornalha B ficaria com maior temperatura que a inicial, definida desta forma $T_A > T$. Contudo, percebe-se que isso violaria a segunda lei da Termodinâmica, utilizando a equação 4, para compreende-la:

$$\bar{u}_A(v, T) = \bar{u}_B(v, T)$$

$$\bar{u}_A = \bar{u}_B$$

$$T_A = T_B$$

Chegando a essa dedução, parte para outra observação, considerando que a função universal de densidade de energia para \bar{u} e u , apresenta uma hipose inicial, que não dependeria do corpo, mas apresentando em si, quantidade de movimento, densidade área de contato e incidencia da radiação, bem como a inclinação. Temos que o fluxo se dar por $\Phi = \frac{c}{4\pi}u(T)$, o momento relativistico que dado por $p = \frac{E}{c}$ e gerando a diferença entre os momentos de incidência com o momento refletido $\Delta p = \vec{p} - \vec{p}'$.

Partimos que a força que age no processo é dada por $\bar{F} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$.

$$\bar{F} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \Rightarrow \bar{F} = \frac{\vec{p} - \vec{p}'}{\Delta t} \text{ (i)}$$

Temos para incidencia e par refletida

$$\vec{p} = \frac{u\Delta v}{c} \vec{n} \text{ (ii)}$$

$$\vec{p}' = \frac{u'\Delta v}{c} \vec{n}' \text{ (iii)}$$

Para a velocidade incidencia da radiação, definimos que $\Delta v = Ac\Delta t \cos\theta$ (iv)

Ao substituirmos na primeira equação, as (ii) e (iii), teremos:

$$\bar{F} = \frac{\left(\frac{u\Delta v}{c} \vec{n}\right) - \left(\frac{u'\Delta v}{c} \vec{n}'\right)}{\Delta t}$$

$$\bar{F} = \frac{\frac{\Delta v}{c} (u\vec{n}) - (u'\vec{n}')}{\Delta t}$$

$$\bar{F} = \frac{\Delta v (u\vec{n}) - (u'\vec{n}')}{c\Delta t}$$

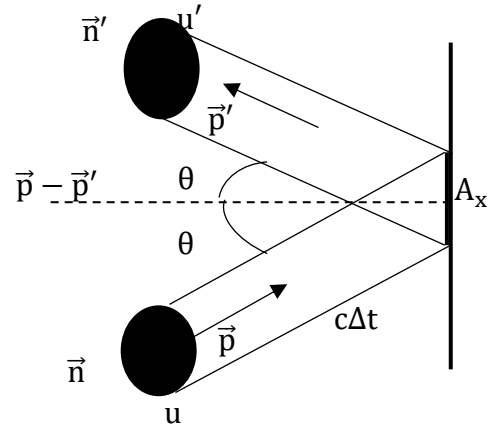
Substituindo agora a equação (iv) na função, termos:

$$\bar{F} = \frac{Ac\Delta t \cos\theta (u\vec{n}) - (u'\vec{n}')}{c\Delta t}$$

Finalizando assim,

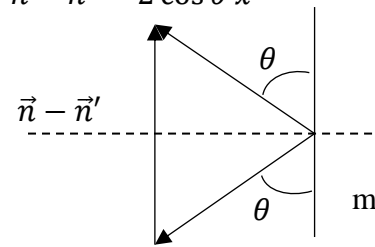
$$\bar{F} = A \cos[(u\vec{n}) - (u'\vec{n}')]]$$

Para tanto, utilizando uma reflexão total, temos que $u = u'$, então a equação:



$$\bar{F} = Aucos[\vec{n} - \vec{n}'](v)$$

Melhorando mais a equação anterior, temos que reanjar as normais, ficando assim:

$$\vec{n} - \vec{n}' = 2 \cos \theta \hat{x}$$


$$\bar{F} = Aucos[\vec{n} - \vec{n}']$$

$$\bar{F} = Aucos[2 \cos \theta \hat{x}]$$

$$\bar{F} = 2Acos^2\theta u$$

Desta forma Kirchoff pode apresentar matematicamente a relação de pressão da reflexão da radiação:

Equação 4 Pressão da reflexão da radiação.

$$P = 2ucos^2\theta$$

Partindo então desta anotação, na figura 4, quando parte-se de uma casaca esférica, pois há relação com a superfície da Terra, para tanto, observamos por outro ângulo esse processo, que mostraremos utilizando a pressão de reflexão da radiação, demonstrado na equação 5.

Observe a figura 4, temos que $\omega = \Omega$, temos que na equação, podemos substituir, ficando assim:

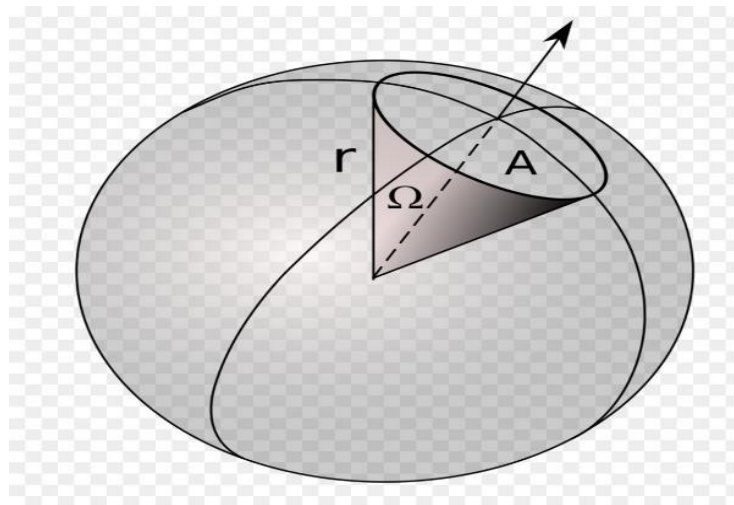


Figura 5 Emissão de radiação na camada de uma esfera.

Fonte: <https://www.gratispng.com/png-j9ycka/>

$$dP = 2cos^2\theta \frac{d\Omega}{4\pi} u$$

Temos que para um hemisfério, podemos então realizar da seguinte maneira o trato matemático:

$$\int dP = \int 2cos^2\theta \frac{d\Omega}{4\pi} u$$

Para duas direções, temos:

$$P = \int_0^\pi \int_0^\pi u \frac{2cos^2\theta}{4\pi} \sin \theta d\theta d\varphi$$

Considerando que $w = \cos \theta$

$$dw = -sen \theta d\theta \rightarrow -dw = sen \theta d\theta$$

$$P = \frac{u}{2\pi} \int_0^\pi \int_0^\pi w^2 (-dw) d\varphi$$

$$P = -\frac{u}{2\pi} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} w^2 dw d\varphi$$

$$P = -\frac{u}{2\pi} \int_0^\pi \left(\frac{w^3}{3}\right)_0^{2\pi} d\varphi$$

$$P = \frac{u}{2\pi} \int_0^\pi \left(\frac{\cos^3\theta}{3}\right)_{2\pi}^0 d\varphi$$

$$P = \frac{u}{2\pi} \frac{1}{3} \int_0^\pi (\cos^3 0 - \cos^3 \pi) d\varphi$$

$$P = \frac{u}{2\pi} \frac{1}{3} \int_0^\pi 2 d\varphi$$

$$P = \frac{u}{\pi} \frac{1}{3} \int_0^\pi d\varphi$$

$$P = \frac{u}{\pi} \frac{1}{3} \varphi_0^\pi$$

$$P = \frac{u}{\pi} \frac{1}{3} (\pi - 0) \rightarrow P = \frac{u}{\pi} \frac{1}{3} (\pi)$$

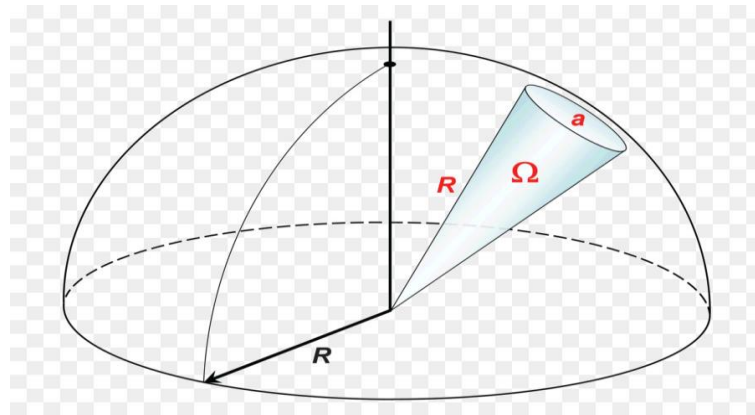


Figura 6 Representação de hemisfério para o calculo de integral.

Fonte: <https://www.freepng.es/png-xvhavu/>

Por fim temos, podemos apresentar a pressão total da absorção da radiação deduzida por Kirchhoff:

Equação 5 Pressão da absorção total da Radiação do Corpo Negro.

$$P = \frac{u(T)}{3}$$

Desta forma forma podemos para a radiação do CN, contudo usaremos as leis da Termodinâmica, para que os calculos possam ser compreendidos, para tanto temos a equação da energia total:

Equação 6 Energia total de um corpo.

$$U = Vu(T)$$

Temos que o volume está envolvido pela pressão, por isso temos trabalho, segue a descrição:

$$dV \rightarrow dW = PdV$$

Substituindo na equação do trabalho a equação 6, temos:

$$dW = \frac{u(T)}{3} dV \rightarrow dW = \frac{u}{3} dV$$

Mas para tanto lembrando que o trabalho está relacionado a entropia (S), ficando assim:

$$dW \rightarrow dS = \frac{dU + dW}{T}$$

Por sua vez, ao substituimos os termos, teremos:

$$dS = \frac{u}{T} dV + \frac{V}{T} \frac{du}{dT} dT + \frac{u}{3T} dV$$

Organizando os termos, temos:

Equação 7 Distribuição Termodinâmica da Densidade de energia do CN.

$$dS = \frac{4u}{3T} dV + \frac{V}{T} \frac{du}{dT} dT$$

Todavia a variação da entropia, faz com que seja uma diferencial exata, lembramos da seguinte expressão:

$$df = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy$$

Vimos que pode ser feito um reanjo, ficando assim:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x}$$

$$dS = \frac{4u}{3T} dV + \frac{V}{T} \frac{du}{dT} dT$$

$$\frac{1}{dT} \left(\frac{4u(T)}{3T} \right) = \frac{1}{T} \frac{du}{dT}$$

Organizando as equações:

$$\frac{4}{3T} \frac{du}{dT} - \frac{4u}{3T^2} = \frac{1}{T} \frac{du}{dT} \rightarrow 4 \frac{u}{T}$$

Para tanto, substituindo na equação, teremos:

$$\frac{du}{u} = 4 \frac{dT}{T} \rightarrow \ln u = \ln T^4 + C$$

Onde historicamente, chega parcialmente a equação da radiação espectral:

Equação 8 Dependência da densidade de energia de CN.

$$u = aT^4$$

Um resultado sobre a radiação térmica, desenvolvido pelo físico austríaco Josef Stefan (1835-1893), no ano de 1879, realizou experimentos que determinavam a velocidade dos corpos ao esfriarem, medindo também a área sob as curvas do espectro radiante e, chegou empiricamente à seguinte lei: $R \propto T^4$, sendo que R é intensidade da radiação (energia por unidade de área e por unidade de tempo) emitida por um corpo para uma temperatura T, conforme demonstrada na equação 9 (GONTIJO, 2020).

A primeira demonstração matemáticas da lei de Stefan, demonstrada por Boltzmann ao considerando que, em 1884, a radiação eletromagnética dentro de um CN, usando um gás, usando a termodinâmica de Carnot e os princípios eletromagnética de Maxwell. Boltzmann mostrou que $R(\lambda) = \sigma T^4$, onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann.

Considerando que no fluxo da radiação mencionado anteriormente, mas sendo lembrado a, temos que:

$$\Phi = \frac{c}{4\pi} u$$

Substituindo com a equação 9 no fluxo, teremos:

$$\Phi = \frac{c}{4\pi} a T^4$$

onde foi determinado o tatla da curva espectral, contudo, faltava a curva propriamente dita:

$$R(\lambda) = \sigma T^4 \left(\frac{\text{quantidade de energia}}{\text{área e tempo}} \right)$$

Encontrando assim o valor da constante:

$$\sigma = 5,7 \times 10^{-5} \text{ erg/cm}^2 \text{ sK}^4$$

Contudo para o flxudo da energia $R(\lambda) = \sigma T^4$, temos a relação da integral de proporcionalidade para a densidade de energia e temperatura.

$$u = \int_0^{\infty} \bar{u}(\nu, T) d\nu \propto T^4$$

Uma outra melhor compreensão deste desenvolvimento que se dá análise espectral pela análise adimensional, assim compreender por um outro processo que envolva as seguintes unidades, tais como comprimento (L), tempo (t), energia (e) e temperatura (θ), segundo os mesmos parametros da densidade de eneria que se segue abaixo:

Equação 9 Análise adimensional da densidade de energia do CN.

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{et}{L^3}$$

Elaboradamente, vamos considerar uma constante que possa envolver a densidade de energia, comprimento, tempo, energia e temperatura, então, usaremos a letra “pi” no seu estado maiúscula, tal ação é para representar melhor a equação abaixo, que será distribuída em uma

tabela, em que cada célula atribuirá os símbolos conforme mencionada anteriormente. Lembrando que é um processo adimensional.

Equação 10 Distribuição por análise adimensional da densidade do corpo negro.

$$\Pi = \bar{u}v^b T^d c^f k^g$$

Mostraremos em uma tabela comparativa, distribuindo assim os termos envolvidos:

Tabela 1 Substituição de unidade adimensional para encontrarmos os expoentes referentes.

\bar{u}	v	T	c	k
$\frac{et}{L^3}$	t^{-1}	θ	$\frac{L}{t}$	$e\theta^{-1}$

De acordo com a tabela 01, mostra a distribuição de uma análise adimensional para cada componente da equação 11. Consideramos que cada expoente apresenta uma letra relativa à quantidade de repetições, nesta condições podemos montar um total a seguir, que será representado na tabela 02.

Equação 11 Valores encontrados dos expoentes que correspondem a cada componente da equação provisória.

$$\Pi = \frac{et}{L^3} t^{-b} \theta^d \frac{L^f}{t^f} e^g \theta^{-g}$$

Tabela 2 Distribuição dos expoentes que correspondem a cada componente da equação sugerida.

$e:$	$1 + g = 0$	$g = 1$
$t:$	$1 - b - f = 0$	$b = -2$
$L:$	$-3 + f = 0$	$f = 3$
$\theta:$	$d - g = 0$	$d - g = -1$

Em conformidade com os valores dos expoentes extraídos na equação 11, podemos substituir respectivamente e atribuí-lo:

$$\Pi = \bar{u}v^{-2}T^{-1}c^3k^{-1}$$

Colocando em função da densidade de energia, temos:

$$\bar{u}(v, T) = \frac{\Pi v^2 k T}{c^3}$$

Conforme a expressão vista por análise adimensional, na forma experimental temos que $\Pi = 8\pi$, então a equação ficará em novo formato:

Equação 12 A análise adimensional no formato experimental da densidade de energia do CN.

$$\bar{u}(v, T) = \frac{8\pi v^2 k T}{c^3}$$

Mas quando fizer a integral $u \neq T^4$, a frequência cresce rapidamente, causando a Catástrofe do Ultravioleta e não podendo ser explicado na natureza da radiação (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994)

Fundamentados na Física Clássica, os físicos James Hopwood Jeans (1877 – 1946) e John William Strutt (1842 – 1919) encontraram uma expressão para descrever a curva de

distribuição das radiações. Essa expressão descrevia bem os comprimentos de ondas considerados grandes, porém afastava-se muito dos resultados experimentais a partir da radiação ultravioleta, que representa a diferença estabelecida entre o resultado experimental e a teoria clássica na relação existente entre intensidade da radiação e o comprimento de onda, na figura 06, está representando a relação entre os valores da intensidade de radiação com os valores dos comprimentos de onda (CARRON & GUIMARÃES, 2003).

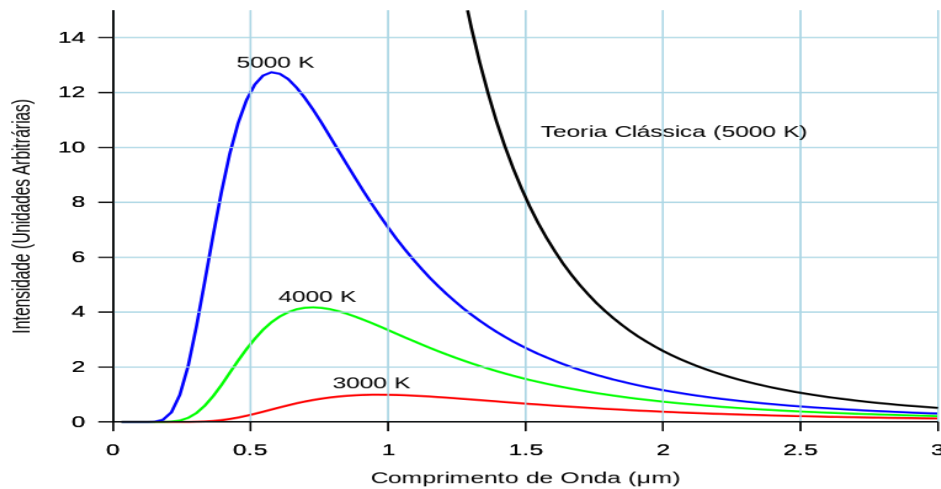


Figura 7 Espectro de emissão de um corpo negro a temperatura de 5000 K.

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Corpo_negro

Observando os resultados apresentado por Kirchhoff, outro físico teórico, ao medir a intensidade da radiação solar para vários comprimentos de onda em determinada superfície, na região infravermelha, observando esse deslocamento do máximo, a intensidade da radiação proporcional ao aumento de temperatura. Tal experimento foi demonstrada matematicamente pelo físico alemão Wilhelm Wien (1864 - 1938), em 1893, e hoje na maioria dos livros de Física Moderna é conhecido como a lei do deslocamento de Wien (GONTIJO, 2020).

Quando Wien se pos a observar os resultados da equação 13, que trata da densidade de energia, pode apresentar neste formato:

Equação 13 Análise feita por Wien usando a equação da densidade de energia.

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{\nu^2 kT}{c^3} f(\alpha \nu T^n)$$

Para que conheçamos melhor, apresentaremos seus fundamentos e aplicações matemáticas, atribuindo-se uma função adimensional, partimos deste princípio:

$$x = \alpha \nu T^n \Rightarrow dx = \alpha T^n d\nu$$

vimos que sua frequência é máxima, representada por ν máximo, partimos do princípio que usaremos a equação 2,

$$u = \int_0^{\infty} \bar{u} d\nu$$

Substituindo e Integrado equação 14, temos:

$$u = \frac{kT}{c^3} \int_0^{\infty} v^2 f(\alpha v T^n) dv$$

Chegamos então a esta equação:

$$\bar{u} = \frac{kT^{1-3n}}{\alpha^3 c^3} \int_0^{\infty} f(x)x^2 dx = T^4$$

Uma forma de observamos melhor é separar os expoentes e termos para podermos observar seus parâmetros:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 - 3n = 4 \quad (h = \text{energia tempo} = \text{constante de Planck}) \\ \alpha = \frac{h}{k} \rightarrow \frac{\alpha v}{T} = \frac{hv}{kT} \quad (\text{dimensão de energia}) \\ \bar{u} = \frac{v^2 kT}{c^3} f\left(\frac{hv}{kT}\right) \rightarrow (\text{Lei de Wien}) \end{array} \right.$$

Façamos que f seja uma constante, assim teremos que obter tudo em função de f , vejamos:

$$f = f_0 v e^{hv/kT}$$

Retomaremos a equação, ficando assim:

$$\bar{u} = \frac{kT^{1-3n}}{\alpha^3 c^3} \int_0^{\infty} f(x)x^2 dx = T^4$$

Ficando então desta forma:

Equação 14 Dedução final de Wien para o deslocamento de energia.

$$\bar{u}(v, T) = f_0 \frac{kT}{c^3} v^3 e^{-hv/kT}$$

Observando também que nos modelos apresentados que foram relacionado por Wien, podemos diferenciar resumidamente as equações obtidas para esclarecer a figura 6, para o lado direito era uma equação e para o lado esquerdo outra equação, que causava a catastrophe do ultravioleta, em ambas, não se complementavam, vejamos suas principais características (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994):

Rayleigh-Jeans

$$\bar{u}(v, T) = \frac{8\pi v^2 kT}{c^3}$$

- Baixa Frequência
- Catástrofe do Ultravioleta
- É incapaz de prever uma frequência máxima

Wien

$$\bar{u}(v, T) = cte \frac{kT}{c^3} v^3 e^{-hv/kT}$$

- Alta Frequência
- Consegue prever a frequência máxima.

Obviamente que a intenção era ter uma equação que satisfazia para os dois lado, para alta e baixa frequências, por mais que Rayleigh-Jeans apresenta-se seu modelo, conforme descrito abaixo:

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{\nu^2 kT}{c^2} f\left(\frac{h\nu}{kT}\right) \Rightarrow \frac{du}{d\nu} = \frac{2\nu kT}{c^3} f + \frac{\nu^2 kT}{c^3} f' \left(\frac{h\nu}{kT}\right) \frac{h}{kT}$$

Definimos que

$$\frac{du}{d\nu} = 0$$

Reduzindo a equação neste formato:

$$\frac{\nu kT}{c^3} \left[2f\left(\frac{h\nu}{kT}\right) + \frac{h\nu}{kT} f' \left(\frac{h\nu}{kT}\right) \right] = 0$$

Chegando então a essa equação:

Equação 15 Lei de deslocamento de Wien.

$$\frac{h\nu_{Máx}}{kT} = C \Rightarrow \frac{\nu_{Máx}}{T} = CTE$$

Para a época esse experimento concordava até certo momento (PRESTES & SILVA, 2013).

Esse resultado significava que o valor de energia não sendo divisível por $E = h\nu$, seguramente a hipótese sobre a energia de oscilações dos átomos nos CN – a energia de oscilação é quantizada, ou seja, não pode existir uma energia qualquer, porém apenas múltiplos de um valor fundamental, outra hipótese é a energia irradiada por um oscilador não é contínua, ela se manifesta em pulsos, que poderiam ser os “quanta” de energia, ou seja, a energia é emitida quando o oscilador passa de um estado quantizado para outro (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994).

Recorrendo a uma solução para esse impasse, o físico alemão Max Karl Planck (1858-1947) apresentou à Sociedade de Física de Berlim um trabalho, ao qual discutiu as fórmulas empíricas de Wien e de Rayleigh, onde elas tratavam das curva de radiação do corpo negro (GONTIJO, 2020).

A Lei de Planck abriu caminho para uma nova Mecânica Quântica. A maioria dos objetos é visto pela luz que refletem, entretanto, em temperaturas elevadas, os corpos tornam-se luminosos e podemos vê-los brilhar internamente no escuro. É curioso que a Física Quântica, que governa a concepção moderna do mundo à nossa volta, se origina do estudo – sob condições controladas em laboratórios – das radiações emitidas por objetos aquecidos (ISSACSON, 2007).

É interessante notar que quando aumentamos de forma regular a temperatura de um corpo, é possível observar que:

1. Quanto mais alta a temperatura, mais radiação térmica é emitida – inicialmente o corpo parece obscuro, depois, passa a brilhar intensamente;
2. Quanto mais alta a temperatura, menor é a comprimento de onda no qual o corpo irradia mais intensamente – a cor predominante do corpo aquecido se desvia do vermelho fosco, passando pelo amarelo-alaranjado brilhante até o calor branco azulado. Como as

características de seu espectro dependem da temperatura, podemos estimar a temperatura de um corpo aquecido – um lingote de aço incandescente ou uma estrela – a partir da radiação que ele emite.

A radiação emitida por um corpo aquecido depende não somente da temperatura, mas também do material de que ele é feito, de sua forma e da natureza de sua superfície.

A radiação de cavidade nos ajuda a compreender a natureza da radiação térmica, da mesma forma que um gás ideal nos ajudou a compreender a matéria em sua forma gasosa. Existem três tipos de radiação de cavidade, que se correlacionam, todas confirmadas em laboratórios, e que qualquer teoria sobre a radiação de cavidade tem de ser capaz de explicar (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

2.4 A Lei de Stefan-Boltzmann

A potência total irradiada por unidade de área do orifício da cavidade, somada sobre todos os comprimentos de onda, é chamada de intensidade radiante $I(T)$ e está relacionada com a temperatura por $I(T) = \sigma T^4$, onde $\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ é uma constante universal denominada constante de Stefan-Boltzmann. Os objetos usuais aquecidos sempre irradiam menos eficientemente que os radiadores de cavidade. Expressam-se este fato pela equação $I(T) = \varepsilon \sigma T^4$, onde ε , é uma grandeza adimensional, é chamada emissividade da superfície do material. Para um radiador de cavidade, $\varepsilon = 1$, mas para as superfícies de objetos comuns, a emissividade é sempre menor do que a unidade e quase sempre uma função da temperatura (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

2.5 Radiância Espectral

A dependência da intensidade da radiação da cavidade com o comprimento de onda para uma dada temperatura. Ela é definida de modo que o produto $R(\lambda)d\lambda$ de potência irradiada por unidade de área no comprimento de onda que varia de λ até $\lambda + d\lambda$. $R(\lambda)$ é uma função de distribuição estatística. Pode-se determinar a intensidade radiante $I(T)$ para qualquer temperatura, somando-se, integrando-se, a radiância espectral sobre o intervalo completo de comprimento de onda T fixo. Veja na figura a seguir, onde mostra a radiância espectral $I(T)$ será, então, a área sob a curva de radiância espectral pertinente, com o aumento da temperatura, a área aumenta e, assim, também a radiação conforme prevista pela equação $I(T) = \sigma T^4$ (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

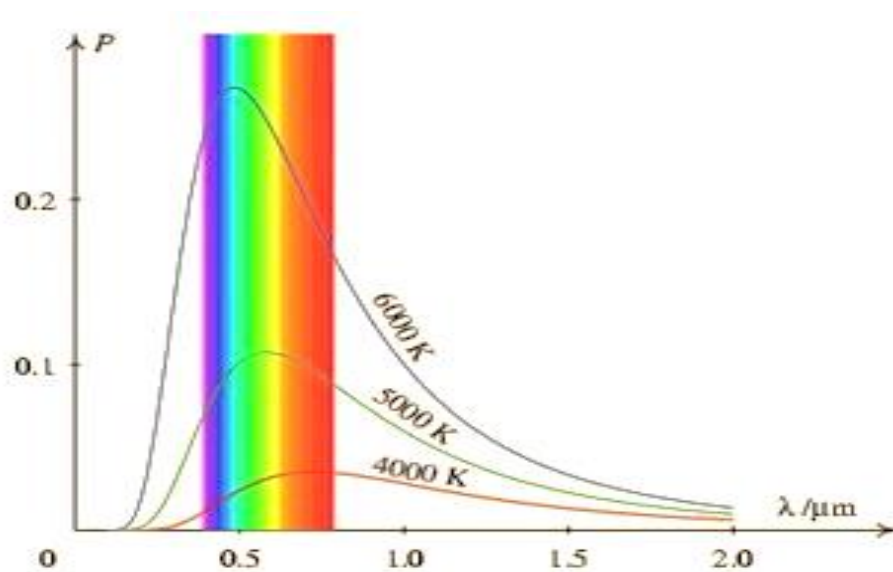


Figura 8 Curva de radiância espectral da radiação de cavidade em 3 temperaturas diferentes, à medida que a temperatura cresce, o comprimento de onda com o máximo comprimento de onda se desloca para valores mais baixos.

Fonte: <https://www.pucsp.br/webduino/experimentos/corpo-negro-com-arduino/teoria.html>

2.6 A Lei de deslocamento de Wien

Pode-se concluir que as curvas de radiância espectral da figura a cima, onde $\lambda_{m\acute{a}x}$, o comprimento de onda em que a radiância espectral é máxima, diminui quando a temperatura aumentada. Wilhelm Wien (alemão, 1864 – 1928) deduziu que $\lambda_{m\acute{a}x}$ varia com $1/T$ e que o produto $\lambda_{m\acute{a}x} \cdot T$ é uma constante universal. Seu valor médio é $\lambda_{m\acute{a}x} \cdot T = 2,898 \mu mK$. Esta relação é denominada lei do deslocamento de Wien, recebeu o prêmio Nobel em física em 1911 por sua pesquisa em radiação térmica. A radiação de corpo negro é um exemplo de aplicação da indústria siderúrgica na formação deligas metálicas (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Dados apresentados anteriormente, observa-se quando as informações são enunciadas de forma simplificada, quando se trata da Física Moderna absoluta nas bibliografias do ensino médio. Não há, em muitos livros, informações dirigidas ao aluno para que ele possa reconhecer como certos dados podem ser obtidos somente através de laboratórios.

2.7 Procedimento de Planck

Hipótese:

Quando foi observado o aquecimento de um pedaço de ferro com um intenso calor, em uma forja, o aumento da temperatura da quantidade de emissão da radiação produzida pelo calor, após tornar-se vermelha, indo para a cor branca ou azulada. Nesta condição a distribuição

da radiação apresenta um comprimento de onda, e considerando que apresentam cor, logo terá frequência que apresentam uma pequena faixa de observação (CARRON & GUIMARÃES, 2003).

Porém a visão corpuscular da matéria, temperatura e uma medida de agitação aleatória das partículas, a matéria possui cargas em movimento acelerado e por sua vez apresentam uma aceleração que emitem radiação, para enfrentar esse problema um dos pontos para se calcular essa emissão na faixa do espectro (GONTIJO, 2020).

A agitação dessas moléculas diz respeito a energia de uma onda eletromagnética, para entender o procedimento entre a partícula ou onda em um sistema equilibrado térmico à temperatura.

Pensando na Energia que está alocado em osciladores, pode-se apresentar de uma forma clássica, apresentando uma equação linear não-homogênea, sendo uma solução particular para podermos desenvolver uma resposta concisa e robusta (BAKER, 50 ideias da física quântica que você precisa conhecer, 2015).

Como estamos argumentando bastante sobre osciladores, vamos partir do pressuposto da equação clássica de osciladores, visto em física Clássica, temos no modelo classico a inação do átomo com Radiação, a osciçãõ no eixo x, parte desta ideia para que haja a construção:

Equação 16 Equação de oscilação no eixo x.

$$x = x_0 \cos(\omega t + \phi)$$

Usando a energia mecânica da Mecânica Clássica, temos:

$$U = \left\langle \frac{1}{2} m \omega_0^2 x^2 + \frac{1}{2} m \dot{x}^2 \right\rangle$$

Energia pontencial: $\frac{1}{2} m \omega_0^2 x^2$

Energia cinética: $\frac{1}{2} m \dot{x}^2$

Reajando a equação, temos:

$$U_\omega = \frac{1}{2} \frac{m e^2}{2} E_{0x}^2 \frac{\omega^2 + \omega_0^2}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2}$$

$$U_\omega d\omega = \frac{e^2}{4m} E_{0x}^2 \frac{\omega^2 + \omega_0^2}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2} d\omega$$

$$U = \int U_\omega d\omega = \int \frac{e^2}{4m} E_{0x}^2 \frac{\omega^2 + \omega_0^2}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2} d\omega$$

$$U = \frac{e^2}{4m} \int_0^\infty E_{0x}^2(\omega) \frac{\omega^2 + \omega_0^2}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2} d\omega$$

E_{0x} ocorre pouca variação, contribuindo com a distribuição do processo:

$$\omega \rightarrow \omega + d\omega$$

$$\omega^2 + \omega_0^2 \cong 2\omega_0^2$$

Para tanto, consideremos que $\omega \sim \omega_0$, ocorrendo uma redução em nossa equação:

$$\begin{aligned}\xi^2 \omega^2 &\cong 4(a\omega_0^2) \cdot \omega_0^2 \\ a &= \frac{e^2}{3mc^2} \\ (\omega^2 + \omega_0^2)^2 &\cong 4\omega_0^2(\omega^2 - \omega_0^2)^2 \\ U &= \frac{e^2 E_{0x}^2(\omega)}{4m} \frac{1}{2} \int_0^\infty \frac{d\omega}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2} \\ U &= \frac{\pi e^2}{8ma\omega_0^2} E_{0x}^2(\omega) \\ E_{0x}^2 &= E_0^2 \quad \bar{u} = \frac{1}{8\pi} E_0^2 \quad a = \frac{e^2}{3mc^3}\end{aligned}$$

Para a densidade espectral da energia total, assimilamos assim:

Equação 17 Energia Espectral total.

$$U(\omega_0) = \frac{\pi^2 c^3}{\omega_0^2} \bar{u}(\omega_0)$$

Para desenvolvimento da densidade de Energia da radiação, onde se pode-se envolver com a Termodinâmica, seguimos os seguintes itens:

$$\begin{aligned}U(\omega) &= \frac{\pi^2 c^3}{\omega^2} \bar{u}(\omega) \\ \bar{u}(\omega) d\omega &= \bar{u}(\nu) d\nu \quad \omega = 2\pi\nu \\ \bar{u}(\nu) &= \bar{u} \omega \frac{d\omega}{d\nu} = \bar{u}(\omega) 2\pi \\ \bar{u}(\omega) &= \frac{\bar{u}(\nu)}{2\pi} \\ U(\nu) &= \frac{\pi^2 c^3}{\omega^2} \frac{\bar{u}(\nu)}{2\pi} \\ U(\nu) &= \frac{c^3}{8\pi\nu} \bar{u}(\nu) \\ U &\Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{dS}{dU}\end{aligned}$$

Equação 18 Distribuição na Termodinâmica com a Densidade de Energia.

$$\frac{dU}{T} = dS \rightarrow \frac{1}{T} = \frac{dS}{dU}$$

Seguindo as leis de Wien na densidade espectral de energia, deve-se seguir às leis observadas, para Wien e Jeans, temos a densidade de energia,

$$\bar{u}(\nu, T)$$

$$U(\nu) = \frac{c^3}{8\pi\nu} \bar{u}(\nu)$$

Para envolver a temperatura, deve-se seguir os conceitos da teperatura da Termodinâmica, compondo assim a equação a seguir, que envolve a entropia:

$$\frac{1}{T} = \frac{dS}{dU}$$

2.8 Lei de Wien

Usando a equação fornecida por Wien, temos:

Equação 20 Deslocamento de Wien isolando a temperatura.

$$\bar{u}(\nu, T) = C\nu^3 e^{-\alpha\nu/T}$$

Considerando que a equação 20 será a nossa base para podermo organiza-la, temos:

$$U = \frac{c^3}{8\pi\nu^2} C\nu^3 e^{-\alpha\nu/T} = A\nu e^{-\alpha\nu/T}$$

Partimos do isolamento da *Temperatura* $\rightarrow \frac{1}{T} = -\frac{1}{\alpha\nu} \ln\left(\frac{U}{A\nu}\right)$, é a relação da energia com a temperatura.

$$\frac{1}{T} = \frac{dS}{dU} \Rightarrow \frac{dS}{dU} = -\frac{1}{\alpha\nu} \ln\left(\frac{U}{A\nu}\right)$$

Equação 21 Relação Termodinamica para altas frequências.

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{1}{\alpha\nu U}$$

Quando Wien, demonstra a frequancia alta, pela equação 22.

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3}$$

$$U = \frac{c^3}{8\pi\nu^2} \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT \rightarrow U = kT$$

$$\frac{1}{T} = \frac{k}{U} \rightarrow \frac{dS}{dU} = \frac{k}{U}$$

Equação 22 Rayligh-Jeans para frequências baixas, visto pela Temodinâmica.

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{k}{U^2}$$

2.9 Determinação de Planck

Nas observações sobre a intensidade da radiação sendo ela monocromática, em que parte tende a proporcionalmente a uma temperatura absoluta, desta forma Planck atribui (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979):

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{1}{\alpha\nu U} \quad (\text{i})$$

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{k}{U^2} \quad (\text{ii})$$

em sua conclusão que apresentava baixas frequências, é válido a equação (ii) enquanto que para as frequências altas, vale a equação (i), quando interpolamos as equações (i) e (ii), apresenta uma proposta que segue (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979):

Considerando que T e $U \rightarrow \infty$

$$\begin{aligned} \frac{d^2S}{dU^2} &= \frac{d^2S}{dU^2} \\ -\frac{1}{\alpha\nu U} &= -\frac{k}{U^2} \\ U &= \alpha\nu k \end{aligned}$$

Temos,

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{1}{\alpha\nu U + \frac{U^2}{k}}$$

$$\frac{dS}{dU} = \int \frac{d^2S}{dU^2} dU = \frac{1}{\alpha\nu} \ln \left(\frac{\frac{U}{\alpha\nu k}}{1 + \frac{U}{\alpha\nu k}} \right)$$

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{\alpha\nu} \ln \left(\frac{\frac{U}{\alpha\nu k}}{1 + \frac{U}{\alpha\nu k}} \right)$$

Equação 23 Densidade de energia, a forma como Planck deduziu.

$$U = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Resolvendo para U , temos $\alpha = \frac{h}{k}$, e tendo os dois limites, tanto para Wien e R-J.

Usando

$$\begin{aligned} U &= \frac{c^3}{8\pi\nu^2} \bar{u}(\nu) \\ \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} &= \frac{c^3}{8\pi\nu^2} \bar{u}(\nu) \end{aligned}$$

2.10 Lei de Planck

Utilizando da equação de densidade de energia para altas e baixas frequências, sendo elas unificadas, temos assim:

$$\bar{u}(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Para Planck, utilizando de argumentos matemáticos para este modelo, por manipulação TD, mas queria entender o fenômeno físico (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Para a radiação, supondo pacotes de energia e considerando que este evento é uma P. G.

Mas para isso temos que $\beta = \frac{1}{kT}$

$$E_n = n\varepsilon_0 \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

$$\bar{E} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} n\varepsilon_0 e^{-n\varepsilon_0/kT}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\varepsilon_0/kT}} = U$$

$$U = \frac{d}{d\beta} \left(\frac{\sum_{n=0}^{\infty} n\varepsilon_0 e^{-n\varepsilon_0/kT}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\varepsilon_0/kT}} \right)$$

$$U = \frac{\varepsilon_0}{e^{h\nu/kT} - 1} \rightarrow \bar{u}$$

$$\bar{u} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{\varepsilon_0}{e^{h\nu/kT} - 1} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Equação 25 Unificação da equação para alta e baixas frequências, ou seja, essa é a equação de Planck.

$$\varepsilon_0 = h\nu$$

A energia deve ser quantizada, desta forma, houve a descoberta do fóton. Nesta situação, se deu início a Mecânica Quântica e Mecânica Estatística (CARRON & GUIMARÃES, 2003).

Ao ensinar a Física Moderna no ensino médio é uma tendência na educação, faz-se necessário melhorar o conteúdo destas informações. A maneira de explicar os procedimentos adotados nos laboratórios deveriam ser colocados de forma didática, adequando à realidade da maioria das escolas brasileiras, no qual, os recursos ainda são poucos. Caso possível, este material poderá indicar alguns procedimentos usando materiais de baixo custo. Há planos que propõem reformulações em ensinar a Física Clássica (GONTIJO, 2020). Então, por que não fazer do ensino de Física Moderna, inserido nas novas tendências da educação, importando-se, sobretudo, com o modo de apresentar a física como a mais experimental das ciências? Isso traria simultaneamente inovação e o conhecimento de conteúdo estudados em físico terem sido originados na observação e na experimentação.

2.11 Aplicação: radiação cósmica de fundo

Uma descoberta importante foi a de que o universo que nos é acessível está repleto com radiação aproximadamente como a de um corpo negro a 2.9 K. A existência dessa radiação é uma evidência importante para a teoria do *big bang* que considera que o universo está expandindo e esfriando com o tempo. Esta radiação é a que restou de um período em que o universo era composto basicamente de elétrons e prótons a uma temperatura de cerca de 4000 K (BOHM, 2015). O plasma de elétrons e prótons interagia fortemente com a radiação eletromagnética em todas as frequências importantes, de tal forma que matéria e radiação estavam em equilíbrio térmico. Quando o universo resfriou para 3000 K, a matéria estava principalmente na forma de hidrogênio atômico, que interage com a radiação eletromagnética apenas nas frequências das linhas espectrais do hidrogênio. A maior parte da radiação de corpo negro se desacoplou da matéria nesta época, e sua evolução temporal foi a de um gás de fótons que esfriou pela expansão, a entropia constante, até uma temperatura de 2.9 K (BOHM, 2015).

Após o desacoplamento a evolução da matéria, que se deu no sentido da formação de átomos mais pesados (que estão organizados em galáxias, estrelas, e nuvens de poeira), tornou-se mais complicada. A radiação eletromagnética, tal como a emitida pelas estrelas, irradiada pela matéria desde o desacoplamento aparece superposta à radiação cósmica de corpo negro (BOHM, 2015).

2.12 Efeito Fotoelétrico

O físico alemão Heinrich Hertz, entre outros cientistas que investigavam centelhas, quando tentavam construir um receptor de rádio primitivo. Ao perceber que as partículas negativas enviadas, passando por um campo magnético, apresentavam uma carga-massa, desencadeando faísca, quer por sua vez gerando um fenômeno chamado de efeito fotoelétrico. Philipp Leonard, que fora assistente de Hertz, reduzindo o centelhamento do gerador, onde posicionou duas superfícies metálicas, confinado em um tubo de vidro e a vácuo, ambas estavam separadas, nas placas que são conectadas por fios, formando assim o Cátodo e o Ânodo do lado de fora do tubo por um cabo, no fio do ânodo é “janpeado” um amperímetro para comprovar a leitura elétricos (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Nas observações em que Leonard, incidiu luzes com frequências de brilhos variados para a primeira placa, que é a o ânodo, sem iluminar a segunda placa, percebeu que o ponteiro do amperímetro variava e concluiu que havia movimento de elétrons, e considerou que estes eram os elétrons expelidos da placa que estava sendo iluminada, os mesmos saiam de uma placa

e seguiam para a outra placa metálica, completando o circuito e fazendo uma pequena corrente. Em sua dedução a luz brilhante, liberaria mais elétrons, enquanto que luz com brilho menos intenso, não acontecia o mesmo, a percepção mostrava que havia uma energia incidente sobre a placa. Contudo a variação da intensidade de luz, não influenciava sobre a velocidade dos elétrons extraído da placa. Quando aplicado fontes com brilhantes menos intendo, elas produziam elétrons com a mesma energia, percebendo isso que havia uma leve voltagem oposta para detê-los, como não era esperado tal ação, pois como era de se espera que com maior energia, liberaria muito mais elétrons e mais rápidos (ISSACSON, 2007).

As observações feitas por Leonard, abriram caminho a outros físicos que buscaram resolver este problema, um deles foi o americano Robert Millikan, que ao testar raios de diferentes cores, em sua análise experimental, percebeu que a luz vermelha não era capaz de arrancar da placa elétron, não importando qual fosse o brilho da fonte. Porém, ao utilizar luzes ultravioleta, ou seja, na faixa azul, havia desprendimento dos elétrons, e também para diferentes metais, apresentavam diferentes “frequências de Corte” (CABRAL, 2015). O limite de emissão com uma determinada frequência de luz, há uma energia que excita os elétrons. Para tanto, tal energia é o gradiente dessa relação, conhecido como constante de Planck.

Tal comportamento era muito diferente para as ideias da época, pois as ondas de luz deveriam funcionar de maneira oposta. Contudo, as ondas eletromagnéticas incidentes na superfície do metal deveriam arrancar aos poucos os elétrons. A frequência também não deveria ter nenhum efeito devido a energia aplicada, estando o elétron estático e não deveriam existir muita diferença entre ondas pequenas ou grandes. Entretanto, ondas com menor frequência e rápidas excita e arrancam os elétrons com muita facilidade, enquanto que ondas com maior frequência são lentas (CARRON & GUIMARÃES, 2003).

Um material metálico que está sendo irradiado por ondas eletromagnéticas, no caso a luz, independente da sua frequência, apresenta uma cor, e considerando que emitem elétrons por este material, por estarem sendo excitados por esta onda, apresentarão uma frequência suficientemente alta ou baixa, mas é importante ter uma ressalva, onde dependerá do material exposto a referida, para tanto o elétron excitado possa ser arrancado e em estado de Energia Cinética, entrar em movimento do ânodo para o cátodo, um exemplo típico da radiação ultravioleta, neste a excitação é máxima. Nele é observado que a luz incidente numa placa de metal, arrancando elétrons da placa, elétrons ejetados são denominados fotoelétrons (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Em 1905, Albert Einstein apresentou as explicações apropriadas sobre o Efeito Fotoelétrico, somente em 1921, foi reconhecido e obteve o prêmio Nobel por esse trabalho. Sua argumentação necessitava do conceito dos *quanta* de energia de Max Planck, argumentou que

a luz apresentava pequenos pacotes de energia, conhecido como *quanta* de luz e depois chamado de “fótons” (BOHM, 2015).

Seu critério era que ao observar individualmente determinado pacote, nele apresentariam uma força de movimento, imaginando que os fótons fossem balas ou projeteis, e quando atingissem os elétrons, que estaria fixo na placa, este por sua vez excitar-se-ia e entraria em movimentando no sentido para fora do metal. Conceituando que o fóton não tem massa, mas armazenam certa quantidade de energia, para tanto, utilizam-se da frequência de energia apresentado por Planck ($E = h\nu$), ligando energia (E) e frequência (ν) como decorrentes da quantização de energia, explicando a frequência de fótons, que representam na faixa da cor azul ao ultravioleta, por apresentam uma frequência muito alta, aplicariam um golpe energético mais forte. Ao alegar essas explicações que a energia dos elétrons desalojados aumenta com a frequência da luz e não com o seu brilho (BELICH JUNIOR, 2012).

Seguindo a mesma analogia do enunciado do parágrafo anterior, a faixa de frequência do fóton para a cor vermelho, acontecendo o contrário, não arrancará elétron, devido a sua energia não ser suficiente. Respeitando esse argumento, pode-se dizer que o fóton na faixa do ultravioleta, apresenta mais energia, uma vez que desassocia sua estrutura molecular com uma energia cinética, reputando que o brilho não fara nenhuma influência para arrancar o elétron (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979). Tendo em consideração ao disparo de certo número de fótons não haverá o devido deslocamento de elétrons.

Quando Einstein apresentar sua ideia dos *quanta* de luz na época, de imediato, não sendo aceito, pois a Física Clássica estava enraizada nos Físicos, por ter pensamentos fixos, por este motivo não gostavam de sua hipótese por ele apresentada, por ir direto no processo de ondas como luz, no qual foi demonstrado nas equações de Maxwell. Por esta razão que foi apresentado uma diversidade de experimentos que comprovaria sua teoria, levando em conta que as energias dos elétrons libertados, cresciam com a frequência da luz rapidamente, apresentando essa ideia como fato (GONTIJO, 2020).

Observando a teoria Eletromagnética Clássica, o Efeito Fotoelétrico concederia à transferência de energia da luz para um elétron. Levando em conta que as alterações da intensidade da luz, produzirá mudanças na energia cinética dos elétrons arrancado do metal. De acordo com a teoria, acredita-se que uma luz suficientemente fraca, apresentaria um intervalo de tempo, atendendo o brilho de inicial da luz e a emissão subsequente de um elétron. Respeitando os resultados experimentais não há relação com as previsões da teoria clássica (BAKER, 50 ideias da física quântica que você precisa conhecer, 2015).

Para ilustrar temos um esquema do equipamento usado por Lenard. Quando a luz incide em uma superfície metálica, elétrons são emitidos.

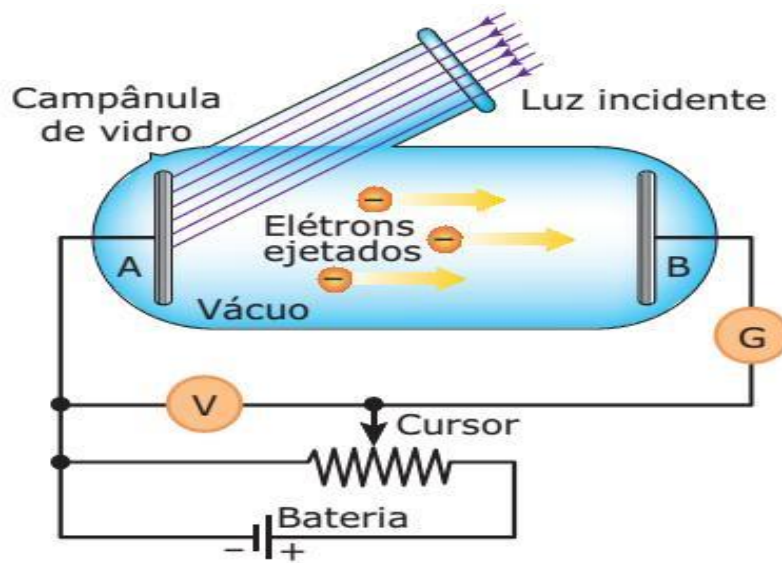


Figura 9 Diagrama usado por Lenard para observar o Efeito Fotoelétrico e provar que as partículas emitidas são os elétrons.

Fonte: <https://docplayer.com.br/50761778-Dom-eliseu-licenciatura-em-fisica-fisica-moderna-1-h-c-l-prof-antonio-silas-introducao.html>

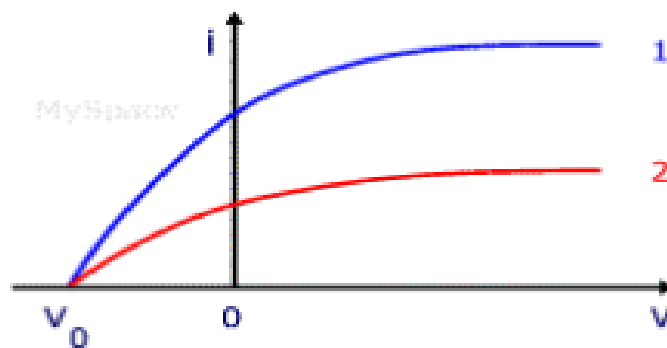


Figura 10 fotocorrente I em função da tensão do anodo V para a luz de frequência de duas intensidades I_1 e I_2 , fonte: Paul A. Tipler e Llewlllyn.

Fonte: https://www.mspc.eng.br/dir10/tdiv10_10.php.

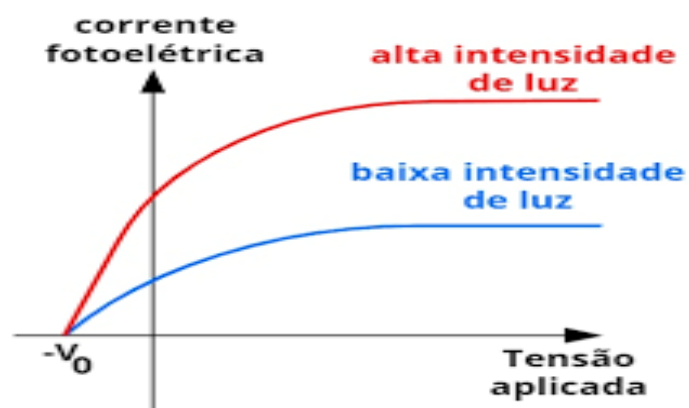


Figura 11 Para I constante e duas frequências f_1 e f_2 , como $f_2 > f_1$, a interpretação do efeito sugere que o valor absoluto da tensão do corete deve ser maior para f_2 , o que é confirmado pelos resultados experimentais, fonte: Paul A. Tipler e Llewlllyn.

Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/o-efeito-fotoeletrico.htm>.

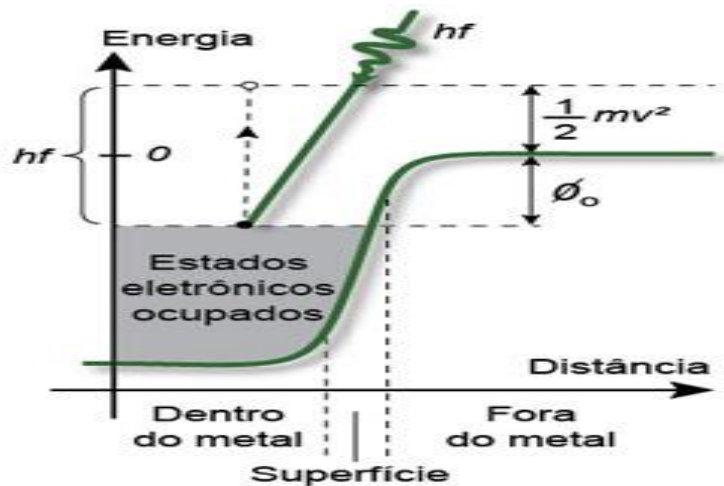


Figura 12 Energia potencial dos elétrons nas proximidades da superfície de um metal.

Fonte: <https://www.ifi.unicamp.br/~fauth/1OrigensMecanicaQuantica/1Oquantumdeluz/Oquantumdeluz.html>.

O resultado experimental, mostrado nas figuras anteriores, mostram que o V_0 não depende da intensidade da luz incidente. Aparentemente, o aumento de energia por unidade de tempo incidente no catodo não resultava em um aumento de energia cinética máxima dos elétrons emitidos, o que estava em total desacordo com a teoria clássica. Quando então, Einstein ofereceu em 1905, uma explicação para esta observação em um artigo que foi publicado no mesmo volume dos *Annalen der Physik* que seus trabalhos a respeito da relatividade restrita e do movimento browniano (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Considerando que a quantização da energia usada por Planck no problema do corpo negro seja uma característica universal da luz, ou seja, em vez de estar distribuído uniformemente no espaço no qual se propagava, a luz é constituída por pacotes (quanta) isolados de energia $h\nu$. Quando um desses quanta, denominados *fótons*, chega à superfície do catodo, toda a sua energia é transferida para um elétron. Se ϕ é a energia necessária para remover um elétron da superfície (ϕ recebe o nome de *função trabalho* e tem valor característico para cada metal), a energia cinética máxima dos elétrons emitidos pelo catodo é dado por $h\nu - \phi$ em virtude da lei de conservação da energia. Neste caso, o potencial de corte V_0 é dado por:

Equação 26 Equação do Efeito Fotoelétrico.

$$eV_0 = \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\text{máx}} = h\nu - \phi$$

onde:

e carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19}$ *Colomb*);

V_0 potencial de corte;

m massa do elétron ($9,11 \times 10^{-31}$ *Kg*);

v velocidade do elétron;

h é a constante de Plank ($6,63 \times 10^{-36}$ *J.s*);

ν frequência do para ocorrer o efeito fotoelétrico;

ϕ é a função trabalho, ou energia mínima para remover um elétron de sua ligação atômica (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

De acordo com a equação 1, a inclinação da reta que representa o potencial de corte V_0 em função da frequência ν é igual a $\frac{h}{e}$. Na época em que Einstein fez esta previsão, não haviam nenhum indício de que a constante de Planck tivesse alguma relação com o efeito fotoelétrico. Também não havia provas de que o potencial de corte fosse função de frequência (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Millikan em seus experimentos em 1914 e 1916, mostrou que a equação 1 estava correta e o valor de h calculado a partir destes experimentos concordou com o valor obtido por Planck, conforme figura abaixo:

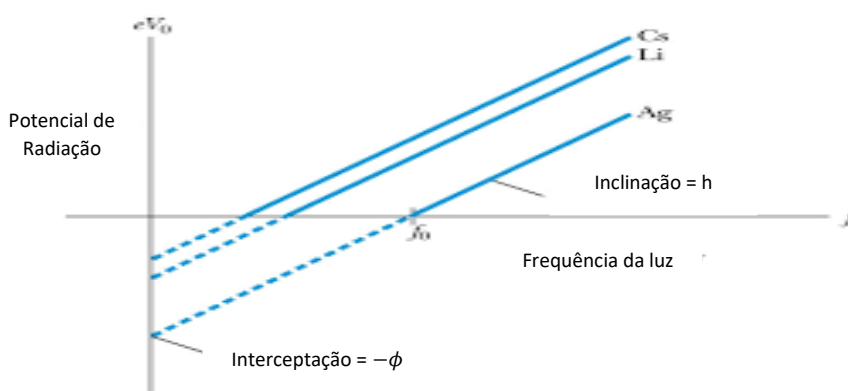


Figura 13 Dados obtidos por Millikan para o potencial de corte em função da frequência, fonte: Paul A. Tipler e Llewellyn.

A frequência mínima para que o efeito fotoelétrico seja observado, denominado ν_t nos gráficos 9 e 10, e o comprimento de onda máxima correspondente, λ_t , podem ser obtidos a partir da função trabalho fazendo $V_0 = 0$ na equação 1:

Equação 27 Frequência mínima.

$$\phi = h\nu_t = \frac{hc}{\lambda_t}$$

Os fótons de frequência menor que ν_t (e, portanto, de comprimento de onda maior que λ_t) não tem energia suficiente para ejetar elétrons do metal. Para a maioria dos metais, a função trabalho é da ordem de alguns elétrons-Volts, conforme função trabalho como mostra na tabela abaixo de alguns elementos (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979):

Tabela 3 Valores de função trabalho para alguns elementos.

Elemento	ϕ (eV)
Na	2,28
C	4,81
Cd	4,07
Al	4,08
Ag	4,73
Pt	6,35
Mg	3,68

Ni	5,01
Se	5,11
Pb	4,14

FONTE: PAUL A. TIPLER E RALPH A. LLEWELLYN

Outra propriedade importante do efeito fotoelétrico que está em desacordo com a física clássica, mas pode ser facilmente explicada pela hipótese dos fótons é a ausência de um intervalo de tempo mensurável entre o momento em que a fonte luminosa é ligada e o momento em que os elétrons emitidos pelo catodo começa a aparecer. Classicamente, a energia luminosa se distribui de forma homogênea ao longo da superfície do catodo; o tempo necessário para que uma região do tamanho de um átomo adquira energia suficiente para emitir um elétron pode ser calculada a partir da intensidade de tal forma que este tempo teórico seja da ordem de minutos ou mesmo horas. Entretanto, em todos os experimentos, os elétrons começam a ser emitidos no momento em que a fonte é ligada. De acordo com a hipótese dos fótons, a explicação desta observação é que, embora o número de fótons que incidem no metal por unidade de tempo seja pequeno quando a intensidade da luz é pequena, cada fóton em energia suficiente para ejetar um elétron, e existe uma grande probabilidade de que pelos mesmos alguns fótons sejam absorvidos imediatamente. Por outro lado, a teoria clássica permite calcular corretamente o número médio de fótons absorvidos por unidade de tempo (ISSACSON, 2007).

A fotoemissão de elétrons se tornou um método importante para investigar estruturas dos cristais e moléculas. O uso de fontes de raio X e detectores de precisão permitiu determinar as configurações exatas dos elétrons de valência nos compostos químicos, o que levou a uma melhor compreensão das ligações químicas e das diferenças entre as propriedades dos átomos na superfície e no interior dos sólidos (ISSACSON, 2007). Os microscópios baseados no efeito fotoelétrico que hoje estão sendo desenvolvidos poderão revelar a situação química de cada elemento em uma amostra, uma informação extremamente importante para a biologia molecular e para a microeletrônica. Em última análise, tudo isso é consequência de um fenômeno que incomodou Hertz (BAKER, 50 ideias da física quântica que você precisa conhecer, 2015).

Para entendermos o processo matematicamente, temos a seguir:

Equação 28 Energia Potencial.

$$K = eV_0$$

Equação 29 Equação do Efeito fotoelétrico com a função trabalho.

$$K = h\nu - W$$

Substituindo, teremos:

$$eV_0 = h\nu - W_0$$

$$V_0 = 0$$

$$0 = h\nu - W_0$$

$$h\nu = W_0$$

$$\nu_0 = \frac{W_0}{h}$$

$\nu_0 \rightarrow$ Frequência de corte

$$eV_0 = h\nu - W_0$$

$$eV_0 = h\nu - h\nu_0$$

Equação 30 Potencial de Corte do potencial elétrico.

$$V_0 = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0)$$

Com o modelo de pacotes de energia, devido a intensidade de radiação emitida para o efeito fotoelétrico, não aumenta a sua velocidade dos elétrons, mas pode apresentar um número grande de portadores, portanto, apresentara energia mais elevadas, sendo a energia analisada por Einstein e o considerou como fótons (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

METODOLOGIA

3.1 Experimentação no ensino de Física

O uso de experimentos no ensino de ciências é amplamente defendido entre os professores e pesquisadores na área educacional.

“O conhecimento por ter dito que há possibilidade de ensinar qualquer assunto, de maneira honesta, a qualquer aluno em qualquer estágio do desenvolvimento” (Moreira, 1999).

Ponderando relevante as ideias que relacionam princípios fundamentais, que possa estruturar uma matéria de ensino, respeitando os alunos como uma forma mais eficiente de contornar as dificuldades de aprendizagem e de ensino de Física. Quando pensamos como poderemos ensinar, destacamos o processo em que Bruner, apresenta a descoberta do aluno por meio de alternativas exploratórios, caracterizando um espiral de conhecimento (GIACAGLIA, 1986).

Segundo Bruner: O ambiente ou conteúdo de ensino tem que ser percebido pelo aprendiz em termos de problemas, reações e lacunas que ele deve preencher, a fim de que a aprendizagem seja considerada significativa e relevante. Portanto, o ambiente para aprendizagem por descoberta deve proporcionar alternativas – resultante no aparecimento e percepções, pelo que aprendiz, de relações e similaridades, entre as ideias apresentadas, que não foram previamente reconhecidas... a descoberta de um princípio ou de uma relação, por uma criança, é essencialmente idêntica – enquanto processo – à descoberta que um cientista faz em seu laboratório (Oliveira, 1973).

Quando associamos ideias de ensino para que haja um bom desenvolvimento, generalizamos uma teoria de ensino, que tenha um efeito ao ponto de auxiliar uma variabilidade de condições básicas, onde podemos resolver questões em que o indivíduo apresente no seu

comportamento, sendo que o mesmo possa desenvolver-se adquirindo meios de poder representar o ambiente que o rodeia, estimular e recuperar as informações que antes não havia tido acesso ao seu conhecimento.

De maneira comparativa, por períodos próximos, temos o teórico Piaget que constitui um processo pré-operacional, operacional concreto e operacional formal, para Bruner, apresenta outra abordagem em analogia aos períodos de desenvolvimento, tais como a representação ativa que consiste em um trabalho mental, estabelecendo a relação entre a experiência e a ação (inativa), representação icônica, neste estágio, já está na escola, trata-se de fatos concretos e operacional, manipulando objetos, em que demonstrariam coisas e relações e pôr fim a Representação simbólica, no qual corresponde ao período com as operações formais, onde suas ideias concretas orientam a resolução de problemas (GIACAGLIA, 1986).

3.2 Sequência das aplicações

Para um bom desenvolvimento intelectual, deve-se considerar uma sequência, composta por fases, tais como inativa, icônica e simbólica. Quando se pretende observar o modo de ensinar, alavancamos as sequências didáticas por vários aspectos abordados. As consequências que levam a um bom entendimento da observação no caso do discente, quando ao apresentar ao aluno gráficos, figuras e desenhos sobre o tema, e bem apresentado, seja simbolicamente por palavras, que busque um bom entendimento do assunto, neste esperaremos o *feedback*, contudo admitamos que o aluno, não seja um ser totalmente dependente do professor, para que nas explicações do mesmo o aluno possa assumir funções autocorretiva (MOREIRA, M. A., 2012).

Nas observações de Bruner aos educadores de diversas áreas:

Para compreender em que consiste a aprendizagem por descoberta, vejamos a distinção que Bruner faz entre a maneira expositiva e a maneira hipotética de se conduzir uma aula.

Na expositiva, o professor já traz o conteúdo pronto e o aluno limita-se passivamente a escutá-lo. Na abordagem hipotética, o professor traz o assunto sob forma de problema ou questão a ser resolvida, e ajuda o aluno a resolvê-lo, discutindo com ele as alternativas apresentadas. (GIACAGLIA, 1986)

A conquista por meio de descobertas, nos diversos assuntos, tais como a matemática, linguística, história, psicologia, literatura e até na geografia. A flexibilização e o conhecimento da matéria farão com que o professor tenha um bom desempenho, assim a estrutura de forma representativas, tornam-se importantes, pois a sequência deve ser representativa para a icônica,

e depois para a simbólica, por mais que o aluno apresente o seu próprio simbolismo (GIACAGLIA, 1986).

Considerando que a instrução é a oportunidade de corrigir o conhecimento ou informação, onde resultados podem apresentar certa utilidade ou não, mediante o aprendizado, à medida que é apresentado o desenvolvimento, tanto simbolicamente, como representar as transformações ambientais, aumentando assim as motivações de competências, pois o aluno mostra controle sobre o seu comportamento (GIACAGLIA, 1986).

3.3 *Qual o papel do professor neste trabalho*

Sintetizando, ensinar é um esforço que molda a forma do aprendizado, portanto, o planejamento do ensino é levado como um critério prático para a construção das ideias. Entretanto, a motivação dos alunos se tornará natural, pois assim será bem natural o aprendizado, mas não podemos deixar de atentar para novos currículos das disciplinas com certas habilidades, ora apresentadas das residências, onde podemos desmitificar o entendimento prévio sobre determinados assuntos (BRASIL, M., 2002).

Por consequência da representatividade pelos quais o sujeito desenvolve o seu intelecto nos fundamentos de Bruner, ativo, icônico e simbólico, percebe-se a influência piagetiana neste processo, na prática, nos meios educacionais, são moldados e representam o termo curricular em forma de um espiral de aprendizado para ser descoberto pelos alunos (GUILAR, 2008).

A contribuição para que haja uma mente científica, que é ideal para que consiga entender muito bem os atributos assim apresentado pelos professores, significando que as intenções demonstram respostas e comportamentos, estruturando o conhecimento sobre as informações, refinando no processo interpessoal, social e cultural, mas que se dedicaria a objetividade ao que não se faz, contudo naquilo que se pensa ou que se pode fazer.

Não há motivos para pensarmos que esta realidade tenha mudado muito nos últimos anos. Se levarmos em conta que apenas uma fração destes trabalhos versa sobre o efeito fotoelétrico, percebemos a carência de referências nesta área da Física Moderna e Contemporânea (BULEGON, A. M., 2011).

Vale ressaltar que o trabalho aqui apresentado não pretende suprir a carência histórica de referências, mas, contribuir minimamente com um material de pesquisa para os profissionais que se aventurem por este caminho.

Na maioria das escolas estaduais, verifica-se a existência de espaços destinados aos laboratórios didáticos, mas geralmente equipados apenas com os itens mais básicos, por sua vez destinados a simples experimentos de Física Clássica, Química e Biologia, estes são conhecidos como “Laboratórios Multidisciplinar”. Não obstante, se faz necessário ter equipamentos mais

elaborados, para uma melhora apresentação da Física Moderna, contudo estes são inexistentes, por razões financeiras de aquisição ou próprio desconhecimento da administração da escola. Para que haja uma aquisição destes equipamentos mais sofisticados para demonstração de uma Física mais apurada, demandaria de investimentos elevados, sendo que nem sempre são aprovados pelos gestores da educação (GHEDIN, L. M.; MARQUES, F. F. F.; TERÁN, A. F.; GHEDIN, I. M., 2011).

Mas por outro lado, algumas escolas Públicas, Federais e Municipais, dispõem de uma sala com computadores, conhecida como laboratórios de informática, referindo-se a sua utilidade meramente para assuntos de informática básicas, na maioria dos casos, transformando-se apenas em equipamentos subutilizados. Em consonância para uma melhora e aproveitamento destes computadores, fazendo-se uma alocação para uso do Laboratório de Física, podendo ter acesso a *internet* e nele acessar páginas com simuladores ou experimentos, gerando uma quantidade significativa de dados, sendo estes observados e analisados pela sequência assim mencionada no início deste item, haveria uma grande singularidade em mostrar os simuladores, onde visualmente os alunos poderiam intuitivamente manusear os *softwares* dos computadores ou na própria *internet*, considerando que a geração tecnológica está presente no nosso dia-a-dia, haja visto os celulares, aparelhos de TV, dentre outros (GIL A. C., 2002).

3.4 *Inserção da Física Moderna no Ensino Médio*

A Física Moderna para o Ensino Médio pode ser justificada com as seguintes referências para a sua inserção:

- A curiosidade como motivação para os discentes;
- Motivar futuras carreiras para a ciência e para a tecnologia, onde os discentes podem ser os futuros pesquisadores;
- Mostrar a evolução da física, pós 1900.

Considerando o que (OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A., 2000), onde abordam a inclusão de tópicos de Física Moderna, sendo que serão considerados apenas três pontos: Limites da Física Clássica, apresentação de modelos clássicos e escolha de tópicos essenciais.

Uma abordagem que se baseia na exploração dos limites da Física Clássica, apresentado no trabalho de Gil e Solbes da Universidade de Valência, Espanha onde os autores sugerem

“...uma abordagem construtivista para o ensino de Física Moderna Clássica na qual a orientação tradicional de ensino-aprendizagem, que enfatiza a simples transmissão/recepção de conhecimento, é substituída por um currículo que envolve os alunos em “atividades” e os coloca

em situações problemáticas através das quais o conhecimento pode ser (re)construído. Os conceitos de FMC foram introduzidos como referencial um modelo construtivista de ensino-aprendizagem na perspectiva da mudança conceitual e metodológica...” (GIL; SOLBES, 1993 apud OSTERMANN; MOREIRA, 2000).

O modelo que conceituava as leis de referência aos conteúdos de Física Clássica, como um elétron ao orbitar um núcleo poderia emitir energia, quando este mudasse de camada. Nestes termos a Física Clássica, não conseguia apresentar uma explicação palpável para comportamento em minúsculos corpos, constituindo o raciocínio aplicado na construção da aprendizagem referente a Física Clássica, atribuído por Fischler e Lichtfeldt da Universidade Livre de Berlim, Alemanha, onde os autores que apresentaram dificuldades para o ensino, ao mostrar um comparativo da Física Clássica com a Física Moderna (OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A., 2000).

Na construção das bases para a Física Moderna, pode-se construir diversos experimentos que confirmaria os fenômenos, dentre eles, temos o Efeito Fotoelétrico, sendo bastante utilizado nos dias atuais, para tanto, questionamos o fato de incrementar tópico no currículo do Ensino Médio, neste contexto, pode-se aprimorar os conhecimentos prévio do aluno para pode atender ou compreender tal assunto assim exposto, quando envolve uma ciência que é pouco estudada, para os terceiros anos (BONADIMAN & NONENMACHER, 2007).

Na estrutura no planejamento pedagógico, ou seja, a preparação dos temas para serem ministrado ao longo ano ou do semestre, faz com que possibilite uma melhor apresentação dos conteúdos pelos professores de forma natural, impactando ao discente um entendimento fácil, sobre o assunto, sendo ele parte do nosso Século, podendo ser mais evoluído, principalmente no processo tecnológico, a nova perspectiva quanto ao processo de ensino e compreensão do aluno e ter novas informações que convém (BONADIMAN & NONENMACHER, 2007).

Para que o Efeito Fotoelétrico seja apresentado nas escolas do Ensino Médio e Ensino Médio Técnico, é necessário definir um Plano de Ensino de forma sequenciada, segundo suas características em ser atribuídos no terceiro ano e no quarto bimestre, pois necessita que o discente tenha conhecimento antecipados de energia cinética, eletricidade e magnetismo (GIL & SOLBES, 1993).

O professor deve observar que em alguns aspectos na sua apresentação sobre Efeito Fotoelétrico, relacionando corrente elétrica ao fenômeno em questão. O ponto de vista do professor, pode criar a relação de limitações dos conceitos, relacionando a Física Clássica, inserir no cotidiano dos alunos que estão habitualmente usam essas tecnologias na palma da mão.

Para entender o nosso trabalho, será exposto em forma gráfica, conforme Moreira, em seu livro *Teoria de Aprendizagem*, para que possamos compreender o planejamento, teremos um entendimento deste processo de construtivo da ação a ser realizada em sala de aula, sendo que a nossa sequência faremos que compreendamos para cada assunto e não termos dúvidas sobre o que se quer trabalhar, mediante o planejamento (MOREIRA, M. A., 2012).

O professor deve observar quando apresentar sobre qualquer tema, neste caso temos o Efeito Fotoelétrico como base, relacionar uma corrente elétrica ao fenômeno em questão, vejamos como construir segundo a teoria de Aprendizagem, abaixo:

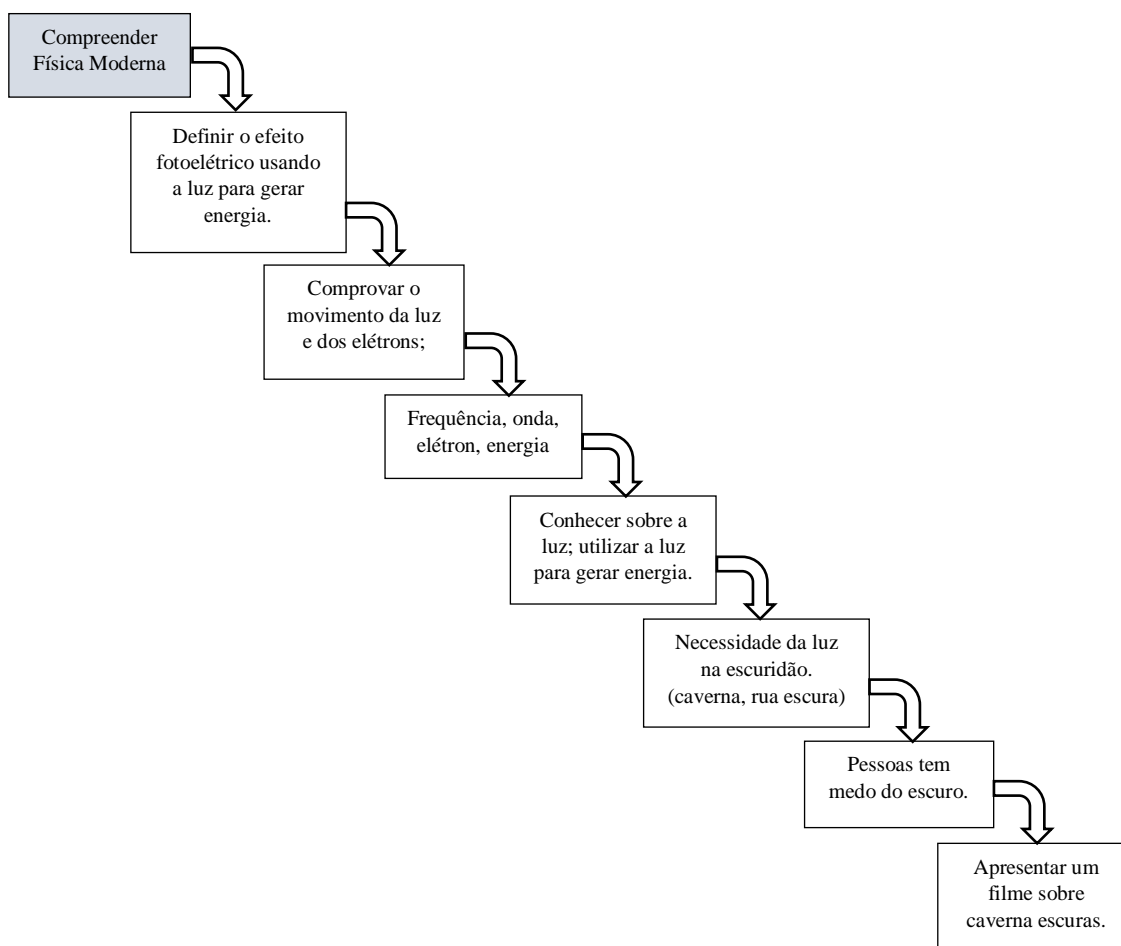


Figura 14 Hieraquirzação dos tópicos a ser trabalhado em sala de aula, usando a Física Moderna.

3.5 As Tecnologias de Comunicação e Informação no Ensino de Física

As tecnologias que tem por objetivo mediar ou interagir com algum processo de comunicação ou informação entre as pessoas, tal tecnologia pode ser classificadas como TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação. As TIC's têm uma ampla aplicação em diversos setores da sociedade, principalmente na educação. Com a popularização da *internet* os meios de comunicação se desenvolveram de forma rápida e prática, abrangendo uma fração razoável da população. Com isso a utilização dessas tecnologias teve um grande aumento no início do

Século, potencializando a educação, permitindo criar, capturar, armazenar, enviar e receber informações diversas (OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A., 2000).

De certo que a tecnologia tem modificado de forma significativa no cotidiano das pessoas, principalmente para facilitar a comunicação de informação com os usuários, observando essa metodologia digital, pensamos que a escola, em hipótese alguma não poderia ficar alheia a essa realidade. Percebe-se que esse agente (escola) que precisa se adaptar e ensinar ao aluno, utilizando essas novas tecnologias, para que ele possa atuar como cidadão participante dentro e fora do contexto educacional.

O emprego das TIC's, especialmente os *softwares* educacionais, tem se mostrado importante no ensino, e nessa perspectiva, o Ministério da Educação (MEC) prevê a implantação de tecnologias como práticas de ensino que tem como objetivo a capacitação do estudante prosseguir nos estudos ou ser inserido no mercado de trabalho ao fim do ensino médio. Assim, o uso dessas tecnologias, de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN),

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

Nesse sentido, o uso das TIC's na educação tem ganhado força principalmente quando temos que tratar de conteúdos conceitualmente difíceis, como é o caso da Física Moderna. Nesta perspectiva o emprego dos recursos tecnológicos ajuda não somente ao professor, mas também aos alunos pois favorece a percepção e o entendimento dos conceitos da Física Moderna.

Com relação ao uso desses recursos (BULEGON, A. M., 2011) aponta que

A utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) no Ensino, especificamente a Internet e softwares educacionais, têm sido apontados como poderosos recursos para o ensino de Física, especialmente aqueles que oferecem a possibilidade de alterar valores e manusear com as variáveis de forma interativa. Esses podem proporcionar aos estudantes uma reflexão sobre o objeto de estudo, potencializando a aprendizagem e tornando-a mais significativa, pois podem desenvolver o pensamento crítico por meio da reflexão. A hipermídia é apontada também como um importante recurso pedagógico virtual,

pois baseia-se no conceito de hipertexto em que se pode fazer uso de diversos elementos, como textos, sons, imagens, simulações, vídeos (BULEGON, A. M., 2011).

A utilização das TIC's deve ser coerente, para que o ensino seja prazeroso e agradável para o professor que irá auxiliar os alunos no processo de estudo e para o aluno que irá desenvolver seus conhecimentos. A aplicação desmedida, sem objetivos específicos, pode se tornar corriqueira e maçante tornando as aulas sem atrativos e desmotivando os alunos.

O emprego dos *softwares* educacionais, consiste na representação de um determinado modelo físico, baseado em analogias que se não usados com uma perspectiva crítica podem conduzir o aluno ao entendimento incorreto de um fenômeno. Assim, a representação pode tanto facilitar a compreensão como também dificultar.

3.6 Aprendizagem Significativa de Jerome Bruner¹

Uma teoria trata-se de uma interpretação sistemática ou uma maneira de enxergar as coisas, de explicar observações ou resolver problemas. Consiste em tentativas de interpretar sistematicamente, de organizar e de prever os conhecimentos relativos à aquisição da instrução.

Bruner, considerado o mais conhecido por ter dito que "é possível ensinar qualquer assunto, de uma maneira intelectualmente honesta, a qualquer criança em qualquer estágio da construção do conhecimento", o referido livro base, consistia de cinco (05) capítulos, que abordava a teoria de Jerome Bruner (1969, 1973 e 1976), do que por qualquer outro aspecto de sua teoria, **desde que se levasse em conta as diversas etapas do desenvolvimento intelectual do indivíduo**. Logo, a tarefa de ensinar determinado assunto a uma criança, é a de representar a estrutura deste em termos da visualização que a criança tem das coisas. Aqui o que é relevante em determinada matéria a ser ensinada é sua estrutura (GUILAR, 2008).

Para Bruner, ensinar era o processo de descobertas através da exploração de alternativas, caracterizando um espiral de conhecimentos, onde poderia aprimorar o estudante em rever os principais pontos diferenciáveis para quaisquer níveis. Bem como o ambiente ou o conteúdo de ensino, percebido pelo aluno, onde os problemas que o cercam, podem ser resolvidos, eliminando assim as lacunas que antes apresentavam-se, nestes termos podemos dizer que a instrução se tornara significativa e relevante (GUILAR, 2008).

Para que isso aconteça, deve-se apresentar algumas características para Bruner determinar o bom desempenho intelectual:

¹ Jerome Bruner é pesquisador de psicologia na New York University, onde ele também atuou como Meyer Visiting Professor of Law. Seu livro mais recente, *Acts of Meaning*, apareceu em 1990. Em 1987 ele recebeu o Prêmio Balzan por "uma vida de contribuição ao estudo da psicologia humana"

a) Por independência crescente da resposta em relação à natureza imediata do estímulo;
b) O conhecimento baseia-se em absorver eventos, em um sistema de armazenamento que corresponde ao meio ambiente;

c) A construção do conhecimento é caracterizada por crescente capacidade para lidar com alternativas simultaneamente, atender a várias sequências ao mesmo tempo, e distribuir tempo e atenção, de maneira apropriada, a todas essas demandas múltiplas.

Neste patamar, Bruner modela três representações pelo que passa um indivíduo: a Ativa, a Representativa Icônica e a Representativa Simbólica. Essas representações passam por estágios de processamento de informações: manuseio de ação, organização perceptiva e imagens e utilização de símbolos (GUILAR, 2008). Vale ressaltar que o teórico não vê como “estágio”, mas como “Estágios internas” para a construção do pensamento crítico, como menciona:

“as teorias psicológicas de aprendizagem e desenvolvimento são descritivas, enquanto que uma teoria de ensino deve, além de levar em conta tais teorias, ser prescritiva. Deve principalmente concentrar-se em como otimizar a aprendizagem, facilitar a transferência ou a recuperação de informações. Deve também estabelecer regras concernentes à melhor maneira de obter conhecimentos e técnicas.” (Moreira, 1999).

Nessa perspectiva análoga que são quatro características distintas de uma teoria de ensino, onde podem ser descritas a seguir:

a) Deve apontar as experiências mais efetivas para implantar em um indivíduo a predisposição para a aprendizagem;

b) Deve especificar como deve ser estruturado um conjunto de conhecimentos, para melhor ser apreendido pelo estudante;

c) Deve citar qual a sequência mais eficiente para apresentar as matérias a serem estudadas;

d) Deve deter-se na natureza e na aplicação dos prêmios e punições, no processo de aprendizagem e ensino.

Parte de sua teoria concentra sua atenção na predisposição para explorar alternativas. Partindo da premissa que o estudo e a resolução de problemas baseiam-se na exploração de alternativas, apresentando assim uma instrução deverá facilitar e ordenar tal processo por parte do aluno. Três são fatores envolvidos no processo de exploração de alternativas: ativação, manutenção e direção (GUILAR, 2008). As instruções devem ser dadas de modo a explorar alternativas que levem à solução do problema ou à descoberta. Quando são apresentadas quatro razões para ensinar a estrutura de uma disciplina:

- a) Entender os fundamentos torna a conteúdo mais compreensível;
- b) A segunda razão relaciona-se com a memória humana. Uma boa teoria é veículo não apenas para a compreensão de um fenômeno, como também para sua rememoração futura;
- c) Uma compreensão de princípios e ideias fundamentais, como já se observou anteriormente, parece ser o principal caminho para uma adequada transferência de aprendizagem;
- d) Pelo reexame constante do que estiver sendo ensinado nas escolas, em seu caráter fundamental, é possível diminuir a distância entre o conhecimento avançado e o conhecimento elementar.

Estruturalmente pode-se apresentar uma estrutura de uma matéria, segundo Bruner, abordando três características fundamentais, considerando que todas são inerentes à habilidade do estudante para dominar o assunto:

- Forma da representação utilizada
- Economia
- Potência efetiva

A questão da sequência, no estudo, parece ser intuitiva para grande maioria dos que lidam com o ensino. Aqui a diferença entre Bruner e outros autores, refere-se ao fato de que ele formaliza a questão, e a coloca em termos operacional. Bruner não encara o reforço da mesma maneira como ele é visto numa abordagem comportamentalista (GUILAR, 2008). Do ponto de vista behaviorista, o reforço tem um papel fundamental, pois o comportamento é modificado por consequências recompensadoras ou punitivas. Para Skinner, por exemplo, não é a presença do estímulo ou da resposta que leva à aprendizagem, mas sim a presença das contingências de reforço, neste mesmo sentido de que o aprendizado depende do conhecimento de resultados, no momento e no local em que ele pode ser utilizado para correção. A instrução aumenta a oportunidade do conhecimento corretivo (MOREIRA, M. A., 2012).

Quando relacionamos a construção do pensamento, ensino e professor, Bruner propõe que:

"O desenvolvimento intelectual baseia-se numa interação sistemática e contingente, entre um professor e um aluno, na qual o professor, amplamente equipado com técnicas anteriormente inventadas, ensina a criança." (Moreira, 1999)

Bruner destaca também o papel da linguagem no ensino:

"O ensino é altamente facilitado por meio da linguagem que acaba sendo não apenas o meio de comunicação,

mas o instrumento que o estudante pode usar para ordenar o meio ambiente." (Moreira, 1999).

Na visão de Bruner, quanto a construção do conhecimento sendo ele um processo instrucional, é também o conhecido como um dos autores da chamada "revolução cognitiva", se aceitarmos que a Psicologia Cognitiva "nasceu" em um encontro realizado na Massachusetts Institute of Technology M.I.T., em 1956, do qual, além dele, participaram Noam Chomsky, George Miller, Herbert Simon e alguns outros nomes muito conhecidos na área (MOREIRA, M. A., 2012).

O "cognitivismo de Bruner" ficou restrito aos modos de representação pelos quais o sujeito passa ao longo de seu desenvolvimento intelectual - ativo, icônico e simbólico – percebe-se que há uma clara influência piagetiana no seu processo intelectual. Aliás, na prática, e nos meios educacionais, é conhecido por estes modos representacionais e por termos como currículo em espiral e aprendizagem por descoberta.

Abordando o termo que adotar "psicologia ideal", o teórico critica sua própria visão piagetiana anterior, pois diz que a criança é o seu próprio construtor "solista" que pode produzir níveis cada vez mais elevados de representação e, absorve a ideia de Lev Vygotsky, mas depois reafirma que reconhece que a criança raramente constrói por si só, mas sim através de uma intencionalidade compartilhada: tudo o que "entra" na consciência é o que foi "acordado" interpessoalmente; somente aquilo a que a criança pode assegurar "concordância compartilhada" torna-se parte de sua representação do mundo. Sem dúvida, uma visão vygotskyana, embora propositalmente superficial, é importante na medida em que possibilita ao professor, durante sua caminhada pedagógica, uma reflexão acerca desta temática (MOREIRA, M. A., 2012).

3.7 Descrição dos Estágios de Jerome Bruner para o Ensino

A teoria de instrumentalismo evolucionista, técnicas que expõe sua própria humanidade, tendo certa semelhança a Jean Piaget, acentua carácter contextual de atos psicológicos. À influência contextualizada e social para o processo desta ação e formação, articulando a teoria como abrangente ao da teoria de Jean Piaget, a identificação e a imitação no processo para o desenvolvimento e formação, mantém-se graças à tônica que coloca o papel da equilíbrio (MOREIRA, M. A., 2012).

Em conformidade a Piaget, demonstrou para a ação cognitiva, apresentaria uma série de etapas, tais como:

- De 3 anos de idade, a criança passa pelo estágio das respostas motoras;
- Dos 3 aos 9 anos, faz uso da representação icônica, e

- A partir dos 10 anos de idade, acede ao estágio da representação simbólica.

Considerando que no primeiro estágio, a criança representa acontecimentos passados por respostas motoras e privilegiando a ação em forma de representação do real, considerando que a criança, nessa faixa etária aprende, através da manipulação de objetos, a criança age com base em procedimentos mecanismos tidos como reflexos, simples e condicionados até conseguir desenvolver automatismos (NETTO, 1991).

Para a segunda etapa, a representação termo “icônica” ou “estágio icônico”, constrói-se em uma organização visual, para uso de imagens sinópticas² e na organização de percepções e imagens (GUILAR, 2008). Nessa faixa etária, a criança torna-se capaz de reproduzir objetos, mas é fortemente ajustado a uma memória visual, concreta e específica.

Quanto a terceira etapa, sendo ela representada pelo termo “simbólica” ou “estágio simbólico”, compõem um recurso mais elaborada de atração da realidade, onde o indivíduo que contém uma idade acima de dez, começa a ser capaz compreender a realidade, por linguagem simbólica, uma forma abstrata e sem uma dependência direta da realidade. Quando é incorporado nesta etapa, a pessoa começa a ser capaz de manejar os símbolos, abrangendo uma ordem, não só a fazer uma leitura da realidade, mas também de transformar a realidade que o cerca (OLIVEIRA L. K., 2008).

Quando o indivíduo faz a passagem, em cada uma destas três etapas, podendo ser acelerada através da imersão da criança num meio cultural, linguístico e estimulante. Considerando que a Física apresenta uma variedade de fenômenos, podendo ser investigada em diversas áreas, com explicações sobre os diversos fenômenos, podemos apresentar diversas utilizações para a Indústria, Medicina, Engenharia, sendo que as aplicações sempre estarão nos cercando para que possamos compreender o cotidiano, para auxiliar como forma de simplificar a vida (PROGOL, 2012).

A Física articula realizações e conexões de grande relevância no meio social, contudo existem conexões que desconhecem a fundamentação Física, que apresentam algumas aplicações, sendo com uma particularidade a Física Moderna. Ao apresentarmos um paralelo no cotidiano, atribuímos um assunto que é o Efeito Fotoelétrico, considerando sua aplicação (PRIGOL & GIANNOTTI, 2012).

Essa descoberta no início do Século XXI, trouxe muitas aplicações em aparelhos que apresentaram uma gama de conhecimento e aplicações, concordando com as propostas de Planck e Einstein, ao utilizarem sua frequência e fótons de energia. Sendo estudado o comportamento da luz, onde apresentava um número considerado de fótons que eram emitidos por um determinado tempo, sendo essa luz incidente em uma superfície metálica, fazendo com

² É uma palavra de origem grega *sunoptikós* e, de acordo com a sua etimologia, significa aquilo que permite ver, de uma só vez, um conjunto como um todo, a forma de uma sinopse ou o modo resumido de algo.

que o elétron tenha uma energia cinética, para ser arrancado do metal (PRIGOL & GIANNOTTI, 2012).

Com as devidas explicações apresentada por Einstein, sobre o fenômeno do Efeito Fotoelétrico, observada e apontando o comportamento dual dos fótons, ou seja, um comportamento onda-partículas, nesse apresentado uma onda eletromagnética.

Para tanto, temos para adicionar um teórico junto à Jerome Bruner, em sua obra que trata da Metodologia de Ensino de Ciências, atribui uma proposta de educação de Paulo Freire, condicionando os Três Estágio, sendo caracterizados por 1. Problematização Inicial; 2. Organização de conhecimento; e 3. Aplicação do conhecimento.

A aplicação do produto foi realizada em seis encontros de aulas, com duração de cinquenta (50) minutos para a sequência didática, segundo a teórico, seguindo essa sequência realizamos em Estágio 1, 2 e 3.

Ao apresentar a ordem desta sequência, temos na Estágio 1, que compreendeu em dois encontros, onde foi apresentada a proposta do trabalho e orientação sobre a utilização do *site* Tinkercad, momento esse em que os alunos puderam manusear em seus computadores, tablet e celulares.

Na Estágio 2, com dois encontros, foi realizado uma revisão de conteúdo sobre ondas e exposição necessária ao entendimento do assunto de Física Moderna, com o tema Efeito Fotoelétrico, junto aos alunos.

Por fim na Estágio 3, composta por dois encontros, foi feita a utilização de mecanismos virtuais, pesquisa sobre o conteúdo para melhor análise e compreensão, com base na Estágio 2³, e realização virtual de uma avaliação⁴.

3.8 Descrição dos Trabalhos: Propostas Didáticas para Aplicação em Sala de Aula

Este trabalho tem como aporte a teoria de Jerome Bruner sobre o conhecimento significativa, metodologias ativas de aprendizagem e as orientações dos documentos oficiais quanto ao ensino médio integrado (GUILAR, 2008). Não se propõe aqui uma sequência didática rígida disposta em unidades e separada por aulas, por entendermos que cada professor que escolha adotá-la, o fará de acordo com sua realidade, público-alvo, estrutura física, tempo disponível e outros fatores. Propomos então, como já observado nos tópicos anteriores, apenas em linhas gerais uma organização didática dos conteúdos, visando aproveitar ao máximo os recursos disponíveis.

³ Apêndice D;

⁴ Apêndice B;

A partir dos referenciais citados, são desenvolvidas oficinas em um momento na aula propriamente dita e nestas dá-se total liberdade ao aluno para manusear os materiais a serem usados e montar os experimentos propostos, de modo que se possa observar as dificuldades apresentadas, bem como, que tipos de conhecimentos o aluno possui (BULEGON, A. M., 2011). O roteiro proposto é o mais aberto possível de modo que o aluno fique livre para registrar suas observações e conclusões acerca dos experimentos.

Sempre que possível deve-se remeter aos experimentos fazendo um *link* entre o conteúdo teórico e o observado na prática, bem como relacioná-lo com dispositivos tecnológicos que se utilizam dos princípios estudados, neste ponto pode-se lançar mão de simulações educacionais sobre os temas abordados, nas quais além de manusear o experimento, por exemplo variando seus parâmetros, podem ter uma visão microscópica dos fenômenos abordados.

Busca-se também começar por conceitos mais gerais e aos poucos introduzir os aspectos mais específicos tendo como prioridade a parte conceitual e sempre que possível introduzir os aspectos matemáticos, não sendo estes colocados como os mais importantes no processo. Como forma de avaliação utiliza-se a aplicação de um questionário com perguntas abertas e/ou rodas de discussões, dando assim, a oportunidade ao discente de expressar tudo o que aprendeu sobre os conteúdos abordados.

Capítulo 4

APLICAÇÃO DO PRODUTO

4.1 *Atividade na Pandemia*

Em acordo com a portaria do MEC de n.º. 544, do dia 16 de junho de 2020, dispõe substituições das aulas presenciais por aulas em meios digitais, enquanto durar a situação da pandemia do novo CORONAVÍRUS – COVID-19 – sendo revogada pela Portaria ela n.º. 345, do dia 19 de março de 2020, e n.º. 473 do dia 12 de maio de 2020. Em conformidade com a portaria supracitada, a realização deste trabalho foi feita de forma remota.

4.2 *Local do experimento*⁵

A proposta didática foi realizada em uma escola na cidade de Manaus, município do Amazonas. A referida instituição de ensino atua há mais de cento e vinte anos, atende a comunidade que busca uma formação técnicos e tecnológico nas modalidades do Ensino Médio e Superior.

A escola possui uma estrutura dotada de amplas salas de aula, vários laboratórios didáticos de uso dos cursos, seis laboratórios de informática, sendo um deles também utilizado como sala de aula, biblioteca com dois ambientes, salas destinadas ao administrativo e aos professores, teatro, cozinhas, refeitório e ginásio de esportes. Dois laboratórios de física com equipamentos de Física I, II e III, porém não há para física moderna.

As aulas são distribuídas em seis tempos, sendo de cinquenta minutos para cada, tendo um intervalo de vinte minutos entre o terceiro e o quarto tempo. As aulas de Física das turmas do projeto consistem em três tempos semanais e são ministradas as quartas feiras no primeiro ao terceiro tempo. As turmas escolhidas para a aplicação da proposta didática foi o terceiro ano matutino do ensino médio técnico de informática onde, tradicionalmente se inserem tópicos de física moderna. O alunado é composto por vinte e oito (28) alunos na turma “A” e vinte e sete (27) alunos na turma “B”, totalizando cinquenta e sete alunos. A escolha das turmas foi feita com o intuito de inserir os tópicos de Física Moderna (efeito fotoelétrico), no contexto do

⁵ Neste subitem informamos que as atividades foram realizadas na sua totalidade *on-line*, conforme portaria do MEC n. 544, de 16 de junho de 2020, sendo revogada pela Portaria ela n.º. 345, do dia 19 de março de 2020, e n.º. 473 do dia 12 de maio de 2020.

eletromagnetismo como exemplo de outros tipos de corrente elétrica que não elétrons livres em condutores sólidos, tradicionalmente utilizado nos livros didáticos deste nível de ensino. O primeiro contato deu-se em 27 de fevereiro, início do período letivo, com a apresentação do projeto.

4.3 *Relato da aplicação da proposta didática*

Ensinar e explicar fenômenos e conceitos científicos de maneira que o estudante tenha uma vivência com a ciência, onde ele não é apenas um mero expectador, mas reconhecedor dos conceitos e/ou significados permitirá a ele entender o mundo que o cerca (GHEDIN, MARQUES, & TERÁN, 2011). O importante é que as minúcias de conceitos científicos não são o foco, mas o despertar do olhar científico que nesse contato possa facilitar o aprendizado dos conteúdos.

Baseado nessas proposições sobre o conhecimento científico, toma-se as características sobre o ensino: “Quando o desejo humano de compreender o mundo está organizado de forma criteriosa para coletar, testar e partilhar informações, temos que chamar de ciência” (HARLAN, 2002).

Para a realização deste projeto, foram realizadas atividades que se alinham com a proposta pedagógica de ensino investigativo, estas atividades variadas foram executadas em espaços virtuais, ou seja, aulas *on-line*, procurou-se promover a participação ativa de todos os alunos, despertando-se a curiosidade, buscando a elaboração de questões que deveriam ser respondidas com base no que foi apresentado.

O ensino e a aprendizagem só ocorrem de fato se os acontecimentos prévios partirem do cotidiano dos discentes, pois assim haverá situações concretas vivenciadas pelos alunos, de forma que o interesse, o desempenho e as descobertas aconteçam a longo do processo.

4.3.1 *Conteúdo*

Física Moderna – Efeito Fotoelétrico

4.3.2 *Duração*

Considerando que o tempo utilizado para cada momento de aula, compreendido dentro de cinquenta (50) minutos por um tempo de aula, as atividades foram realizadas conforme o quadro abaixo:

Tabela 4 Resumo de atividades executada.

Estágios	Nº de aulas	Estágio Simbólico Aplicado - ESA	Conteúdo
1	2	Apresentação da proposta	Argumentação de conteúdo para utilizar como conteúdo de aula.
	2	Apresentação do site Tinkercad	Utilização do site pelos alunos para compreensão.
2	2	Sistema de Revisão de Conteúdo	Ondas e ondas eletromagnéticas.
	2	Sistema de Conhecimento do Conteúdo	Física Moderna – Efeito Fotoelétrico
3	2	Aplicação do Conhecimento sobre a aula da Estágio 2	<i>Google doc</i> para aferição do conteúdo apresentado.
	2	Avaliação dos alunos sobre o conhecimento da Estágio 2	<i>Google doc</i> para avaliação de compreensão dos discentes.

4.3.3 ESA 1: Apresentação da proposta

A aplicação da proposta didática teve início no dia vinte de fevereiro com os alunos na sala de aula na forma presencial. Foi feita a distribuição dos roteiros experimentais para todos os alunos, explicações sobre a natureza do trabalho do Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física.

Tendo como referência o processo didático-pedagógico estruturado no processo de ensino e aprendizagem em que devemos seguir uma sequência de assuntos, onde é possível utilizar o livro didático para leitura e exercitação das atividades, compreender melhor como os equipamentos funcionam e como podemos gerar energia, utilizamos plataformas que auxiliam na construção, organização e testes para a montagem dos experimentos, principalmente quando se envolve métodos que possam ser visto, sem que haja problemas ocasionais, tais como, queimar algum equipamento, ou até faltar, atitude como essa, que corriqueiramente, acontece na maioria dos laboratórios multidisciplinar ou exclusivamente de Física, Para tanto, foi utilizado o *Phet*, simulador específico para simulação, recursos para o ensino com simulações e atividades compartilhadas, fundado em 2002 pelo Carl Wieman, Universidade do Colorado Boulder e *Thinkercad* que é um programa de modelagem 3D online gratuito que roda em um navegador da web, conhecido por sua simplicidade e facilidade de uso. Desde que se tornou disponível em 2011, tornou-se uma plataforma popular para a criação de modelos para impressão 3D, bem como uma introdução básica à geometria sólida construtiva nas escolas.

Tais plataformas foram apresentadas aos alunos para que pudessem ter uma ideia de como poderiam trabalhar com laboratório virtual em suas casas. Como o *Phet* já possui equipamentos montados, optamos por utilizar o *Thinkercad*, pois a possibilidade de construir e fazer funcionar é o principal interesse dos alunos, ou seja, fazer e ver funcionando o que eles construíram, mostra que eles serão capazes. Um outro ponto interessante é que *Thinkercad* o

trabalha com “Arduino”, cuja *linguagem* é de fácil apresentação aos alunos.

Após a apresentação, os alunos puderam baixar roteiros e arquivos da plataforma *Thinkercad* que auxiliaram na programação da placa do Arduino. Além disso, conseguiram simular o funcionamento da placa através de qualquer dispositivo com acesso à internet. Como atividade, foi proposto aos alunos montar virtualmente qualquer experimento, com o intuito de possibilitar uma maior compreensão da plataforma. Tal atividade levantou dúvidas e questionamentos quanto à montagem do material físico que puderam ser elucidadas com uma leitura mais cuidadosa dos roteiros.

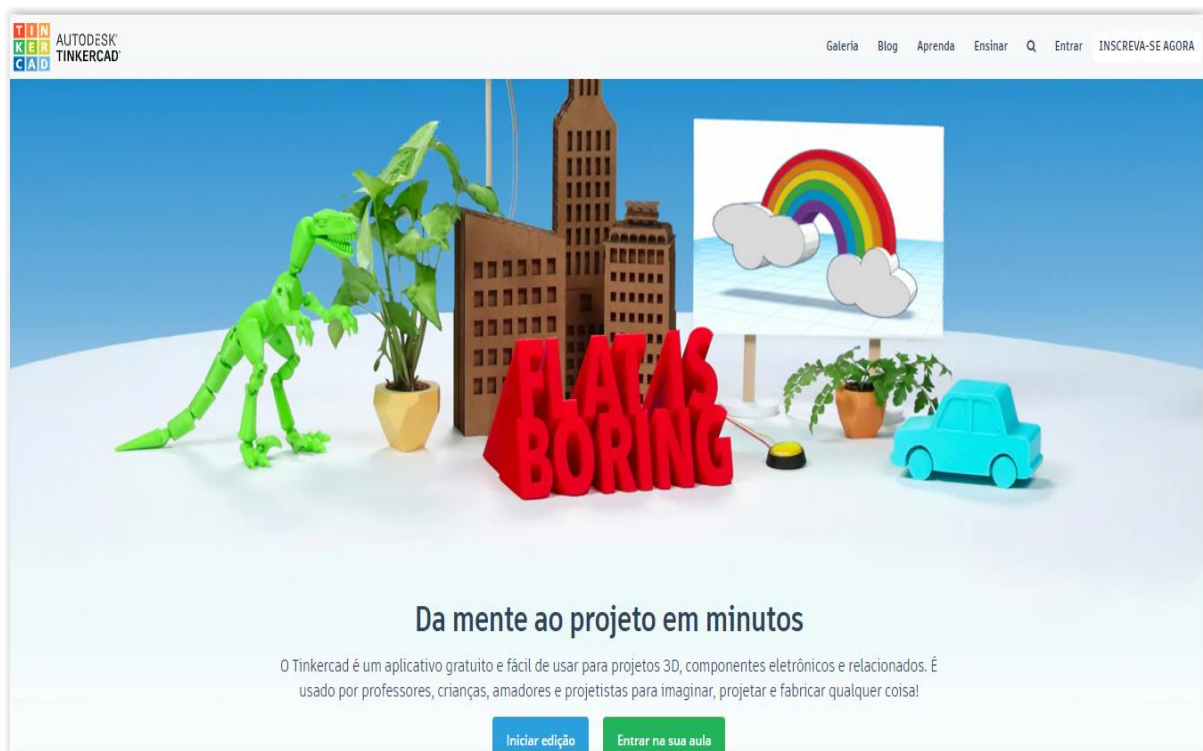


Figura 15 Plataforma do site Tinkercad.

Fonte: <https://www.tinkercad.com/>

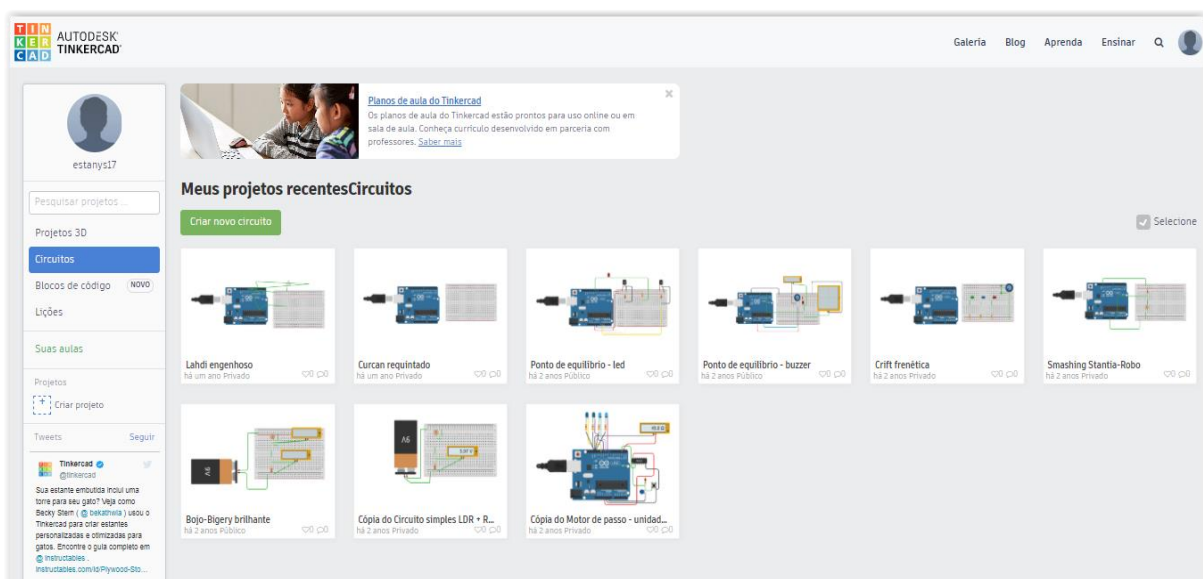


Figura 16 Parte interna do Tinkercad, neste temos estruturas montadas.

Figura 17 Plataforma do site Tinkercad.

Fonte: <https://www.tinkercad.com/>

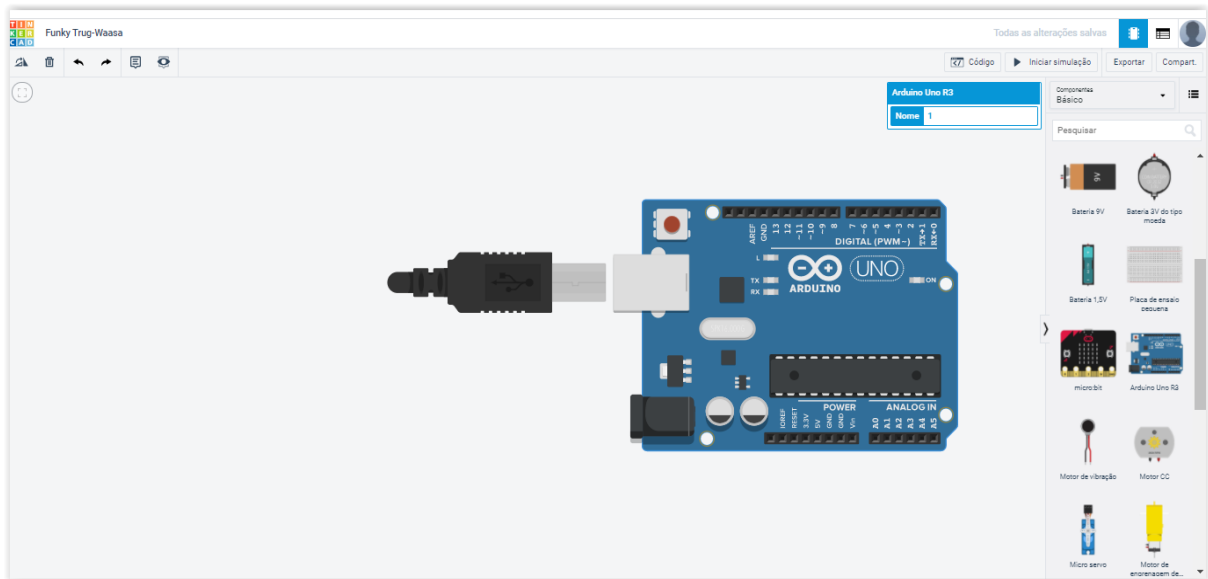


Figura 18 Modelo de montagem interna como um laboratório virtual.

Figura 19 Plataforma do site Tinkercad.

Fonte: <https://www.tinkercad.com/>

4.3.4 ESA 2: Revisão de Conteúdo e Conhecimento

O ESA 2, neste aula, começamos com revisão abordando conceitos como comprimento de onda, período, velocidade de propagação e frequência, associando a natureza eletromagnética da luz. Foram apresentadas ilustrações do modelo de onda eletromagnética, com oscilações perpendiculares dos campos elétrico e magnético, relacionando com fenômenos cotidianos e discussão sobre as diversas frequências da radiação eletromagnética e suas aplicações, como ondas de rádio e televisão, micro-ondas e como o corpo humano é um emissor de radiação térmica, para tanto foi usado o exemplo de transmissões de eventos esportivos, onde uma câmera converte as frequências invisíveis do espectro térmico em radiações na faixa do visível e mostra em cores as partes quentes do corpo dos atletas.

O comportamento corpuscular da luz e aos limites da Física Clássica foi ilustrado pelo experimento de Hertz, ponto culminante e fim da física clássica como teoria geral. Nele, Hertz detecta as ondas eletromagnéticas previstas pelas equações de Maxwell ao mesmo tempo que observa a existência do efeito fotoelétrico, cuja explicação necessitou de uma teoria revolucionária: a ideia de que a radiação se apresentava na forma de pacotes - fótons - cuja energia era quantizada. Foram também citados outros fenômenos, como o efeito Compton e os experimentos de fenda dupla para um feixe de elétrons. Nesta parte da aula houve uma menor

participação dos alunos, provavelmente pela grande quantidade de informações expostas em pouco tempo. Em outro momento de interdisciplinaridade, tratou-se da dependência da frequência/comprimento de onda da radiação para ocorrência de fenômenos aparentemente comuns como a fotossíntese.

O passo seguinte foi a demonstração das equações do efeito fotoelétrico, de suas aplicações tecnológicas e características gerais, da equação de Einstein comprovada experimentalmente por Millikan, a função trabalho de alguns materiais e da possibilidade de realização de experimentos virtuais - simulações - e reais - experimentos físicos. Foram apresentadas as vantagens e desvantagens básicas de cada simulação para o efeito fotoelétrico e um aparato real para a determinação da constante de Planck.

Os alunos foram provocados a terminar suas simulações e, ao completar essa etapa, foram levados a tentar comprovar o que o virtual tinha simulado. Dúvidas e questionamentos foram levantados, o que propiciou uma troca de conhecimentos entre os grupos. Neste dia havia um número maior de computadores disponíveis de modo que não houve dificuldade em encerrar as simulações no tempo previsto.

Enquanto alguns resolviam as questões propostas nos roteiros, outros grupos por vez faziam os experimentos. Foi observado que a participação do professor foi diminuindo à medida que mais grupos realizavam seus experimentos, por vezes os próprios colegas resolviam as dúvidas sem que houvesse a intervenção do professor.

Ao final do quarto dia alguns grupos não tinham conseguido completar todos os experimentos. Para finalizar a parte prática com a respectiva avaliação, foi acrescentado mais um dia com dois períodos à sequência didática. Tal acréscimo provavelmente não teria sido necessário caso fossem disponibilizados mais kits para que um número maior de grupos pudesse realizar os experimentos simultaneamente, sendo provavelmente mais interessante se todos realizassem a simulação juntos e em seguida, também reunidos, o experimento real.

4.3.5 *ESA 3: Aplicação do Conhecimento do ESA 2*

No estágio 3 foi feita uma aula de revisão da aula de Física Moderna com o conteúdo de Efeito Fotoelétrico, nesta mesma aula apresentamos virtualmente o vídeo que constrói a placas de energia solar com LED's, onde foi preciso enfatizar o processo de transformação de energia luminosa em energia elétrica. A aula só foi realizada no período de pandemia do Covid-19, para tanto, feito não só uma revisão de Efeito Fotoelétrico, como também o conteúdo do início do ano letivo.

Foram feitas duas avaliações individuais, através de questionários, uma sobre o conteúdo abordado e outra sobre o vídeo de construção da Placa de Energia Solar com LED's,

que serão apresentadas a seguir:

Conforme apresentado, tanto o produto quanto o conteúdo, se fazem necessário o feedback de entendimento sobre o que estamos executando no projeto, para isso, utilizamos a avaliação do conhecimento do ESA 2, lembrando que é tudo virtualmente, com uso de formulários on-line, em seguida, executamos um Exercício Avaliativos sobre Efeito Fotoelétrico. Para que confrontarmos o aprendizado dos alunos, percebeu-se que houve um grande interesse em aprender e resolver questões, relacionadas ao tema. Na pesquisa de apresentação de satisfação sobre o entendimento do produto; os mesmos puderam a melhor compreensão com instrumentos simples, utilizando a plataforma Thinkercad, sendo que puderem construir a partir de sua própria imaginação, seguindo o princípio de aprendizagem de Jerome Bruner, considerando que acredita na curiosidade atribuída ao jovem, podendo descobrir caminhos que podem facilitar a vida profissional. Convergindo em volta ao espiral do conhecimento, assim mencionado por Jerome Bruner, justificando, que somos seres que podemos analisar, resolver e construir, mediante as ferramentas utilizadas.

Com as atividades desenvolvidas procuramos desenvolver e ampliar as diversas formas do aluno conhecer e expressar o que o mundo apresenta a ele, relacionando com outras situações de preparação planejada e organizada. Com isso, acreditamos que cada aluno foi capaz de superar sua relação egocêntrica e sincrética com o meio através de comparações, manipulações de objetos, compreensão de análise de fenômenos sistemáticos. Um componente efetivo do ato de conhecer, incluindo a curiosidade e a autoconfiança, da interação e do prazer da descoberta, da expectativa pelo novo, o que está para ser experimentado. Nessa interação cognitiva e afetiva, observamos o quanto pode ser desenvolvido o aprendizado nos diversos campos do conhecimento, assim como muitas habilidades foram desenvolvidas.

Capítulo 5

RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Desenvolvemos neste projeto uma pesquisa de natureza qualitativa, de caráter interpretativo para se referir a uma família de abordagens de pesquisa participativa observacional (ERICKSON, 1986 apud MOREIRA, 2011). Para tanto, utilizamos os Estágios Simbólicos Aplicados - ESA para ensinar o conteúdo de Efeito fotoelétrico e suas aplicações.

Como método de avaliação, utilizamos questionários para as duas turmas do terceiro ano, aqui denominadas de classes X e Y. A classe X é composta de 24 alunos e a classe Y composta por 29 alunos, ambas as classes mistas.

Considerando que o uso de questionário se constitui em uma importante ferramenta de pesquisa, podendo ser usado para obter informações e coletar dados de uma dada quantidade de pessoas, ao realizar a abordagem sobre o ensino de Física Moderna, foi possível avaliar o conhecimento dos alunos acerca do que foi ministrado e demonstrado através de experimentos reais e simulados. A metodologia empregada na pesquisa compôs-se da aplicação de um questionário com questões objetivas e subjetivas, de onde foi possível constatar que a inserção da Física Moderna, no ensino médio, é uma ação que depende do diálogo e da ação conjunta de todos os envolvidos no processo de ensino. Para tanto, caracterizaremos as variáveis que possibilitaram esse processo de entendimento sobre um assunto, que para muitos é considerado complexo.

5.1 *Perfil da Escola*⁶

A escola em questão está localizada na cidade de Manaus no Amazonas. Com uma população de aproximadamente 3,5 milhões de habitantes.

5.2 Pesquisa com os alunos

Os alunos fizeram uso de um roteiro de atividades sobre o Efeito Fotoelétrico com o objetivo de verificar o entendimento conceitual e dos princípios sobre o tema em diversos

⁶ Neste subitem informamos que as atividades foram realizadas na sua totalidade *on-line*, conforme portaria do MEC n. 544, de 16 de junho de 2020, sendo revogada pela Portaria ela n°. 345, do dia 19 de março de 2020, e n°. 473 do dia 12 de maio de 2020.

níveis. Através dessas atividades seria possível verificar se a aquisição conceitual faz parte do conhecimento do aluno não somente na repetição de uma definição conceitual, mas também quando do uso desse conhecimento para interpretar, compreender ou expor determinado fenômeno. Além disso, é necessário saber situar fatos ou situações concretas envolvendo esses conceitos. A aprendizagem conceitual deve ser a mais significativa possível de modo a provocar um verdadeiro processo de elaboração e construção pessoal do conceito.

O roteiro de atividades dos alunos foi pensado e desenvolvido com o intuito de percorrer os conceitos fundamentais envolvidos na fenomenologia do Efeito Fotoelétrico, análise e interpretação de dados, gráficos e tabelas e ainda realização de cálculos, como por exemplo, da energia e da constante de Planck. Além disso, os alunos devem desenvolver também os conceitos procedimentais, que são um conjunto de ações ordenadas e com um fim, dirigidas para a realização de um objetivo. A realização de ações que forma os procedimentos são condições essenciais para o conhecimento. Permitem uma reflexão sobre as atividades realizadas possibilitando uma aplicação em contextos diferenciados.

O Roteiro de Atividades foi inicialmente concebido, gerando uma versão inicial a ser implementada e desenvolvida em sala de aula com os alunos. Após a aplicação, com base nos resultados do estudo foi realizada uma análise levando a uma reformulação do roteiro de atividades. O processo de reestruturação permite melhorar as práticas de ensino do tópico escolhido, em função dos resultados de experiências. Em outras palavras, a reformulação dos Roteiros de Atividades objetiva desenvolver um material potencialmente significativo, condição necessária para alcançar a aprendizagem significativa, conforme ressaltado por Heckler (2004).

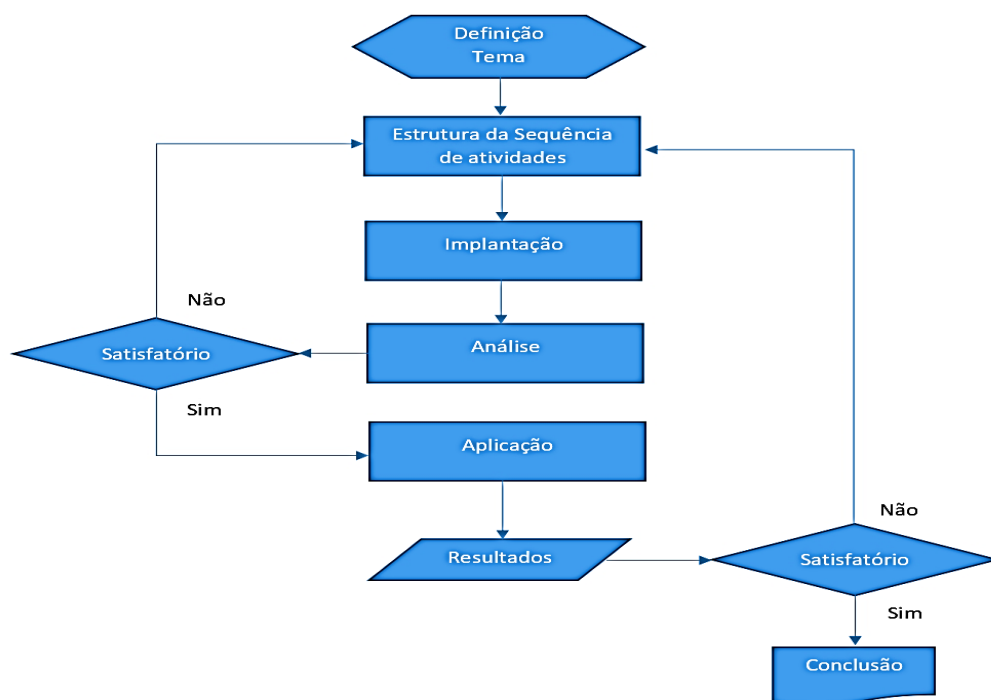


Figura 20 Representação do processo de reestruturação do roteiro de atividades.

5.3 Escolha da Turma

O Roteiro de atividades sobre o Efeito Fotoelétrico foi desenvolvido para ser trabalhado com as turmas dos terceiros anos do ensino médio. No entanto optamos por aplicar o roteiro em apenas uma turma de terceiro ano do turno matutino.

Os critérios abaixo foram usados para a escolha da turma investigada:

- Frequência dos alunos;
- Desempenho acadêmico; e
- Sequência das aulas durante a semana.

As turmas escolhidas designada 3º ano, rotuladas X e Y, dentro dos critérios adotados, foi a que se apresentou mais frequente às aulas quando comparada as outras turmas de terceiros anos. Como desenvolvemos uma Sequência Didática, as aulas se complementam e o acompanhamento aula a aula pelos alunos é fundamental para verificarmos a potencialidade do material. A turma em questão, apresenta um desempenho acadêmico mediano, não sendo uma turma muito participativa e nem demasiadamente apática, favorecendo a aplicação da atividade, no intuito de despertar o interesse dos alunos, visto que a questão motivacional é um dos fatores que desejamos analisar neste trabalho.

As aulas na turma escolhida, possibilitavam um intervalo de tempo suficiente entre uma aula e outra para que os alunos realizassem as tarefas solicitadas como por exemplo, relatar, calcular e/ou repetir os procedimentos.

5.4 Análises estatísticas

Em sintonia da avaliação com a proposta didática, aborda o conhecimento prévio sobre o conteúdo ministrado, mas tendo como referência o processo de ensino e aprendizado, conforme o teórico Jerome Bruner.

Neste trabalho, pode-se trabalhar com um número significativo de participantes, uma vez que faz parte do conteúdo programático da escola, ou seja, compõem parte das aulas a ser ministrada.

Nos gráficos que virão a seguir, poderão apresentar a confiabilidade com certa consistência na coleta das informações. Considerando que a medida sendo ela previsível, tendo pouca variabilidade, o resultado poderá refletir no que se quer medir, é claro que o valor for mais alto, melhor será a consistência da medida.

O material proposto para a referida atividade, pode-se realizá-la em ambiente virtual, considerando o distanciamento e a não aglomeração, devido ao COVID-19, optamos por

realizarem este Exercício Avaliativo (EA) sobre Física Moderna, para o conteúdo de Efeito fotoelétrico, construímos um questionário virtual com um total de dez questões, sendo assim, reunindo as turmas, pare que as mesmas pudessem responder o questionário, tal atividade foi realizada no mesmo dia e no mesmo horário.

Fomentamos a ideia de não haja uma competição, e sim, apresentarem um entendimento da exposição do conteúdo apresentado pelo professor, uma das formas podermos adequar o processo de informação e coleta de dados, pode-se utilizar os TIC's, como foi o caso do "Google Formulário", instrumento em conformidade em associar e adequar aos alunos a possibilidade de responderem ao questionamento sobre o conteúdo ministrado.

O instrumento foi adequado a questões temporizadas, sendo que nele podem apresentar resoluções, tanto dissertativas, quanto alternativas, para a nossa situação, ajustamos com alternativas, e limitamos o tempo para apresentarem as respostas.

A seguir, apresentaremos os resultados obtidos dos questionários aplicados, considerando dados pela mediana e acertos por cada questão.

Nesta etapa, disponibilizaremos as respostas em forma de gráficos, assim poderemos compreender o desempenho dos alunos, considerando que as turmas responderam ao mesmo tempo, sendo que as turmas totalizaram a quantia de cinquenta e quatro (54) participantes para esta atividade, o modelo de prova encontra-se nos anexos⁷, segue os gráficos:

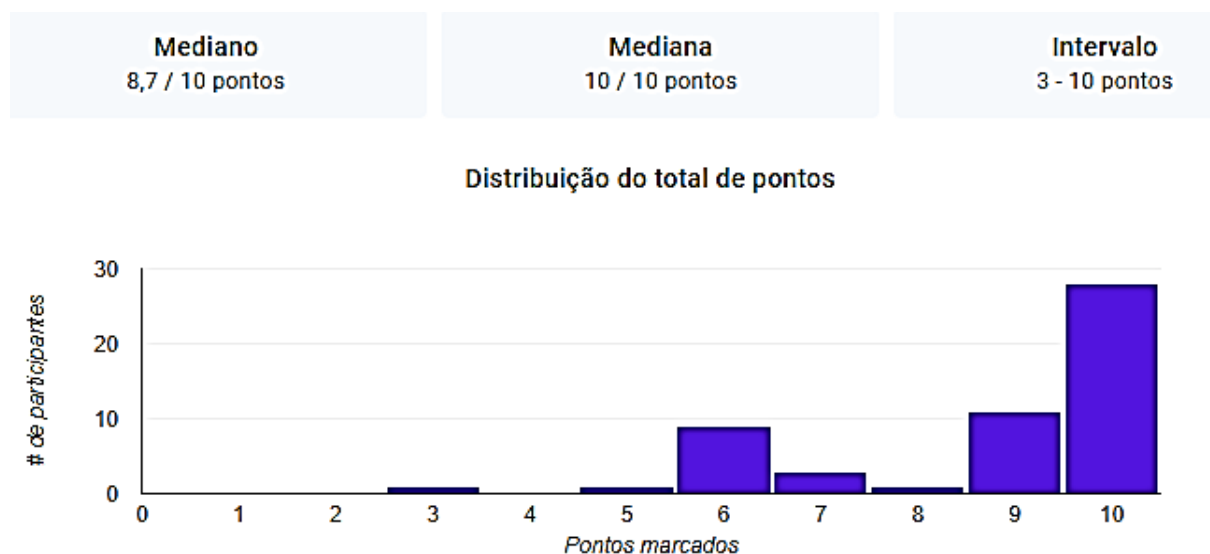


Figura 21 Resultado da turma "A" e "B" para exercícios avaliativos.

A figura 16 mostra que o mediano da turma, considerando que as turmas estavam juntas, apresenta o valor de oito vírgula sete (8,7), bem acima da média. Neste ponto podemos perceber que os alunos corresponderam com um bom entendimento sobre o assunto e sobre a apresentação do material didático.

⁷ Apêndice B

Em relação ao percentual das respostas apresentadas pelos alunos, conforme figura 17, houve mais acertos, são as que estão em verde e sequenciadas do percentual relativo as duas turmas. É possível perceber que na primeira pergunta as respostas são bem satisfatórias, porém compreendemos que a questão apresentava bases fundamentais, cobrando assim do aluno mais atenção no momento de responder.

Pergunta 01

36 / 54 respostas corretas

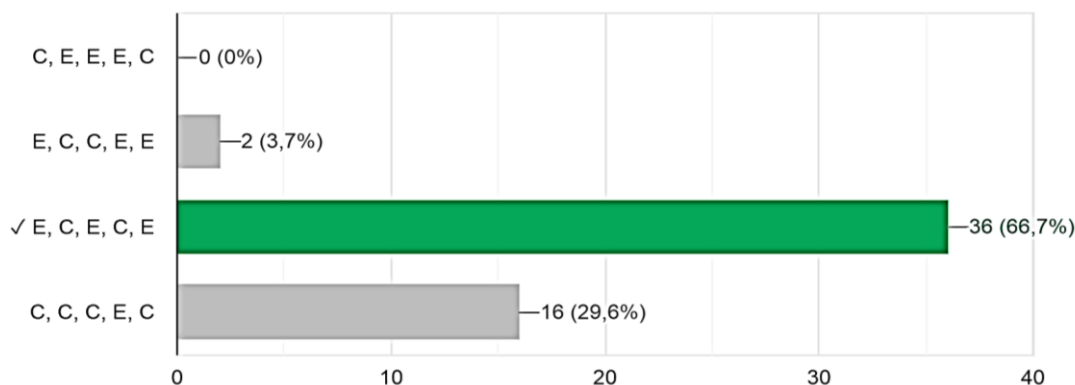


Figura 22 Resposta da questão 01, a pergunta está no Apêndice B.

Da mesma maneira, a questão 02 – figura 18, foi feita a análise e pudemos perceber que os alunos precisavam de um pouco mais de fundamentos, por mais que o percentual de acertos fosse um pouco acima da média.

Pergunta 02

37 / 54 respostas corretas

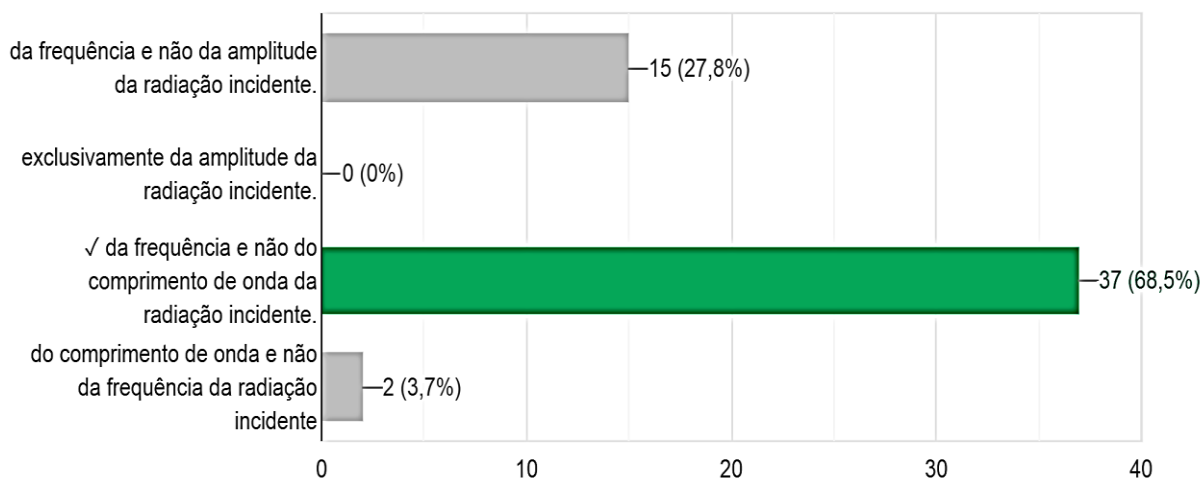


Figura 23 Resposta da questão 2, apêndice B.

Na questão 03, veja figura 19, é possível verificar que a questão é bastante objetiva, e os alunos puderam obter um percentual bem mais elevado, entende-se que os alunos estão bem acostumados com questão diretas.

Pergunta 03

53 / 54 respostas corretas

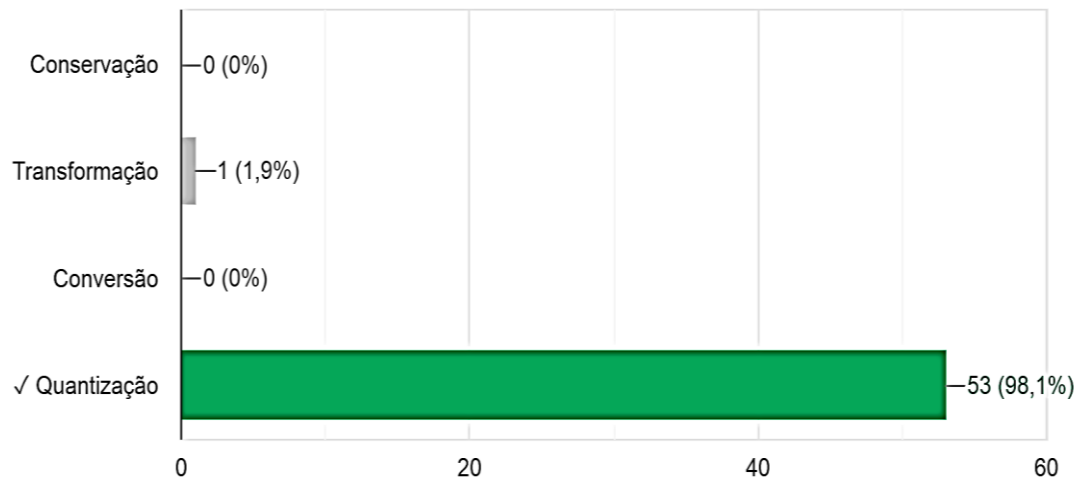


Figura 24 Resposta da questão 3, apêndice B.

Na figura 20, que trata da quarta questão, em que a resposta é evidenciada sobre o movimento dos elétrons em relação ao tempo e luz, o percentual elevado permite dizer que a questão se tratava do início da apresentação e falava do comportamento do elétron e da luz.

Pergunta 04

52 / 54 respostas corretas

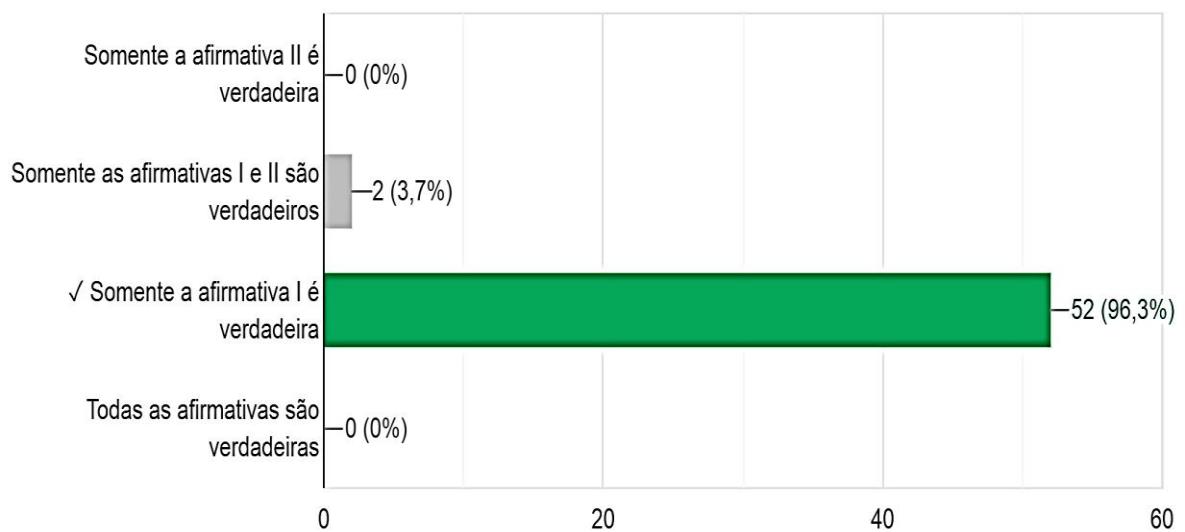


Figura 25 Resposta da questão 4, apêndice B.

O gráfico da figura 21, consolida o aprendizado que diferencia os outros termos mencionados como resposta, dando uma forma característica de definir o que é um fóton, segundo a pergunta atribuída.

Pergunta 05

54 / 54 respostas corretas

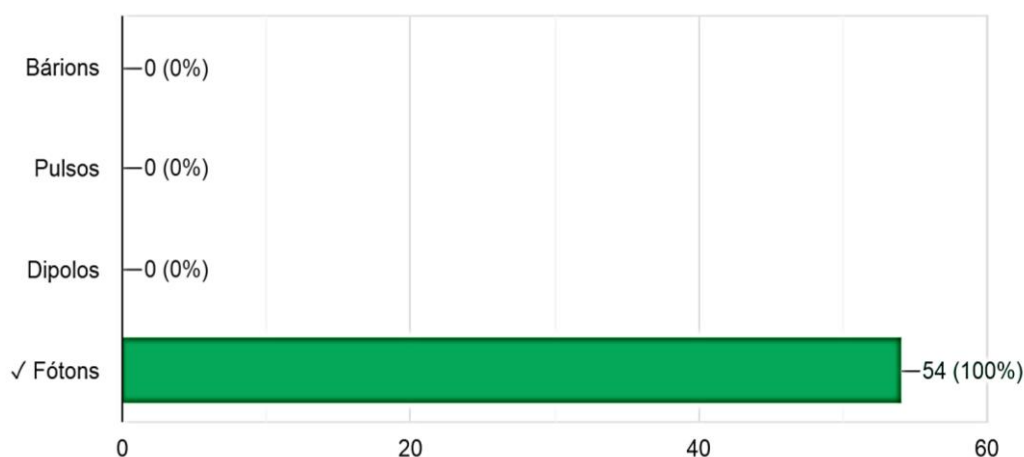


Figura 26 Resposta da questão 5, apêndice B.

Os resultados da questão 06 são apresentados na figura 22, nela consta informações que apresentam cálculos, mas as respostas são teóricas, daí concluímos que para esta questão em que os dados podem caracterizar uma resposta concreta, uma forma de opinar corretamente mediante ao conhecimento prévio dos alunos, puderam assim ter um percentual apreciável.

Pergunta 06

40 / 54 respostas corretas

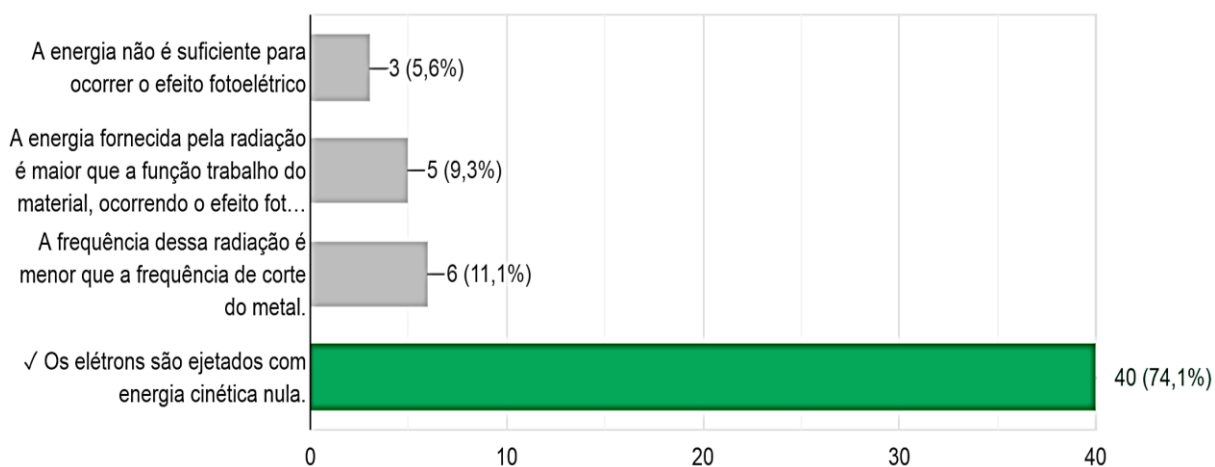


Figura 27 Resposnta da questão 6, apêndice B.

A figura 23, que trata da questão 07, onde geralmente faz com que os alunos errem, pois trata de apresentar uma resposta incorreta, no entanto, todos os alunos conseguiram apresentar uma boa resposta ao questionamento.

Pergunta 07

54 / 54 respostas corretas

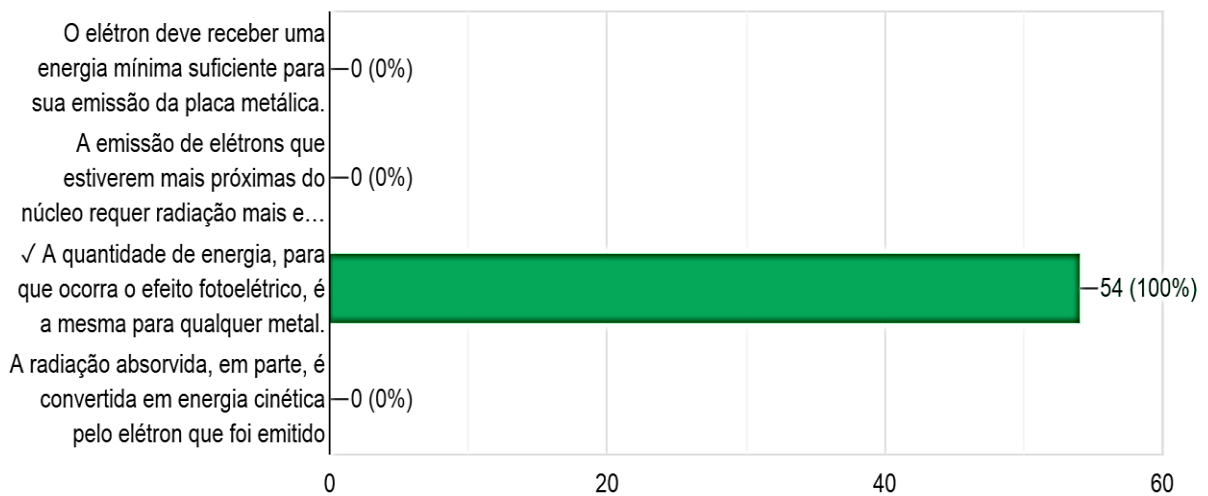


Figura 28 Resposta da questão 7, apêndice B.

A maioria dos alunos responderam corretamente na questão 08, figura 24, considerando que sua resposta envolve gráficos, e a compreensão a respeito do processo do Efeito Fotoelétrico, é demonstrado o nível de conhecimento por ele.

Pergunta 08

53 / 54 respostas corretas

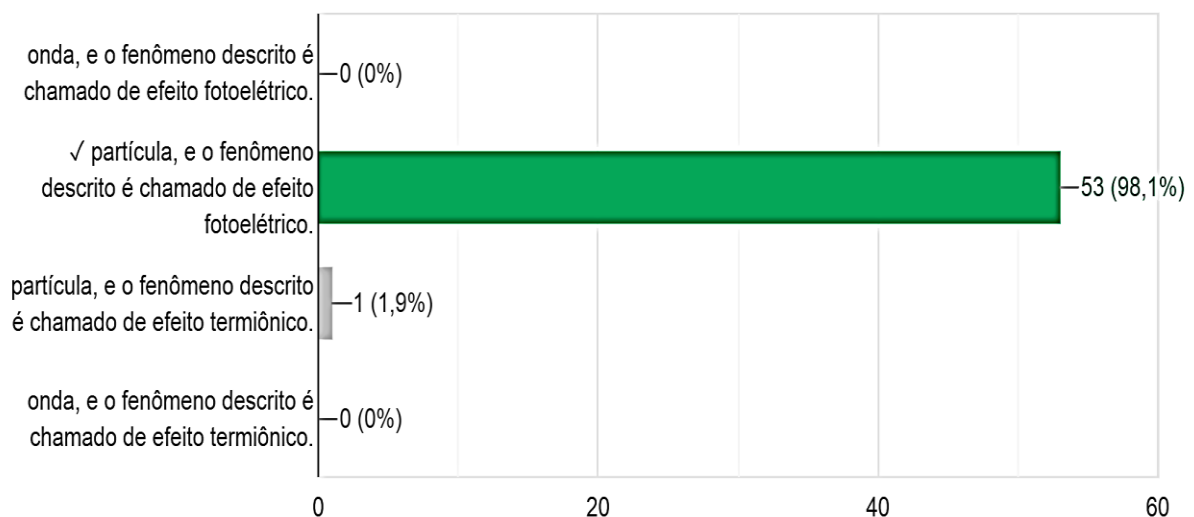


Figura 29 Resposta da questão 8, Apêndice B.

Na questão 09, figura 25, foi observado que houve uma certa dificuldade em escolher a resposta correta, onde somente um quantitativo de 39 alunos, dos 54 alunos no total, responderam corretamente.

Pergunta 09

39 / 54 respostas corretas

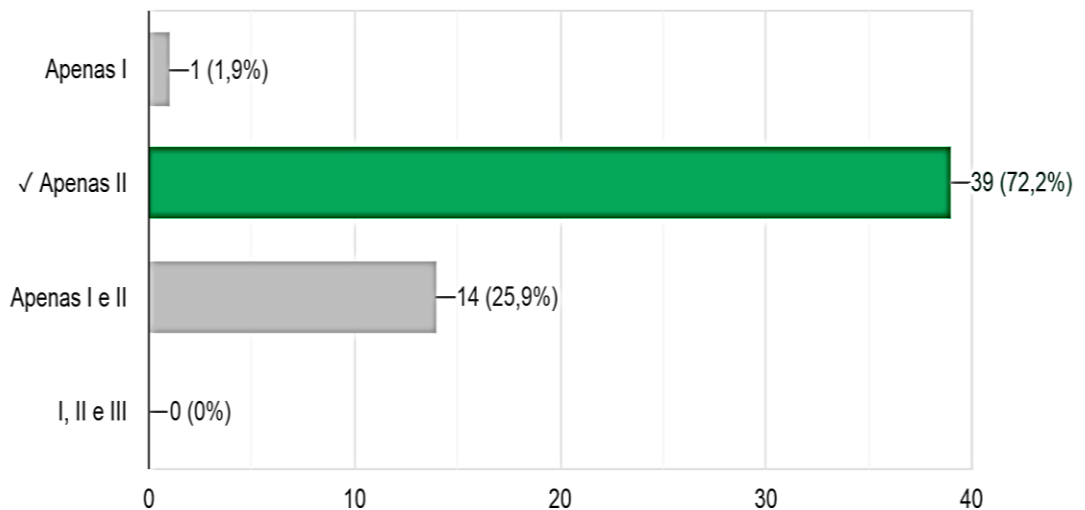


Figura 30 Resposta da questão 9, Apêndice B.

Por fim, na figura 26, é apresentado o percentual bem próximo dos 100%, ou seja, pode-se afirmar que os alunos estavam preparados para responder esta questão, assim caracterizando a sua concentração na leitura da pergunta e no momento de atribuir uma resposta.

Pergunta 10

52 / 54 respostas corretas

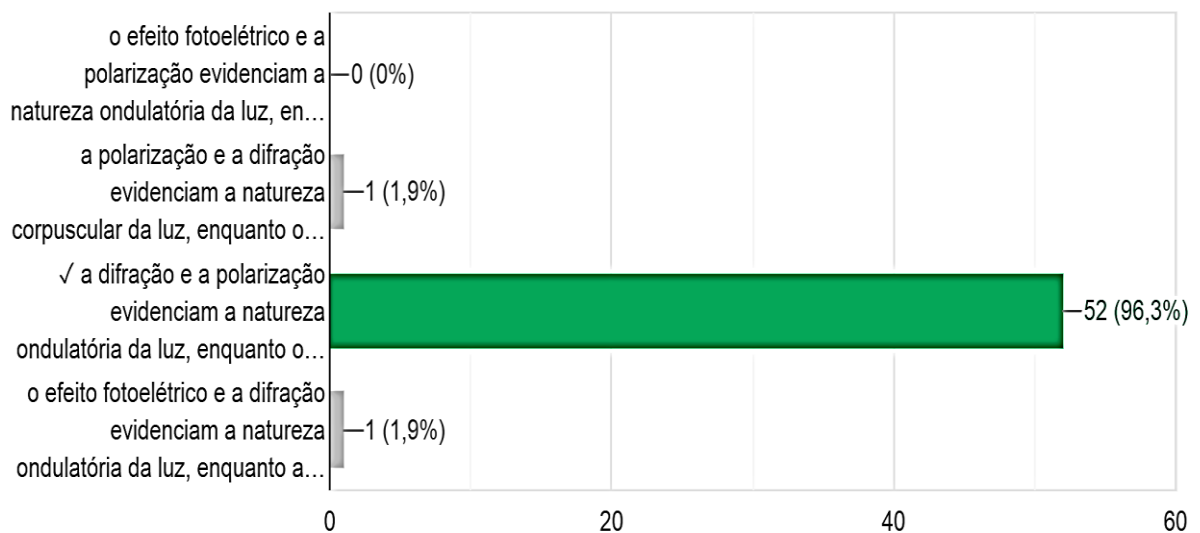


Figura 31 Resposta da questão 10, Apêndice B.

Neste contexto, pode-se afirmar a lisura nas respostas apresentadas pelos alunos, mostrando o domínio pelo conteúdo ministrado em sala de aula, sendo ele bem representado pelos gráficos, nesta amostragem de informações, percebe-se que boa parte conseguiu o sucesso de responder corretamente, porém uma minoria não obteve êxitos nas respostas, mostrando assim a possibilidade de melhorar o seu desempenho.

CONCLUSÃO

O tema deste trabalho foi motivado pela necessidade de aprimorar o ensino de Física Moderna nas aulas de Física dos terceiros anos. O estado experimental a ser utilizado na proposta didática, produzida no Mestrado Profissional em Ensino de Física possibilitando desenvolver habilidades que capacitarão e diversificarão possibilidades de atuação juntos aos aprendizes, principalmente com o uso de tecnologias e a produção própria de materiais, em que situações de poucos recursos laboratoriais.

A disponibilização do material didático, baseia-se na convicção da educação científica no Brasil que tem muito a melhorar, onde esta iniciativa modificadora são o caminho, e devem ser compartilhadas com os demais profissionais. O projeto da plataforma do Arduino cuja filosofia é o livre compartilhamento de informações e experiências.

Considerando o processo para as tratativas relativas às Diretrizes Institucionais para as Atividades Pedagógicas não Presenciais – APNPs, para o ano letivo de 2021, com base nas portarias do Ministério da Educação e Cultura – MEC n. 544, 16/06/2020, n. 617, 03/08/2020; n. 1.038, 07/12/2020; sendo que todas recomendam atividades remotas nas Instituições de Ensino Superior, tendo como objetivo o combate ao COVID-19, nestes termos informamos que o respectivo trabalho aqui apresentado, foi realizado virtualmente para assegurar a vida dos discente e docentes.

A aplicação do material produzido demonstrou que a implementação de propostas experimentais em sala de aulas é bem recebida pelos alunos. Propostas que agreguem a isto o uso de recursos tecnológicos interativos semelhante às tecnologias com que os jovens convivem são prontamente acolhidas. Acreditamos que este protagonismo possa influenciar na formação dos jovens e contribuir para a melhoria das condições da educação, em especial de nível médio.

As atitudes observadas e respostas dadas e o bom desempenho na resolução dos problemas propostos, sendo novo para os alunos, nos dá indicações de que o trabalho foi bem-sucedido e motiva-nos a continuar com o desenvolvimento deste produto e ampliar sua utilização em outras turmas deste nível de ensino. As manifestações registradas nos questionários mostraram a correção dos erros encontrados, contudo fizeram uso deste material para contribuir na evolução da aprendizagem.

Acreditamos ter tido êxito nos objetivos propostos a este projeto, embora algumas melhorias ainda sejam necessárias nas informações que foram julgadas compreensíveis pelos alunos. Acredita-se também que a proposta tenha aplicabilidade em escolas de Ensino Médio. Por ventura, entendemos que novas tendências, estão sendo apresentadas a cada dia, e que a pessoas possa usufruir melhor a sua implantação no meio social, contudo, percebe-se que os aplicativos para celulares, energias renováveis e muitos outros produtos de cunho tecnológico, estão se inserindo em nosso meio, é notório que no ensino essa ferramenta seja útil, não só para momentos em pandemia, mas como para que sejam utilizadas, tanto virtual quanto híbrida ou até mesmo presencial, o importante que neste trabalho pode-se apresentar uma fração dessa nova tendência.

Referências

- BAIÃO, E. R. (2016). *DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA O USO DO SCRATCH FOR ARDUINO NO ENSINO MÉDIO*. Campinas: MNPEF.
- BAKER, J. (2015). *50 ideias da física quântica que você precisa conhecer*. São Paulo: Planeta.
- BAKER, J. (2015). *50 ideias de física quântica que você precisa conhecer*. São Paulo: Planeta.
- BAKER, J. (2015). *Cinquentas ideias de física quântica que você precisa conhecer*. São Paulo: Planeta.
- BATISTA, G. E. (2019). *RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ABERTOS: Uma proposta para o Ensino de Física Quântica*. Tramandaí: MNPEF.
- BELICH JUNIOR, H. (2012). *Física Moderna*. Vitória: Núcleo de Educação Aberta e a Distância.
- BOHM, D. (2015). *A teoria da Relatividade Restrita*. São Paulo: UNESP.
- BOHN, D. (2015). *As teorias da relatividade restrita*. São Paulo: Editora Unesp.
- BONADIMAN, H., & NONENMACHER, S. E. (2007). *O Gostar e o Aprender no Ensino de Física: Uma Proposta Metodológica*. São Paulo: Caderno Brasileiro de Ensino de Física.
- BRASIL, M. (2002). *Pcn+ do ensino médio: orientações educacionais complementares aos pcn. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias*. Brasília: MEC.
- BRASIL, M. (2002). *Pcn+ do ensino médio: orientações educacionais complementares aos pcn. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias*. Brasília: Mec.
- BRITO, J. C., & PEREZ, S. (2017). *ENSINO PELA PESQUISA EM LABORATÓRIOS MULTIDISCIPLINARES: A Implementação do Comitê Científico na Escola Pública e a Construção de uma "Smart Home" usando Plataforma Arduino*. Belém: MNPEF.
- BULEGON, A. M. (2011). *Contribuições dos objetos de aprendizagem, no ensino de física, para o desenvolvimento do pensamento crítico e da aprendizagem significativa*. Porto Alegre: Tese de Doutorado.
- CABRAL, J. C. (2015). *Efeito Fotoelétrico: uma abordagem a partir do estudo de circuitos elétricos*. Lavras: UFLA.
- CARRON, W., & GUIMARÃES, O. (2003). *As faces da Física*. São Paulo: Moderna.
- EISBERG, R. (1979). *Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. São Paulo: LTC.
- EISBERG, R. (1994). *FÍSICA QUÂNTICA*. Rio de Janeiro: Campus.
- Física Quântica* (1º ed.). (1994). Rio de Janeiro: Campus.
- GHEDIN, L. M., MARQUES, F. F., & TERÁN, A. F. (2011). *A Educação Científica na Educação Infantil*. Manaus: Revista Areté.
- GHEDIN, L. M.; MARQUES, F. F. F.; TERÁN, A. F.; GHEDIN, I. M. (2011). A educação científica na educação infantil. *Revista Areté*, 42-52.
- GIACAGLIA, L. R. (1986). *Teoria da instrução e ensino por descobertas: contribuições de Jerome Bruner, In: Penteadó, W. M. ET alii. Psicologia e Ensino*. São Paulo: Papelivros.
- GIL, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas.
- GIL, D., & SOLBES, J. (1993). *The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science*. Taylor & Francis, v. 15, n. 3.
- GONTIJO, L. M. (2020). *Estudo sobre a Radiação Térmica*. Goiânia: PUC-GOIÁS.
- GUILAR, M. E. (2008). *Las ideas de Bruner: "De la revolución cognitiva" a la "Revolución Cultural"*. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes.
- HARLAN, J. e. (2002). *Ciências na educação infantil: uma abordagem integrada*. Porto Alegre: Artmed.

- ISSACSON, W. (2007). *EINSTEIN: sua vida, seu universo*. São Paulo: Campanhia das Letras.
- JUNIOR, W. M. (2020). APOSTILA DE ROBÓTICA - Tinkercad. Em W. M. JUNIOR, *APOSTILA DE ROBÓTICA - Tinkercad* (pp. 3-15). Triângulo Mineiro: IF-Campus Uberlândia Centro.
- LDB. (2018). *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*. Brasília: Senado Federal.
- LIMA, A. F. (2018). *PROPOSTA DE UMA UEPS PARA ENSINAR O EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO*. Brasília: MNPEF.
- M.M.M, N., C.S., B., D. G. M., S., & V. C. , P. (2014). Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade. (*Fundamentals on emissivity and its correlation with the refractory materials, energy saving and the environment*, pp. 22-33.
- MARTINAZZO, C. A., TRETIN, D. S., FERRARI, D., & PIAIA, M. M. (21 de setembro de 2014). Arduino: uma tecnologia no Ensino de física. *PERSPECTIVA*, pp. 21-30.
- Moreira, M. A. (1999). *Teorias da Aprendizagem*. São Paulo: E. P. U. - Editora Pedagógica e Universitária Ltda.
- MOREIRA, M. A. (2012). *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: ScriniaLibris.
- MOREIRA, M. M., ROMEU, M. C., ALVES, F. R., & SILVA, F. R. (2018). Contribuições do Arduino no ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 721-745.
- NASCIMENTO, T. L. (2010). *Repensando o ensino de Física no Ensino Médio*. Fortaleza: MNPEF.
- NETTO, W. F. (1991). A Construção Narrativa da Realidade. *Critical Inquiry*, 1-21.
- OLIVEIRA, J. P., SILVA, M. H., & SOLIS, T. M. (2011). *SENSOR DE LASER PARA MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DA LUZ*. Curitiba: MNPEF.
- OLIVEIRA, L. K. (2008). *Três investigações sobre escalas de proficiência e suas interpretações*. Rio de Janeiro: Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. *Investigações em ensino de ciências*, v. 5, n. 1, 23-48.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. *Investigações em ensino de ciências*.
- PRESTES, M. B., & SILVA, C. C. (2013). *Aprendendo Ciências e sobre a sua natureza: abordagens históricas e filosóficas*. São Carlos: Tipografia.
- PRIGOL, S., & GIANNOTTI, S. M. (2012). *A importância da utilização de práticas no processo de ensino-aprendizagem de ciências naturais*. Paraná: Unioeste.
- PROGOL, S. (2012). *A importância da utilização de práticas no processo de ensino-parendizagem de ciências naturais*. Unioeste: PR.
- RODRIGUES, R. F., & CUNHA, S. L. (2014). Arduino para físicos - Uma ferramenta prática para aquisição de dados automáticos. *Textos de apoio ao professor de Física*, 6-29.
- SILVA, A. L. (2019). *Ensino de Física [recurso eletrônico]: experiências, pesquisas e reflexões*. Teresina: EDUFPI.
- SILVA, W. C. (2018). *APLICANDO A COMPUTAÇÃO FÍSICA E O ARDUINO PARA O APOIO AO ENSINO DE PROGRAMAÇÃO COM BASE NA ABORDAGEM MOTIVACIONAL ARCS: Uma proposta de curso a distância com o uso de simulador*. João Pessoa: MNPEF.
- SILVEIRA, S., & GIRARDI, M. (2016). *FOTODUINO: Um kit experimental com Arduino para o estudo do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio*. Araranguá: MNPEF.

- SILVEIRA, S., & GIRARDI, M. (2017). Desenvolvimento de um kit experimental com Arduino para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio. *Development of an experimental Arduino kit for teaching Modern Physics in High School*, e4502-1 - e4502-6.
- SOUZA, P. H. (2011). *Física Lúdica: práticas para o Ensino Fundamental e Médio*. São Paulo: Cortez.
- TERRAZZAN, E. A. (24 de agosto de 1992). A inserção da física moderna e contemporânea no Ensino de Física na Escola. *Cad.Cat.Ens.Fís.*, pp. 209-214.
- TIPLER, P. A. (2006). *FÍSICA MODERNA*. Rio de Janeiro: LTC.

Apêndice A - Programação no IDE Arduíno

Código Fonte do experimento 02

O código fonte (programação) do Efeito Fotoelétrico e a constante de Planck utilizado no Arduino é dado abaixo:

Código fonte

//declaração da localização dos pinos e algumas variáveis utilizadas no código.

```
int pinoLed = A0; //pino que está ligado ao led (porta analógica 0)
int pinoPoten = A1; // pino que está ligado ao potenciômetro
int valorLido = 0; //valor lido na entrada analógica
float tensaoLed = 0; //tensão valor convertido para volts
float valorI = 0; // corrente I valor em mA
float tensaoPoten = 0;
float valorPoten = 0;
#define valorresistor 0.3; // valor do resistor em Kohms
int contador = 0;
int linha = 0;
int LABEL = 1;

void setup() {
Serial.begin(9600); //inicializa comunicação Serial numa taxa de 9600 bps
Serial.println("CLEARDATA"); // Reset da comunicação serial
Serial.println("LABEL, Horas, Tensão, Corrente"); // nomeia as colunas
}
void loop() {

if (contador <= 14) {
valorPoten = analogRead(pinoPoten);
valorLido = analogRead(pinoLed);
tensaoPoten = (valorPoten * 0.0048876); // leitura da porta analógica em que o potenciômetro está conectado
tensaoLed = (valorLido * 0.0048876); // 5V / 1023 = 0.0048876 (precisão do A/D)
valorI = (tensaoPoten - tensaoLed) / valorresistor;
// calcula a corrente elétrica no circuito em mA
Serial.print("Tensao no Led: ");
Serial.println(tensaoLed);
Serial.print("Corrente:");
Serial.println(valorI);
delay(500); //espera 1s
contador ++;
if (linha <= 14) //laço para limitar a quantidade de dados {
Serial.print("DATA, TIME,"); //inicia a impressão de dados, sempre iniciando
Serial.print(tensaoLed);
Serial.print(",");
Serial.println(valorI);
linha ++; //incrementa a linha do Excel para que a leitura pule de linha em linha
}
delay(500); //espera 1 segundos para fazer nova leitura
}
}
```

Código Fonte do experimento 03

A atividade consiste no funcionamento um tipo de fotorresistor e com uma intensidade da luz, que no caso estamos falando do LDR, ele será direcionado ao componente de sensoriamento. Considerando que é um tipo de

resistor elétrico, apresentar-se-á suas informações específicas sobre ele, mas fazendo a menção ao Efeito fotoelétrico.

Código Fonte:

```
int ldrPin = 0; // indica que o LDR deve estar no pino analógico 0
int ldrValor = 0; // armazena medidas do LDR
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  ldrValor = analogRead(ldrPin); // lê o valor do LDR
  delay(1000); // tempo de espera de 1 segundo
  Serial.println(ldrValor);
}
```

Apêndice B – Avaliação dos discente

Disciplina: FÍSICA	Conteúdo: efeito fotoelétrico	Data:	Ensino Médio
Professor Estanislau Sant'Ana			Série: 3 Ano
Nome do Discente:			
AVALIAÇÃO DE EFEITO FOTOELÉTRICO			

Observações:

- Os cálculos devem constar na prova. Não serão aceitas respostas sem os seus respectivos cálculos.
- O gabarito e as respostas das questões discursivas devem ser a caneta azul ou preta.
- Use os espaços em branco da folha para fazer os cálculos.
- Será permitido o uso de calculadora, não sendo permitidos celulares ou similares.
- Não será permitido o empréstimo de nenhum material.
- Será atribuída NOTA ZERO às provas sem nome e/ou que não tem o gabarito preenchido.

Faça uma marcação legível e sem rasuras.

	A	B	C	D
01				
02				
03				
04				
05				
06				
07				
08				
09				
10				

01 – (UFSC) Considerando os conceitos, já estudados, sobre o efeito fotoelétrico, analise as afirmações a seguir marcando C para as certas e E para as erradas.

() A luz, em certas interações com a matéria, comporta-se como uma onda eletromagnética; em outras interações ela se comporta como partícula, como os fótons no efeito fotoelétrico.

() A difração e a interferência são fenômenos que somente podem ser explicados satisfatoriamente por meio do comportamento ondulatório da luz.

() O efeito fotoelétrico somente pode ser explicado satisfatoriamente quando consideramos a luz formada por partículas, os fótons.

() O efeito fotoelétrico é consequência do comportamento ondulatório da luz.

() Devido à alta frequência da luz violeta, o "fóton violeta" é mais energético do que o "fóton vermelho"

- a) C, E, E, E, C c) E, C, E, C, E
b) E, C, C, E, E d) C, C, C, E, C

02 – (ENEM) O efeito fotoelétrico contrariou as previsões teóricas da física clássica porque mostrou que a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:

- a) da frequência e não da amplitude da radiação incidente.
b) exclusivamente da amplitude da radiação incidente.
c) da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.
d) do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.

03 – (UFRS) assinale a alternativa que preenche corretamente a lacuna do parágrafo abaixo. O ano de 1900 pode ser considerado o marco inicial de uma revolução ocorrida na Física do século XX. Naquele ano, Max Planck apresentou um artigo à Sociedade Alemã de Física, introduzindo a ideia da _____ da energia, na qual Einstein se valeu para, em 1905, desenvolver sua teoria sobre o efeito fotoelétrico.

- a) Conservação c) conversão
b) Transformação d) quantização

04 – (UDES) Foi determinado experimentalmente que, quando se incide luz sobre uma superfície metálica, essa superfície emite elétrons. Esse fenômeno é conhecido como efeito fotoelétrico e foi explicado em 1905 por Albert Einstein, que ganhou em 1921 o Prêmio Nobel de Física, em decorrência desse trabalho. Durante a realização dos experimentos desenvolvidos para compreender esse efeito, foi observado que:

1. Os elétrons eram emitidos imediatamente. Não havia atraso de tempo entre a incidência da luz e a emissão dos elétrons.

2. Quando se aumentava a intensidade da luz incidente, o número de elétrons emitidos aumentava, mas não sua energia cinética.

3. A energia cinética do elétron emitido é dada pela equação $E_c = \frac{mv^2}{2} = hf - \phi$, em que o termo hf é a energia cedida ao elétron pela luz, sendo h a constante de Planck e f a frequência da luz incidente. O termo ϕ é a energia que o elétron tem que adquirir para poder sair do material, e é chamado função trabalho do metal.

Considere as seguintes afirmativas:

I – Os elétrons com energia cinética zero adquiriram energia suficiente para serem arrancados do metal.

II – Assim como a intensidade da luz incidente não influencia a energia dos elétrons emitidos, a frequência da luz incidente também não modifica a energia dos elétrons.

III – O metal precisa ser aquecido por certo tempo, para que ocorra o efeito fotoelétrico.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
b) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
c) Somente a afirmativa I é verdadeira.
d) Todas as afirmativas são verdadeiras.

05 – (UNEB-BA) De acordo com o físico Max Planck, que introduziu o conceito de energia quantizada, a luz, elemento imprescindível para manutenção da vida na Terra, como toda radiação eletromagnética, é constituída por pacotes de energia denominados:

- a) bárions.
- b) pulsos.
- c) dipolos
- d) fótons

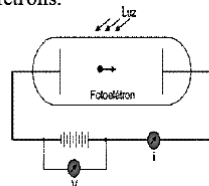
06 – Uma radiação eletromagnética de comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$, incide em um metal cuja função trabalho vale $\Phi = 6.10^{-19} \text{ J}$ (3,75 eV). Pode-se afirmar que:

- a) a energia não é suficiente para ocorrer o efeito fotoelétrico.
- b) a energia fornecida pela radiação é maior que a função trabalho do material, ocorrendo o efeito fotoelétrico.
- c) a frequência dessa radiação é menor que a frequência de corte do metal.
- d) os elétrons são ejetados com energia cinética nula.

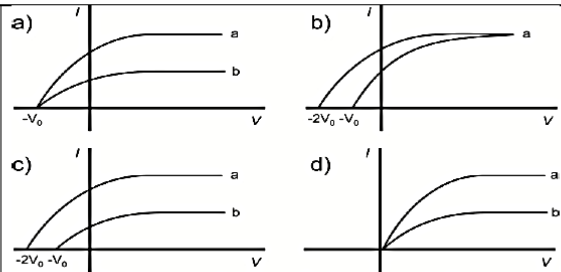
07 – (UNIMONTES) O efeito fotoelétrico ocorre quando uma radiação eletromagnética, por exemplo a ultravioleta, incide sobre uma placa metálica, provocando a emissão de elétrons por essa placa. Esse efeito tem aplicações importantes em sistemas como alarmes, portões eletrônicos, etc. O efeito fotoelétrico foi também utilizado por Bohr para propor seus postulados. Relacionando tal efeito com o modelo atômico proposto por Bohr, é INCORRETO afirmar que:

- a) o elétron deve receber uma energia mínima suficiente para sua emissão da placa metálica.
- b) a emissão de elétrons que estiverem mais próximas do núcleo requer radiação mais energéticas.
- c) a quantidade de energia, para que ocorra o efeito fotoelétrico, é a mesma para qualquer metal.
- d) a radiação absorvida, em parte, é convertida em energia cinética pelo elétron que foi emitido.

08 – (ITA) O aparato para estudar o efeito fotoelétrico mostrado na figura consiste de um invólucro de vidro que encerra o aparelho em um ambiente no qual se faz vácuo. Através de uma janela de quartzo, luz monocromática incide sobre a placa de metal P e libera elétrons.



Os elétrons são então detectados sob a forma de uma corrente, devido à diferença de potencial V estabelecido na fonte. Considerando duas situações distintas **a** e **b**, nas quais a intensidade da luz incidente em **a** é o dobro em **b**, assinale qual dos gráficos em função da diferença de potencial.



advindas da interpretação desse fenômeno, assinale o que for **correto** com C e o que for **errado** com E.

- () Para uma frequência fixa, o número de elétrons emitidos por uma placa metálica iluminada é proporcional à radiação luminosa que incide na placa.
- () A energia das radiações eletromagnéticas é quantizada e é tanto maior quanto maior for a frequência da radiação.
- () A energia cinética dos elétrons emitidos por uma placa iluminada depende da intensidade da radiação que incide na placa.
- () O efeito fotoelétrico pode sempre ser observado em um experimento com uma placa de alumínio cuja função trabalho é 4,1 eV, independentemente da frequência da radiação utilizada no experimento.

- a) E, C, C, E, E
- b) C, C, E, C, E
- c) E, C, E, C, E
- d) C, C, C, E, C

10 – (UFSM) À medida que a tecnologia invadiu os meios de produção, a obra de artes deixou de ser o resultado exclusivo do trabalho das mãos do artista, por exemplo, a fotografia. Uma vez obtido o negativo, muitas cópias da mesma foto podem ser impressas. O elemento essencial de uma foto copiadora é um cilindro eletrizado que perde eletrização, nas regiões em que incide luz. Então,

- I. O efeito fotoelétrico só pode ser entendido em termos de um modelo corpuscular para a radiação eletromagnética.
- II. O número de elétrons arrancados de uma placa metálica pelo efeito fotoelétrico cresce com o aumento da radiação eletromagnética que atinge a placa.
- III. A energia máxima dos elétrons arrancados de uma placa metálica pelo efeito fotoelétrico cresce com o aumento da intensidade da radiação eletromagnética que atinge a placa.

Está (ao) correta (s):

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

$K_{MAX} = eV_0 = hf - \phi$	$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$
$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$	$1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$
$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$	$1\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$
$V_0 = \left(\frac{h}{c}\right)f - \left(\frac{\phi}{e}\right)$	$f = \frac{c}{\lambda}$

Apêndice C – Procedimentos de construção dos experimentos a serem utilizados pelo Professor.

Neste trabalho teremos que destacar a nomenclatura dos seguintes componentes eletrônicos, pois eles serão utilizados tanto virtualmente quanto fisicamente, a descrição e função de cada um deles:

Tabela 5 Componentes usados para as automações com suas respectivas características e funções.

Componentes	Características e funções
Buzzer	Dispositivo piezelétrico útil na geração de um sinal sonoro.
Fios jumpers	Fios condutores flexíveis com extremidades rígidas para conexão entre componentes, <i>protoboard</i> e pino do Arduino.
Fotodiodo	Componente semiconductor conversor de luz em corrente elétrica. Os fotodiodos usados neste projeto são usados como sensores sensíveis à luz infravermelha.
Ímã de neodímio	Compostos de neodímio, ferro e boro, tais ímãs possuem campo magnético bastante intenso, muito útil em experimentos de física para estudo do campo magnético e fenômenos de indução eletromagnética.
Laser	Dispositivo emissor com resistor integrado pronto para ser ligado no Arduino, na tensão de 5 volts. O tipo usado nos experimentos do ebook possui potência de 5mW.
LDR (<i>Light Dependent Resistor</i>)	Resistor dependente de luz. Muito usado como sensor de luminosidade, pois é sensível à luz visível. Esse componente tem sua resistividade elétrica alterada em função da intensidade luminosa, portanto pode ser usado como experimento de Física, testando a 2ª lei de Ohm.
LED (<i>Light Emitting Diode</i>)	Diodo emissor de Luz. Esse componente tem uso recorrente nas automações como indicador de algum estado ou como fonte luminosa para algum sensor. Para este último caso optou-se, convenientemente, usar o LED Infravermelho. Notar que o LED possui polaridade definida, deixando a corrente fluir apenas em um único sentido; logo, para determinar a polaridade basta notar a diferença de tamanho nos terminais do LED, o maior possui polaridade positiva e o menor, polaridade negativa.
Potenciômetro	Consiste em um dispositivo com resistência elétrica variável. Muito útil para o controle da tensão elétrica em certos trechos de um circuito.

<i>Protoboard</i>	É uma placa de ensaio pronta para realizar conexões entre diversos componentes eletrônicos, os furos em uma mesma colunam protoboard estão conectados por um condutor. Nas extremidades da placa existem linhas que estão conectadas, ideal para extensão da fonte de energia.
<i>Push-Button</i>	Chave tátil para alterar estado lógico de um pino digital.
Resistor	Componente com resistência elétrica específica. Nos experimentos apresentados no <i>ebook</i> os resistores estão especificados quanto à resistência, conforme o código de cores.
Sensor de temperatura LM35	Este sensor apresenta uma boa precisão para medida de temperatura. Um dos terminais mantém tensão elétrica linear proporcional à temperatura, especificamente, 10mV para cada grau Celsius.
Sensor ultrassônico	Dispositivo emissor e receptor de sinal sonoro ultrassônico, ideal para sensor de distância.
Termistor	Consiste em um resistor cuja resistência elétrica é determinada pela temperatura onde se encontra.
Transistor de efeito hall	Componente transdutor capaz de detectar a polaridade magnética, podendo reverter o estado lógico de um pino de digital no Arduino em função do polo magnético detectado. (efeito Hall denominado S41).
Transistor MF102	Transistor de efeito de campo, que pode ser utilizado como detector de cargas elétricas.

Apêndice D – Resposta dos alunos ao conteúdo apresentado

Escreva a sua impressão sobre as placas de led que podem transformar energia solar em elétrica?

- ✓ Achei muito impressionante e interessante, pois não tinha ideia que podia fazer isso e fiquei bastante atento a tudo.
- ✓ A Energia solar fotovoltaica é a energia elétrica produzida a partir do calor e da luz solar. Quanto maior a radiação solar nas placas solares, maior será a quantidade de energia elétrica produzida. A energia solar é considerada uma fonte de energia alternativa, renovável, limpa e sustentável.
- ✓ Um meio eficiente de obter energia elétrica de forma natural sem prejudicar o meio ambiente, visto que a construção de hidrelétricas pode resultar em problemas ambientais;
- ✓ Muito boas pois trazem energia mais limpa que outras formas;
- ✓ Impressionante a forma como é possível transformar a energia solar em energia elétrica através dessas placas por meio do efeito fotoelétrico. Além de ser uma ótima fonte de energia.
- ✓ É uma ótima ideia, ainda mais que vivemos em tempos onde a maioria dos seres humanos buscam por um mundo mais sustentável. Onde transformar energia solar em energia elétrica é algo totalmente sustentável.
- ✓ Os LEDs são dispositivos fotônicos que utilizam do princípio básico da Geração de luz, através dos fótons. acontece por conta das características de na interface semicondutora. Neste caso, as células fotovoltaicas feitas de materiais capazes de transformar a radiação solar do chamado "efeito fotovoltaico", incide, a diretamente em energia elétrica, através energia dos fótons da luz é transferida que então ganham a Capacidade de movimentar-se. para os elétrons.
- ✓ Como eu ainda não tinha conhecimento sobre, fiquei surpresa com esse fato.
- ✓ É realmente surpreendente pensar que qualquer pessoa pode fazer uma placa deste tipo, apesar de nem todos possuírem os equipamentos ideais para realizar tal tarefa. Ainda assim, não pareceu uma tarefa complexa, apenas trabalhosa por exigir muita atenção na realização da construção.
- ✓ A placa fotovoltaica apresenta aspectos benéficos no que concerne o seu uso, sobretudo em regiões com maior incidência de raios solares, como na Floresta Amazônica. Dessa forma, além de proporcionar o uso inteligente da energia, não oferece danos na manutenção do meio ambiente, tendo em vista que atuais modos de produção de energia ainda apresentam fatores de riscos a natureza, como a implantação de uma Usina Hidroelétrica no leito de um rio.
- ✓ Achei muito interessante, pois pode se fazer necessário para muitos lugares onde não haja energia elétrica.
- ✓ Minha impressão em relação as placas foram muito boas, porque nos dias atuais ainda existem muitos lugares sem energia elétrica, e essas placas de led com certeza podem ajudar.
- ✓ São muito úteis além de estimular econômica e uso de energia limpa são um exemplo prático de parte da grade e uma oportunidade de entender melhor.
- ✓ Acho muito interessante e importante, visto que, a energia solar é uma fonte renovável, limpa e pode beneficiar o mundo positivamente.
- ✓ São um recurso importante para a energia que podem se tornar algo comum e prático daqui a alguns anos nas casas brasileiras.
- ✓ são a cada dia mais potentes ao mesmo tempo que seu custo vem decaindo. Isso torna cada vez mais a energia solar uma solução economicamente viável e ela não polui durante o seu uso.
- ✓ É uma opção mais biologicamente sustentável para o meio-ambiente

- ✓ O vídeo com o experimento utilizando as placas de led fora bem apresentado e explicado, demonstrando o passo a passo do experimento de maneira clara e objetiva, com as retomadas ao conteúdo feitas nos resultados que permitiram clarear um pouco mais sobre o efeito fotoelétrico na prática.
- ✓ É uma alternativa viável para o consumidor final, não apenas como micro geração de energia, mas também para a redução de consumo desnecessário de energia elétrica da concessionária
- ✓ A primeira impressão é que parecia uma opção barata de energia renovável, porém sem ter conhecimento de como funcionam fiquei em dúvidas se em larga escala seriam eficientes.
- ✓ São bastante úteis para nossa sociedade atualmente, pois com elas é possível a redução de consumo desnecessário de energia elétrica.
- ✓ Acho muito bom essa transformação, pois pode trazer sustentabilidade com uma boa eficiência.
- ✓ É uma boa alternativa renovável.

- ✓ Acredito que esse mecanismo terá suma importância para o meio ambiente, visto que os recursos necessários para utiliza-lo não prejudicam tanto quanto outros projetos relacionados a energia solar.

- ✓ Acho muito importante e essencial como outro método de energia.

- ✓ A utilização de painéis fotovoltaicos, bem como qualquer dispositivo semicondutor, permite a geração de energia elétrica. Esta é uma alternativa viável para vários níveis de demanda de energia elétrica.
- ✓ É um meio interessante de se conseguir energia sustentável.
- ✓ É uma ótima ideia, pois seria uma boa utilização para o uso de uma energia mais renovável;
- ✓ Parece uma ideia incrível e ajudaria muito a população e o meio ambiente.
- ✓ É uma opção interessante, pois é uma alternativa mais sustentável para o meio ambiente.
- ✓ Acho uma alternativa muito válida, tanto porque é uma energia renovável quanto é mais durável e não afeta o meio ambiente.
- ✓ Um experimento simples e barato, porém, muito interessante e por meio dele é possível pôr em prática os conhecimentos adquiridos sobre efeito fotoelétrico.
- ✓ Acho bom, pois é uma boa forma de mostrar o conteúdo teórico aplicado na prática. E é interessante estudar sobre essas fontes de energias mais sustentáveis

- ✓ Uma grande evolução para a humanidade

- ✓ Os geradores solares fotovoltaicos, de qualquer porte ou tamanho, podem ser instalados isoladamente ou interligados à rede de energia elétrica, podem ser combinados com aerogeradores em sistemas híbridos, ou ainda em banco de baterias para armazenamento de energia.

Nível de aprendizado

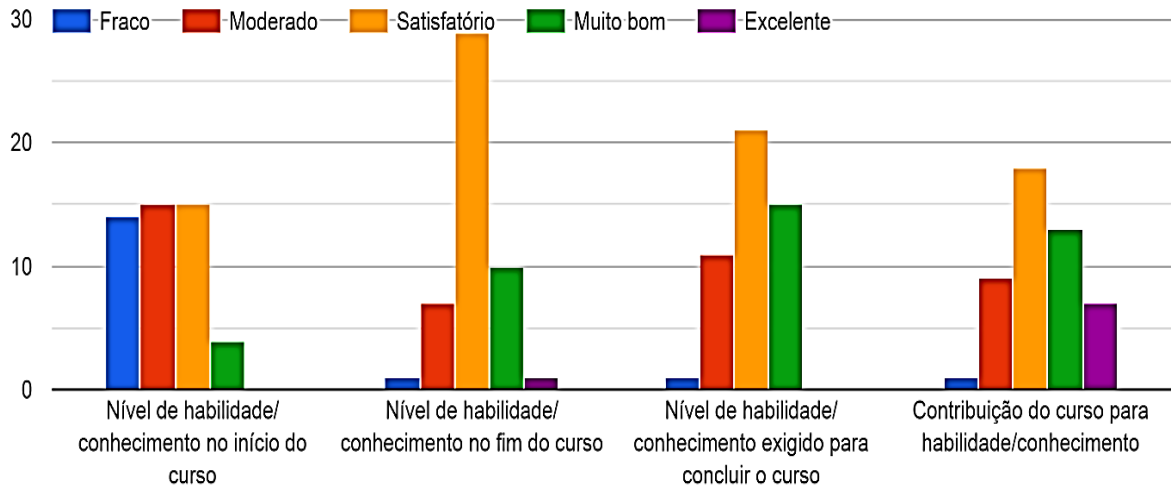


Figura 32 Apresentação do nível de aprendizagem dos alunos.

Habilidade de instrução do apresentador

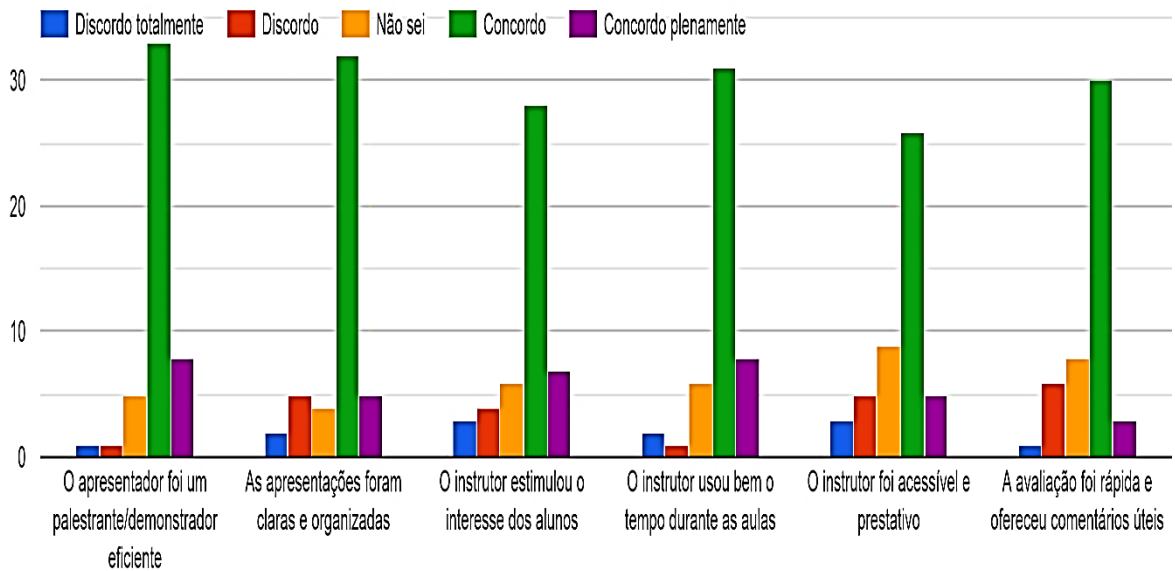


Figura 33 Desenvolvimento e habilidade no conteúdo abordado.

Quais aspectos deste conteúdo foram mais úteis ou valiosos?

- ✓ Todos os aspectos se mostraram bem valiosos e úteis.
- ✓ Conhecer o processo de geração de energia elétrica através da energia solar.
- ✓ Todos os conteúdos favoreceram melhor o entendimento acerca de processos comuns do nosso cotidiano, como é o funcionamento de objetos que utilizam energia.
- ✓ Os aspectos que através desse conteúdo é possível aplica-lo na pratica criando placas de energia solar, sendo assim possível transforma energia solar em energia elétrica através do efeito fotoelétrico.

- ✓ Visualizar a montagem dos LEDs e vendo eles transformando energia solar em energia elétrica é algo que me despertou interesse neste conteúdo e faz com que eu tenha interesse em montar um.
- ✓ A possibilidade de se observar como se pode usar o Led com várias utilidades, no sentido de proporcionar comodidade as pessoas.
- ✓ Toda parte do conteúdo de efeito fotoelétrico foi útil para o aprendizado da turma.
- ✓ A utilização de gifs ajudou muito. Eu não costumo usar nos slides que eu crio, mas nos casos de aulas como está se torna algo necessário para a melhor visualização do que o texto ou apresentador explica quanto ao conteúdo.
- ✓ Os benefícios provenientes do uso da energia solar.
- ✓ A oportunidade de aprender sobre o conteúdo e a explicação da montagem do painel.
- ✓ Todo o conteúdo foi muito importante, mas em específico a montagem do painel foi muito interessante e a ideia dele também.

- ✓ Para mim, todo o conteúdo em si foi importante, saber mais sobre a energia solar e como ela beneficia a vida juntamente com a placa. Não possuía um bom conhecimento sobre, mas depois da aula consegui compreender melhor e guardar essas informações.
- ✓ Principalmente os assuntos referentes aos vestibulares, porém vale ressaltar a facilidade de explicação e organização dos conteúdos.
- ✓ Todos os assuntos foram de extrema importância para o meu conhecimento

- ✓ O aprendizado, de certa forma, o assunto é bastante promissor, logo isso poderá ajudar os alunos na faculdade.
- ✓ A relação das cores e sua frequência para o efeito fotoelétrico e o funcionamento de tal efeito colocado em prática, com o experimento utilizando placas de led para gerar energia.

- ✓ Conhecimento sobre os comportamentos da luz ondular e corpuscular.
- ✓ Este é um conteúdo que tem muitos exemplos e ele é muito bom para aplicações em prática.
- ✓ Todo o conhecimento sobre as placas de led, sua utilidade e forma de funcionamento foram com certeza os pontos principais do assunto.
- ✓ O esclarecimento dos fenômenos do efeito fotoelétrico e o que são os fótons
- ✓ Todos foram essenciais para o conhecimento.
- ✓ Com o aprendizado deste conteúdo, descobri muitas aplicações tecnológicas importantes e dentre elas posso destacar a célula fotovoltaica, utilizada nos painéis solares para gerar energia elétrica limpa e renovável. Assim, acredito que, além de ter me aprofundado mais no assunto, as coisas que descobri foram muito úteis para complementar no meu aprendizado.

- ✓ A utilização de painéis fotovoltaicos, bem como qualquer dispositivo semicondutor, permite a geração de energia elétrica. Esta é uma alternativa viável para vários níveis de demanda de energia elétrica.
- ✓ As primordiais são as que mostravam as equações do conteúdo, visto que isso é muito importante para prestar os vestibulares. Mostrar também na prática como tal método foi usado é bem interessante também.

- ✓ Saber de algumas informações que são úteis no dia a dia.
- ✓ Foram úteis para mim pois vão contribuir e muito na hora de prestar algum vestibular.
- ✓ Todos os aspectos foram úteis para ajudar no nosso conhecimento.
- ✓ A exemplificação do conteúdo aplicado por meio do experimento, possibilitando assim maior entendimento.
- ✓ Entender o conceito de efeito fotoelétrico
- ✓ O conhecimento sobre energia sustentável
- ✓ Todo o aprendizado foi muito útil e poderá ser utilizado como estudo dos meus vestibulares
- ✓ Todas as partes foram importantes não excluiria nenhum

Apresentação do conteúdo sobre efeito fotoelétrico.

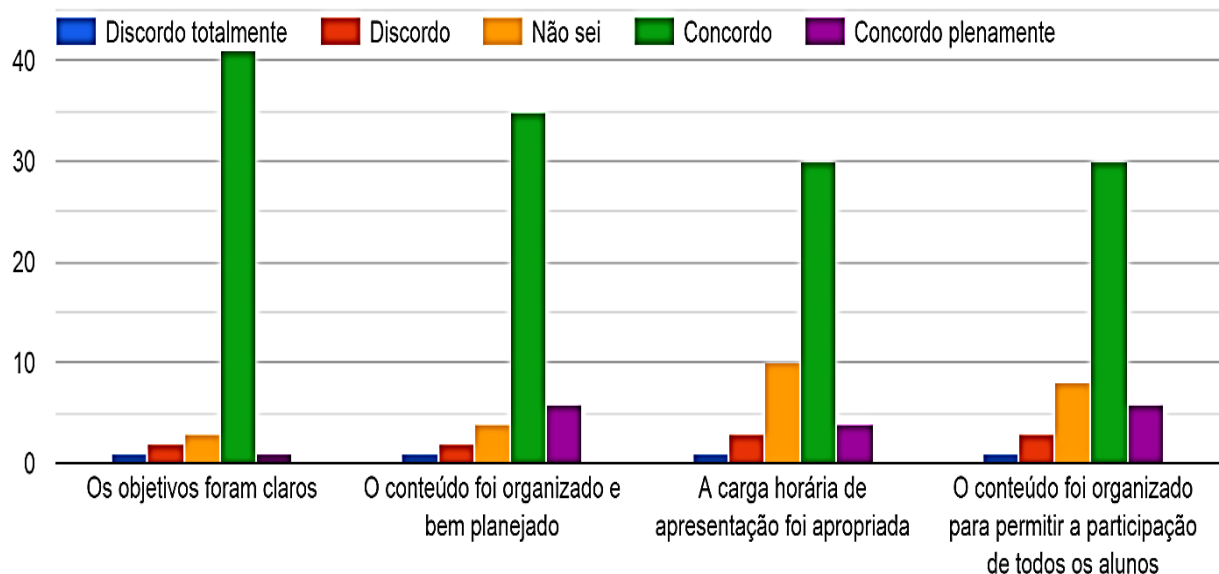


Figura 34 Entendimento dos alunos sobre o Efeito Fotoelétrico..

Como você melhoraria este conteúdo Vídeo e Efeito Fotoelétrico?

- ✓ Tentaria tornar mais dinâmico e mostrar mais exemplos em vídeos ou imagens reais.
- ✓ Demonstrar um mapa mental resumindo os principais tópicos abordados.
- ✓ Através de demonstrações reais sobre as experiências realizadas usando o efeito fotoelétrico como as máquinas de xérox
- ✓ Está muito bom, não penso em melhoria
- ✓ Vídeos explicativos
- ✓ Colocando todos os ensinamentos teóricos em aulas práticas.
- ✓ A apresentação em vídeo poderia ser melhor, fica difícil em alguns momentos visualizar o q de fato está acontecendo.
- ✓ Penso que inserção de uma janela com um interprete de Libras, ou até mesmo, legenda em Língua Portuguesa, para garantir o meu direito de acesso à informação e educação, proporcionando assim a chamada acessibilidade.
- ✓ Adicionando animações, algo mais dinâmico
- ✓ Eu não melhoraria, só faria melhoras nos slides por questões de estética.
- ✓ A abordagem foi completa, então não faria alterações.
- ✓ A apresentação do conteúdo todo foi ótima, poderia melhorar com algumas interações com as pessoas interessadas.
- ✓ O conteúdo foi apresentado de forma muito eficiente, talvez apenas mais interações com a turma.
- ✓ Escreveria um roteiro/manual prático. Legendar o vídeo.
- ✓ Não tenho muito a acrescentar, só indicar, caso não seja de conhecimento do professor, o PhET Simulações Interativas
- ✓ Com exemplos um pouco mais dinâmicos das aplicações do efeito fotoelétrico
- ✓ Que o professor fosse mais dinâmico e didático. Os vídeos eram bastantes antigos e as vezes eu não conseguia entender, então eu melhoraria o conteúdo com vídeos mais recentes e com boa qualidade.
- ✓ Através de uma explicação mais abrangente
- ✓ Simplificando certos aspectos na explicação, como na explicação da fórmula do efeito fotoelétrico $f_0 = W_0 / h$ (certas etapas na criação da fórmula não ficaram muito claras), e buscando outras didáticas além do slide, como um exercício interativo e dinâmico (algum exercício envolvendo as cores no efeito fotoelétrico abordado com algum jogo, como ligar as cores aos níveis de frequência, por exemplo).

Quanto ao vídeo, seria interessante, na edição, inserir textos com os conceitos mais importantes que foram falados, para destacá-los ainda mais.

- ✓ O instrutor foi pouco acessível e comunicativo. O conteúdo era organizado para as aulas, e não servia para estudos individuais. Acho que arquivos ppt ou pdf podiam ter sido feitos mais explicativos e exemplificativos para que os alunos possam estudar através deles mesmo sem o instrutor.
- ✓ Achei o vídeo bem explicativo é satisfatório, não mudaria nada
- ✓ Ambos estavam excelentes, então, em minha opinião, não vejo o que melhorar.
- ✓ Gostaria de ter praticado em laboratórios ou em experimentos.
- ✓ Acho que dessa maneira está eficiente para um bom aprendizado
- ✓ Poderia apresentar mais vídeos e realizar experimento em laboratório.
- ✓ Nenhuma sugestão de melhoria, acredito que a didática utilizada já está ótima.
- ✓ Acho interessante aprofundar mais sobre a história da descoberta do efeito.

O que mais foi importante sobre este conteúdo abordado tanto no vídeo quanto na apresentação em PowerPoint?

48 respostas

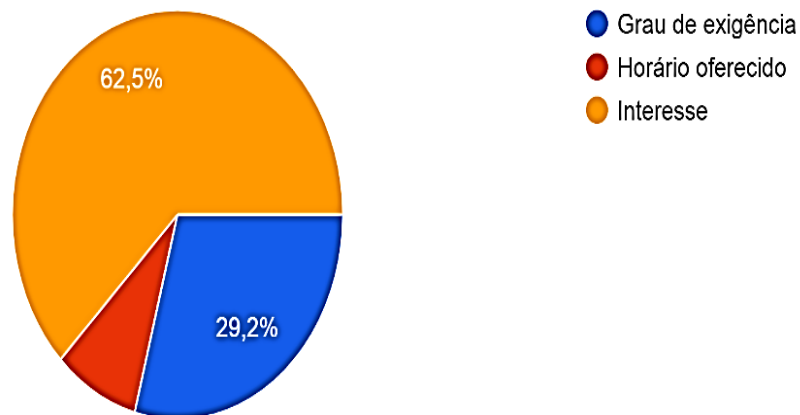


Figura 35 Compreensão dos alunos sobre o material apresentado tanto em vídeo quanto powerpoint.

Apêndice E – Portarias do Ministério da Educação e Cultura.

09/10/2021 13:47

PORTARIA Nº 544, DE 16 DE JUNHO DE 2020 - PORTARIA Nº 544, DE 16 DE JUNHO DE 2020 - DOU - Imprensa Nacional

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO

Publicado em: 17/06/2020 | Edição: 114 | Seção: 1 | Página: 62

Órgão: Ministério da Educação/Gabinete do Ministro

PORTARIA Nº 544, DE 16 DE JUNHO DE 2020

Dispõe sobre a substituição das aulas presenciais por aulas em meios digitais, enquanto durar a situação de pandemia do novo coronavírus - Covid-19, e revoga as Portarias MEC nº 343, de 17 de março de 2020, nº 345, de 19 de março de 2020, e nº 473, de 12 de maio de 2020.

O MINISTRO DE ESTADO DA EDUCAÇÃO, no uso da atribuição que lhe confere o art. 87, parágrafo único, incisos I e II, da Constituição, e considerando o art. 9º, incisos II e VII, da Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, e o art. 2º do Decreto nº 9.235, de 15 de dezembro de 2017, resolve:

Art. 1º Autorizar, em caráter excepcional, a substituição das disciplinas presenciais, em cursos regularmente autorizados, por atividades letivas que utilizem recursos educacionais digitais, tecnologias de informação e comunicação ou outros meios convencionais, por instituição de educação superior integrante do sistema federal de ensino, de que trata o art. 2º do Decreto nº 9.235, de 15 de dezembro de 2017.

§ 1º O período de autorização de que trata o caput se estende até 31 de dezembro de 2020.

§ 2º Será de responsabilidade das instituições a definição dos componentes curriculares que serão substituídos, a disponibilização de recursos aos alunos que permitam o acompanhamento das atividades letivas ofertadas, bem como a realização de avaliações durante o período da autorização de que trata o caput.

§ 3º No que se refere às práticas profissionais de estágios ou às práticas que exijam laboratórios especializados, a aplicação da substituição de que trata o caput deve obedecer às Diretrizes Nacionais Curriculares aprovadas pelo Conselho Nacional de Educação - CNE, ficando vedada a substituição daqueles cursos que não estejam disciplinados pelo CNE.

§ 4º A aplicação da substituição de práticas profissionais ou de práticas que exijam laboratórios especializados, de que trata o § 3º, deve constar de planos de trabalhos específicos, aprovados, no âmbito institucional, pelos colegiados de cursos e pensados ao projeto pedagógico do curso.

§ 5º Especificamente para o curso de Medicina, fica autorizada a substituição de que trata o caput apenas às disciplinas teórico-cognitivas do primeiro ao quarto ano do curso e ao internato, conforme disciplinado pelo CNE.

§ 6º As instituições deverão comunicar ao Ministério da Educação - MEC a opção pela substituição de atividades letivas, mediante ofício, em até quinze dias após o início destas.

Art. 2º Alternativamente à autorização de que trata o art. 1º, as instituições de educação superior poderão suspender as atividades acadêmicas presenciais pelo mesmo prazo.

§ 1º As atividades acadêmicas suspensas deverão ser integralmente repostas, para fins de cumprimento da carga horária dos cursos, conforme estabelecido na legislação em vigor.

§ 2º As instituições poderão, ainda, alterar o calendário de férias, desde que cumpram a carga horária dos cursos, consoante estabelecido na legislação em vigor.

Art. 3º Ficam revogadas:

I - a Portaria MEC nº 343, de 17 de março de 2020;

II - a Portaria MEC nº 345, de 19 de março de 2020; e

III - a Portaria MEC nº 473, de 12 de maio de 2020.

09/10/2021 13:47

PORTARIA Nº 544, DE 16 DE JUNHO DE 2020 - PORTARIA Nº 544, DE 16 DE JUNHO DE 2020 - DOU - Imprensa Nacional

Art. 4º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

ABRAHAM WEINTRAUB

Este conteúdo não substitui o publicado na versão certificada.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO

Publicado em: 04/08/2020 | Edição: 148 | Seção: 1 | Página: 36

Órgão: Ministério da Educação/Gabinete do Ministro

PORTARIA Nº 617, DE 3 DE AGOSTO DE 2020

Dispõe sobre as aulas nos cursos de educação profissional técnica de nível médio nas instituições do sistema federal de ensino, enquanto durar a situação da pandemia do novo coronavírus - Covid-19.

O MINISTRO DE ESTADO DA EDUCAÇÃO, no uso das atribuições que lhe confere o art. 87, parágrafo único, incisos I e II, da Constituição, tendo em vista o disposto no inciso II do art. 9º e no art. 16 da Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, em observância ao art. 1º da Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008, e ao art. 20 da Lei nº 12.513, de 26 de outubro de 2011, em conformidade com o Parecer CNE/CP nº 5/2020, e as Diretrizes Nacionais definidas pelo Conselho Nacional de Educação - CNE, nas Resoluções CNE/CEB nº 6, de 20 de setembro de 2012, e nº 1, de 2 de fevereiro de 2016, e considerando as orientações da Organização Mundial da Saúde - OMS e do Ministério da Saúde, quanto às medidas de enfrentamento da pandemia provocada pelo novo coronavírus - Covid-19, e o fim da vigência da Portaria MEC nº 376, de 3 de abril de 2020, resolve:

Art. 1º As instituições integrantes do sistema federal de ensino de que trata o art. 16 da Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, e o art. 20 da Lei nº 12.513, de 26 de outubro de 2011, ficam autorizadas, em caráter excepcional, a suspender as aulas presenciais ou substituí-las por atividades não presenciais nos cursos de educação profissional técnica de nível médio em andamento até 31 de dezembro de 2020, a depender de orientação do Ministério da Saúde e dos órgãos de saúde estaduais, municipais e distrital, na forma desta Portaria.

Parágrafo único. As instituições de ensino podem utilizar as duas alternativas previstas no caput de forma coordenada, sempre que for possível e viável do ponto de vista estrutural, pedagógico e financeiro.

Art. 2º As instituições de ensino de que trata o art. 1º desta Portaria que optarem pela suspensão das aulas presenciais deverão repô-las integralmente, para cumprimento da carga horária total estabelecida no plano de curso aprovado pelo respectivo órgão competente.

Parágrafo único. As instituições que optarem por suspender as aulas poderão alterar os seus calendários escolares, inclusive os de recessos e de férias.

Art. 3º As instituições integrantes do sistema federal de ensino, de que trata o caput do art. 1º desta Portaria, que optarem por substituir as aulas presenciais por atividades não presenciais deverão organizá-las de modo que atendam uma ou mais condições:

I - sejam mediadas por recursos digitais ou demais tecnologias de informação e comunicação, conforme indicado pelo § 1º do art. 1º da Resolução CNE/CEB nº 1, de 2 de fevereiro de 2016;

II - sejam mediadas ou não por tecnologias digitais de informação e comunicação, conforme o Parecer CNE/CP nº 5/2020; e/ou

III - sejam disponibilizados aos estudantes o acesso, em seu domicílio, aos materiais de apoio e a orientação que permitam a continuidade dos estudos, com maior autonomia intelectual.

§ 1º Os cursos técnicos presenciais de nível médio que, no processo de substituição por atividades não presenciais, optarem pela modalidade de educação a distância deverão observar o disposto no art. 33 da Resolução CNE/CEB nº 6, de 20 de setembro de 2012.

§ 2º Será de responsabilidade das instituições de que trata o caput do art. 1º desta Portaria a definição das atividades curriculares a serem substituídas, a disponibilização de ferramentas e materiais, as orientações e o apoio para o acompanhamento e o desenvolvimento dos estudantes, bem como a

realização de avaliações, quando couber, durante o período da autorização de que trata o caput.

§ 3º A substituição de que trata o caput, no tocante às práticas profissionais de estágios e de laboratório, quando previstos nos respectivos planos de curso, poderá ocorrer, desde que:

I - seja aprovada pela instância competente da instituição de ensino;

II - garanta a replicação do ambiente de atividade prática e/ou de trabalho;

III - propicie o desenvolvimento de habilidades e competências esperadas no perfil profissional do técnico;

IV - seja passível de avaliação do desempenho do estudante; e

V - observe o disposto na Lei nº 11.788, de 25 de setembro de 2008, Lei do Estágio.

§ 4º A carga horária correspondente às atividades curriculares presenciais substituídas por atividades não presenciais, conforme previsto no caput, poderá ser considerada em cumprimento da carga horária total, estabelecida no plano de curso aprovado pelo respectivo órgão competente.

§ 5º As instituições de que trata o caput devem garantir a plena oferta da carga horária total do curso.

Art. 4º Os estudantes de cada curso deverão ser comunicados sobre o plano de atividades definido para o período, com antecedência de, no mínimo, quarenta e oito horas da execução das atividades.

Art. 5º Caberá à Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica do Ministério da Educação a edição de atos complementares a execução da presente medida.

Art. 6º Esta Portaria entra em vigor no dia 5 de agosto de 2020.

MILTON RIBEIRO

Este conteúdo não substitui o publicado na versão certificada.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO

Publicado em: 07/12/2020 | Edição: 233-A | Seção: 1 - Extra A | Página: 1

Órgão: Ministério da Educação/Gabinete do Ministro

PORTARIA MEC Nº 1.038, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2020

Altera a Portaria MEC nº 544, de 16 de junho de 2020, que dispõe sobre a substituição das aulas presenciais por aulas em meio digitais, enquanto durar a situação de pandemia do novo coronavírus - Covid-19, e a Portaria MEC nº 1.030, de 1º de dezembro de 2020, que dispõe sobre o retorno às aulas presenciais e sobre caráter excepcional de utilização de recursos educacionais digitais para integralização da carga horária das atividades pedagógicas, enquanto durar a situação de pandemia do novo coronavírus - Covid-19.

O MINISTRO DE ESTADO DA EDUCAÇÃO, no uso da atribuição que lhe confere o art. 87, parágrafo único, incisos I e II, da Constituição, e considerando o art. 9º, incisos II e VII, da Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, e o art. 2º do Decreto nº 9.235, de 15 de dezembro de 2017, resolve:

Art. 1º A Portaria MEC nº 544, de 16 de julho de 2020, passa a vigorar com as seguintes alterações:

"Art. 1º

§ 1º O período de autorização de que trata o caput se estende até 28 de fevereiro de 2021.

....." (NR)

Art. 2º A Portaria MEC nº 1.030, de 1º de dezembro de 2020, passa a vigorar com as seguintes alterações:

"Art. 1º As atividades letivas realizadas por instituição de educação superior integrante do sistema federal de ensino, de que trata o art. 2º do Decreto nº 9.235, de 15 de dezembro de 2017, deverão ocorrer de forma presencial a partir de 1º de março de 2021, recomendada a observância de protocolos de biossegurança para o enfrentamento da pandemia de Covid-19." (NR)

"Art. 2º Os recursos educacionais digitais, tecnologias de informação e comunicação ou outros meios convencionais poderão ser utilizados em caráter excepcional, para integralização da carga horária das atividades pedagógicas, no cumprimento das medidas para enfrentamento da pandemia de Covid-19 estabelecidas em protocolos de biossegurança.

.....
 § 5º Para fins estatísticos, as instituições deverão comunicar ao Ministério da Educação caso utilizem-se dos recursos de que trata o caput, mediante ofício, em até quinze dias após o início destas." (NR)

"Art. 3º As instituições de educação superior poderão utilizar os recursos previstos no art. 2º de forma integral, nos casos de:

I - suspensão das atividades letivas presenciais por determinação das autoridades locais; ou

II - condições sanitárias locais que tragam riscos à segurança das atividades letivas presenciais."

(NR)

"Art. 6º Esta Portaria entra em vigor em 1º de janeiro de 2021." (NR)

Art. 3º Ficam revogados:

I - os arts. 4º e 5º da Portaria MEC nº 1.030, de 2020; e

II - a Portaria MEC nº 544, de 2020.

09/10/2021 13:52

PORTARIA MEC Nº 1.038, DE 7 DE Dezembro DE 2020 - PORTARIA MEC Nº 1.038, DE 7 DE Dezembro DE 2020 - DOU - Imprensa Nacional

Art. 4º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação, com efeitos:

I - em 1º de março de 2021, quanto ao disposto no art. 3º, caput, inciso II; e

II - imediatos, quanto aos demais dispositivos.

MILTON RIBEIRO

Este conteúdo não substitui o publicado na versão certificada.

Apêndice F – material de apoio ao professor de física.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS – IFAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL
EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

FÍSICA MODERNA PARA O ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM DO EFEITO
FOTOELÉTRICO COM A METODOLOGIA SIMULADA EM PLATAFORMA
DIGITAL

José Estanislau Sant’Anna de Souza
Dra. Rita de Cassia Mota Teixeira de Oliveira

Manaus
2022

FICHA TÉCNICA

AUTORES

JOSÉ ESTANISLAU SANT'ANNA DE SOUZA – estanys17@gmail.com

ORIENTADORA

Dr(a). RITA DE CÁSSIA MOTA T. DE OLIVEIRA- rcmota@ufam.edu.br

TÍTULO

Produto Educacional que acompanha a Dissertação: Física Moderna para o Ensino Médio: Uma Abordagem do Efeito Fotoelétrico com a Metodologia Simulada em Plataforma Digital. Apresentado ao Mestrado Profissional em Ensino de Física do INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS – IFAM e da UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física, tendo como linha de pesquisa: Física Moderna, presente no Ensino Médio sob a orientação da Profa. Dra. Rita de Cássia Mota Teixeira de Oliveira.

Colaboradores

Dra. Rita de Oliveira - Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Instituto Federal do Amazonas - IFAM

Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física – MNPEF – POLO 04

Sociedade Brasileira de Física (SBF)

SOBRE OS AUTORES



JOSÉ ESTANISLAU SANT'ANNA DE SOUZA

Mestrando pelo Programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, do Instituto Federal do Amazonas e Universidade Federal do Amazonas MNPEF- IFAM/UFAM, com pesquisa em Física Moderna, presente no Ensino Médio. Possui Licenciatura Plena em Física pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Especialista em Nanotecnologia Digital pela Universidade Federal do Amazonas. Docente do quadro permanente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Centro – Departamento de Física.



RITA DE CÁSSIA MOTA T. DE OLIVEIRA

Bacharelado em Física pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Mestrado em Física pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Doutorado em Física pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Atua como vice coordenadora do MNPEF - UFAM/IFAM e como professora permanente na Universidade Federal Do Amazonas (UFAM) e tem experiência na área de Física, com ênfase em Simulação Computacional.

Figura 1 - Desenvolvimento do pensamento construtivo para o contemporâneo do ensino, evoluindo com sua fundamentação - Jerome Brune	15
Figura 2 - Simbologia do Diodo de luz.	16
Figura 3 - Material a ser utilizado neste processo.	18
Figura 4 - Posicionamento dos led's na placa.....	18
Figura 5 - Led's montados na placa.	18
Figura 6 - Tipos de LED's que existe para uso.....	19
Figura 7 - Posicionamento do led na placa.....	19
Figura 8 - Esquema de montagem para calcular a constante de Planck.	25
Figura 9 – Visão frontal do PLX-DAQ.	27
Figura 10 - Janela do PLX-DAQ.....	27
Figura 11 - Dados apresentados pelo PLX-DAQ.	28
Figura 12 - Posicionamento do LDR e o LED, sendo medido com a régua.	31
Figura A1 William Herschel ao lado do seu Experimento.	40
Figura A2 Representação de um CN onde a radiação externa à cavidade e que penetra pelo Orifício é absorvido nas paredes internas (M.M.M, C.S., D. G. M., & V. C. , 2014).....	41
Figura A3 A largura da seta são proporcionais às quantidades envolvidas. parcela refletida pelo corpo quente é maior que refletida pelo corpo frio - compensação.....	42
Figura B1 - Placa de Arduino Uno.	68
Figura B2 - Página oficial do Arduino.....	70
Figura B3 - Neste você deve instalar o ide do Arduino.	70
Figura A4 - Instale o IDE do Arduino.....	70
Figura A5 - a instalação de IDE do Arduino.	71
Figura B6 - Sequência para instalação do Arduino.....	71
Figura B7 - Aceitando a Licença de uso.	71
Figura B8 - Seleção dos componentes.....	72
Figura B9 – Parte de Instalação do Programa.	72
Figura B10 - Liberação de alguns "software".	72
Figura B11 - Barra de Instalação Concluída.....	73
Figura B12 - Interface do IDE do Arduino.....	73
Figura B13 - Mostra da declaração de uma variável.....	74
Figura B14 - Atribuindo o valor de uma variável.....	75
Figura B15 - Funções "void setup" e "void loop".	76
Figura B16 - Página principal para baixar o arquivo e instala-lo.....	77
Figura B17 - Aplicativo que armazenou o "software".	77
Figura B18 - fazendo a instalação do plx daq.....	78
Figura B19 - Selecionando os arquivos desejados.	78
Figura B20 - Aplicando o processo de armazenamento dos arquivos.....	79
Figura B21 - Nesta imagem você pode ver o processo de instalação.....	79
Figura B22 - Sequência de instalação.	80
Figura B23 - Configuração e preenchimento de dados.....	80
Figura B24 - Escolha da quantidade do software, completa ou não.	81
Figura B25 - Processo de Instalação concluída.....	81
Figura B26 - Interface do "PLX-DAQ".....	82

Lista de Equações

Equação 1 - Energia de um Diodo usando a Equação de Planck.	17
Equação 2 - Energia Mínima.	17
Equação 3 - Equação de Planck do Efeito Fotoelétrico.	17
Equação 4 - Energia Cinética igual a Energia Potencial.	23
Equação 5 - Equação do Efeito Fotoelétrico.	24
Equação 6 Equação do potencial elétrico, extraído da equação do Efeito Fotoelétrico.	29

Lista de Tabelas

Tabela 1 Substituição de unidade adimensional para encontrarmos os expoentes referentes.	49
Tabela 2 Distribuição dos expoentes que correspondem a cada componente da equação sugerida.	49
Tabela 3 Valores de função trabalho para alguns elementos.	66

Lista de quadro

Quadro 1 – Procedimentos abordados e quantidades de aulas ministradas.	13
Quadro 2 - Procedimentos metodológicos.	30
Quadro 3 - Distribuição de material e utilização.	30
Quadro 4 - Registro das distâncias entre LDR e LED.	32

Sumário

PROPOSTA DIDÁTICA	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
COMPETÊNCIAS	11
HABILIDADES	11
CONTEÚDOS	12
RECURSOS ESTRUTURAIS	13
METODOLOGIA	14
CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO	16
REFERÊNCIAS	35
APÊNDICE A: Apresentação à Física Moderna	37
A.1 Inspeção da literatura	37
A.2 Contexto histórico.....	37
A.3 A constante de Planck e a origem da Física Moderna.....	38
A.4 O que é radiação térmica?.....	39
A.5 A Lei de Stefan-Boltzmann	53
A.6 Radiância Espectral.....	53
A.7 A Lei de deslocamento de Wien.....	54
A.8 Procedimento de Planck.....	55
A.9 Lei de Wien.....	57
A.9 Determinação de Planck	58
A.11 Lei de Planck.....	59
A.12 Aplicação: radiação cósmica de fundo	60
A.13 Efeito Fotoelétrico	60
APÊNDICE B - Arduino	68
B.1 Placa Arduino UNO	68
B.2 “Softwares” para o desenvolvimento na plataforma do Arduino	69
B.3 Ambiente de desenvolvimento (IDE)	69
B.4 Compreendendo a programação do Arduino	73
B.5 PLX-DAQ Spreadsheet.....	76
B.6 Google Drive.....	82
B.7 Google forms.....	82
B.8 Tinkercad.....	83

APRESENTAÇÃO

PREZADO(A) PROFESSOR(A)

Diante das dificuldades apresentadas em período de pandemia do Covid-19, apresentamos um material que pode ser tanto usado tanto no ensino presencial, quanto no ensino remoto. Tal material se baseia nos estudos do teórico Jerome Bruner, que considera que o aluno pode apresentar o desenvolvimento intelectual baseando-se numa interação sistemática e contingente, amplamente equipada com técnicas anteriormente inventadas, ensina ao aluno.

Na sequência de ensino e aprendizagem de Bruner – onde a organização das matérias de ensino, sequenciação de apresentação das matérias e motivação como a predisposição para aprender – o objeto é a evolução no desenvolvimento cognitivo que decorre das informações pertinentes à finalidade de codificar a experiência. Dessa forma, propomos um Produto Educacional destinado à atividade prática, baseado na leitura e pesquisa, com o objetivo de apresentar e compreender os conceitos de Física sobre o Efeito Fotoelétrico.

Este Produto Educacional foi elaborado de forma a tentar compreender, diagnosticar e avaliar de forma organizada o conteúdo abordado, levando em consideração o processo tecnológico atualmente utilizado, devido à pandemia de Covid-19, e fortalecendo o processo de entendimento das transmissões via *internet*, vislumbrando atingir um grande percentual de professores, principalmente do Estado do Amazonas, onde as distâncias são bastante significativas.

A seguir apresentaremos uma proposta de sequência didática, cuja elaboração do material foi feita objetivando o aprendizado significativo do Efeito Fotoelétrico. Esperamos que tal material possa auxiliar de alguma forma os professores no processo de ensino-aprendizagem em sala de aula.

José Estanislau Sant'Anna de Souza
Rita de Cássia Mota Teixeira de Oliveira

INTRODUÇÃO

Os conceitos da Física Moderna quando surpreendem e revolucionavam a Ciência, principalmente quando introduzimos seus conceitos no Ensino Médio, os manuais limitavam-se à divisão clássica da Física em Mecânica, Física Térmica, Ondas, Óptica e eletromagnética. Atualmente encontra-se com frequência, tópicos relacionados a física moderna em livros destinados ao ensino da Física.

A consolidação da Física Moderna, final do século XIX, revolucionou a forma de interpretar o mundo físico, formando assim as bases teóricas da Relatividade e da Física Quântica.

Os tópicos de Física Moderna no ensino médio, sugerem conteúdos específicos no currículo do Ensino Médio, as preocupações estavam relacionado à própria agregação destes conteúdos no Ensino e, uma outra, frisava a necessidade destes conteúdos serem “apresentados sob um ponto de vista mais moderno” (TERRAZZAN, 1992).

A construção humana da formação e do ensino, surge reflexões sobre o nível no tratamento matemático na Física Clássica. Conhecer o problema, remete à contribuição que propiciará aos profissionais carentes de formação e informação.

Com base na Lei de Diretrizes e Base da Educação (LDB, 1996) complementa o aprendizado e o desenvolvimento do discente, quando iniciado no ensino fundamental, passa para todos e não apenas para aqueles que continuarão seus estudos nas universidades. Nestes termos, uma proposta para o ensino de Física Moderna com o tema Efeito Fotoelétrico.

A visão que expressam um argumento de participação de um indivíduo, pressupõe-se a compreensão em Ciência, as habilidades de ensino favorecem o ensino que podem contribuir com satisfação na realização de tarefas e a capacidade de aprender a partir de manuais técnicos.

Para que haja um bom desenvolvimento no ensino de Física Moderna aos conhecimentos, habilidades e valores, possam apresentar um potencial que aumente a capacidade dos jovens de interferir na criatividade no mundo.

E neste trabalho, são consideradas alternativas para a realização de nossas atividades, considerando o Ensino híbrido, que é a combinação do aprendizado *on-line* com o *off-line*, essa metodologia apresenta um modelo que mescla momentos, de maneira virtual, ou não.

A parte presencial, necessariamente com uso da tecnologia, o professor ou tutor se torna o responsável por propor atividades que valorizem a interação interpessoais, propondo trabalhos que envolvam toda a turma ou pode dividir em grupos menores para realizarem projetos.

Com relação ao ensino administrado com o auxílio de recursos digitais, permitindo que

o discente tenha controle sobre onde, como, o que é com quem vai estudar, os dispositivos móveis, como *tablets* e celulares facilitam a utilização em diferentes ambientes, criando um leque de possibilidades sobre esse tema, podendo ser desenvolvido em sala de aula, biblioteca, laboratório de informática ou em casa.

Em momentos diferentes, o *on-line* e o presencial, o objetivo de aprendizado híbrido é que esses dois momentos sejam complementares e promovem uma educação mais eficiente, interessada e personalizada. As instituições de ensino podem categorizar as formas como ele vem se manifestando as opções de apresentar essa metodologia do aprendizado.

DESENVOLVIMENTO

As ideias da Física Moderna puderam abrir diversas possibilidades, e agir na maneira de pensar, não apenas na Física, ou em Química, mas também em outros aspectos tecnologia de comunicação. A variedade de dispositivos eletrônicos, hoje sendo indispensáveis pela maioria das pessoas, tendo como base na Física Moderna, mais precisamente na Mecânica quântica.

Por se tratar de fenômenos no dia-a-dia, mas também de princípios que podem não se encaixar em suas ideias sobre física, as transformações pelas quais a humanidade gerou no século XX, dando consequências profundas na sociedade, tornando necessária a adequação do sistema educacional. As novas metodologias de educação devem fazer uma relação entre o que é aprendido em sala de aula com aquilo que o aluno vivencia em seu dia a dia, discutido sobre a relevância do tema de física moderna com a atualidade da sociedade e de como se pode trabalhar (PROGOL, 2012).

É comum encontrar professores de física enfrentando dificuldade em construir conhecimento com seus alunos de maneira prazerosa, seja ela qual for o ensino, (médio ou superior). Considerando que a física é vista pela maioria dos estudantes como uma das disciplinas mais difíceis de ser aprendida, tendo como base, os professores enfrentam dificuldades com o desinteresse de seus alunos em relação a aprendizagem do conteúdo.

Com base neste argumento, as atividades experimentais têm cumprido um inusitado papel no ensino de física, promovendo um intenso debate sobre sua pertinência ou não para aprendizagem de conceitos físicos (COUTO, 2008).

Os estudos, de maneira geral, apresentam possibilidade para um desenvolvimento de uma visão crítica do mundo, podendo analisar, compreender e utilizar este conhecimento no cotidiano, tendo condições de perceber, interferir em situações que contribuem para sua

qualidade de vida.

A proposta deste trabalho tem como a ensinagem, para o ensino médio, de um fenômeno explicado pela Física Moderna – Efeito Fotoelétrico. Aprender conceitos tão distantes do senso comum, pode causar um conflito cognitivo, resultando em mudanças nas crenças epistemológicas dos alunos. Assim, para facilitar o processo de ensinagem utilizamos a Física Moderna para o Ensino Médio: Uma abordagem do efeito fotoelétrico com a metodologia simulada em plataformas digitais.

As atividades foram desenvolvidas durante as aulas de Física Moderna, no período de Pandemia, neste abordamos a importância que as aulas práticas, e a vida do discente do Ensino Médio, oportunizando o conhecimento dos mecanismos educacionais, os objetivos e os seus significados.

PROPOSTA DIDÁTICA

Este trabalho descreve o Produto Educacional, como parte integrante da dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional do Ensino de Física, por MNPEF da Universidade Federal do Amazonas – UFAM e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM.

A proposta educacional vem de encontro aos estudos da Psicologia Cognitiva, onde observava-se a sensação e a percepção humana como parte do processo na aprendizagem, que valoriza o aprendizado sendo um processo ativo, no qual o aprendiz constrói novas ideias, ou conceitos, baseados em seu conhecimento passados e atuais; toma decisões, constante, com uma estrutura cognitiva.

O papel do professor enquanto agente mediador do conhecimento, fornece significados e organização para a experiência e permite ao indivíduo “ir além da informação dada”. No entanto, nessa teoria, o professor deve valorizar o conhecimento prévio do aluno para que o novo conhecimento seja ancorado na sua estrutura cognitiva e assim ser transformado e ampliado.

Assim, cabe ao professor, diagnosticar e organizar uma sequência lógica de conceitos que leve o aluno a compreensão dos conceitos envolvidos. Sendo relevante para a teoria de Jerome Bruner é que o professor deve, primeiramente, mostrar todos os conceitos envolvidos antes de fragmentá-lo, depois que a proposta didática foi aplicada, o professor pode repetir a metodologia para averiguar quais foram as ligações que os alunos fizeram entre seus conhecimentos prévios e os recém- estudados.

OBJETIVO GERAL

Compreender a linguagem da Física Moderna através do Efeito Fotoelétrico para uma melhor compreensão contextualizada para os alunos dos terceiros anos do Ensino Médio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aprender os conceitos básicos e estruturas do conhecimento da Física Moderna pelo Efeito Fotoelétrico;
- Aplicar, corretamente, o método de investigação científica nas atividades experimentais;
- Utilizar experimento de forma virtual, como elemento motivador e facilitador da aprendizagem, por meio da interatividade com o objeto de estudo;
- Conhecer a equação do Efeito fotoelétrico proposto por Einstein;
- Relacionar a energia cinética do elétron emitido à frequência da radiação incidente;
- Compreender o Efeito Fotoelétrico com uso de Simuladores virtuais;
- Estimular por meio de experimentos a construção de placas de energia solar, por meio de LED's.

COMPETÊNCIAS

- Compreender métodos e metodologias próprias da Física Moderna sendo aplicada pelas teorias do Efeito Fotoelétrico;
- Afirmar-se do conhecimento da Física Moderna em situações do cotidiano, tais como problemas, interpretações, avaliações no modelo científico e tecnológico;
- Entender o funcionamento de uma célula fotoelétrica.

HABILIDADES

- Correlacionar informações em diferentes formas de linguagens dos princípios da Física Moderna;

- Definir causas ou efeitos do Efeito Fotoelétrico;
- Utilizar leis da Física Moderna para associar processos tecnológicos inseridos no contexto do Efeito Fotoelétrico;
- Dimensionar sistemas ou dispositivos que envolvam o Efeito Fotoelétrico no cotidiano.

CONTEÚDOS¹

- Teoria dos Quanta – Energia radiante é emitida ou absorvida de modo descontínuo, por meio de partículas denominada de fótons;
- Efeito Fotoelétrico – Radiação eletromagnética incidente sobre uma superfície de um metal, elétrons podem ser arrancados dessa superfície.

DURAÇÃO

Na apresentação da sequência didática, é preciso construir três encontros de duas aulas de cinquenta minutos cada, formando uma composição de três atividades fundamentadas na metodologia de Jerome Bruner, aprendizagem cognitiva, sendo aplicada para alunos do terceiro ano do Ensino Médio, considerando que haja uma compreensão da luz, sendo embasado pelo conteúdo do Efeito Fotoelétrico. O referido conteúdo, observou-se à sua aplicabilidade prática em setores e tecnologias ofertados no mercado, sua importância dimensiona uma nova concepção da Física Moderna – tendo em vista que a proposta é voltada ao Ensino Médio. Construiu-se um Quadro 1, onde apresenta a quantidade de aulas necessárias para a aplicação, os conteúdos abordados.

Atividade	Temática a ser discutida	Nº de aulas
	1. Apresentação da proposta didática com roteiros de experimentos, esclarecimentos sobre a natureza do trabalho para o Mestrado Nacional Profissional Ensino de Física. (10 minutos)	
	2. Mostra do livro didático a ser utilizado para utilização dos capítulos e resoluções de exercícios, principalmente o capítulo que trata de Física Moderna. (10 minutos)	

¹ Referencial Teórico disponível no Apêndice A

Comparação dos Modelos ondulatorios e corpusculares daluz.	3. Revisão dos conceitos básicos do conteúdo Ondas, visto nousegundo ano do Ensino Médio. (25 minutos)	2 aulas
	4. Com base no livre: Introdução a Física Quântica – conheceu hipótese de Max Planck para absorção e emissão da radiação eletromagnética apresentada na superfície de um Corpo Negro, fóton e a Constante de Planck. (50 minutos)	
	5. Encerramento do primeiro encontro: revisão dos principais tópicos deste assunto e exercícios <i>on-line</i> pelo Google Forms referente ao tema desta aula (05 minutos)	
Efeito Fotoelétrico	1. Recapitulação do assunto mencionado em aula anterior, para que haja fundamentação ao Efeito Fotoelétrico. (20 minutos)	2 aulas
	2. Apresentação das principais ferramentas a serem utilizadas virtualmente, tais como Google Drive, Google Forms e Tinkercad. (20 minutos)	
	3. Com base no livro: Introdução ao Efeito Fotoelétrico, compreensão, conhecimento da equação produzida por Einstein, relacionar a energia cinética do elétron emitido à frequência da radiação incidente, conferindo o número de fotoelétrons à intensidade de radiação incidente e por fim, compreender o funcionamento de células fotoelétricas. (50 minutos)	

Quadro 1 – Procedimentos abordados e quantidades de aulas ministradas

RECURSOS ESTRUTURAIS²

A tecnologia disponível para objetivar as ações deste trabalho, sendo que se deve avaliar as que apresentam opções sem custos, utilizar diversos editores de textos, estrutura de armazenamento e que pudessem ser reutilizados ou modificados.

É importante detalhar que nestas plataformas podemos expor um material, para

² Apêndice B

objetivar e orientar os professores do Ensino Médio, usufruindo da informática na montagem e execução de experimentos, utilizando a plataforma Arduino UNO, propondo formas de demonstrar o efeito fotoelétrico, o comportamento da luz, propor discussão sobre dispositivos modernos que se utilizam.

Dentre as plataformas existentes, há a plataforma “Google”, que apresenta o armazenamento “Google Drive”, para confecção de pesquisa e questionário temo o “Google Forms”, nestes pode-se realizar a pesquisa e aplicação de questões de avaliações e no armazenamento, considerando haverá diversas respostas. Contudo, a plataforma utilizada é o “Tinkercad”, nele existem diversas ferramentas úteis para a implementação, compilação dos dados na construção dos experimentos que serão apresentados na sequência didática sobre o Efeito Fotoelétrico.

METODOLOGIA

A sequência didática proposta considera as fases deste processo como inativa, icônica e simbólica. Quando se pretende observar o modo de ensinar, alavancamos processos de ensino e aprendizagem por vários aspectos abordados. As consequências que levam a um bom entendimento da observação no caso do discente, ao que se refere em uma apresentação por gráficos, figuras e desenhos sobre o tema, sendo elas bem apresentadas, por simbologia de palavras, que busque um bom entendimento do assunto, neste esperamos o *feedback* do aprendiz, contudo admitamos que o aluno, não seja um ser totalmente dependente do professor, para que nas explicações do mesmo o aluno possa assumir funções autocorretiva.

Nas observações de Bruner aos educadores de diversas áreas:

Para compreender em que consiste a aprendizagem por descoberta, vejamos a distinção que Bruner faz entre a maneira expositiva e a maneira hipotética de se conduzir uma aula.

Na expositiva, o professor já traz o conteúdo pronto e o aluno limita-se passivamente a escutá-lo. Na abordagem hipotética, a professor traz o assunto sob forma de problema ou questão a ser resolvida, e ajuda o aluno a resolvê-lo, discutindo com ele as alternativas apresentadas. (GIACAGLIA, 1986)

Conquistando a viabilidade e empregabilidade por meio de descobertas, tais assuntos como a matemática, linguística, história, psicologia, literatura e até na geografia. A flexibilização e o conhecimento da matéria farão com que o professor tenha um bom desempenho, assim a estrutura de forma representativas, tornam-se importantes, pois a sequência deve ser representativa para a icônica, e depois para a simbólica, por mais que o aluno apresente o seu próprio simbolismo.

Considerando que a instrução é a oportunidade de corrigir o conhecimento ou informação, onde resultados podem apresentar certa utilidade ou não, mediante o aprendizado, à medida que é apresentado o desenvolvimento, tanto simbolicamente, como representar as transformações ambientais, aumentando assim as motivações de competências, pois o aluno mostra controle sobre o seu comportamento.

Na teoria da aprendizagem do teórico Jerome Bruner, adequa o desenvolvimento do aluno em poder criar simbolicamente seu conhecimento fundamentado, neste pode-se ser representada na figura a seguir:

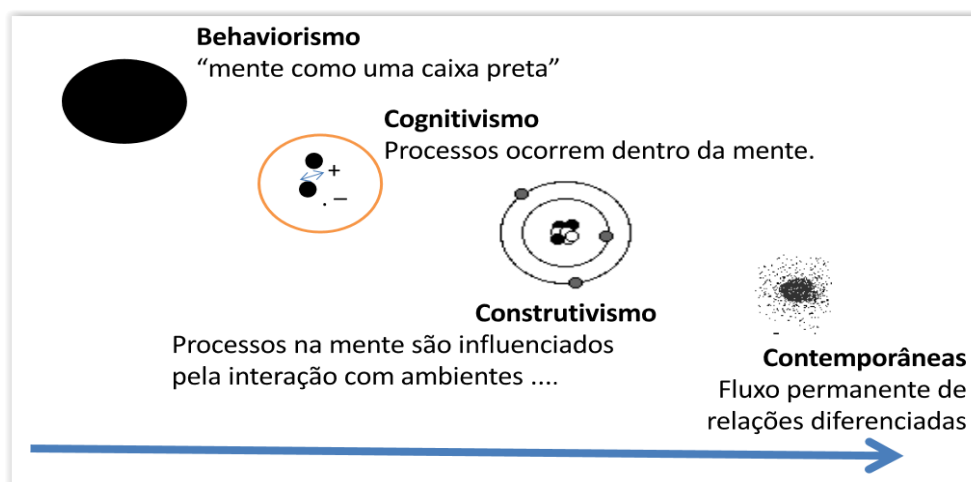


Figura 1 - Desenvolvimento do pensamento construtivo para o contemporâneo do ensino, evoluindo com sua fundamentação
- Jerome Bruner

Fonte: https://www.nelsonreyes.com.br/Teorias_Psicopedagogicas_Evandro_Ghedin.pdf

Com utilização de experimentos simples e de baixo custos, apresentaremos três tipos que envolva a luz solar e que possamos usar as equações assim mencionadas para comprovar a teoria da Física Moderna no contexto de Efeito Fotoelétrico.

CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO

Experimento 01: construção de uma placa de energia solar com LEDs

Objetivo

Transformar energia luminosa em energia elétrica com o uso de LED (Diodo de Emissor de Luz).

Objetivo específico

- Comprovar pelo Efeito Fotoelétrico produzido pelo LED;
- Apresentar de forma lúdica como produzir energia;
- Visar uma maneira mais limpa de captar energia limpa, proveniente do Sol.

Sol.

Diodo emissor de luz (LED)

O LED ou Diodo de Luz, dispositivo que é constituído de dois semicondutores, com uma alta dopagem, sendo a formação em uma junção p-n, este é representado em circuitos com o símbolo na figura a seguir.

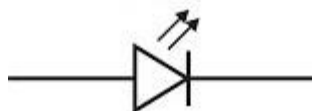


Figura 2 - Simbologia do Diodo de luz.

Fonte: <http://parquedaciencia.blogspot.com.br/2013/06/semicondutores-da-descoberta-as.html>

Ao aplicar um campo elétrico externo na junção p-n, ou seja, criando uma polarização direta, aplicando aos elétrons do lado n absorvem energia suficiente, principalmente para vencer a diferença de potencial que está próxima, o deslocamento que chega a fronteira, pois é apresentado lacunas (buracos) no lado p, os elétrons irão se recombinar nos buracos existentes, logo então emitirá radiação de energia, conhecida como “gap” de energia ou largura da banda proibida. Uma outra forma de pensar, é que o elétron sairá da extremidade inferior na banda de condução que preencherá o buraco da extremidade superior para a banda de valência, fazendo uma recombinação do processo. Considerando que nessa mudança de posição do elétron, haverá sempre liberação de energia em forma de radiação, devido a diferença de nível de energia (ΔE_g), para exemplificar, temos o arseneto de gálio, esse é um supercondutor, como é o caso do silício e o germânio, há uma liberação de energia que é sentido como vibração na estrutura cristalina dos materiais (CAVALCANTE, TAVOLARO, & HAAG, 2005).

Quando ocorre a emissão da radiação, apresentam fótons de energia $h \cdot \nu$, desta equação de Planck, podemos encontrar o comprimento de onda, a partir da equação a seguir:

$$h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} = E_{gap} + \Delta E_F$$

Equação 1 - Energia de um Diodo usando a Equação de Planck.

Na equação apresentada, o comprimento de onda emitida pelo Diodo, dependerá da largura da banda do semiconductor, as combinações definirão a intensidade da luz emitida, contudo várias combinações serão necessárias para um grande número de elétrons em diversos buracos existentes, há uma ressalva que isso não poderá acontecer em um semiconductor puro. Contudo, é necessário ter uma grande quantidade de elétrons e buracos disponibilizado para a polarização direta em junção p- n que é dopado. Com o movimento do elétron, onde irá gerar uma corrente elétrica que atravessa a junção, caso a dopagem seja alta ao ponto de gerar uma grande quantidade de elétrons e preencherem os buracos que estão próximos. Essas características dão ocorrência várias combinações e como consequência apresentará uma grande intensidade luminosa emitida. Os comprimentos de ondas emitidos da banda proibida do semiconductor, apresentam proporções diferentes no semiconductor e sua impureza dopada, que emitem luz desde do infravermelho, passando por todas as cores possíveis e visíveis (HALLIDAY & RESNICK, 2009).

A tensão mínima para a polarização mencionada anteriormente, corresponde a energia mínima para expressar assim:

$$eV = E_{gap} + \Delta E_F$$

Equação 2 - Energia Mínima.

De maneira observada a energia $\Delta E_F = 0$, poderá ser desprezada com aproximação, temos que $h \cdot \nu = eV = E_{gap}$, desta forma poderemos reescrever a nova relação que envolve a frequência (ν) emitida, para uma intensidade em função do potencial de corte V_0 , isso se refere a tensão do LED que conduz:

$$h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} = eV_0$$

Equação 3 - Equação de Planck do Efeito Fotoelétrico.

Materiais

- 01 Capacitor de 10 V 220 μ F
- 25 LED de alto brilho
- 01 Placa de componentes eletrônicos 5 cm x 5 cm
- 01 metro de solda estanhada;
- 01 Ferro de solda de 40 W
- 01 Multiteste

Os procedimentos para a montagem da placa com LED's segue como sugestão, os seguintes materiais como base para a construção deste produto, uma grande maioria pode ser adquirida em lojas de venda de componentes eletrônicos.

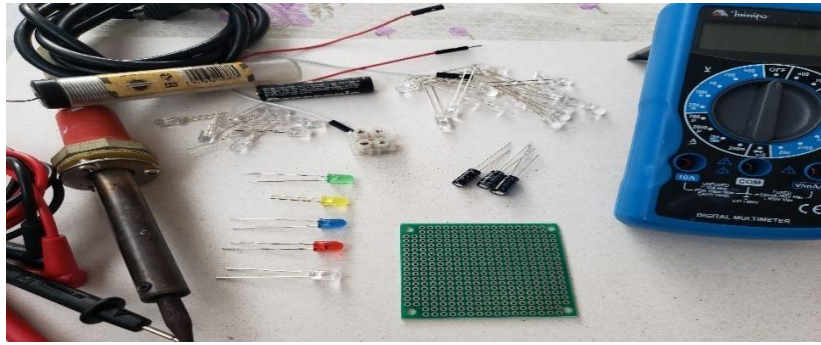


Figura 3 - Material a ser utilizado neste processo.

Montagem

Este experimento é de simples processo de construção, onde os LED ficarão em organizados conforme a fig. 4, essa montagem será abordada neste parágrafo, sendo que haja uma organização na montagem, para tanto, é importante que o aluno tenha conhecimento prévio sobre corrente, resistores em série e paralelo e capacitores, pois nestes assuntos poderemos organizar o produto.

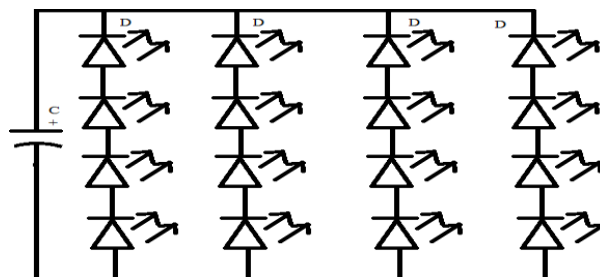


Figura 4 - Posicionamento dos led's na placa.

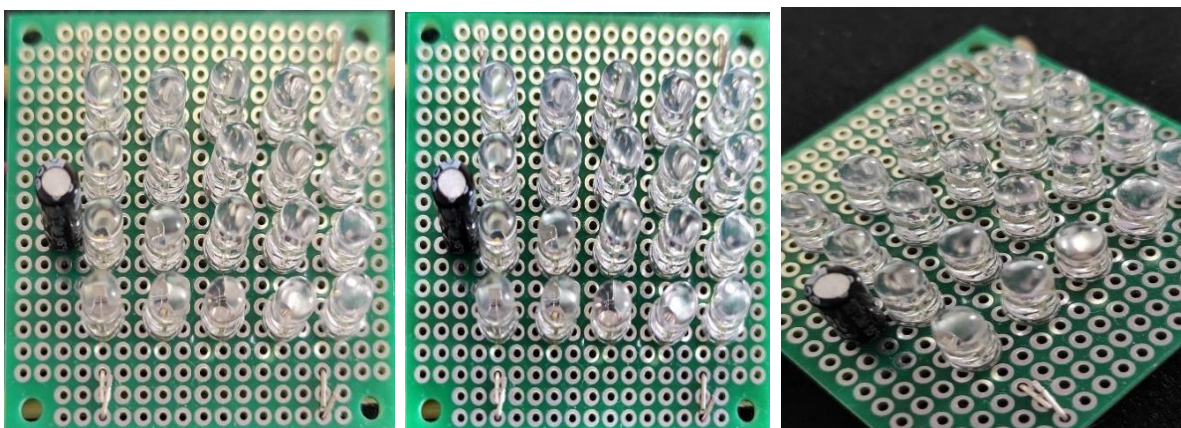


Figura 5 - Led's montados na placa.

De acordo com os materiais visto na figura 04, pode-se então começar a montagem de nossa placa de energia solar com LED. A primeira etapa, quando for escolher o LED, temos

que escolher aquele que é transparente e que tenham pernas longas, pois este é o de alto brilho, na sequência temos que testar todos, pois se houver um danificado, não passará corrente produzida, como devermos fazerisso, considerando que os LED's suportam até 3 V, caso passe deste valor pode queimar, então, pega-se uma bateria de 3 V ou duas pilhas 1,5 V, no caso das duas pilhas devemos coloca-las em série, para que haja o devido valor dos 3 V, para testar o LED, observa-se as pernas, nela existe uma longa e uma curta, observe a figura 07, nesta imagem, o que está sendo utilizado é o terceiro de cima para baixo, contudo, observe as pernas que possuem comprimentos diferenciado, a escolha deste tipo é devido ele ser transparente e o Sol emite várias cores.

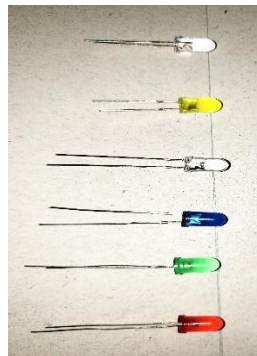


Figura 6 - Tipos de LED's que existe para uso.

Na sequência, pega-se a placa 5 cm x 5 cm, esta placa já vem toda vazada, conforme figura abaixo, nestes furos introduza as pernas dos LED's, sendo posicionados de forma organizada, dispostos da perna positivo com a perna negativa do subsequente.

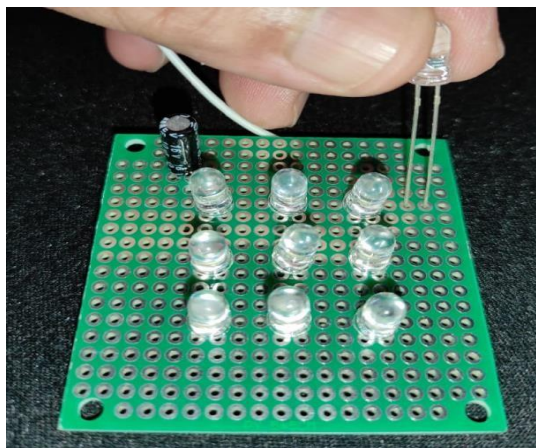


Figura 7 - Posicionamento do led na placa.

Dando sequência a montagem, deve-se dispor na placa o capacitor e ligá-lo aos fios, seguindo o mesmo princípio, fio negativo com terminal negativo do capacitor e fio positivo para o terminal positivo do capacitor. É bom provável que tenham excesso, retire-os com cuidado. Pronto, neste momento pode-se utilizado a sua placa de energia solar com LEDs colocando direcionado ao Sol e seria bom usar o multitest para medir o valor, colocar \checkmark na faixa

de 1:20.

Neste experimento, quando colocamos diante do Sol, sendo que emite radiação luminosa, incidindo pelos LEDs, poderão apresentar uma variação da corrente, conforme verificado no instrumento de leitura da voltagem. Esse é uma maneira de entendermos a Física Moderna pelo Efeito Fotoelétrico de forma prática, experimentando com poucos componentes.

Experimento 02: Efeito Fotoelétrico e a constante de Planck

Objetivo

Determinar com uso da equação do Efeito Fotoelétrico a constante de Planck e a função trabalho do material que integra uma célula fotoelétrica.

Objetivo Específico

Considerando que se deseja alcançar o objetivo geral, em conformidade com a atividade em questão, encontrar a constante de Planck, levando em conta que as ações serão voltadas a uma sequência didática, podemos visualizar a compreensão dos estudantes, tanto na motivação quanto na criação:

- Diagnosticar o conhecimento prévio dos alunos sobre o tema;
- Propor ao discente que construa no “Tinkercad” o modelo para calcular a constante;
- Averiguar os problemas encontrados pelos alunos na hora da construção virtual;
- Empregar questionamentos para posterior análises das ações executadas dos alunos frente as dificuldades encontradas.

Histórico

Em 1900, século das descobertas na Física Moderna, desta forma que houvera controversas e esclarecimentos. Partindo do princípio que James Clark Maxwell (1831 – 1879), apresentando uma resolução matemática que relacionava os campos elétricos e magnéticos, nesta relação que envolvia a velocidade da luz e estabelecendo um novo conceito de ondas eletromagnéticas. A unificação do eletromagnetismo com a Ótica, duas áreas consideradas da Física.

Em 1887, Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894), de posse de experimentos que geram ondas eletromagnéticas, causando assim o nascimento de novas tecnologias, como é o caso do telegrafo sem fio e o rádio, em um dos experimentos abordados, quando aplicava a diferença de potencial, quando oscilava em um sistema com uma pequena abertura, sendo ligado a um fio terra, percebeu centelhas em intervalos de tempos iguais, buscou entender a relação do campo elétrico existente na região da pequena abertura, onde caía rapidamente, chegando a zero, mas crescia rapidamente até o ponto do centelhamento. Em sua observação percebeu que a onda eletromagnética proveniente do centelhamento da abertura do orifício, fazendo diversas leituras com placas metálicas, observou que apresentava um comprimento de onda da radiação eletromagnética que por sua vez utilizava a velocidade da luz.

Em suas anotações foi percebido que apresentava um efeito, que era uma centelha secundária, sendo ela mais intensa que a outra apresentada pela pequena abertura, aproveitando esse fenômeno e publicando os resultados em 1887 em um artigo intitulado de “On the Effect of Ultraviolet Light upon the Electric Discharge” (sobre um efeito da Luz Ultravioleta há uma descarga elétrica).

Para a época, foi um significativamente importante para ondas de hertz, ou ondas hertzianas, mostrando assim uma relação direta com o trabalho de Maxwell. Percebendo que a luz ultravioleta desencadeava descargas elétricas, porém não foi possível há explicação deste efeito. Historicamente, em 1889, Wilhem Hallwachs demonstra que há partículas negativas saindo da superfície mencionada por Hertz, principalmente em elementos químicos como o zinco, potássio e sódio. Em 1902, Philipp Eduard Anton von Lenard (1862 – 1947), fez as devidas medições que relacionava a carga/massa das referidas partículas, podendo comprovar que no momento do centelhamento, eram emitidos elétrons, considerando-o assim como fotoelétrons.

Para Maxwell a matéria era uma distribuição contínua, equilibrando assim os campos elétrico e magnéticos, considerados também contínuos, para entendimentos dos pesquisadores no século XIX, seria algo complexo, então Thompson, argumentou que neste processo seria granular, justificando assim as devidas dificuldades para o espalhamento da luz por átomos.

Poynting argumenta que no transporte desta energia ocasionado por ondas eletromagnéticas, é descrito por um produto vetorial dos campos elétricos e magnéticos, ocupando assim os espaços ali existentes. Com a explicação apresentada, funcionava para as ondas no vácuo, podendo ser determinadas a radiação solar, porém, a interação com a matéria, fracassava. Rayleigh apresenta um questionamento: “*como descrever o espalhamento de radiação por um alvo cuja dimensão é muito menor do que o comprimento da radiação incidente?*”, sobre esse questionamento apresentado, pode-se então entender o comprimento de

ondas, que são da ordem de 10^{-6} ou 10^{-7} m, e para o raio do átomo encontrado por Thompson era da ordem de 10^{-10} m. Utilizando-se de conceitos clássicos sobre colisões, os átomos tornam-se dependentes da radiação incidente, formalizando assim λ^2 . Contudo, não apresentando as devidas explicações de interação da radiação com a matéria.

Albert Einstein (1879 – 1955) propõe uma solução em 1905, para este problema mencionadopor Rayleigh, onde considerou a quantização da radiação, deixando a comunidade científica incomodada com seus argumentos, para tanto, levaram dez anos para reconhecer o seu argumento. Em 1916, Robbert Andrews Millikan (1868 – 1953), publicou um trabalho sobre o Efeito Fotoelétrico, usando os argumentos de Einstein, sendo reconhecido por sua proeza teórica e comprovado no experimento de Millikan, em que não viola o processo de interferência da luz.

Basicamente o resumo se dá que Hertz confirma o modelo teórico de Maxwell, e pode constatar os modelos que limitariam o processo, contudo no modelo de onda-partícula que seria outro tema, não sendo abordado neste.

Efeito Fotoelétrico

Para a realização deste trabalho com o Efeito Fotoelétrico, devemos seguir os seguintes conceitos do que foi apresentado anteriormente, precisamos entender que há uma emissão de elétrons de forma induzida pela radiação da luz sobre determinadas substâncias químicas, mencionadas, ou placas metálicas.

Porém, quando usamos uma radiação luminosa com frequência de onda para a cor vermelha, exemplificando, não obteremos o mesmo resultado quando for ultravioleta, mesmo que sejam independentes as suas intensidades, com tudo, neste processo a dependência da frequência torna-se, por mais que seja simples o processo, justifica-se que ondas de luz com pequenas frequências não excitam os elétrons, por mais que sua amplitude seja grande.

Lenard ao demonstrar no seu experimento, onde o número de elétrons ao atingir uma placa A, irá diminuir à medida que o potencial V entre as placas cresce, dando uma ideia de movimento dos elétrons e podem gerar energia, pensado na Energia Cinética ($\frac{1}{2}mv^2$) que esses atingirão a placa A. Para tanto, há um potencial de frenagem V_0 , fazendo que o elétron não consiga chegar na referida placa.

Temos então a possibilidade de comparar equações, justamente para encontrar esse potencial, da seguinte maneira:

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV_0$$

Equação 4 - Energia Cinética igual a Energia Potencial.

Contudo, podemos fazer uma inversão do potencial nas placas, fazendo com que os elétrons possam transitar aceleradamente, sendo eles desprendidos da placa inicial, indo ao oposto, deste modo, gerará uma corrente I não dependente do potencial V de elevação gerado pelas placas.

Na figura ao lado, vemos que o potencial de frenagem V_0 é totalmente dependente da frequência, porém não depende da intensidade da luz que está incidindo, a corrente I que mede o número de elétrons, é proporcional a sua intensidade de incidência.

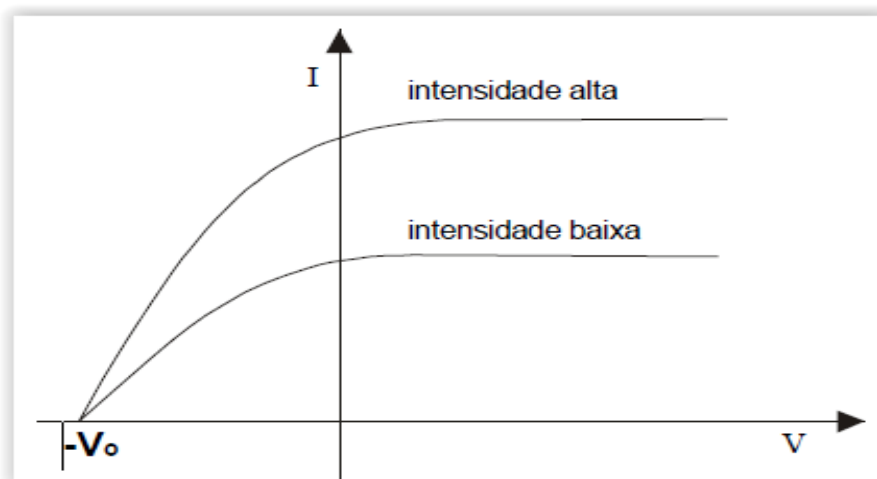


Gráfico 1 - I X V - Corrente versus Potencial.

Fonte: <http://www.ensinoadistancia.pro.br/ead/qg/aula-4/aula-4.html>

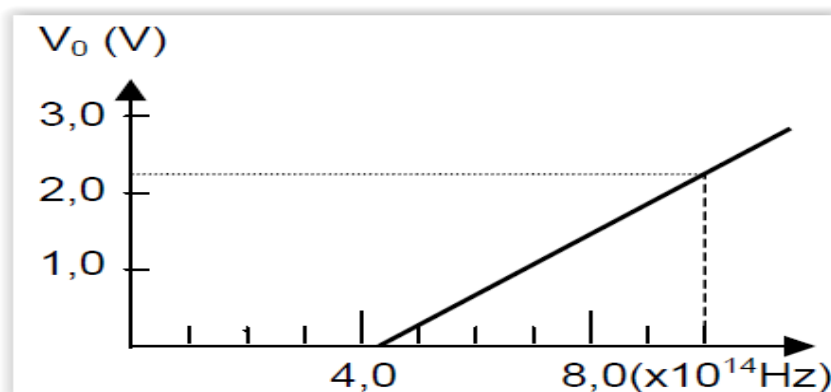


Gráfico 2 - Potencial de frenagem x frequência.

Fonte: <http://www.ensinoadistancia.pro.br/ead/qg/aula-4/aula-4.html>

Com esses resultados, mesmo que experimentalmente, acabando por revelar a dependência do potencial V_0 , em relação da intensidade da luz, faz com que o modelo ondulatório seja surpreendente. Considerando uma visão ondulatória clássica, percebe-se que a medida que a taxa luminosa incide sobre a placa, não de aumentar a energia absorvida pelos

elétrons, contudo aumentaria a energia cinética, conforme figura ao lado, porém não acontecia isso que se esperava, pela teoria clássica.

De acordo com o gráfico 2, a leitura do material que no caso é o sódio, temos o potencial de frenagem para uma função de frequência, apresentando uma frequência no valor de 10^{15} Hz, para este obtêm-se o valor no potencial de $V_0 = 2,2$ V. Neste pode-se considerar que a energia seria necessária para desprender da superfície o elétron, cedendo assim uma energia de $2,2$ eV. Classicamente, pelo modelo ondulatório a intensidade do feixe é igual a 10^{-10} W/m², para a frequência de 10^{15} Hz, atingindo o átomo de sódio para um raio de 10^{-10} m, em 1 segundo, teríamos uma energia de:

$$\pi(10^{-10}m)^2 \times (10^{-10} W/m^2) \approx \pi \times 10^{-30} \text{joules} \approx 2,0 \times 10^{-11} eV,$$

completando assim a energia cinética para os elétrons com um tempo de 10^{11} s, ou 4.000 anos. Proposta feita por Rayleigh, que esse tempo reduziria para 5 horas, ao verificar experimentalmente, nas condições mencionadas, o tempo tornava-se pequeno, fazendo assim a emissão logo após a incidência da radiação, causando uma improbidade teórica ondulatória para explicar esse fenômeno.

Na abordagem por Einstein, considerando um elétron que está dentro do metal, ficando sujeito a uma energia potencial da própria superfície, que foi chamada de ϕ , seria necessária para romper e emitir os elétrons, comparando a energia cinética com o argumento de Einstein, temos matematicamente assim, $\frac{mv^2}{2} = h\nu - \phi$, substituindo para elétron-Volts, temos:

$$eV_0 = \left(\frac{mv^2}{2} \right)_{\text{máxima}} = h\nu - \phi$$

Equação 5 - Equação do Efeito Fotoelétrico.

onde ϕ_0 ficou sendo chamada de função trabalho, onde representará o trabalho para a retirar o elétron da superfície. Dando assim uma solução, simples, proposta por Einstein.

Material utilizado

- 01 Placa Arduino UNO;
- LEDs, de alto brilho, preferencialmente transparente;
- 1 Potenciômetro de 10k Ω ;
- 01 Resistor 220 Ω ;
- Fios jumper;

- 1 Protoboard.

Montagem do circuito e a programação do Arduino

Observe o processo da figura a seguir e reproduza-o no Tinkercad. De posse da placa Uno e protoboard, use fios de cores diferentes, em nossa figura, foi usado fios de cor preta, vermelha, azul e amarelo, para tanto, ligamos o fio vermelho na placa Uno para 5 V e a outra extremidade conecte na extremidade do protoboard, conforme figura, dando sequência pegue um fio preto, conecte-o na placa onde está escrito “GND” o que está perto do 5 V, na outra extremidade do fio preto conecte no outro lado do protoboard, porém uma linha para dentro, por sua vez ligue um fio azul a uma parte mais interna, veja a figura, disponha um led de auto brilho de forma que seus terminais fiquem em paralelo as conectados para alimentação do protoboard, para o led ser posicionado, observe que ele possui duas pernas, sendo que uma delas é maior que a outra, ou seja, a maior é positiva e a menor é negativa, observando que o fio preto está ligado ao “GND”, logo é o lado negativo, para a perna que tem o lado positivo, conecte o Resistor 220 Ω , veja que também é disposto a ligação na perna que é positiva um fio amarelo, ele deve ser ligado na placa Uno para “A0”, e na outra extremidade o resistor deve-se ligar ao potenciômetro, esse fio azul, deve ser conectado ao terminal do meio do potenciômetro juntamente deve ser conectado ao “A1” da placa Uno, enquanto que no terminal que fica a direita do potenciômetro deve conectado ao 5 V.

Todo esse processo pode ser construído virtualmente no Tinkercad.

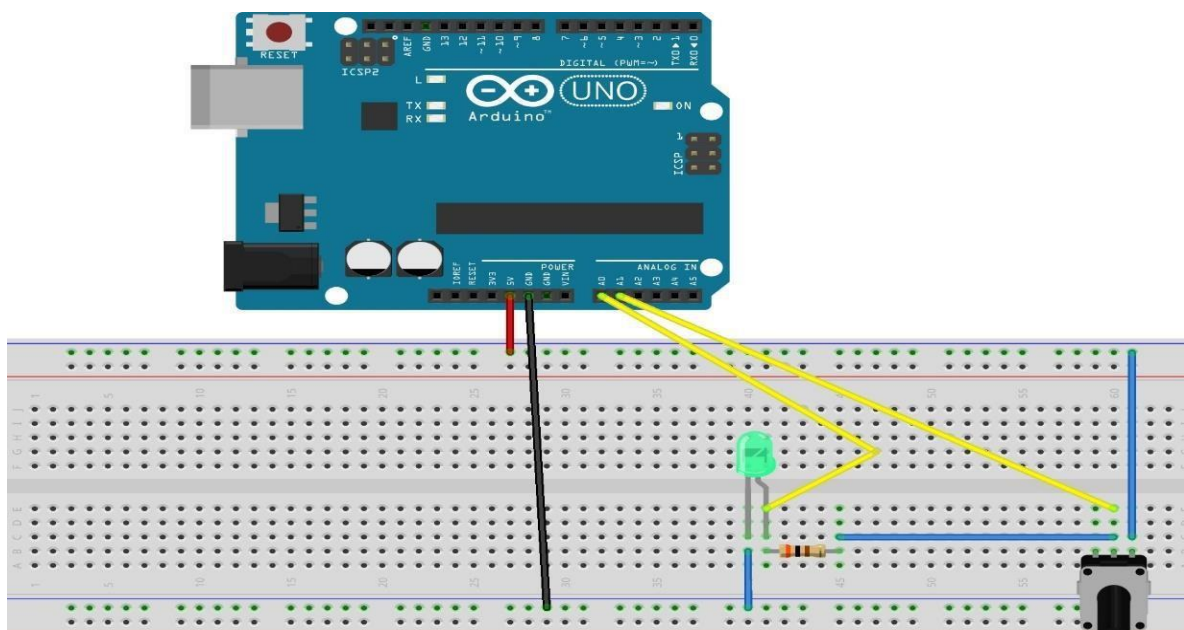


Figura 8 - Esquema de montagem para calcular a constante de Planck.

Fonte: <https://www.tinkercad.com/>

Feito todas as conexões, teremos que programa-lo, caso queira fazê-lo fisicamente, caso contrário o próprio Tinkercad constrói o código, mas apresentaremos neste trabalho o código de programação.

A Programação

Para um bom entendimento do processo e o que está sendo procurado, no caso a constante de Planck, digitaremos o código logo abaixo, para você que é iniciante, acreditamos que o Arduino possa captar a corrente e a ddp do led, onde ocorrerá uma variação pelo potenciômetro, para visualizarmos essa variação teremos o auxílio do PLX-DAQ “Spreadsheet”, quando for feita a exportação para os dados no Excel, o mesmo irá plotar um gráfico em função da corrente que passa pelo led, desta forma pode-se encontrar a constante de Planck.

Código fonte

//declaração da localização dos pinos e algumas variáveis utilizadas no código.

```
int pinoLed = A0; //pino que está ligado ao led (porta analógica 0)
int pinoPoten = A1; // pino que está ligado ao potenciômetro
int valorLido = 0; //valor lido na entrada analógica
float tensaoLed = 0; //tensão valor convertido para volts
float valorI = 0; // corrente I valor em mA
float tensaoPoten = 0;
float valorPoten = 0;
#define valorresistor 0.3; // valor do resistor em Kohms
int contador = 0;
int linha = 0;
int LABEL = 1;

void setup() {
Serial.begin(9600); //inicializa comunicação Serial numa taxa de 9600 bps
Serial.println("CLEARDATA"); // Reset da comunicação serial
Serial.println("LABEL, Horas, Tensão, Corrente"); // nomeia as colunas
}
void loop() {

if (contador <= 14) {
valorPoten = analogRead(pinoPoten);
valorLido = analogRead(pinoLed);
tensaoPoten = (valorPoten * 0.0048876); // leitura da porta analógica em que o potenciômetro está conectado
tensaoLed = (valorLido * 0.0048876); // 5V / 1023 = 0.0048876 (precisão do A/D)
valorI = (tensaoPoten - tensaoLed) / valorresistor;
// calcula a corrente elétrica no circuito em mA
Serial.print("Tensao no Led: ");
Serial.println(tensaoLed);
Serial.print("Corrente:");
Serial.println(valorI);
delay(500); //espera 1s
```

```

contador ++;
if (linha <= 14) //laço para limitar a quantidade de dados {
Serial.print("DATA, TIME,"); //inicia a impressão de dados, sempre iniciando
Serial.print(tensaoLed);
Serial.print(","); Serial.println(valorI);
linha ++; //incrementa a linha do Excel para que a leitura pule de linha em linha
}
delay(500); //espera 1 segundos para fazer nova leitura
}

```

Observe que o contador de número 14 possui uma função “if(contador<= 14)” e “if(linha<=14)”, os mesmo mostram que os dados dependera da quantidade obtido, claro que o programa irá colher as devidas informações com o PLX-DAQ.

De posse do código no IDE, carregue-o para execução, abrindo o PLX-DAQ, direcione-o para uma página do seu Excel, observe a figura a seguir.

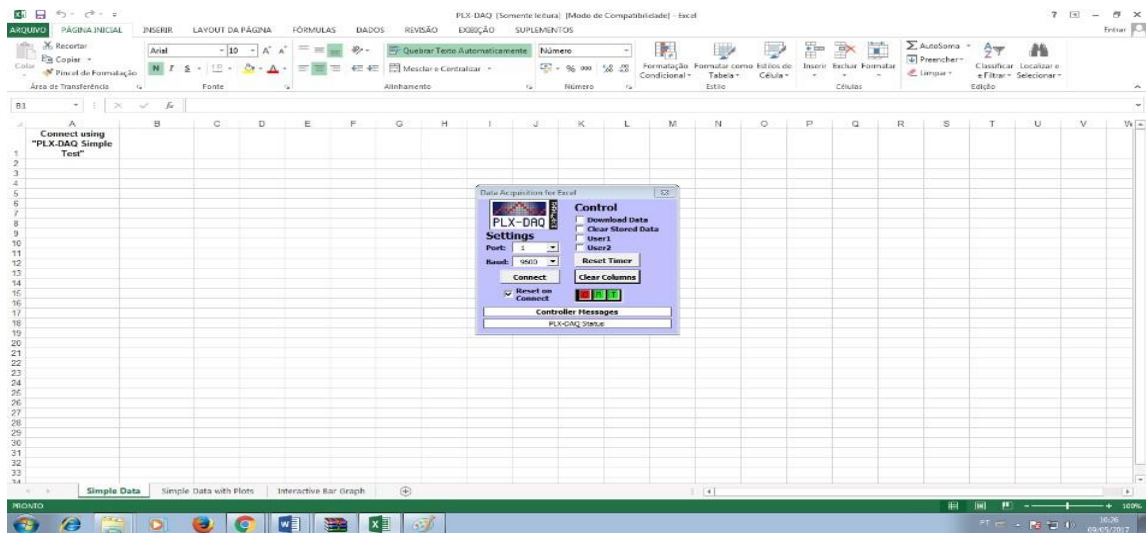


Figura 9 – Visão frontal do PLX-DAQ.

Fonte: <https://www.tinkercad.com/>

Porventura, o Excel apresentará uma permissão ao ativar o macro, onde no decorrer da execução serão utilizados, vá em “Habilitar Conteúdo”, observe na janela que aparece ao centro, vejaos detalhes.

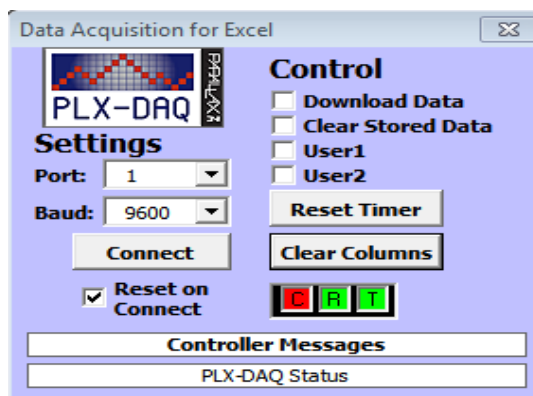


Figura 10 - Janela do PLX-DAQ.

Fonte: <https://www.tinkercad.com/>

Visualize a palavra “Settings”, escolha em “Port:”, que neste caso é a porta de entrada de dados, esse valor é o que é usado no Arduino (IDE), onde haverá a conexão, na sequência, procure a palavra “Baud:” deixe no valor de 9600, pois esse é o tempo que há de conexão, fazendo a própria verificação do código no Arduino IDE, conforme no código aparece o “Serial.Begin(9600):”, neste diz respeito a transferência de dados na programação que foi desenvolvida no “void setup ()”, lembre-se que deve estar de acordo com a escrita.

Onde se lê “Control”, há quatro opções disponíveis, caso o usuário queira realizar um “download” dos dados, também pode “resetar” os dados, mas tudo isso é opcional.

Depois de iniciar o código no IDE do Arduino, procure o botão “Connect”, logo abaixo dele há um marcador com o nome de “Reset on Connect”, esse serve para limpar os dados, que outrora foram armazenados, a limpeza de dados se faz importante devido ao conflito de informação na hora da conexão.

Uma vez funcionando a placa de Arduino e o PLX-DAQ, haverá uma extração de dados, nesses será apresentado em uma planilha de Excel, como veremos a seguir em uma figura.

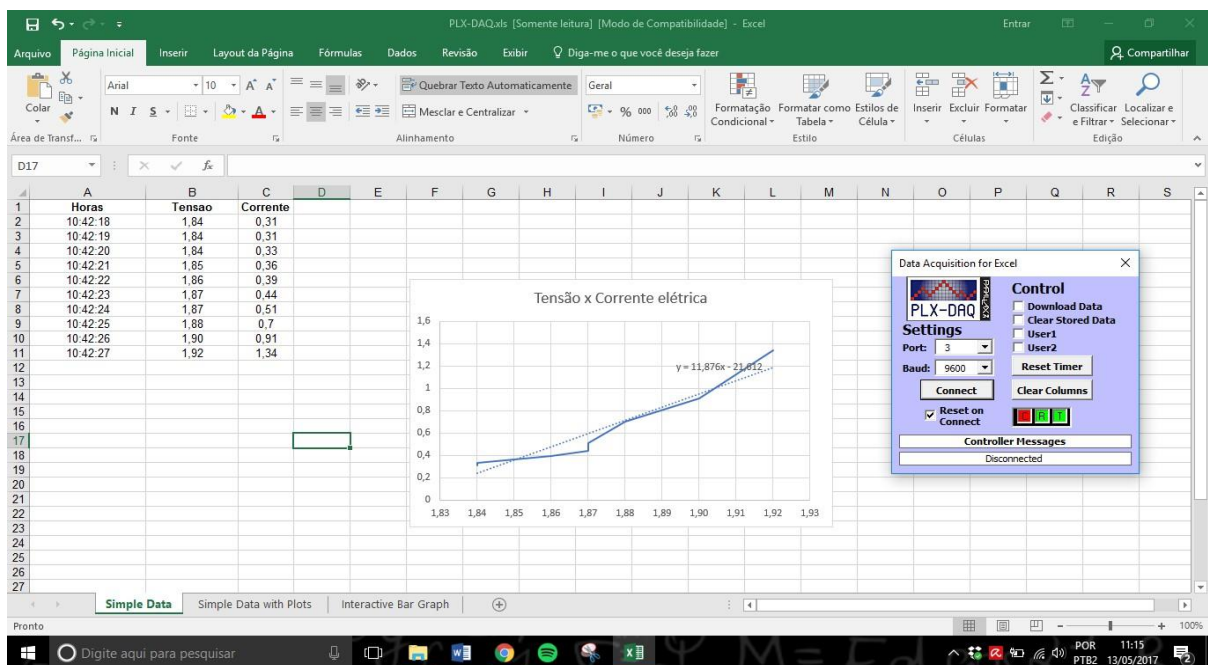


Figura 11 - Dados apresentados pelo PLX-DAQ.

Fonte: <https://www.tinkercad.com/>

Sugerimos que possa selecionar quatorze linhas, merque e vá para construção de gráfico, nomeie a tensão em função da corrente em tempo real, descobrindo o valor da tensão de corte V_0 (essa é a tensão muito baixa, não há corrente), conforme equação descrita abaixo, pode-se calcular a constante de Planck.

Equação 6 Equação do potencial elétrico, extraído da equação do Efeito Fotoelétrico.

$$h\nu = \frac{h \times c}{\lambda} = eV_0$$

Caso queira utilizar do comprimento de ondas, pode-se encontrar na “internet” esses valores que é fornecido pelos fabricantes de Led’s.

Neste trabalho, sugerimos que caso queira diferenciar com a cor dos led’s , é uma alternativa encontrar o valor da constante por led’s de cores diferentes, pois no gráfico da frequência em função do potencial de corte, chegaremos a constante desejada, sendo tudo em elétron-volts. Sendo aplicado desta forma, os alunos podem até se questionarem sobre essa constante de Planck, é fundamental para o Efeito Fotoelétrico, por certo que haverá de ser um motivo para que o aluno possa buscar mais compreensão a respeito do assunto abordado.

Experimento 03: o resistor dependente de luz (LDR)

Esta atividade faremos com que funcione um tipo de fotorresistor com a intensidade da luz, que no caso estamos falando do LDR, ele é aplicado em componentes de sensoriamento. Considerando que é um tipo de resistor elétrico, apresentar-se-á suas informações específicas sobre ele, mas fazendo a menção ao Efeito fotoelétrico.

Análise e Explicação

O experimento tem como pano de fundo o efeito fotoelétrico e a dualidade onda. Outros dispositivos construídos a partir das propriedades dos semicondutores são os LDRs (resistores dependentes da luz), em um LDR o processo é oposto ao de um LED, quando luz de frequência apropriada incide neste dispositivo o material de que é feito, absorve fótons e a energia recebida é usada pelos elétrons para transitarem da banda de valência para a banda de condução criando assim pares elétron-buracos possibilitando uma diminuição significativa na resistência do material que na ausência de luz volta a apresentar alta resistência (YOUNG EFREEDMAN 2009).

Valadares e Moreira (1998) ao apresentar um trabalho em que usa o LDR como forma de explicar e demonstrar o efeito fotoelétrico relatam que o material base mais comum em um LDR é o sulfeto de cádmio (CdS) e razão é que este material é sensível a luz na faixa do visível. Quanto se pretende utilizar outras faixas de frequências como por exemplo em controle remoto de televisão, no qual se utiliza radiação na faixa do infravermelho deve-se usar outros

materiais como, por exemplo, o arseneto de gálio que é sensível nesta faixa de radiação. O LDR será usado junto com o Arduino em dois projetos de automação como proposta de inserção do efeito fotoelétrico no Ensino Médio.

Objetivo	Fundamentação teórica
<ul style="list-style-type: none"> Averiguar a propriedade esfotorresistiva de semicondutor; 	<p>O LDR, termo original do inglês <i>Light Dependent Resistor</i>, considerado como um resistor que obrigatoriamente depende de luz, é constituído basicamente de um material semicondutor, sua resistência é determinada pela intensidade da luz incidente. O LDR em sua constituição apresenta uma resistência elétrica mínima quando exposto a uma alta intensidade luminosa e uma resistência elétrica máxima na ausência de luz, sua resistência é alterada em função da variação da resistividade do material semicondutor, essa alteração é o efeito fotoelétrico, apresentando emissão de elétrons em um metal, quando exposto a certas frequências de luz, e não chegam a ser emitidos do material, mas a energia dos fótons de luz, serão suficiente para que os elétrons, sejam arrancados da banda de valência até a banda de condução, implicando a diminuição da resistência elétrica do material; em outras palavras, dado a maior quantidade de luz, menor será a resistência elétrica do material.</p>

Quadro 2 - Procedimentos metodológicos.

Sequencialmente, os componentes serão descritos a posterior e sua montagem, bem como a interligação entre a placa Uno com o protoboard, considerando que se utilize de fios de 200 cm, para as ligações entre o led e LDR. Segue a lista do material para poder construir o experimento.

Materiais e Componentes	Descrição
<ul style="list-style-type: none"> LDR; LED; Resistor de 10 kΩ; Resistor de 330 Ω; Placa de Uno Arduino; 02 Protoboard Jumpers Régua ou trena 	<p>O processo de construção necessita obrigatoriamente de duas protoboard, justamente para que possamos movimentar, alterar o distanciamento entre elas, pois em uma ficará o LDR e a outra ficará o LED, e como medidor de distância temos a Régua ou trena para certificarmos a distância entre elas.</p>

Quadro 3 - Distribuição de material e utilização.

Montagem e Procedimentos

Conforme descreveremos o posicionamento do LDR e o resistor que estão em série e sua divisão da tensão, ficará interligada aos terminais do LDR, inserindo-se um condutor, no

caso o fio branco, ele deve ser conectado à porta “A0” da placa do Arduino, pois essa receberá valores bem diferenciados, com relação a tensão elétrica, valendo-se entre os terminais do LDR. Tais valores indicarão a medida da intensidade luminosa que está sendo incidida sobre o LDR.

Conforme figura, o fio preto deve ser conectado ao “GND” e a uma linha mais externa do protoboard, onde irá energizar toda a linha com carga negativa, enquanto que o fio vermelho irá alimentar a linha paralela logo abaixo da energização do fio preto, sequenciando ligamos no protoboard outro fio preto até o resistor de valor de 10 k Ω , por outro lado devemos usar um fio vermelho para conectar o LDR, ficando assim, de um lado fio vermelho de 5 V e do outro o fio branco que é referente a porta A0, quanto ao outro protoboard, devemos alimentar com energia dos fios preto e vermelho para suprir energia elétrica para o LED, ficando posicionado assim, fio vermelho que temo valor de 5 V, deve ter um resistor entre ele e o LED, pois sua capacidade em volts é de 3,0 V, casopasse desse valor pode queima-lo, então o resistor é da ordem de 330 Ω , e pelo outro lado do LED, deve-se conectar o “GND”, representado pelo fio preto.

A régua é somente para medir a distância de intensidade luminosa.

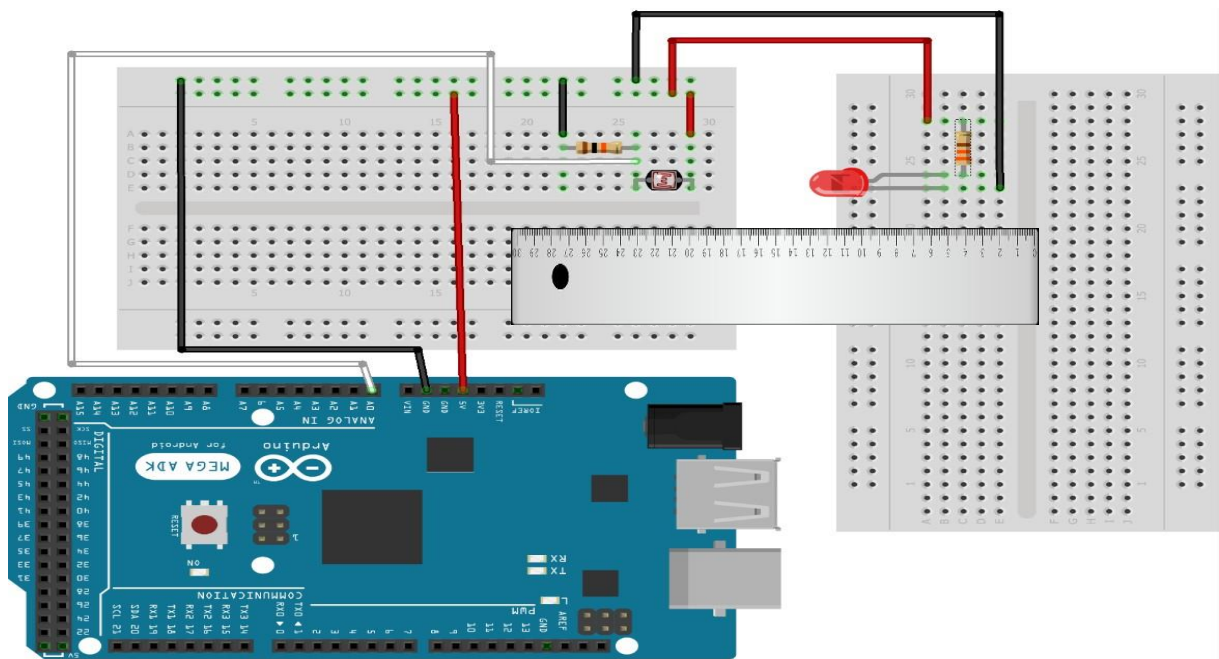


Figura 12 - Posicionamento do LDR e o LED, sendo medido com a régua.

Fonte: <https://www.tinkercad.com/>

Para podermos otimizar o processo de leitura, temos que aplicar o comando na placa Arduino, alertamos aqui que na plataforma do Tinkercad, basta posicionar as figuras e fornecer as conexões, pois ele gerará o código, mas apresentaremos assim o código:

```
int ldrPin = 0; // indica que o LDR deve estar no pino analógico 0
int ldrValor = 0; // armazena medidas do LDR
void setup() {
```

```

Serial.begin(9600);
}

void loop() {
ldrValor = analogRead(ldrPin); // lê o valor do LDR
delay(1000); // tempo de espera de 1 segundo
Serial.println(ldrValor);
}

```

Observando os valores atribuindo no código, quando se refere a variável “ldrValor”, neste será armazenado à medida que está sendo vinculada na própria resistência, esse processo é devido a não leitura da medida da resistência, mas o valor na porta analógica que por sua vez expressará a tensão elétrica que fica entre o LDR representado por 0 a 1023 (0 a 5 volts). Quanto ao comando que envolve “Serial.println”, nesse será imprimido o valor do LDR no Monitor Serial, apresentando uma proporcionalidade à resistência elétrica.

Após realizado todos os procedimentos de montagem, será conectado a placa Arduino ao computador, “upload” do código e o Monitor Serial, inicializará, podemos apresentar tecla de atalho (ctrl+shift+m), nele apresentará os valores que serão verificados. Caso não tenha nenhum erro, a cada 1 segundo aparecerá o valor do LDR, sendo atualizado sempre uma outra linha.

Pede-se que sejam posicionados os protoboards de forma que LDR e LED possam estar frente a frente, desta maneira poderá inclusive anotar os valores fornecidos no monitor para cada distância. Como forma de otimizar siga a tabela para preenchimento abaixo.

Registro	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Distância entre o LED e LDR										
Valores do LDR (Valor monitor serial)										
Média										

Quadro 4 - Registro das distâncias entre LDR e LED.

Obviamente o primeiro registro devesse a 0 cm, depois 45 cm e concomitantemente até poder chegar em dois metros, ou poder ser feito dez anotações. Neste trabalho fica como uma sugestão para as devidas medições.

Também apresentaremos como sugestão, algumas atividades que podem ser feitas aos alunos quando estiverem realizando esse experimento:

1. Elabore um gráfico com os dados que foram coletados pela distância entre o LDR e o LED;
2. Verifique a resistência do LDR, observando a variação pela intensidade de luz quando ao mover o LED. Qual a relação de proporcionalidade entre a intensidade de luz e a

resistência do LDR?

3. Para refletir, quais aplicações no dia a dia, quando utilizamos esse recurso que apresenta a variação luminosa com a resistência do LDR. Crie hipóteses.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Feito todas as apresentações sobre o produto e conteúdo, pode-se executar um Exercício Avaliativos sobre Efeito Fotoelétrico, considerando o desempenho dos alunos em quererem aprender e resolver questões como essa, sendo que foram apresentadas na pesquisa de satisfação sobre o produto, os mesmo puderam compreender que podem aproveitar com instrumentos simples construir a partir de sua própria imaginação segundo Brune, que acredita no próprio desenvolvimento da curiosidade atribuída ao jovem e descobrir caminhos que podem facilitar a vida. Em volta ao espiral do conhecimento assim mencionado por Jerome Brune, se justifica que somos seres que podemos analisar, resolver e construir, mediante as ferramentas utilizadas.

Observando as atividades desenvolvidas, pode-se perceber que a proposta contempla o trabalho, que procuramos desenvolver e ampliar as diversas formas do aluno conhecer e expressar o que o mundo apresenta ao educando, relacionando com outras situações de aprendizagem planejada e organizada.

Destacamos um componente efetivo do ato de conhecer, incluindo a curiosidade, o desenvolvimento da autoconfiança, a interação e o prazer da descoberta, a expectativa pelo novo, o que está para ser experimentado. Nessa interação cognitiva e afetiva, observamos o quanto pode ser desenvolvido o aprendizado nos diversos campos do conhecimento, assim como muitas habilidades foram desenvolvidas.

REFERÊNCIAS

- BAKER, J. (2015). *50 ideias da física quântica que você precisa conhecer*. São Paulo: Planeta.
- BELICH JUNIOR, H. (2012). *Física Moderna*. Vitória: Núcleo de Educação Aberta e a Distância.
- BOHM, D. (2015). *A teoria da Relatividade Restrita*. São Paulo: UNESP.
- BOHN, D. (2015). *As teorias da relatividade restrita*. São Paulo: Editora Unesp.
- BOTTENTUIT JUNIOR, J. B. (2011). *Google Educacional: utilizando ferramentas Web 2.0 em sala de aula*. Rio de Janeiro: EducaOnline.
- BOYLESTAD, R. e. (1994). *Dipositivo Eletrônico e Teoria de Circuitos*. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil.
- CABRAL, J. C. (2015). *Efeito Fotoelétrico: uma abordagem a partir do estudo de circuitos elétricos*. Lavras: UFLA.
- CARRON, W., & GUIMARÃES, O. (2003). *As faces da Física*. São Paulo: Moderna.
- CAVALCANTE, M. A. (2002). *Física na Escola* 3, 24.
- CAVALCANTE, M. A. (2005). *Revista Brasileira de Ensino de Física* 27, 343.
- CAVALCANTE, M. A., TAVOLARO, C. R., & HAAG, R. (2005). *Experiência em Física Moderna*. São Paulo: Fisicana Escola.
- DELIZOICOV, D., A. J. (2002). *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez.
- EISBERG, R. (1979). *Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. São Paulo: LTC.
- EISBERG, R. (1994). *FÍSICA QUÂNTICA*. Rio de Janeiro: Campus.
- GIACAGLIA, L. R. (1986). *Teoria da instrução e ensino por descobertas: contribuições de Jerome Bruner, In: Penteadó, W. M. ET alii. Psicologia e Ensino*. São Paulo: Papelivros.
- GONTIJO, L. M. (2020). *Estudo sobre a Radiação Térmica*. Goiânia: PUC-GOIÁS.
- GOOGLE. (2017). *Clear Google Drive space & increase storage*.
- HALLIDAY, D., & RESNICK, R. (2009). *Fundamentos de Física*. Rio de Janeiro: Livro Técnico e Científico.
- HEIDEMANN, L. A., OLIVEIRA, Â. M., & VEIT, E. A. (2010). *Ferramentas online no ensino de ciências: uma proposta com o Google Docs*. São Paulo: Física na escola.
- ISSACSON, W. (2007). *EINSTEIN: sua vida, seu universo*. São Paulo: Campanha das Letras.
- LDB. (1996). *4. BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, Lei nº 9.394*. Brasília: Brasília.
- LIMA, A. F. (2018). *PROPOSTA DE UMA UEPS PARA ENSINAR O EFEITO FOTOELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO*. Brasília: MNPEF.
- M.M.M, N., C.S., B., D. G. M., S., & V. C. , P. (2014). Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade. (*Fundamentals on emissivity and its correlation with the refractory materials, energy saving and the environment*, pp. 22-33.
- MONK, S. (2013). *Programação com Arduino*. São Paulo: Bookman.

NIEVES, L. S. (1997). *The physics teacher* 35 .

PRESTES, M. B., & SILVA, C. C. (2013). *Aprendendo Ciências e sobre a sua natureza: abordagens históricas e filosóficas*. São Carlos: Tipografia.

PROGOL, S. (2012). *A importância da utilização de práticas no processo de ensino-aprendizagem de ciências naturais*. Uniãoeste: PR.

SANTIAGO, M. E., & DOS SANTOS, R. (2014). *Google Drive como ferramenta de produção de textos em aulas de inglês instrumental*. São Paulo: Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Linguística Aplicada e Estudos da Linguagem.

SILVA, R. C. (2004). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 379.

TERRAZZAN, E. A. (1992). *A inserção da física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau*. Florianópolis: Caderno Catarinense de Ensino de Física.

TIPLER, P. A. (2006). *FÍSICA MODERNA*. Rio de Janeiro: LTC.

VALADARES, E. d. (2005). *Aplicações da Física Quântica: Do Transistor à Nanotecnologia*. São Paulo: Livraria da Física.

APÊNDICE A: Apresentação à Física Moderna

A.1 Inspeção da literatura

Um das formas de confrontarmos os alunos com os conhecimentos da Física que será contextualizada em sala de aula, considerando que pretendemos ter um avanço no Ensino e Aprendizado para o Ensino Médio, para que sejam mais eficazes, temos que fazer alusão aos tópicos de Física Moderna apresentado nos livros didáticos, umas das maneiras necessárias é uma boa revisão do Ensino de Física. Temas que possam abordar para subsidiar: Mecânica, Ondas, Termodinâmica, Óptica e Eletromagnetismo, respaldando assim tópicos da Física Moderna (LIMA, 2018).

A.2 Contexto histórico

Considerando que a Física houve uma transformação significativa após a época de Newton, sendo um marco com a teoria da relatividade, em seu apogeu da física clássica com e a física Quântica, iniciada por Max Planck, no ano de 1900, argumenta que a energia troca-se, na radiação emitida por corpos aquecidos e os átomos da parte sólida estariam quantizados, a descrição matemática do efeito fotoelétrico, estava suposta que a luz torna-se absorvida e emitida em quanta discretos e relacionanda com a frequência da luz (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994).

A natureza quântica da radiação em seu estudo da radiação térmica emitida por corpos considerados negros, conforme descrição, temos que quando a radiação incide sobre um corpo considerado opaco, é visto que parte é refletida e o restante é absorvido. A parte de absorção pode ser descrita da seguinte forma: A radiação absorvida com o aumento da energia cinética dos átomos existentes no processo, equilibrando-o. Na translação dos átomos, a energia cinética média determina a temperatura do corpo, e a energia absorvida, causando a subida da temperatura. Conseqüentemente, os átomos emitem radiação eletromagnética, reduzindo assim a energia cinética das oscilações, e reduzir a temperatura por conseqüente (BELICH JUNIOR, 2012).

Historicamente no final do século XIX, acreditava-se que as Leis da Física já estavam todas desvendadas e que a Mecânica Clássica (Newtoniana) e a Termodinâmica, juntamente com o Eletromagnetismo, podiam explicar tudo. No entanto, foi justamente o Eletromagnetismo que trouxe dúvidas sobre o que se conhecia até então. Entre os questionamentos estava a necessidade de um meio (chamado de éter) para as ondas

eletromagnéticas se propagam, o que foi refutado por experimentos mais sensíveis Albert Michelson (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923) em 1887 (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994). O problema do éter foi resolvido por Einstein em 1905 quando ele publicou sua Teoria da Relatividade Especial, que é parcialmente baseada no postulado (e nas evidências do experimento de Michelson-Morley) de que a velocidade da luz é independente da velocidade da fonte que a emite (BAKER, 2015).

No eletromagnetismo, as equações de Maxwell não eram invariantes, este problema logo solucionado pela Teoria da Relatividade Especial de Einstein de 1905, mostrou as transformações galileanas que não definem referenciais inerciais. Em vez disso, a chamada Transformação de Lorentz (BOHM, 2015), propostas independentemente por Lorentz e o físico irlandês George FitzGerald (1851-1901), é a transformação fundamental que desempenha esse papel, essa transformação também reescrita por Einstein em 1905. Presumindo-se que o eletromagnetismo era uma teoria perfeitamente consistente com a relatividade especial e que a Mecânica newtoniana apresentava limitações. Além disso, a incapacidade de explicar a distribuição de energia da radiação do corpo negro, era possível explicar o espectro do corpo negro em frequências baixas e altas, nenhuma teoria poderia explicar a forma de todo o espectro (BOHN, 2015).

A.3 A constante de Planck e a origem da Física Moderna

É suposto que ao definirmos um Corpo Negro, sendo pelo meio ou por uma substância ao absorver a radiação que está sendo incidente sobre este material, vale uma ressalva que não há dependência do comprimento de onda ou sua própria direção. Portanto, a radiação incidente, sempre será refletida ou transmitida, permitindo assim troca com meio externo, reafirmando conceitos da física da termodinâmica, que diz que corpos ao se encostar, ocasionarão em um equilíbrio térmico, seguindo critérios a seguir:

1. Quando se tratar da termodinâmica não haverá gradiente para a temperatura, ou seja, será constante e homogênea ao Corpo Negro - CN;
2. Quando se tratar da parte mecânica não haverá forças líquidas ou tensões, ou seja, a pressão será constante para todo o CN;
3. Quando se tratar da radiação, o fluxo será sempre constante, em linhas gerais, o fluxo que entra é o mesmo que sai; e
4. Quando se trata da química, todas as reações são balanceadas por uma reação inversa, ou seja, a composição é a mesma em todo o CN.

Para tanto, nesse processo do CN, imaginemos uma abertura em uma de suas paredes,

que está sendo confinado em um caixa fechada, a incidência da radiação emitida, será absorvida pela abertura, caracterizaremos que essa radiação emitida pela abertura, denominaremos a radiação do CN tem que seguir as seguintes itens:

- Sendo isotrópica;
- Sendo não polarizada;
- Sendo independente da constituição do corpo
- Sendo dependente da temperatura do corpo e do comprimento de onda.

O espectro de radiação térmica da matéria condensada é um desses problemas que mostram, de forma simples, a natureza quântica do mundo subatômico, manifestada numa escala macroscópica. A apresentação de um modelo para a descrição deste tipo de radiação por Planck, em 1900, é considerada o nascimento da Mecânica Quântica, embora ela realmente só tenha se desenvolvido cerca de 30 anos depois. De fato, como veremos a seguir, a introdução de níveis de energia discretos foi essencial para o sucesso do modelo proposto por Planck (EISBERG, 1979).

Por certo que existem vários métodos que possam ser utilizados para que haja uma melhor determinação da constante de Planck (h), pois existem vários experimentos que comprovam, muitas delas são elementares e outras mais elaboradas, para tanto, temos o Instituto Nacional de Padrão Tecnológico – NIST (National Institute of Standards and Technology) e o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO, que determinam um padrão de massa sendo independente do material de estudo.

A.4 O que é radiação térmica?

Para que possamos entender sobre energia térmica, temos que lembrarmos de processos de energia mecânica, que foi muito bem configurada em conceitos clássicos da física, porém com o desenvolvimento da teoria eletromagnética de Maxwell, pode-se construir conceitos para que possa ser explicado determinados fenômenos calóricos (GONTIJO, 2020).

Em 1800, o astrônomo alemão Sir William Herschel (1738-1822) apresentou um experimento, em que observava as temperaturas das cores, no seu espectro solar conforme figura a seguir, um detalhe que aumentava à medida que estava próximo do espectro vermelho, onde foi determinado a temperatura mais alta para o vermelho, fato que se deu hipótese dos raios infravermelhos, logo em 1801, o físico alemão Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) esclarece os raios invisíveis do espectro violeta, denominando-os de raios ultravioletas (GONTIJO, 2020).



Figura A13 William Herschel ao lado do seu Experimento.

Fonte: <https://natalgeo.blogspot.com/2016/11/>

O físico francês Nicolas Sadi Carnot (1796-1832), em seu livro: “Reflexões sobre a Potência Motriz do Fogo e sobre as Máquinas Próprias para desenvolver essa Potência”, publicado em 1824. Carnot apresenta a máquina de calor, sendo uma máquina ideal e sem atrito, que realizava um ciclo completo, usando somente vapor, mais tarde conhecido como ciclo de Carnot (GONTIJO, 2020).

Embora Carnot, com uma série observações escritas em 1832, comparando a “queda” do calórico em máquinas, ou seja, procurou determinar o equivalente mecânico do calor J , que foi determinado nos experimentos realizadas, no período de 1842 e 1843, pelos ingleses, Julius Robert Mayer (1814-1878) e o físico James Prescott Joule (1818-1889) (GONTIJO, 2020).

A forma inicial da Lei da Conservação da Energia, foi caracterizada pelo físico e fisiologista alemão Hermann von Helmholtz (1821-1894), em 1847, hoje conhecida como a Primeira Lei da Termodinâmica. A produção de trabalho na máquina de Carnot foi assimilada pela realização do trabalhos do físico alemão Rudolf Julius Clausius (1822-1888), quando foi introduzido em 1865, o conceito de entropia (S), e as Leis da Termodinâmica, ficaram compreendidas da seguinte maneira (TIPLER, 2006):

- Primeira lei: A energia do Universo é constante.
- Segunda lei Segunda Lei: A entropia do Universo tende para um máximo.

Ao se afastar do processo de máquinas térmicas, mencionamos à radiação calorífica dos primeiros físicos que preocupados em medir a radiação, o dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851), a experiência sobre a absorção e a emissão da radiação calorífica em placas de sal de rocha, o físico escocês Balfour Stewart (1828-1887), dedziu que: “O poder emissor de cada espécie de substância é igual ao seu poder absorsor, para cada espécie de raio (comprimento de onda) do calor radiante” (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994).

Para que possamos compreender a emissão (e) e a absorção (a) do calor dos corpos realizadas, em 1859, pelo físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), quando deduziu a relação entre a função do comprimento de onda (λ) da radiação emitida ou absorvida, para o corpo que tinha uma temperatura T , escrevendo matematicamente, temos: $(e/a)_\lambda = I(\lambda, T)$, na sequência foi inserido o conceito de corpo negro. Salientando-se que Kirchhoff presumia que o resultado de suas pesquisas poderia explicar as raiais de Fraunhofer, analisadas em 1814 (BELICH JUNIOR, 2012).

É a radiação emitida por um corpo em função de sua temperatura. Todos os corpos a nossa volta estão constantemente emitindo e absorvendo radiação térmica; para temperaturas usuais a emissão se dá numa faixa de frequência de infravermelho (10¹² -10¹⁴ Hz), que não é visível (BAKER, 2015).

Se um corpo está mais quente que sua vizinhança a emissão de radiação térmica vai predominar sobre a absorção, e se ele estiver mais frio, a absorção vai predominar. Quando um corpo está em equilíbrio térmico com sua vizinhança a emissão é igual à absorção (lei de Kirchhoff) (EISBERG, 1979).

Nosso senso comum diz que corpo negro é um objeto de cor preta que tem como propriedade absorver praticamente toda a luz incidente sobre ele. Esta definição está perto da definição correta, vamos apenas estendê-la e considerar todo tipo de radiação. Um corpo negro é então, um corpo que absorve toda a radiação incidente sobre ele, ou seja, ele não é capaz de refletir a radiação incidente (CARRON W. G., 2003).

A Radiação do Corpo Negro, também denominada Radiação Térmica, é a radiação emitida por um corpo por causa de sua temperatura, mesmo no escuro, como, por exemplo, a fogueira e filamento de lâmpada incandescente. A radiação do corpo negro é um dos assuntos de Física Moderna que pode ser considerado como uma das descobertas não explicadas pela teoria clássica. O tema corpo-negro refere-se não ao brilho, mas à ausência de refletividade (CARRON W. G., 2003). O Sol e outras estrelas são alguns dos corpos muito utilizados experimentalmente, quando se analisa a radiação do corpo negro. Conforme a figura abaixo, apresenta um esquema da radiação de um corpo-negro (EISBERG, 1979).

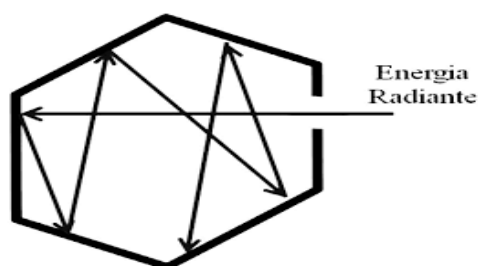


Figura A14 Representação de um CN onde a radiação externa à cavidade e que penetra pelo Orifício é absorvido nas paredes internas (M.M.M, C.S., D. G. M., & V. C. , 2014).

A definição do corpo negro é entendida através da energia radiante que são ondas eletromagnéticas produzidas por meio da aceleração das cargas elétricas. Na organização molecular da matéria, quando ocorre uma “agitação” acompanhada de uma oscilação de cargas elétricas, há a emissão de ondas eletromagnéticas. Isto é, o que se refere como emissão de radiação (BELICH JUNIOR, 2012).

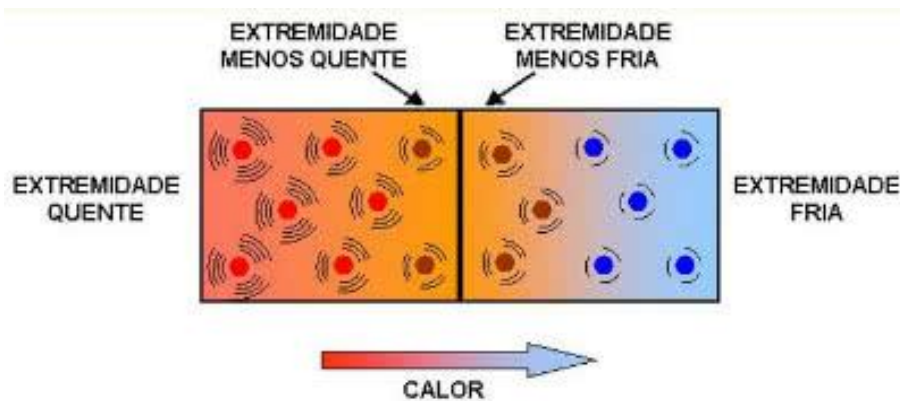


Figura A15 A largura da seta são proporcionais às quantidades envolvidas. parcela refletida pelo corpo quente é maior que refletida pelo corpo frio - compensação.

Fonte: <https://www.todamateria.com.br/equilibrio-termico/>

Caso está agitação atômica seja decorrente de uma agitação térmica, a radiação é denominada radiação térmica. Um outro aspecto importante é que os corpos, em geral, absorvem a energia radiante, a qual provoca-lhe aumento na “agitação” molecular e conseqüentemente acréscimo de temperatura (PRESTES & SILVA, 2013). Diz-se que o corpo está em equilíbrio térmico com o ambiente ao seu redor, quando a sua taxa de emissão de energia radiante é igual à sua taxa de absorção; caso contrário, haveria variação em sua temperatura, violando a hipótese térmica. Então, um bom absorvedor de energia radiante é também um bom emissor. O absorvedor ideal em equilíbrio térmico com o meio ambiente é chamado corpo negro. A figura abaixo representa dois corpos em equilíbrio térmico (EISBERG, 1979).

A quantidade de energia irradiada por unidade de tempo e por unidade de área é chamada de poder emissivo, designado pela letra $R(\lambda)$ – Radiância espectral. Em 1879, Josef Stefan (1835 – 1893) determinou uma relação empírica, demonstrada pouco mais tarde por Ludwig Eduard Boltzmann (1844 – 1893), segundo a qual se verifica que o poder emissivo do corpo negro é proporcional à temperatura absoluta (T) elevada à quarta potência $R(\lambda) = \sigma T^4$. A constante σ , conhecida como constante de Stefan-Boltzmann, vale, no S. I. $\sigma = 5,6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$. A energia irradiada por um corpo não é uniforme quanto ao

comprimento de onda. Havendo comprimento de ondas da ordem de aproximadamente $2 \times 10^{-4} \text{cm}$ a irradiação é máxima (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

No final do Século XIX, alguns físicos se destacaram, Maxwell, Boltzmann, Kirchhoff, Stefan, Jeans, Rayleigh, Einstein e muitos outros, que contribuirão para a criação da Física Quântica. Em destaque foi Planck, que idealizou do eletromagnetismo, pacotes de ondas, em que pode unificar as equações de Wein e Rayleigh-Jeans (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Para que possamos compreender matematicamente, deve-se seguir o princípio eletromagnético, temos que a densidade de energia utilizado é representada por:

$$u = \frac{1}{8\pi} (E^2 + B^2)$$

Figura A 1 Densidade Eletromagnética

Considerando que para definirmos uma nova densidade de energia, se faz necessário que atribuamos uma média da equação 1:

$$\bar{u} = \frac{\text{densidade de energia}}{\text{unidade de frequência}} \left(\frac{\text{erg/seg}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$\bar{u} dv = \text{densidade de energia } v + dv$$

Tomando a menor porção para que possa ser identificado integralmente em todos os eixos tomados, temos então:

$$\int_0^{\infty} \bar{u} dv = u \left(\frac{\text{erg/seg}}{\text{cm}^3} \right)$$

Figura A 2 Densidade de Energia.

Para que entendamos bem esse processo, temos que voltar no tempo, no ano de 1895, quando então Kirchhoff em suas anotações percebeu que uma fornalha ao qual havia madeira e ferro, percebendo que sua variação de cor era proeminente, mas a questão era, quais componentes mudavam de cor? Então propôs um experimento desta forma, um forno com uma abertura, sendo que haviam dois e que os orifícios estavam de frente um para o outro, emitindo calor, conforme a seta vermelha apresentado na figura abaixo.

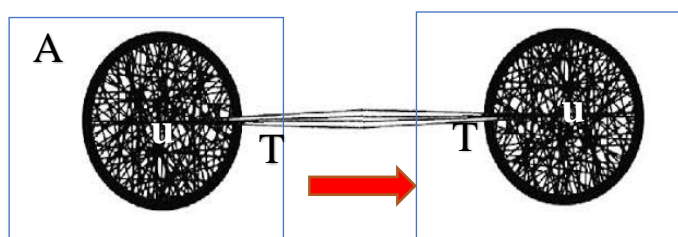


Figura A4 Fornalha A com orifício voltado para o orfício da fornalha B, depois que se igualam.

Fonte: https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Ffisicanodiaadia.blogspot.com%2F2012%2F02%2Fo-corporo-negro.html&psig=AOvVaw3iuSjN98DOJVmljBrT1uaG&ust=1645631213069000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCMiu7oTUK_YCFQAAAAAdAAAAABAS

Contudo, kirchhoff, tomou as devidas precauções e anotações, ficando desta forma para a densidade, que envolve tanto temperatura quanto frequência:

$$\bar{u}_A(\nu, T) = \bar{u}_B(\nu, T)$$

Figura A 3 Densidades de energia sendo igualadas matematicamente.

Partindo deste presuposto que a energia migraria de A para B, então a fornalha B ficaria com maior temperatura que a inicial, definida desta forma $T_A > T$. Contudo, percebe-se que isso violaria a segunda lei da Termodinâmica, utilizando a equação 4, para compreendê-la:

$$\bar{u}_A(\nu, T) = \bar{u}_B(\nu, T)$$

$$\bar{u}_A = \bar{u}_B$$

$$T_A = T_B$$

Chegando a essa dedução, parte para outra observação, considerando que a função universal de densidade de energia para \bar{u} e u , apresenta uma hipótese inicial, que não dependeria do corpo, mas apresentando em si, quantidade de movimento, densidade área de contato e incidência da radiação, bem como a inclinação. Temos que o fluxo se dar por $\Phi = \frac{c}{4\pi} u(T)$, o momento relativístico que dado por $p = \frac{E}{c}$ e gerando a diferença entre os momentos de incidência com o momento refletido $\Delta p = \vec{p} - \vec{p}'$.

Partimos que a força que age no processo é dada

$$\text{por } \bar{F} = \frac{\Delta p}{\Delta t}.$$

$$\bar{F} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \Rightarrow \bar{F} = \frac{\vec{p} - \vec{p}'}{\Delta t} \text{ (i)}$$

Temos para incidência e par refletida

$$\vec{p} = \frac{u\Delta v}{c} \vec{n} \text{ (ii)}$$

$$\vec{p}' = \frac{u'\Delta v}{c} \vec{n}' \text{ (iii)}$$

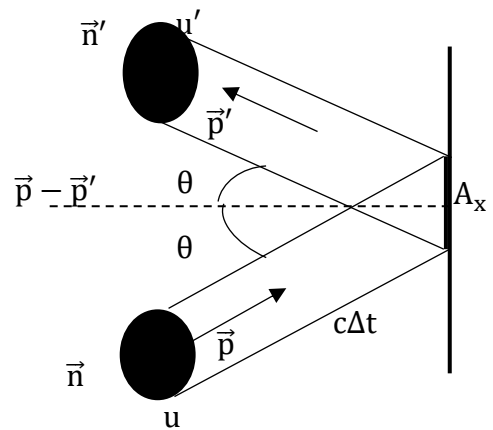
Para a velocidade incidência da radiação, definimos que $\Delta v = Ac\Delta t \cos\theta$ (iv)

Ao substituirmos na primeira equação, as (ii) e (iii), teremos:

$$\bar{F} = \frac{\left(\frac{u\Delta v}{c} \vec{n}\right) - \left(\frac{u'\Delta v}{c} \vec{n}'\right)}{\Delta t}$$

$$\bar{F} = \frac{\frac{\Delta v}{c} (u\vec{n}) - (u'\vec{n}')}{\Delta t}$$

$$\bar{F} = \frac{\Delta v (u\vec{n}) - (u'\vec{n}')}{c\Delta t}$$



Substituindo agora a equação (iv) na função, termos:

$$\bar{F} = \frac{Ac\Delta t \cos\theta (u\vec{n}) - (u'\vec{n}')}{c\Delta t}$$

Finalizando assim,

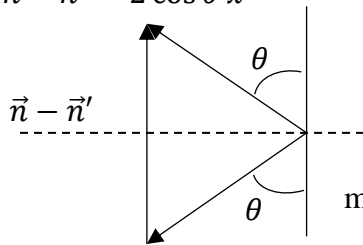
$$\bar{F} = A \cos[(u\vec{n}) - (u'\vec{n}')]]$$

Para tanto, utilizando uma reflexão total, temos que $u = u'$, então a equação:

$$\bar{F} = A u \cos[\vec{n} - \vec{n}'] (v)$$

Melhorando mais a equação anterior, temos que reanjanjar as normais, ficando assim:

$$\vec{n} - \vec{n}' = 2 \cos \theta \hat{x}$$



$$\bar{F} = A u \cos[\vec{n} - \vec{n}']$$

$$\bar{F} = A u \cos[2 \cos \theta \hat{x}]$$

$$\bar{F} = 2 A \cos^2 \theta u$$

Desta forma Kirchoff pode apresentar matematicamente a relação de pressão da reflexão da radiação:

$$P = 2 u \cos^2 \theta$$

Figura A 4 Pressão da reflexão da radiação.

Partindo então desta anotação, na figura 4, quando parte-se de uma casaca esférica, pois há relação com a superfície da Terra, para tanto, observamos por outro ângulo esse processo, que mostraremos utilizando a pressão de reflexão da radiação, demonstrado na equação 5.

Observe a figura A5, temos que $\omega = \Omega$, temos que na equação, podemos substituir, ficando assim:

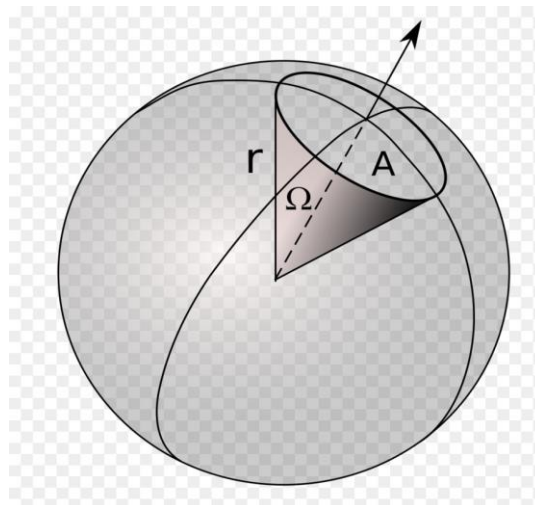


Figura A5 Emissão de radiação na camada de uma esfera.

Fonte: <https://www.gratispng.com/png-j9ycka/>

$$dP = 2 \cos^2 \theta \frac{d\Omega}{4\pi} u$$

Temos que para um hemisfério, podemos então realizar da seguinte maneira o trato matemático:

$$\int dP = \int 2\cos^2\theta \frac{d\Omega}{4\pi} u$$

Para duas direções, temos:

$$P = \int_0^\pi \int_0^\pi u \frac{2\cos^2\theta}{4\pi} \sin\theta d\theta d\varphi$$

Considerando que $w = \cos\theta$

$$dw = -\sin\theta d\theta \rightarrow -dw = \sin\theta d\theta$$

$$P = \frac{u}{2\pi} \int_0^\pi \int_0^\pi w^2 (-dw) d\varphi$$

$$P = -\frac{u}{2\pi} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} w^2 dw d\varphi$$

$$P = -\frac{u}{2\pi} \int_0^\pi \left(\frac{w^3}{3}\right)_0^{2\pi} d\varphi$$

$$P = \frac{u}{2\pi} \int_0^\pi \left(\frac{\cos^3\theta}{3}\right)_{2\pi}^0 d\varphi$$

$$P = \frac{u}{2\pi} \frac{1}{3} \int_0^\pi (\cos^3 0 - \cos^3 \pi) d\varphi$$

$$P = \frac{u}{2\pi} \frac{1}{3} \int_0^\pi 2 d\varphi$$

$$P = \frac{u}{\pi} \frac{1}{3} \int_0^\pi d\varphi$$

$$P = \frac{u}{\pi} \frac{1}{3} \varphi_0^\pi$$

$$P = \frac{u}{\pi} \frac{1}{3} (\pi - 0) \rightarrow P = \frac{u}{\pi} \frac{1}{3} (\pi)$$

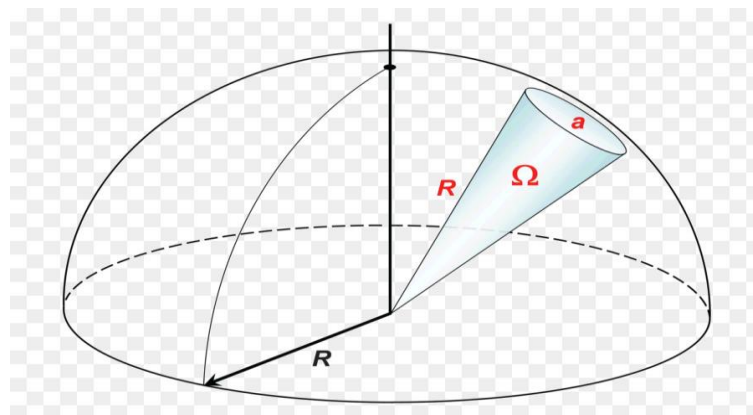


Figura A6 Representação de hemisfério para o calculo de integral.

Fonte: <https://www.freepng.es/png-xvhavu/>

Por fim temos, podemos apresentar a pressão total da absorção da radiação deduzida por Kirchhoff:

$$P = \frac{u(T)}{3}$$

Figura A 5 Pressão da absorção total da Radiação do Corpo Negro.

Desta forma forma podemos para a radiação do CN, contudo usaremos as leis da Termodinâmica, para que os calculos possam ser compreendidos, para tanto temos a equação da energia total:

$$U = Vu(T)$$

Figura A 6 Energia total de um corpo.

Temos que o volume está envolvido pela pressão, por isso temos trabalho, segue a descrição:

$$dV \rightarrow dW = PdV$$

Substituindo na equação do trabalho a equação A5, temos:

$$dW = \frac{u(T)}{3}dV \rightarrow dW = \frac{u}{3}dV$$

Mas para tanto lembrando que o trabalho está relacionado a entropia (S), ficando assim:

$$dW \rightarrow dS = \frac{dU + dW}{T}$$

Por sua vez, ao substituimos os temos, teremos:

$$dS = \frac{u}{T}dV + \frac{V}{T}\frac{du}{dT}dT + \frac{u}{3T}dV$$

Organizando os temos, temos:

$$dS = \frac{4u}{3T}dV + \frac{V}{T}\frac{du}{dT}dT$$

Figura A 7 Distribuição Termodinâmica da Densidad ede energia do CN.

Todavia a variação da entropia, faz com que seja uma diferencial exata, lembramos da seguinte expressão:

$$df = \frac{\partial f}{\partial x}dx + \frac{\partial f}{\partial y}dy$$

Vimos que pode ser feito um reajunjo, ficando assim:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x}$$

$$dS = \frac{4u}{3T}dV + \frac{V}{T}\frac{du}{dT}dT$$

$$\frac{1}{dT}\left(\frac{4u(T)}{3T}\right) = \frac{1}{T}\frac{du}{dT}$$

Organizando as equações:

$$\frac{4}{3T} \frac{du}{dT} - \frac{4u}{3T^2} = \frac{1}{T} \frac{du}{dT} \rightarrow 4 \frac{u}{T}$$

Para tanto, substituindo na equação, teremos:

$$\frac{du}{u} = 4 \frac{dT}{T} \rightarrow \ln u = \ln T^4 + C$$

Onde historicamente, chega parcialmente a equação da radiação espectral:

$$u = aT^4$$

Figura A 8 Dependência da densidade de energia de CN.

Um resultado sobre a radiação térmica, desenvolvido pelo físico austríaco Josef Stefan (1835-1893), no ano de 1879, realizou experimentos que determinavam a velocidade dos corpos ao esfriarem, medindo também a área sob as curvas do espectro radiante e, chegou empiricamente à seguinte lei: $R \propto T^4$, sendo que R é intensidade da radiação (energia por unidade de área e por unidade de tempo) emitida por um corpo para uma temperatura T, conforme demonstrada na equação A8 (GONTIJO, 2020).

A primeira demonstração matemática da lei de Stefan, demonstrada por Boltzmann ao considerando que, em 1884, a radiação eletromagnética dentro de um CN, usando um gás, usando a termodinâmica de Carnot e os princípios eletromagnética de Maxwell. Boltzmann mostrou que $R(\lambda) = \sigma T^4$, onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann.

Considerando que no fluxo da radiação mencionado anteriormente, mas sendo lembrado a, temos que:

$$\Phi = \frac{c}{4\pi} u$$

Substituindo com a equação 9 no fluxo, teremos:

$$\Phi = \frac{c}{4\pi} aT^4$$

onde foi determinado o título da curva espectral, contudo, faltava a curva propriamente dita:

$$R(\lambda) = \sigma T^4 \left(\frac{\text{quantidade de energia}}{\text{área e tempo}} \right)$$

Encontrando assim o valor da constante:

$$\sigma = 5,7 \times 10^{-5} \text{ erg/cm}^2\text{sK}^4$$

Contudo para o fluxo da energia $R(\lambda) = \sigma T^4$, temos a relação da integral de proporcionalidade para a densidade de energia e temperatura.

$$u = \int_0^{\infty} \bar{u}(\nu, T) d\nu \propto T^4$$

Uma outra melhor compreensão deste desenvolvimento que se dá análise espectral pela análise dimensional, assim compreender por um outro processo que envolva as seguintes

unidades, tais como comprimento (L), tempo (t), energia (e) e temperatura (θ), segundo os mesmos parametros da densidade de energia que se segue abaixo:

$$\bar{u}(v, T) = \frac{et}{L^3}$$

Figura A 9 Análise adimensional da densidade de energia do CN.

Elaboradamente, vamos considerar uma constante que possa envolver a densidade de energia, comprimento, tempo, energia e temperatura, então, usaremos a letra “pi” no seu estado maiúscula, tal ação é para representar melhor a equação abaixo, que será distribuída em uma tabela, em que cada célula atribuirá os símbolos conforme mencionada anteriormente. Lembrando que é um processo adimensional.

$$\Pi = \bar{u}v^b T^d c^f k^g$$

Figura A 10 Distribuição por análise adimensional da densidade do corpo negro.

Mostraremos em uma tabela comparativa, distribuindo assim os termos envolvidos:

Tabela 1 Substituição de unidade adimensional para encontrarmos os expoentes referentes.

\bar{u}	v	T	c	k
$\frac{et}{L^3}$	t^{-1}	θ	$\frac{L}{t}$	$e\theta^{-1}$

De acordo com a tabela 01, mostra a distribuição de uma análise adimensional para cada componente da equação A10. Consideramos que cada expoente apresenta uma letra relativa à quantidade de repetições, nesta condições podemos montar um total a seguir, que será representado na tabela 02.

$$\Pi = \frac{et}{L^3} t^{-b} \theta^d \frac{L^f}{t^f} e^g \theta^{-g}$$

Figura A 11 Valores encontrados dos expoentes que correspondem a cada componente da equação provisória.

Tabela 2 Distribuição dos expoentes que correspondem a cada componente da equação sugerida.

$e:$	$1 + g = 0$	$g = 1$
$t:$	$1 - b - f = 0$	$b = -2$
$L:$	$-3 + f = 0$	$f = 3$
$\theta:$	$d - g = 0$	$d - g = -1$

Em conformidade com os valores dos expoentes extraídos na equação 11, podemos substituir respectivamente e atribuí-lo:

$$\Pi = \bar{u}v^{-2}T^{-1}c^3k^{-1}$$

Colocando em função da densidade de energia, temos:

$$\bar{u}(v, T) = \frac{\Pi v^2 k T}{c^3}$$

Conforme a expressão vista por análise adimensional, na forma experimental temos que

$\Pi = 8\pi$, então a equação ficará em novo formato:

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3}$$

Figura A 12 A análise adimensional no formato experimental da densidade de energia do CN.

Mas quando fizer a integral $u \neq T^4$, a frequência cresce rapidamente, causando a Catástrofe do Ultravioleta e não podendo ser explicado na natureza da radiação (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994)

Fundamentados na Física Clássica, os físicos James Hopwood Jeans (1877 – 1946) e John William Strutt (1842 – 1919) encontraram uma expressão para descrever a curva de distribuição das radiações. Essa expressão descrevia bem os comprimentos de ondas considerados grandes, porém afastava-se muito dos resultados experimentais a partir da radiação ultravioleta, que representa a diferença estabelecida entre o resultado experimental e a teoria clássica na relação existente entre intensidade da radiação e o comprimento de onda, na figura A6, está representando a relação entre os valores da intensidade de radiação com os valores dos comprimentos de onda (CARRON & GUIMARÃES, 2003).

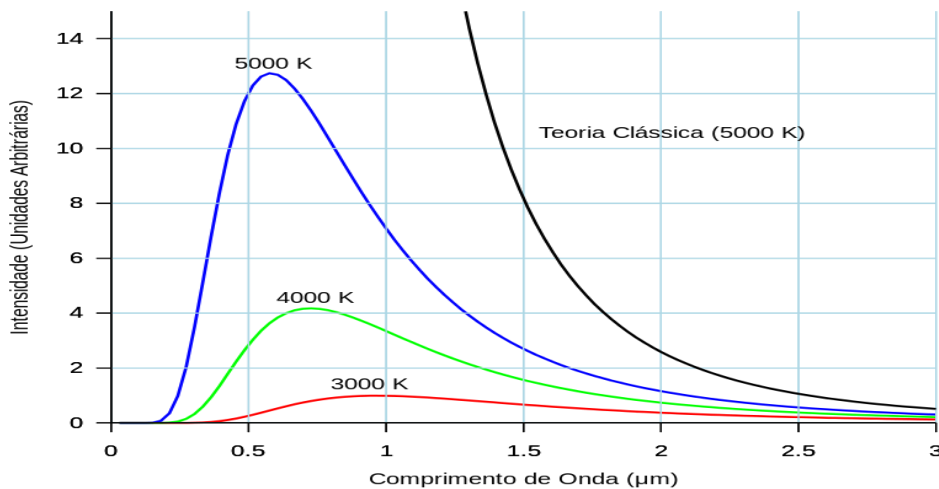


Figura A7 Espectro de emissão de um corpo negro a temperatura de 5000 K.

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Corpo_negro

Observando os resultados apresentado por Kirchoff, outro físico teórico, ao medir a intensidade da radiação solar para vários comprimentos de onda em determinada superfície, na região infravermelha, observando esse deslocamento do máximo, a intensidade da radiação proporcional ao aumento de temperatura. Tal experimento foi demonstrada matematicamente pelo físico alemão Wilhelm Wien (1864 - 1938), em 1893, e hoje na maioria dos livros de Física Moderna é conhecido como a lei do deslocamento de Wien (GONTIJO, 2020).

Quando Wien se pos a observar os resultados da equação 13, que trata da densidade de energia, pode apresentar neste formato:

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{\nu^2 kT}{c^3} f(\alpha \nu T^n)$$

Figura A 13 Análise feita por Wien usando a equação da densidade de energia.

Para que conheçamos melhor, apresentaremos seus fundamentos e aplicações matemáticas, atribuindo-se uma função adimensional, partimos deste princípio:

$$x = \alpha \nu T^n \Rightarrow dx = \alpha T^n d\nu$$

vimos que sua frequência é máxima, representada por ν máximo, partimos do princípio que usaremos a equação 2,

$$u = \int_0^{\infty} \bar{u} d\nu$$

Substituindo e Integrado equação 14, temos:

$$u = \frac{kT}{c^3} \int_0^{\infty} \nu^2 f(\alpha \nu T^n) d\nu$$

Chegamos então a esta equação:

$$\bar{u} = \frac{kT^{1-3n}}{\alpha^3 c^3} \int_0^{\infty} f(x) x^2 dx = T^4$$

Uma forma de observamos melhor é separar os expoentes e termos para podermos observar seus parâmetros:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 - 3n = 4 \quad (h = \text{energia tempo} = \text{constante de Planck}) \\ \alpha = \frac{h}{k} \rightarrow \frac{\alpha \nu}{T} = \frac{h\nu}{kT} \quad (\text{dimensão de energia}) \\ \bar{u} = \frac{\nu^2 kT}{c^3} f\left(\frac{h\nu}{kT}\right) \rightarrow (\text{Lei de Wien}) \end{array} \right.$$

Façamos que f seja uma constante, assim teremos que obter tudo em função de f , vejamos:

$$f = f_0 \nu e^{h\nu/kT}$$

Retomaremos a equação, ficando assim:

$$\bar{u} = \frac{kT^{1-3n}}{\alpha^3 c^3} \int_0^{\infty} f(x) x^2 dx = T^4$$

Ficando então desta forma:

$$\bar{u}(\nu, T) = f_0 \frac{kT}{c^3} \nu^3 e^{-h\nu/kT}$$

Figura A 14 Dedução final de Wien para o deslocamento de energia.

Observando também que nos modelos apresentados que foram relacionado por Wien, podemos diferenciar resumidamente as equações obtidas para esclarecer a figura 6, para o lado direito era uma equação e para o lado esquerdo outra equação, que causava a catástrofe do

ultravioleta, em ambas, não se complementavam, vejamos suas principais características (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994):

Rayleigh-Jeans

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3}$$

- Baixa Frequência
- Catástrofe do Ultravioleta
- É incapaz de prever uma frequência máxima

Wien

$$\bar{u}(\nu, T) = cte \frac{kT}{c^3} \nu^3 e^{-h\nu/kT}$$

- Alta Frequência
- Consegue prever a frequência máxima.

Obviamente que a intenção era ter uma equação que satisfazia para os dois lado, para alta e baixa frequências, por mais que Rayleigh-Jeans apresenta-se seu modelo, conforme descrito abaixo:

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{\nu^2 kT}{c^2} f\left(\frac{h\nu}{kT}\right) \Rightarrow \frac{du}{d\nu} = \frac{2\nu kT}{c^3} f + \frac{\nu^2 kT}{c^3} f'\left(\frac{h\nu}{kT}\right) \frac{h}{kT}$$

Definos que

$$\frac{du}{d\nu} = 0$$

Reduzindo a equação neste formato:

$$\frac{\nu kT}{c^3} \left[2f\left(\frac{h\nu}{kT}\right) + \frac{h\nu}{kT} f'\left(\frac{h\nu}{kT}\right) \right] = 0$$

Chegando então a essa equação:

$$\frac{h\nu_{Máx}}{kT} = C \Rightarrow \frac{\nu_{Máx}}{T} = CTE$$

Figura A 15 Lei de deslocamento de Wien.

Para a época esse experimento concordava até certo momento (PRESTES & SILVA, 2013).

Esse resultado significava que o valor de energia não sendo divisível por $E = h\nu$, seguramente a hipótese sobre a energia de oscilações dos átomos nos CN – a energia de oscilação é quantizada, ou seja, não pode existir uma energia qualquer, porém apenas múltiplos de um valor fundamental, outra hipótese é a energia irradiada por um oscilador não é contínua, ela se manifesta em pulsos, que poderiam ser os “quanta” de energia, ou seja, a energia é emitida quando o oscilador passa de um estado quantizado para outro (EISBERG, FÍSICA QUÂNTICA, 1994).

Recorrendo a uma solução para esse impasse, o físico alemão Max Karl Planck (1858-1947) apresentou à Sociedade de Física de Berlim um trabalho, ao qual discutiu as fórmulas empíricas de Wien e de Rayleigh, onde elas tratavam das curva de radiação do corpo negro (GONTIJO, 2020).

A Lei de Planck abriu caminho para uma nova Mecânica Quântica. A maioria dos objetos é visto pela luz que refletem, entretanto, em temperaturas elevadas, os corpos tornam-

se luminosos e podemos vê-los brilhar internamente no escuro. É curioso que a Física Quântica, que governa a concepção moderna do mundo à nossa volta, se origina do estudo – sob condições controladas em laboratórios – das radiações emitidas por objetos aquecidos (ISSACSON, 2007).

É interessante notar que quando aumentamos de forma regular a temperatura de um corpo, é possível observar que:

1. Quanto mais alta a temperatura, mais radiação térmica é emitida – inicialmente o corpo parece obscuro, depois, passa a brilhar intensamente;
2. Quanto mais alta a temperatura, menor é o comprimento de onda no qual o corpo irradia mais intensamente – a cor predominante do corpo aquecido se desvia do vermelho fosco, passando pelo amarelo-alaranjado brilhante até o calor branco azulado. Como as características de seu espectro dependem da temperatura, podemos estimar a temperatura de um corpo aquecido – um lingote de aço incandescente ou uma estrela – a partir da radiação que ele emite.

A radiação emitida por um corpo aquecido depende não somente da temperatura, mas também do material de que ele é feito, de sua forma e da natureza de sua superfície.

A radiação de cavidade nos ajuda a compreender a natureza da radiação térmica, da mesma forma que um gás ideal nos ajudou a compreender a matéria em sua forma gasosa. Existem três tipos de radiação de cavidade, que se correlacionam, todas confirmadas em laboratórios, e que qualquer teoria sobre a radiação de cavidade tem de ser capaz de explicar (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

A.5 A Lei de Stefan-Boltzmann

A potência total irradiada por unidade de área do orifício da cavidade, somada sobre todos os comprimentos de onda, é chamada de intensidade radiante $I(T)$ e está relacionada com a temperatura por $I(T) = \sigma T^4$, onde $\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ é uma constante universal denominada constante de Stefan-Boltzmann. Os objetos usuais aquecidos sempre irradiam menos eficientemente que os radiadores de cavidade. Expressam-se este fato pela equação $I(T) = \varepsilon \sigma T^4$, onde ε , é uma grandeza adimensional, é chamada emissividade da superfície do material. Para um radiador de cavidade, $\varepsilon = 1$, mas para as superfícies de objetos comuns, a emissividade é sempre menor do que a unidade e quase sempre uma função da temperatura (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

A.6 Radiância Espectral

A dependência da intensidade da radiação da cavidade com o comprimento de onda para uma dada temperatura. Ela é definida de modo que o produto $R(\lambda)d\lambda$ de potência irradiada por unidade de área no comprimento de onda que varia de λ até $\lambda + d\lambda$. $R(\lambda)$ é uma função de distribuição estatística. Pode-se determinar a intensidade radiante $I(T)$ para qualquer temperatura, somando-se, integrando-se, a radiância espectral sobre o intervalo completo de comprimento de onda T fixo. Veja na figura a seguir, onde mostra a radiância espectral $I(T)$ será, então, a área sob a curva de radiância espectral pertinente, com o aumento da temperatura, a área aumenta e, assim, também a radiação conforme prevista pela equação $I(T) = \sigma T^4$ (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

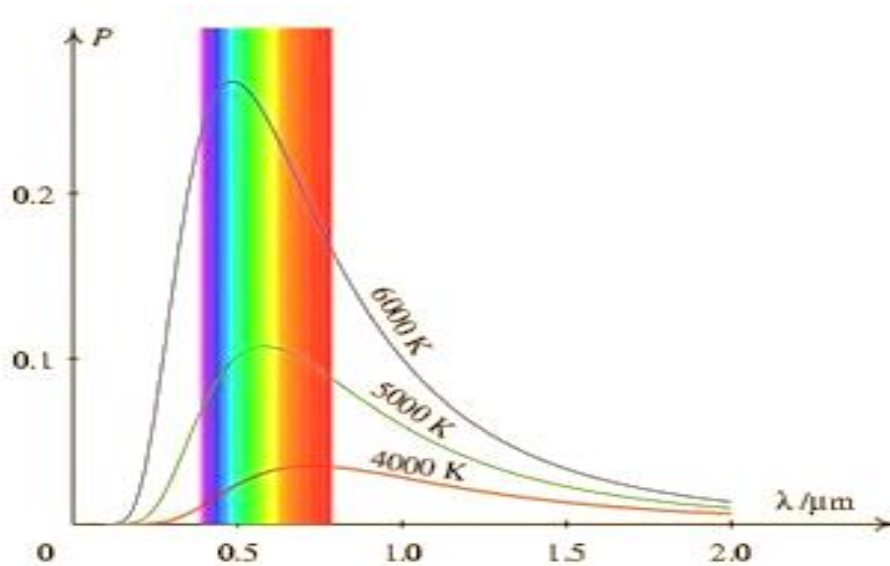


Figura A8 Curva de radiância espectral da radiação de cavidade em 3 temperaturas diferentes, à medida que a temperatura cresce, o comprimento de onda com o máximo comprimento de onda se desloca para valores mais baixos.

Fonte: <https://www.pucsp.br/webduino/experimentos/corpo-negro-com-arduino/teoria.html>

A.7 A Lei de deslocamento de Wien

Pode-se concluir que as curvas de radiância espectral da figura a cima, onde $\lambda_{m\acute{a}x}$, o comprimento de onda em que a radiância espectral é máxima, diminui quando a temperatura aumentada. Wilhelm Wien (alemão, 1864 – 1928) deduziu que $\lambda_{m\acute{a}x}$ varia com $1/T$ e que o produto $\lambda_{m\acute{a}x} \cdot T$ é uma constante universal. Seu valor médio é $\lambda_{m\acute{a}x} \cdot T = 2,898 \mu m K$. Esta relação é denominada lei do deslocamento de Wien, recebeu o prêmio Nobel em física em 1911 por sua pesquisa em radiação térmica. A radiação de corpo negro é um exemplo de aplicação da indústria siderúrgica na formação deligas metálicas (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Dados apresentados anteriormente, observa-se quando as informações são enunciadas de forma simplificada, quando se trata da Física Moderna absoluta nas bibliografias do ensino

médio. Não há, em muitos livros, informações dirigidas ao aluno para que ele possa reconhecer como certos dados podem ser obtidos somente através de laboratórios.

A.8 Procedimento de Planck

Hipótese:

Quando foi observado o aquecimento de um pedaço de ferro com um intenso calor, em uma forja, o aumento da temperatura da quantidade de emissão da radiação produzida pelo calor, após tornar-se vermelha, indo para a cor branca ou azulada. Nesta condição a distribuição da radiação apresenta um comprimento de onda, e considerando que apresentam cor, logo terá frequência que apresentam uma pequena faixa de observação (CARRON & GUIMARÃES, 2003).

Porém a visão corpuscular da matéria, temperatura e uma medida de agitação aleatória das partículas, a matéria possui cargas em movimento acelerado e por sua vez apresentam uma aceleração que emitem radiação, para enfrentar esse problema um dos pontos para se calcular essa emissão na faixa do espectro (GONTIJO, 2020).

A agitação dessas moléculas diz respeito a energia de uma onda eletromagnética, para entender o procedimento entre a partícula ou onda em um sistema equilibrado térmico à temperatura.

Pensando na Energia que está alocado em osciladores, pode-se apresentar de uma forma clássica, apresentando uma equação linear não-homogênea, sendo uma solução particular para podermos desenvolver uma resposta concisa e robusta (BAKER, 2015).

Como estamos argumentando bastante sobre osciladores, vamos partir do pressuposto da equação clássica de osciladores, visto em física Clássica, temos no modelo classico a ineação do átomo com Radiação, a oscição no eixo x, parte desta ideia para que haja a construção:

$$x = x_0 \cos(\omega t + \phi)$$

Figura A 16 Equação de oscilação no eixo x.

Usando a energia mecânica da Mecânica Clássica, temos:

$$U = \left\langle \frac{1}{2} m \omega_0^2 x^2 + \frac{1}{2} m \dot{x}^2 \right\rangle$$

Energia pontencial: $\frac{1}{2} m \omega_0^2 x^2$

Energia cinética: $\frac{1}{2} m \dot{x}^2$

Reajando a equação, temos:

$$U_\omega = \frac{1}{2} \frac{m e^2}{2} E_{0x}^2 \frac{\omega^2 + \omega_0^2}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2}$$

$$U_{\omega} d\omega = \frac{e^2}{4m} E_{0x}^2 \frac{\omega^2 + \omega_0^2}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2} d\omega$$

$$U = \int U_{\omega} d\omega = \int \frac{e^2}{4m} E_{0x}^2 \frac{\omega^2 + \omega_0^2}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2} d\omega$$

$$U = \frac{e^2}{4m} \int_0^{\infty} E_{0x}^2(\omega) \frac{\omega^2 + \omega_0^2}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2} d\omega$$

E_{0x} ocorre pouca variação, contribuindo com a distribuição do processo:

$$\omega \rightarrow \omega + d\omega$$

$$\omega^2 + \omega_0^2 \cong 2\omega_0^2$$

Para tanto, consideremos que $\omega \sim \omega_0$, ocorrendo uma redução em nossa equação:

$$\xi^2 \omega^2 \cong 4(a\omega_0^2) \cdot \omega_0^2$$

$$a = \frac{e^2}{3mc^2}$$

$$(\omega^2 + \omega_0^2)^2 \cong 4\omega_0^2(\omega^2 - \omega_0^2)^2$$

$$U = \frac{e^2 E_{0x}^2(\omega)}{4m} \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \frac{d\omega}{(\omega^2 + \omega_0^2) + \xi^2 \omega^2}$$

$$U = \frac{\pi e^2}{8ma\omega_0^2} E_{0x}^2(\omega)$$

$$E_{0x}^2 = E_0^2 \quad \bar{u} = \frac{1}{8\pi} E_0^2 \quad a = \frac{e^2}{3mc^3}$$

Para a densidade espectral da energia total, assimilamos assim:

$$U(\omega_0) = \frac{\pi^2 c^3}{\omega_0^2} \bar{u}(\omega_0)$$

Figura A 17 Energia Espectral total.

Para desenvolvimento da densidade de Energia da radiação, onde se pode-se envolver com a Termodinâmica, seguimos os seguintes itens:

$$U(\omega) = \frac{\pi^2 c^3}{\omega^2} \bar{u}(\omega)$$

$$\bar{u}(\omega) d\omega = \bar{u}(\nu) d\nu \quad \omega = 2\pi\nu$$

$$\bar{u}(\nu) = \bar{u} \omega \frac{d\omega}{d\nu} = \bar{u}(\omega) 2\pi$$

$$\bar{u}(\omega) = \frac{\bar{u}(\nu)}{2\pi}$$

$$U(\nu) = \frac{\pi^2 c^3}{\omega^2} \frac{\bar{u}(\nu)}{2\pi}$$

$$U(\nu) = \frac{c^3}{8\pi\nu} \bar{u}(\nu)$$

$$U \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{dS}{dU}$$

$$\frac{dU}{T} = dS \rightarrow \frac{1}{T} = \frac{dS}{dU}$$

Figura A 18 Distribuição na Termodinâmica com a Densidade de Energia.

Seguindo as leis de Wien na densidade espectral de energia, deve-se seguir às leis observadas, para Wien e Jeans, temos a densidade de energia,

$$\bar{u}(\nu, T)$$

$$U(\nu) = \frac{c^3}{8\pi\nu} \bar{u}(\nu)$$

Figura A 19 A densidade de energi por Wien e Jeans

Para envolver a temperatura, deve-se seguir os conceitos da teperatura da Termodinâmica, compondo assim a equação a seguir, que envolve a entropia:

$$\frac{1}{T} = \frac{dS}{dU}$$

A.9 Lei de Wien

Usando a equação fornecida por Wien, temos:

$$\bar{u}(\nu, T) = C\nu^3 e^{-\alpha\nu/T}$$

Figura A 20 Deslocamento de Wien isolando a temperatura.

Considerando que a equação 20 será a nossa base para podermos organiza-la, temos:

$$U = \frac{c^3}{8\pi\nu^2} C\nu^3 e^{-\alpha\nu/T} = A\nu e^{-\alpha\nu/T}$$

Partimos do isolamento da *Temperatura* $\rightarrow \frac{1}{T} = -\frac{1}{\alpha\nu} \ln\left(\frac{U}{A\nu}\right)$, é a relação da energia com a temperatura.

$$\frac{1}{T} = \frac{dS}{dU} \Rightarrow \frac{dS}{dU} = -\frac{1}{\alpha\nu} \ln\left(\frac{U}{A\nu}\right)$$

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{1}{\alpha\nu U}$$

Figura A 21 Relação Termodinamica para altas frequências.

Quando Wien, demonstra a frequencia alta, pela equação 22.

$$\bar{u}(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3}$$

$$U = \frac{c^3}{8\pi\nu^2} \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT \rightarrow U = kT$$

$$\frac{1}{T} = \frac{k}{U} \rightarrow \frac{dS}{dU} = \frac{k}{U}$$

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{k}{U^2}$$

Figura A 22 Rayligh-Jeans para frequências baixas, visto pela Termodinâmica.

A.9 Determinação de Planck

Nas observações sobre a intensidade da radiação sendo ela monocromática, em que parte tende a proporcionalmente a uma temperatura absoluta, desta forma Planck atribui (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979):

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{1}{\alpha v U} \quad (\text{i})$$

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{k}{U^2} \quad (\text{ii})$$

em sua conclusão que apresentava baixas frequências, é valido a equação (ii) enquanto que para as frequências altas, vale a equação (i), quando interpolamos as equações (i) e (ii), apresenta uma proposta que segue (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979):

Considerando que T e $U \rightarrow \infty$

$$\frac{d^2S}{dU^2} = \frac{d^2S}{dU^2}$$

$$-\frac{1}{\alpha v U} = -\frac{k}{U^2}$$

$$U = \alpha v k$$

Temos,

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{1}{\alpha v U + \frac{U^2}{k}}$$

$$\frac{dS}{dU} = \int \frac{d^2S}{dU^2} dU = \frac{1}{\alpha v} \ln \left(\frac{\frac{U}{\alpha v k}}{1 + \frac{U}{\alpha v k}} \right)$$

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{\alpha v} \ln \left(\frac{\frac{U}{\alpha v k}}{1 + \frac{U}{\alpha v k}} \right)$$

$$U = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Figura A 23 Densidade de energia, a forma como Planck deduziu.

Resolvendo para U, temos $\alpha = \frac{h}{k}$, e tendo os dois limites, tanto para Wien e R-J.

Usando

$$U = \frac{c^3}{8\pi\nu^2} \bar{u}(\nu)$$

$$\frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} = \frac{c^3}{8\pi\nu^2} \bar{u}(\nu)$$

A.11 Lei de Planck

Utilizando da equação de densidade de energia para altas e baixas frequências, sendo elas unificadas, temos assim:

$$\bar{u}(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Figura A 24 Densidade de energia para altas e baixas frequências.

Para Planck, utilizando de argumentos matemáticos para este modelo, por manipulação TD, mas queria entender o fenômeno físico (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Para a radiação, supondo pacotes de energia e considerando que este evento é uma P. G. Mas para isso temos que $\beta = \frac{1}{kT}$

$$E_n = n\varepsilon_0 \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

$$\bar{E} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} n\varepsilon_0 e^{-n\varepsilon_0/kT}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\varepsilon_0/kT}} = U$$

$$U = \frac{d}{d\beta} \left(\frac{\sum_{n=0}^{\infty} n\varepsilon_0 e^{-n\varepsilon_0/kT}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\varepsilon_0/kT}} \right)$$

$$U = \frac{\varepsilon_0}{e^{h\nu/kT} - 1} \rightarrow \bar{u}$$

$$\bar{u} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{\varepsilon_0}{e^{h\nu/kT} - 1} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

$$\varepsilon_0 = h\nu$$

Figura A 25 Unificação da equação para alta e baixas frequências, ou seja, essa é a equação de Planck.

A energia deve ser quantizada, desta forma, houve a descoberta do fóton. Nesta situação, se deu início a Mecânica Quântica e Mecânica Estatística (CARRON & GUIMARÃES, 2003).

Ao ensinar a Física Moderna no ensino médio é uma tendência na educação, faz-se necessário melhorar o conteúdo destas informações. A maneira de explicar os procedimentos adotados nos laboratórios deveriam ser colocados de forma didática, adequando à realidade da

maioria das escolas brasileiras, no qual, os recursos ainda são poucos. Caso possível, este material poderá indicar alguns procedimentos usando materiais de baixo custo. Há planos que propõem reformulações em ensinar a Física Clássica (GONTIJO, 2020). Então, por que não fazer do ensino de Física Moderna, inserido nas novas tendências da educação, importando-se, sobretudo, com o modo de apresentar a física como a mais experimental das ciências? Isso traria simultaneamente inovação e o conhecimento de conteúdo estudados em físico terem sido originados na observação e na experimentação.

A.12 Aplicação: radiação cósmica de fundo

Uma descoberta importante foi a de que o universo que nos é acessível está repleto com radiação aproximadamente como a de um corpo negro a 2.9 K. A existência dessa radiação é uma evidência importante para a teoria do *big bang* que considera que o universo está expandindo e esfriando com o tempo. Esta radiação é a que restou de um período em que o universo era composto basicamente de elétrons e prótons a uma temperatura de cerca de 4000 K (BOHM, 2015). O plasma de elétrons e prótons interagia fortemente com a radiação eletromagnética em todas as frequências importantes, de tal forma que matéria e radiação estavam em equilíbrio térmico. Quando o universo resfriou para 3000 K, a matéria estava principalmente na forma de hidrogênio atômico, que interage com a radiação eletromagnética apenas nas frequências das linhas espectrais do hidrogênio. A maior parte da radiação de corpo negro se desacoplou da matéria nesta época, e sua evolução temporal foi a de um gás de fótons que esfriou pela expansão, a entropia constante, até uma temperatura de 2.9 K (BOHM, 2015).

Após o desacoplamento a evolução da matéria, que se deu no sentido da formação de átomos mais pesados (que estão organizados em galáxias, estrelas, e nuvens de poeira), tornou-se mais complicada. A radiação eletromagnética, tal como a emitida pelas estrelas, irradiada pela matéria desde o desacoplamento aparece superposta à radiação cósmica de corpo negro (BOHM, 2015).

A.13 Efeito Fotoelétrico

O físico alemão Heinrich Hertz, entre outros cientistas que investigavam centelhas, quando tentavam construir um receptor de rádio primitivo. Ao perceber que as partículas negativas enviadas, passando por um campo magnético, apresentavam uma carga-massa, desencadeando faísca, quer por sua vez gerando um fenômeno chamado de efeito fotoelétrico.

Philipp Leonard, que fora assistente de Hertz, reduzindo o centelhamento do gerador, onde posicionou duas superfícies metálicas, confinado em um tubo de vidro e a vácuo, ambas estavam separadas, nas placas que são conectadas por fios, formando assim o Cátodo e o Ânodo do lado de fora do tubo por um cabo, no fio do ânodo é “janpeado” um amperímetro para comprovar a leitura elétricos (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Nas observações em que Leonard, incidiu luzes com frequências de brilhos variados para a primeira placa, que é a o ânodo, sem iluminar a segunda placa, percebeu que o ponteiro do amperímetro variava e concluiu que havia movimento de elétrons, e considerou que estes eram os elétrons expelidos da placa que estava sendo iluminada, os mesmos saíam de uma placa e seguiam para a outra placa metálica, completando o circuito e fazendo uma pequena corrente. Em sua dedução a luz brilhante, liberaria mais elétrons, enquanto que luz com brilho menos intenso, não acontecia o mesmo, a percepção mostrava que havia uma energia incidente sobre a placa. Contudo a variação da intensidade de luz, não influenciava sobre a velocidade dos elétrons extraído da placa. Quando aplicado fontes com brilhantes menos intendo, elas produziam elétrons com a mesma energia, percebendo isso que havia uma leve voltagem oposta para detê-los, como não era esperado tal ação, pois como era de se espera que com maior energia, liberaria muito mais elétrons e mais rápidos (ISSACSON, 2007).

As observações feitas por Leonard, abriram caminho a outros físicos que buscaram resolver este problema, um deles foi o americano Robert Millikan, que ao testar raios de diferentes cores, em sua análise experimental, percebeu que a luz vermelha não era capaz de arrancar da placa elétron, não importando qual fosse o brilho da fonte. Porém, ao utilizar luzes ultravioleta, ou seja, na faixa azul, havia desprendimento dos elétrons, e também para diferentes metais, apresentavam diferentes “frequências de Corte” (CABRAL, 2015). O limite de emissão com uma determinada frequência de luz, há uma energia que excita os elétrons. Para tanto, tal energia é o gradiente dessa relação, conhecido como constante de Planck.

Tal comportamento era muito diferente para as ideias da época, pois as ondas de luz deveriam funcionar de maneira oposta. Contudo, as ondas eletromagnéticas incidentes na superfície do metal deveriam arrancar aos poucos os elétrons. A frequência também não deveria ter nenhum efeito devido a energia aplicada, estando o elétron estático e não deveriam existir muita diferença entre ondas pequenas ou grandes. Entretanto, ondas com menor frequência e rápidas excita e arrancam os elétrons com muita facilidade, enquanto que ondas com maior frequência são lentas (CARRON & GUIMARÃES, 2003).

Um material metálico que está sendo irradiado por ondas eletromagnéticas, no caso a luz, independente da sua frequência, apresenta uma cor, e considerando que emitem elétrons

por este material, por estarem sendo excitados por esta onda, apresentarão uma frequência suficientemente alta ou baixa, mas é importante ter uma ressalva, onde dependerá do material exposto a referida, para tanto o elétron excitado possa ser arrancado e em estado de Energia Cinética, entrar em movimento do ânodo para o cátodo, um exemplo típico da radiação ultravioleta, neste a excitação é máxima. Nele é observado que a luz incidente numa placa de metal, arrancando elétrons da placa, elétrons ejetados são denominados fotoelétrons (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Em 1905, Albert Einstein apresentou as explicações apropriadas sobre o Efeito Fotoelétrico, somente em 1921, foi reconhecido e obteve o prêmio Nobel por esse trabalho. Sua argumentação necessitava do conceito dos *quanta* de energia de Max Planck, argumentou que a luz apresentava pequenos pacotes de energia, conhecido como *quanta* de luz e depois chamado de “fótons” (BOHM, 2015).

Seu critério era que ao observar individualmente determinado pacote, nele apresentariam uma força de movimento, imaginando que os fótons fossem balas ou projeteis, e quando atingissem os elétrons, que estaria fixo na placa, este por sua vez excitar-se-ia e entraria em movimentando no sentido para fora do metal. Conceituando que o fóton não tem massa, mas armazenam certa quantidade de energia, para tanto, utilizam-se da frequência de energia apresentado por Planck ($E = h\nu$), ligando energia (E) e frequência (ν) como decorrentes da quantização de energia, explicando a frequência de fótons, que representam na faixa da cor azul ao ultravioleta, por apresentam uma frequência muito alta, aplicariam um golpe energético mais forte. Ao alegar essas explicações que a energia dos elétrons desalojados aumenta com a frequência da luz e não com o seu brilho (BELICH JUNIOR, 2012).

Seguindo a mesma analogia do enunciado do parágrafo anterior, a faixa de frequência do fóton para a cor vermelho, acontecendo o contrário, não arrancará elétron, devido a sua energia não ser suficiente. Respeitando esse argumento, pode-se dizer que o fóton na faixa do ultravioleta, apresenta mais energia, uma vez que desassocia sua estrutura molecular com uma energia cinética, reputando que o brilho não fara nenhuma influência para arrancar o elétron (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979). Tendo em consideração ao disparo de certo número de fótons não haverá o devido deslocamento de elétrons.

Quando Einstein apresentar sua ideia dos *quanta* de luz na época, de imediato, não sendo aceito, pois a Física Clássica estava enraizada nos Físicos, por ter pensamentos fixos, por este motivo não gostavam de sua hipótese por ele apresentada, por ir direto no processo de ondas como luz, no qual foi demonstrado nas equações de Maxwell. Por esta razão que foi apresentado uma diversidade de experimentos que comprovaria sua teoria, levando em conta

que as energias dos elétrons libertados, crescem com a frequência da luz rapidamente, apresentando essa ideia como fato (GONTIJO, 2020).

Observando a teoria Eletromagnética Clássica, o Efeito Fotoelétrico concederia à transferência de energia da luz para um elétron. Levando em conta que as alterações da intensidade da luz, produzirá mudanças na energia cinética dos elétrons arrancado do metal. De acordo com a teoria, acredita-se que uma luz suficientemente fraca, apresentaria um intervalo de tempo, atendendo o brilho de inicial da luz e a emissão subsequente de um elétron. Respeitando os resultados experimentais não há relação com as previsões da teoria clássica (BAKER, 2015).

Para ilustrar temos um esquema do equipamento usado por Lenard. Quando a luz incide em uma superfície metálica, elétrons são emitidos.

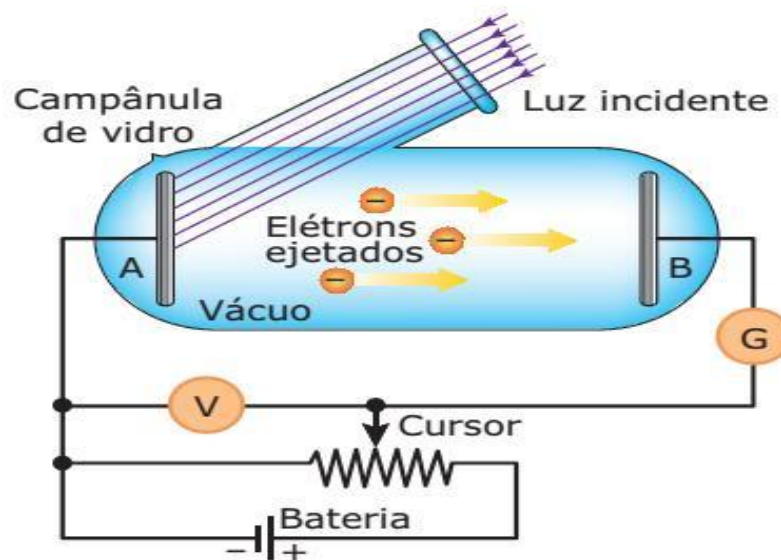


Figura A9 Diagrama usado por Lenard para observar o Efeito Fotoelétrico e provar que as partículas emitidas são os elétrons.

Fonte: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdocplayer.com.br%2F50761778-Dom-eliseu-licenciatura-em-fisica-fisica-moderna-1-h-c-l-prof-antonio-silas-introducao.html&psig=AOvVaw22neyevHU6XuQLnlo5ut4u&ust=1645654434004000&source=images&cd=vfe&ved=0CA5QjRxqFwoTC OiV_8KqIPYCFQAAAAAdAAAAABAD

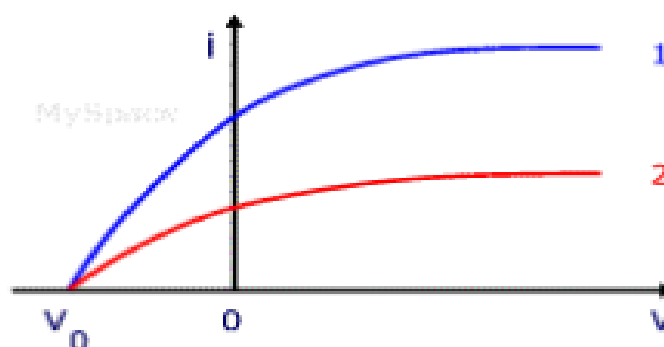


Figura A10 fotocorrente I em função da tensão do anodo V para a luz de frequência de duas intensidades I_1 e I_2 , fonte: Paul A. Tipler e Llewlyn.

Fonte: https://www.mspc.eng.br/dir10/tdiv10_10.php.

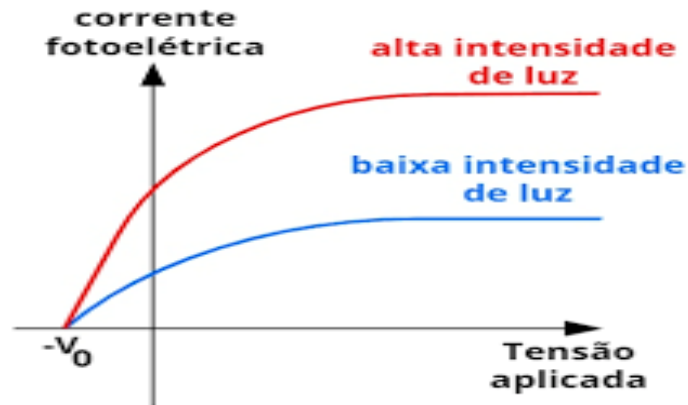


Figura A11 Para I constante e duas frequências f_1 e f_2 , como $f_2 > f_1$, a interpretação do efeito sugere que o valor absoluto da tensão do corte deve ser maior para f_2 , o que é confirmado pelos resultados experimentais, fonte: Paul A. Tipler e Llewellyn.

Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/o-efeito-fotoeletrico.htm>.

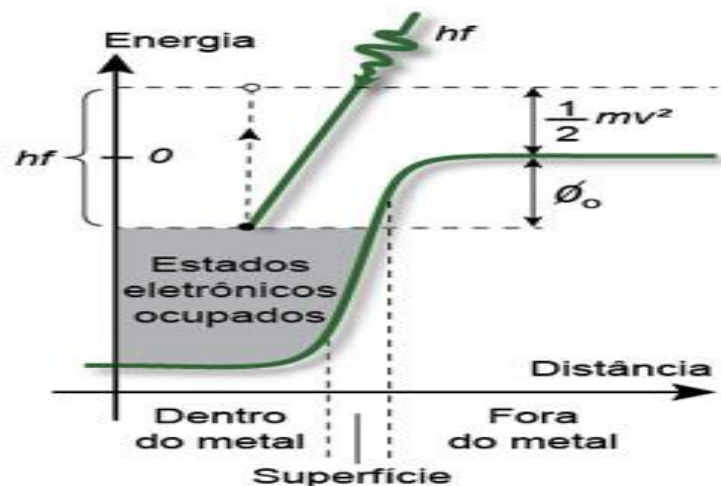


Figura A12 Energia potencial dos elétrons nas proximidades da superfície de um metal.

Fonte: <https://www.ifi.unicamp.br/~fauth/1OrigensMecanicaQuantica/1Oquantumdeluz/Oquantumdeluz.html>.

O resultado experimental, mostrado nas figuras anteriores, mostram que o V_0 não depende da intensidade da luz incidente. Aparentemente, o aumento de energia por unidade de tempo incidente no catodo não resultava em um aumento de energia cinética máxima dos elétrons emitidos, o que estava em total desacordo com a teoria clássica. Quando então, Einstein ofereceu em 1905, uma explicação para esta observação em um artigo que foi publicado no mesmo volume dos *Annalen der Physik* que seus trabalhos a respeito da relatividade restrita e do movimento browniano (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Considerando que a quantização da energia usada por Planck no problema do corpo negro seja uma característica universal da luz, ou seja, em vez de estar distribuído uniformemente no espaço no qual se propagava, a luz é constituída por pacotes (quanta) isolados de energia $h\nu$. Quando um desses quanta, denominados *fótons*, chega à superfície do

catodo, toda a sua energia é transferida para um elétron. Se ϕ é a energia necessária para remover um elétron da superfície (ϕ recebe o nome de *função trabalho* e tem valor característico para cada metal), a energia cinética máxima dos elétrons emitidos pelo catodo é dado por $h\nu - \phi$ em virtude da lei de conservação da energia. Neste caso, o potencial de corte V_0 é dado por:

$$eV_0 = \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\text{máx}} = h\nu - \phi$$

Figura A 26 Equação do Efeito Fotoelétrico.

onde:

e carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19}$ *Colomb*);

V_0 potencial de corte;

m massa do elétron ($9,11 \times 10^{-31}$ *Kg*);

v velocidade do elétron;

h é a constante de Plank ($6,63 \times 10^{-36}$ *J.s*);

ν frequência do para ocorrer o efeito fotoelétrico;

ϕ é a função trabalho, ou energia mínima para remover um elétron de sua ligação atômica (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

De acordo com a equação 1, a inclinação da reta que representa o potencial de corte V_0 em função da frequência ν é igual a $\frac{h}{e}$. Na época em que Einstein fez esta previsão, não haviam nenhum indício de que a constante de Planck tivesse alguma relação com o efeito fotoelétrico. Também não havia provas de que o potencial de corte fosse função de frequência (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

Millikan em seus experimentos em 1914 e 1916, mostrou que a equação 1 estava correta e o valor de h calculado a partir destes experimentos concordou com o valor obtido por Planck, conforme figura abaixo:

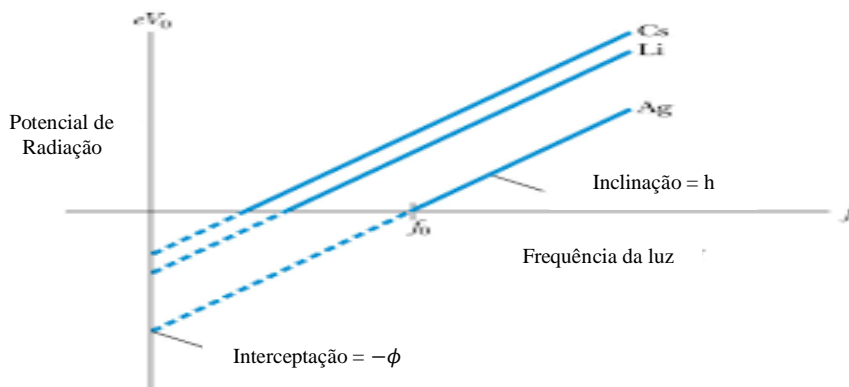


Figura A13 Dados obtidos por Millikan para o potencial de corte em função da frequência, fonte: Paul A. Tipler e Llewellyn.

A frequência mínima para que o efeito fotoelétrico seja observado, denominado ν_t nos gráficos 9 e 10, e o comprimento de onda máxima correspondente, λ_t , podem ser obtidos a

partir da função trabalho fazendo $V_0 = 0$ na equação 1:

$$\phi = h\nu_t = \frac{hc}{\lambda_t}$$

Figura A 27 Frequência mínima.

Os fótons de frequência menor que ν_t (e, portanto, de comprimento de onda maior que λ_t) não tem energia suficiente para ejetar elétrons do metal. Para a maioria dos metais, a função trabalho é da ordem de alguns elétrons-Volts, conforme função trabalho como mostra na tabela abaixo de alguns elementos (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979):

Tabela 3 Valores de função trabalho para alguns elementos.

Elemento	ϕ (eV)
Na	2,28
C	4,81
Cd	4,07
Al	4,08
Ag	4,73
Pt	6,35
Mg	3,68
Ni	5,01
Se	5,11
Pb	4,14

FONTE: PAUL A. TIPLER E RALPH A. LLEWELLYN

Outra propriedade importante do efeito fotoelétrico que está em desacordo com a física clássica, mas pode ser facilmente explicada pela hipótese dos fótons é a ausência de um intervalo de tempo mensurável entre o momento em que a fonte luminosa é ligada e o momento em que os elétrons emitidos pelo catodo começa a aparecer. Classicamente, a energia luminosa se distribui de forma homogênea ao longo da superfície do catodo; o tempo necessário para que uma região do tamanho de um átomo adquira energia suficiente para emitir um elétron pode ser calculada a partir da intensidade de tal forma que este tempo teórico seja da ordem de minutos ou mesmo horas. Entretanto, em todos os experimentos, os elétrons começam a ser emitidos no momento em que a fonte é ligada. De acordo com a hipótese dos fótons, a explicação desta observação é que, embora o número de fótons que incidem no metal por unidade de tempo seja pequeno quando a intensidade da luz é pequena, cada fóton em energia suficiente para ejetar um elétron, e existe uma grande probabilidade de que pelos mesmos alguns fótons sejam absorvidos imediatamente. Por outro lado, a teoria clássica permite calcular corretamente o número médio de fótons absorvidos por unidade de tempo (ISSACSON, 2007).

A fotoemissão de elétrons se tornou um método importante para investigar estruturas dos cristais e moléculas. O uso de fontes de raio X e detectores de precisão permitiu determinar as configurações exatas dos elétrons de valência nos compostos químicos, o que levou a uma melhor compreensão das ligações químicas e das diferenças entre as propriedades dos átomos na superfície e no interior dos sólidos (ISSACSON, 2007). Os microscópios baseados no efeito fotoelétrico que hoje estão sendo desenvolvidos poderão revelar a situação química de cada elemento em uma amostra, uma informação extremamente importante para a biologia molecular e para a microeletrônica. Em última análise, tudo isso é consequência de um fenômeno que incomodou Hertz (BAKER, 2015).

Para entendermos o processo matematicamente, temos a seguir:

$$K = eV_0$$

Figura A 28 Energia Potencial.

$$K = h\nu - W$$

Figura A 29 Equação do Efeito fotoelétrico com a função trabalho.

Substituindo, teremos:

$$eV_0 = h\nu - W_0$$

$$V_0 = 0$$

$$0 = h\nu - W_0$$

$$h\nu = W_0$$

$$\nu_0 = \frac{W_0}{h}$$

$\nu_0 \rightarrow$ Frequência de corte

$$eV_0 = h\nu - W_0$$

$$eV_0 = h\nu - h\nu_0$$

$$V_0 = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0)$$

Figura A 30 Potencial de Corte do potencial elétrico.

Com o modelo de pacotes de energia, devido a intensidade de radiação emitida para o efeito fotoelétrico, não aumenta a sua velocidade dos elétrons, mas pode apresentar um número grande de portadores, portanto, apresentara energia mais elevadas, sendo a energia analisada por Einstein e o considerou como fótons (EISBERG, Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1979).

APÊNDICE B - Arduino

A plataforma Arduino é um controle analógico e digital para sensores e processamentos de dados. Sendo que se deve conhecer os elementos que hão de compor a plataforma de funcionamento.

B.1 Placa Arduino UNO

Esta placa possui 14 pinos (0 a 13), podendo ser usados como entrada e saída digitais, onde os pinos são de 5 V e para cada pino a corrente elétrica é de 40 mA (miliAmpère), cuja saída funciona através de um “Sketch” (Programa do Arduino), para fornecer, quando ligado, 5 V e quando for desligado 0 V.

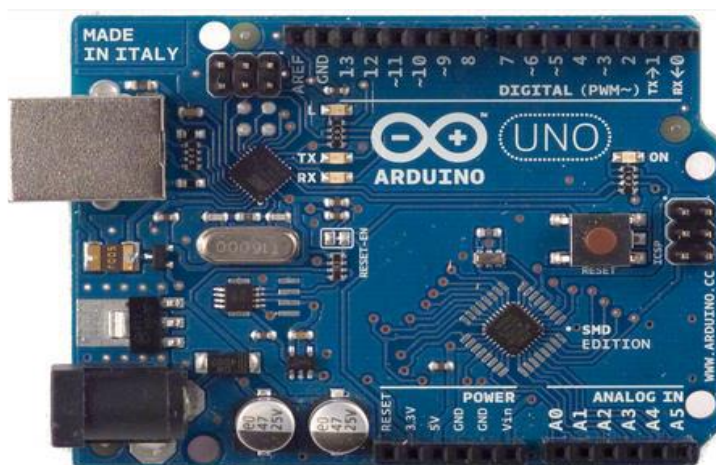


Figura B16 - Placa de Arduino Uno.

Fonte: forum.arduino.cc/index.php?topic=316649.0.

Considerando que alguns pinos apresentam funções diferenciadas, tais como os pinos 3, 5, 6, 9, 10 e 11, que podem ser utilizados como saídas PWM (Modulação por largura de pulso) sendo de 8 “bits”, contudo os pinos 0 e 1, esses são utilizados para a comunicação serial com o computador, para recepção ou transmissão (RX ou TX). Mas o usuário deve atentar que esses pinos citados, irão controlar a comunicação USB do PC, agora os pinos 2 e 3, poderão ser configurados para uma interrupção externa.

Para uma interface analógica, a placa UNO possui 6 pinos, conhecidos como “analog in” (A0 á A5) esses irão ter a finalidade de medir a tensão em cada um deles, uma vez usando valores no “Sketch”, entretanto, cada um apresenta uma resolução de 10 “bits”, todavia sendo padronizado, temos a referência do conversor AD que deve ser ligado internamente a 5 V, ou seja, na entrada deve-se observar o valor 5 V. da conversão analógica digital, o qual será de 1023, e o valor de referência a ser mudado no pino AREF (MONK, 2013).

A alimentação da placa UNO pode ser realizada através de uma conexão USB ou por tensão externa. Quando alimentada por tensão externa, a variação da voltagem deverá ser entre 6 V e 20 V, recomendáveis tensões externas da ordem de 7 V a 12 V, caso seja abaixo de 7 V, o funcionamento ficará instável, quando for acima de 12 V, corre-se o risco de superaquecimento da placa. A placa possui uma variação de conectores para “Shields” e módulos, o pino IOREF, como exemplo, para tanto, fornecerá tensão de referência para o “shields”, podendo selecionar o tipo de interface desejada, nesta forma “shields” que funcionam com uma alimentadas com 3,3 V na placa, porém se adaptam em 5 V e vice-versa. O “RESET” pino conectado ao microcontrolador, do mesmo modo que ao reiniciarmos um computador é ativado o “Resert” do Arduino, onde começará executar o “Sketch” do início. Os pinos de 3,3 V fornece alimentação de “shield” e os módulos externos com corrente máxima de 50 mA, enquanto o pino que apresenta 5 V, irá fornecer tensão de 5 V, com a mesma finalidade. Os pinos *GNDs* (“ground” ou terra), considerados como pinos de referência, significa zero volt. (MONK, 2013)

B.2 “Softwares” para o desenvolvimento na plataforma do Arduino

Para que o Arduino funcione corretamente, é necessário instalar o “software” denominado ambiente de desenvolvimento (IDE)³ o *PLX-DAQ*⁴, um “software” emulador que faz a conexão entre o Arduino e o Excel, este será para coleta e a análise de dados. Entretanto pode-se usar sites emuladores⁵, para aprender, construir ou trabalhar com o Arduino, que apresente componentes eletrônicos sem a necessidade de ter o objeto físico, realizando assim simulações para depois ter certeza do funcionamento simulado do experimento físico.

B.3 Ambiente de desenvolvimento (IDE)

³ Disponível em: <https://www.arduino.cc>

⁴ Disponível em: <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>

⁵ Um bom exemplo pode ser visto em: <https://circuits.io/circuits/4917099-the-unnamed-circuit/edit>

No ambiente IDE é possível realizar a programação do Arduino. O programa pode ser “baixado” através da página do Arduino (www.arduino.cc/).

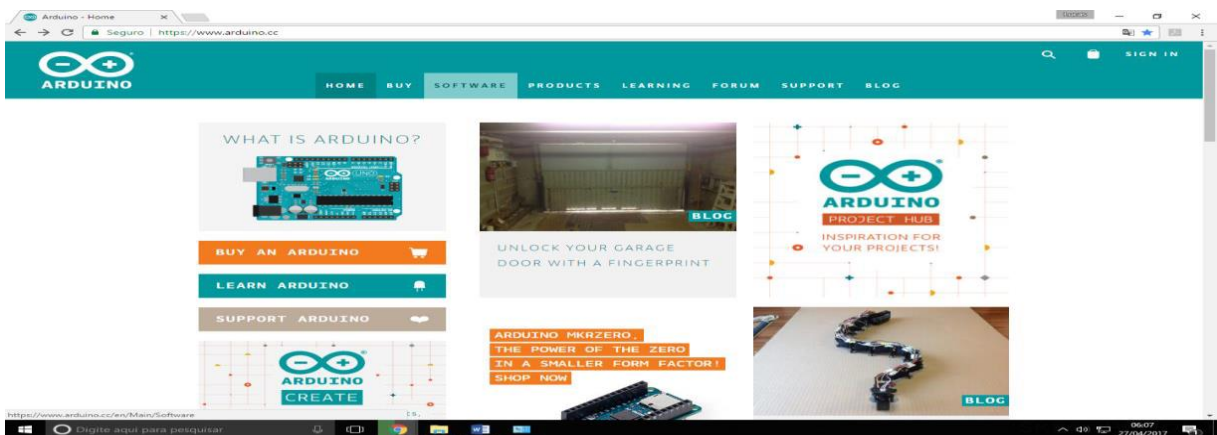


Figura B17 - Página oficial do Arduino.

A instalação pode ser feita seguindo os passos:

1. Procure a aba “Software”

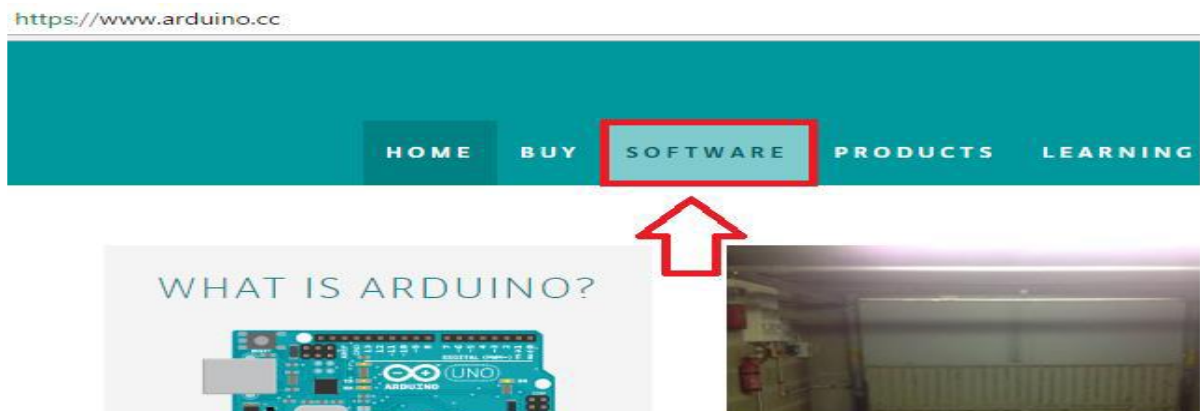


Figura B18 - Neste você deve instalar o ide do Arduino.

2. Você será direcionado para a página, conforma figura abaixo.

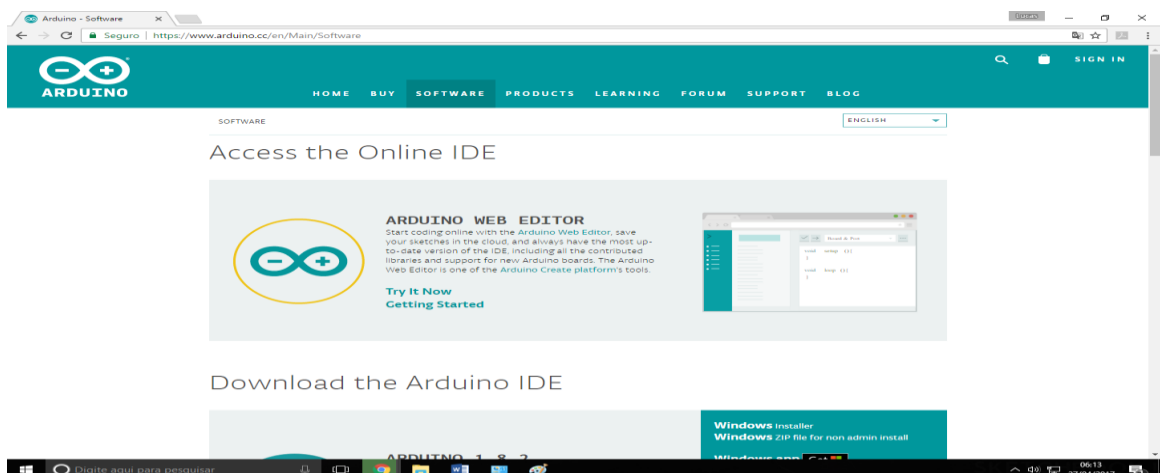


Figura A19 - Instale o IDE do Arduino.

3. Escolha o sistema compatível com o computador

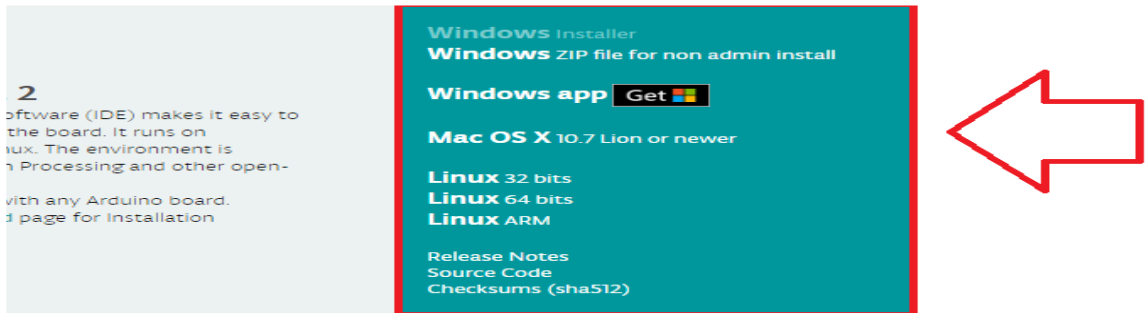


Figura A20 - a instalação de IDE do Arduino.

4. Você será direcionado para a página, conforma figura abaixo, onde poderá fazer uma contribuição opcional, caso não queira, basta clicar na Aba “Just Download”. Caso não queira fazer uma doação, espere a conclusão do arquivo.



Figura B21 - Sequência para instalação do Arduino.

5. Ao término do “download”, clique em “I Agree” (traduzindo: Eu Concordo).
6. Clique em “NEXT” e prossiga com a instalação.
7. Após salvar o arquivo, vá no botão “Browser” (traduzindo: navegador), e aperte o botão “Install” (traduzindo: instalar), para instalar o arquivo.



Figura B22 - Aceitando a Licença de uso.

Download the Arduino IDE

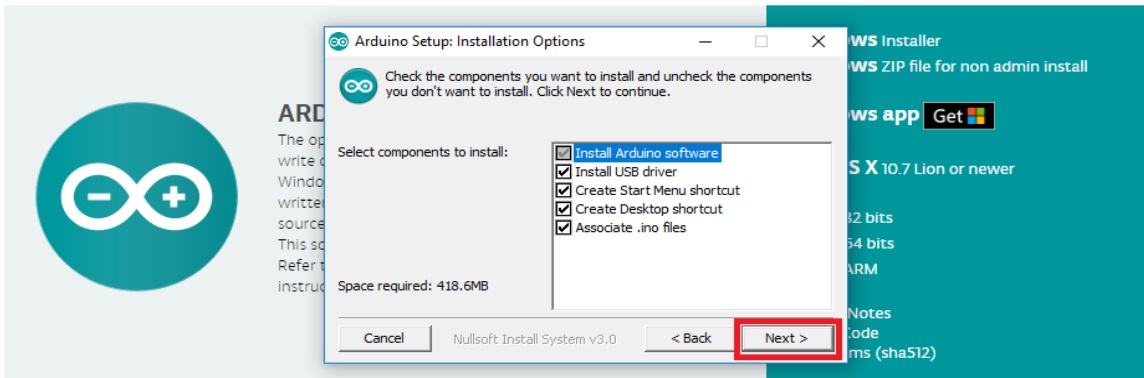


Figura B23 - Seleção dos componentes.

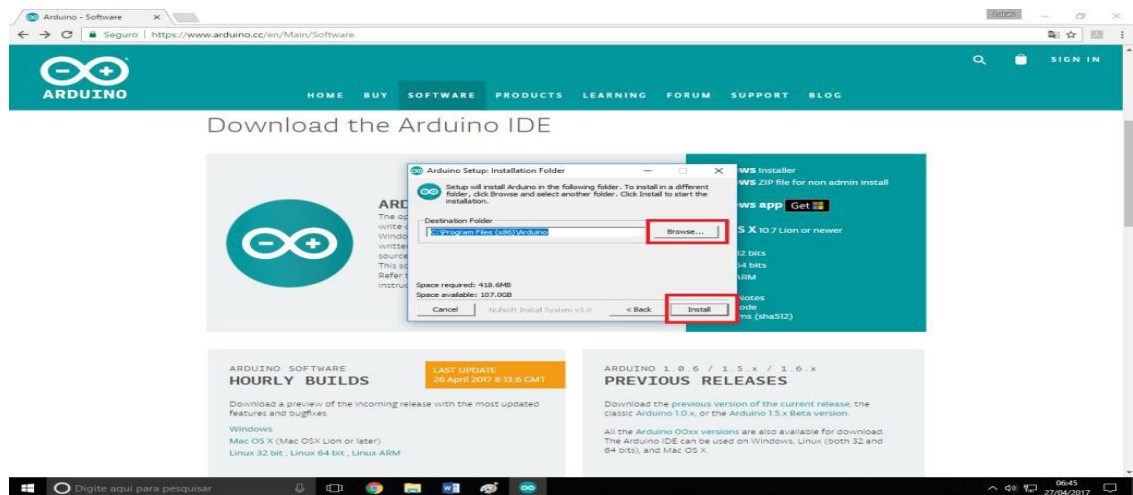


Figura B24 – Parte de Instalação do Programa.

8. Ao concluir o processo de instalação, será necessário ativar alguns componentes para realizar a conexão entre a placa e o “software”, vá no botão “Instalar”, acione-o em todos os componentes, assim dará prosseguimento as próximas etapas.

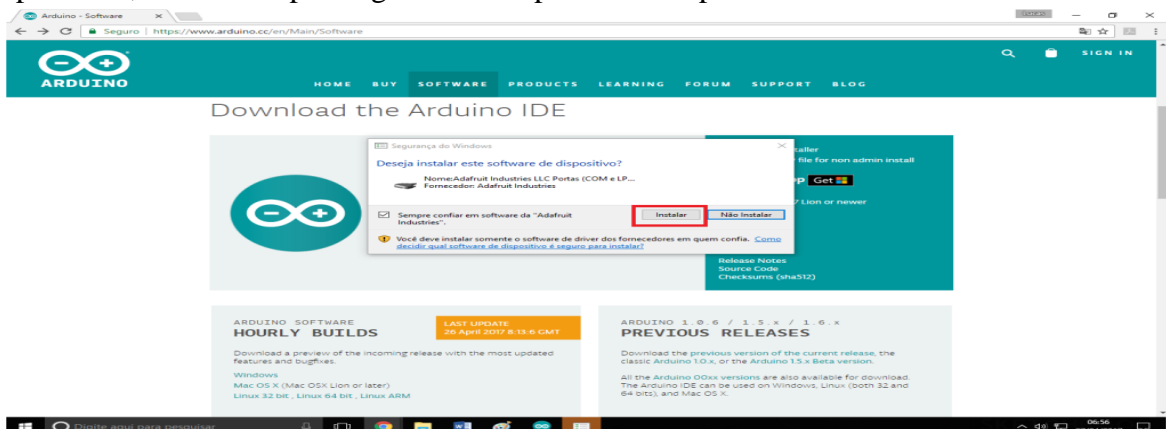


Figura B25 - Liberação de alguns "software".

9. Quando a barra de progresso for concluída, clique no botão “Close”.

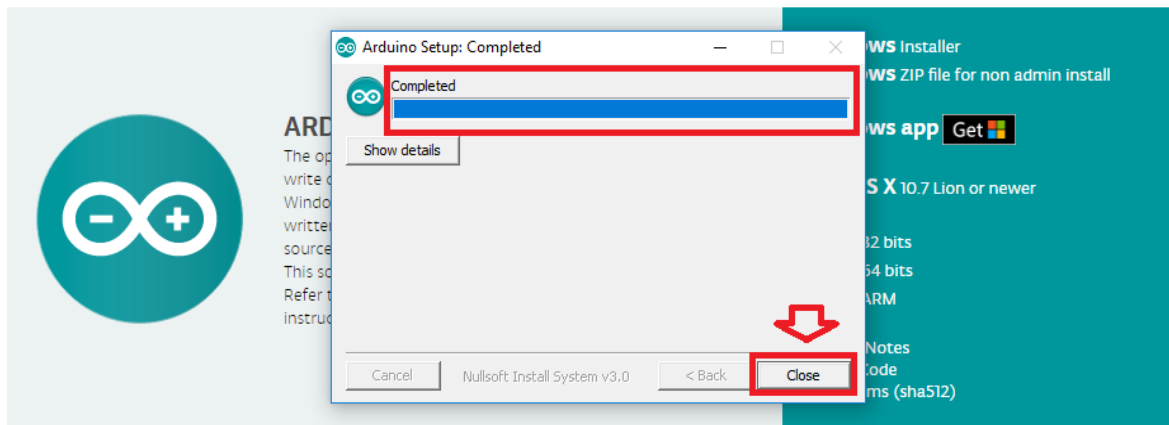


Figura B26 - Barra de Instalação Concluída.

Na página principal do seu computador, irá aparecer um ícone de atalho para poder trabalhar, dê um duplo clique no botão do Arduino. Então, será mostrado uma tela, conforme Figura 12, onde será feita a programação necessária aos experimentos e ativação da placa.

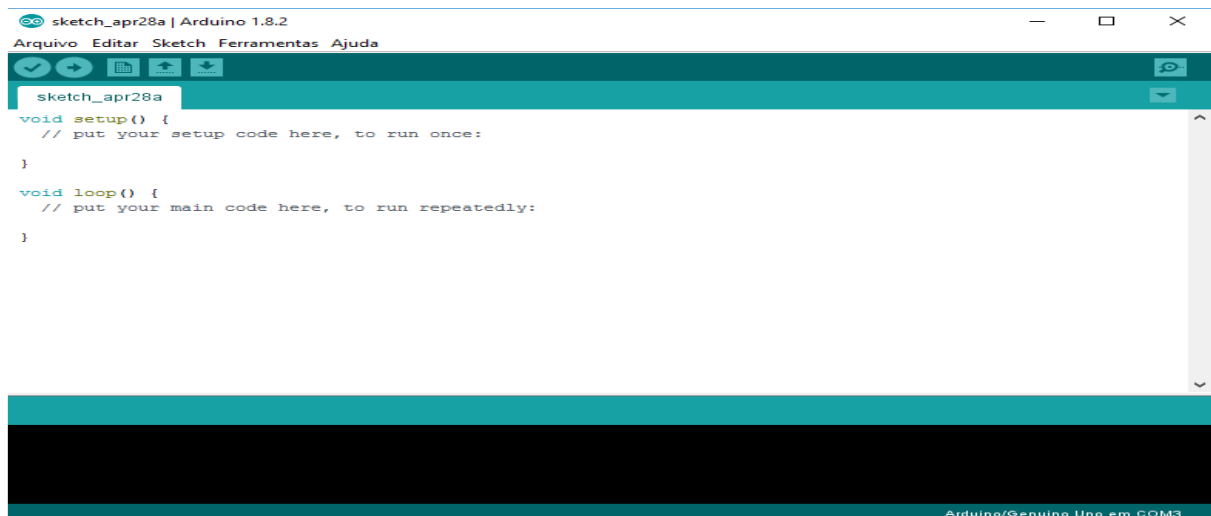


Figura B27 - Interface do IDE do Arduino.

B.4 Compreendendo a programação do Arduino

De uma forma simples e rápida, apresentaremos o básico desta programação, para que possa utilizar com facilidade o Arduino e atribuir os projetos e melhor compreender o trabalho assim desenvolvido.

Linguagem de Programação

É um “idioma” onde a máquina interpretará e executará as instruções, para conhecimentos, a linguagem de programação utilizada no Arduino é a linguagem C++, mas apresentando pequenas modificações pertinentes.

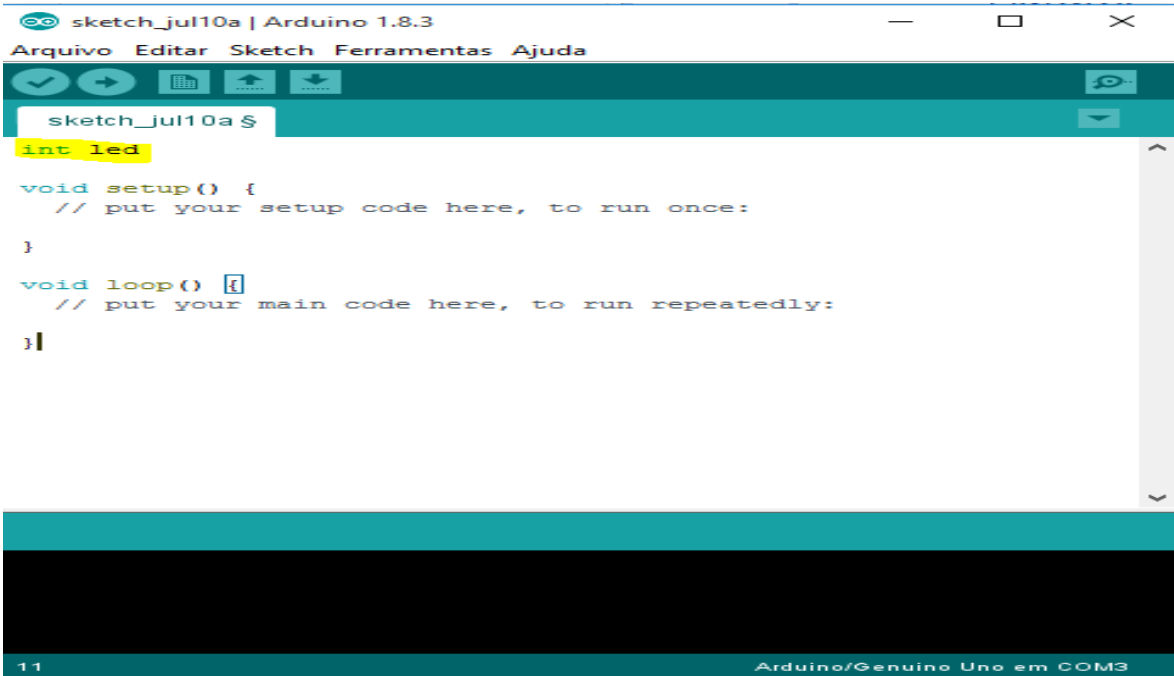
Algoritmo

Programa ou simplesmente algoritmo, é um processo de comunicação entre homem e máquina, sendo que o homem deve através do algoritmo, deve dizer o que ele deve fazer,

contudo para o Arduíno recebe o nome de “sketch”, neste apresentará uma sequência de comandos, pois os referidos irão fazer o passo a passo do programa.

Variável

Este recurso se constitui para armazenamento de dados para uma programação do seu computador, contudo, ao usar uma variável será necessário a criação de uma declaração da variável. Mostraremos na figura a seguir, onde apresenta uma declaração de uma variável com o nome “led” e devemos afirmamos o seu tipo “int”.

A screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "sketch_jul10a | Arduino 1.8.3". The menu bar includes "Arquivo", "Editar", "Sketch", "Ferramentas", and "Ajuda". The toolbar contains icons for check, run, upload, and download. The main editor area shows the following code:

```
sketch_jul10a $
int led

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

The text "int led" is highlighted in yellow. The status bar at the bottom shows "11" on the left and "Arduino/Genuino Uno em COM3" on the right.

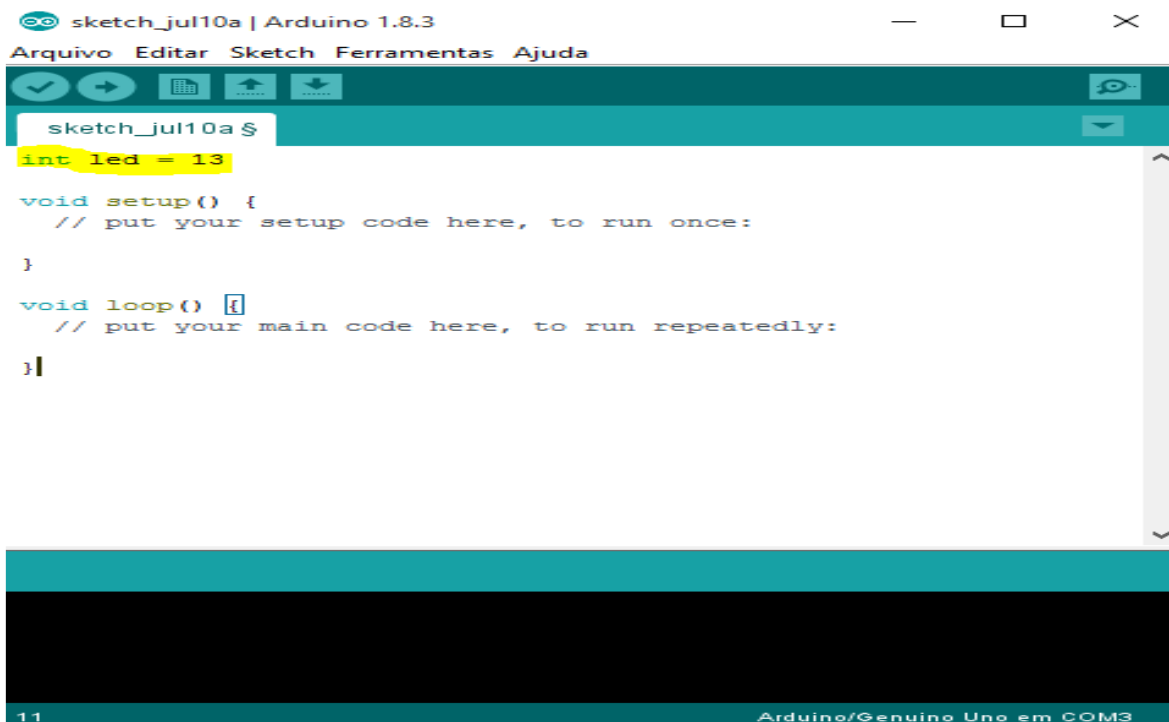
Figura B28 - Mostra da declaração de uma variável.

A tipificação dos dados segue uma variável significativa, como diz o próprio nome é um tipo de informação que armazenará naquela variável. Neste apresentamos os tipos mais comuns de dados utilizados:

- boolean: valor verdadeiro (true) ou falso (false);
- char: um caractere;
- byte: um byte ou sequência de 8 bits;
- int: número inteiro de 16 bits com sinal (-32768 a 32767);
- unsigned int: número de 16 bits sem sinal (0 a 65535);
- long: número inteiro 16 bits com sinal (-2147483648 a 2147483647);
- unsigned long: número inteiro de 16 bits sem sinal (0 a 4294967295);
- float: número real de precisão simples (ponto flutuante);
- double: número real de precisão dupla (ponto flutuante);
- string: sequência de caracteres;
- void: tipo vazio (não tem tipo).

Atribuição

Nesse podemos atribuir uma variável para valor significativo no armazenamento, assim para ser utilizado posteriormente. Para que possamos atribuir, são feitas em duas partes: 1) definir o tipo de variável e 2) nome e sua respectiva atribuição (valor), observando na figura a seguir, temos:

A screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar shows 'sketch_jul10a | Arduino 1.8.3'. The menu bar includes 'Arquivo', 'Editar Sketch', 'Ferramentas', and 'Ajuda'. The toolbar contains icons for saving, running, and other functions. The main editor area shows the following code:

```
int led = 13;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

The line 'int led = 13;' is highlighted in yellow. The status bar at the bottom indicates '11' and 'Arduino/Genuino Uno em COM3'.

Figura B29 - Atribuindo o valor de uma variável.

Operador

É um conjunto de um ou mais caracteres, servindo para operar sobre uma ou mais variáveis ou constante. A programação que apresenta uma linguagem em conjunto de operadores diferentes. A seguir apresentaremos os operadores comuns ao Arduino:

1. Operadores aritméticos:

+ :adição;

- :subtração;

* :multiplicação;

/ :divisão.

2. Operadores lógicos:

&& :conjunção (“e”);

|| :disjunção (“ou”);

== :igualdade (“igual a”);

!= :desigualdade (“diferente de”);

! :negação (“não”);

> :“maior que”;

< :“menor que”;

>= :“maior ou igual a”;

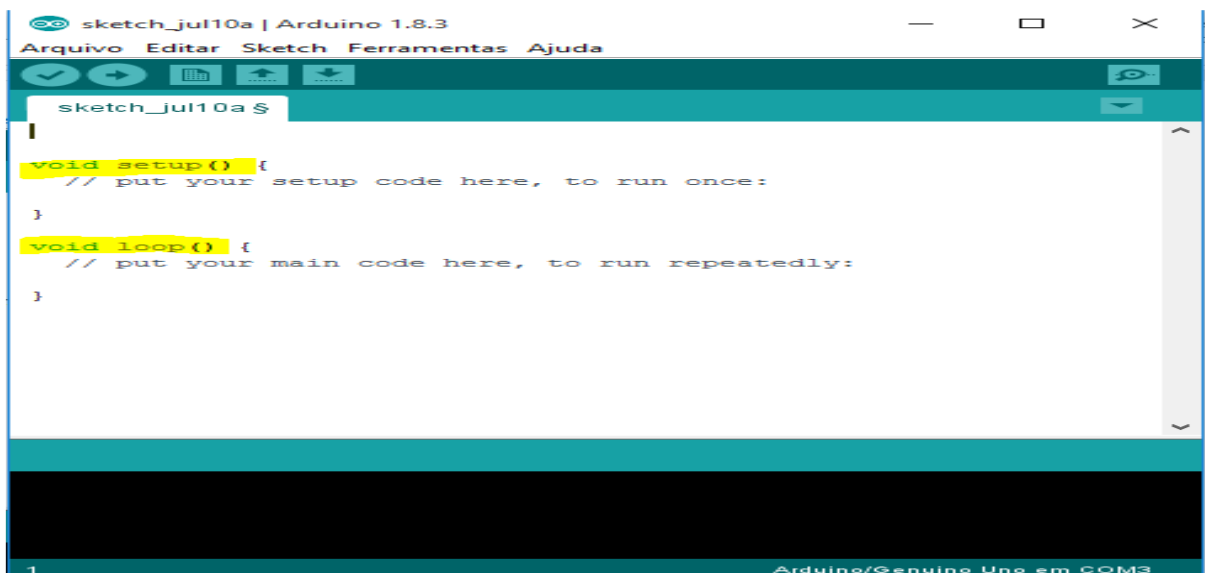
<= :“menor ou igual a”

3. Operadores de atribuição:

= : atribui um valor a uma variável.

Função

Para definirmos este processo que é uma sequência de comandos, podendo ser utilizados quantas vezes forem necessários em sua programação. Contudo, existe dois processos que são atribuídos a uma espécie de função padrão, que são o “void setup”, para este é declarado que outras funções importantes no programa, sendo que a função será executada somente uma vez. Enquanto que a função “void loop”, neste que fica as linhas de código para serem executadas, ele é o programa em sua essência, isso podemos observar na figura seguinte. Para tanto, podemos considera-las funções principais ao ser inseridas outras atribuições, funções ou variáveis.



```
sketch_jul10a | Arduino 1.8.3
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
sketch_jul10a $
|
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
1
Arduino/Genuino Uno em COM3
```

Figura B30 - Funções "void setup" e "void loop".

B.5 PLX-DAQ Spreadsheet

Para uma boa realização de um trabalho e coleta de dados demonstrativos, será necessário a instalação deste aplicativo, conforme mencionado no subtítulo, esse “software” é um complemento do Arduino, onde a conexão entre eles gera tabelas em Excel. Deixaremos a página para poder baixar o arquivo e na sequência mostraremos como é o processo de instalação, então visite a página <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq> para início ao processo.

Procure o item “PLX-DAQ.zip”, nele você fara o “download, mostraremos na figura a seguir:

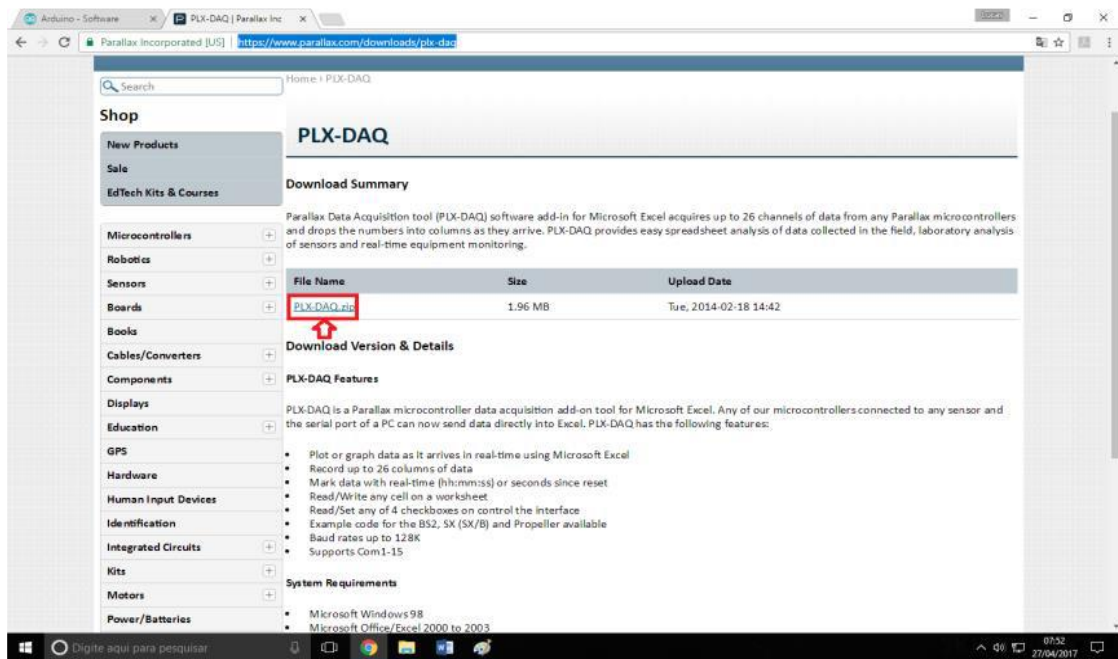


Figura B31 - Página principal para baixar o arquivo e instala-lo.

Ao concluir o processo, abra o arquivo baixado para começar a instalação, veja na figura seguinte:

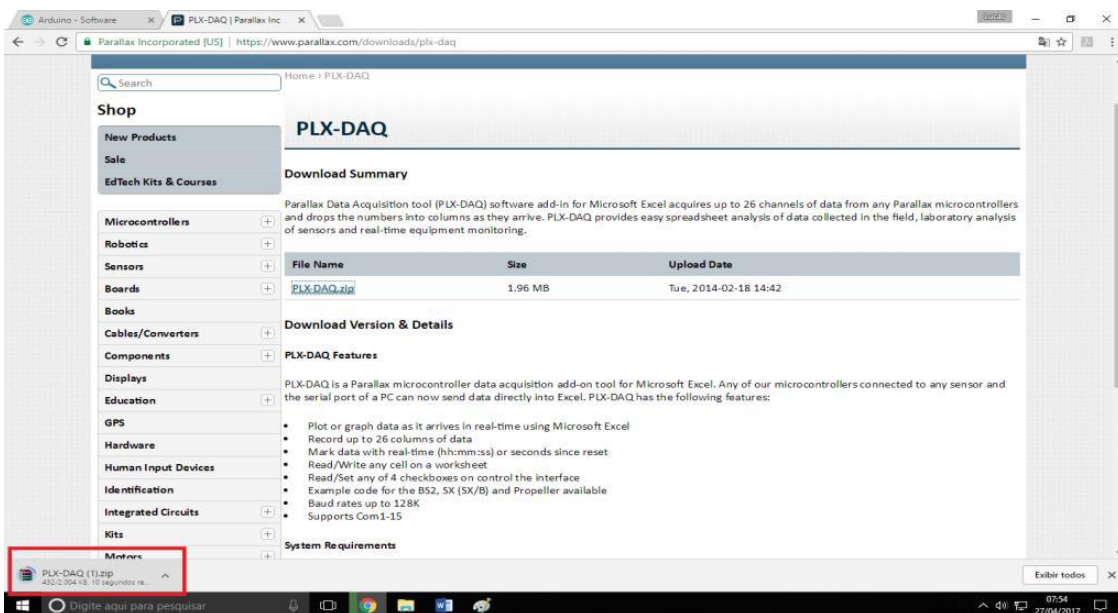


Figura B32 - Aplicativo que armazenou o "software".

Na imagem seguinte, será apresentado na tela o aplicativo “Winrar”, para este será necessário abri-lo e descompacta-lo, pois estará em “.zip”, outra maneira de baixar o aplicativo, pode-se usar no site: <http://www.winrar./start.html?&L=0>

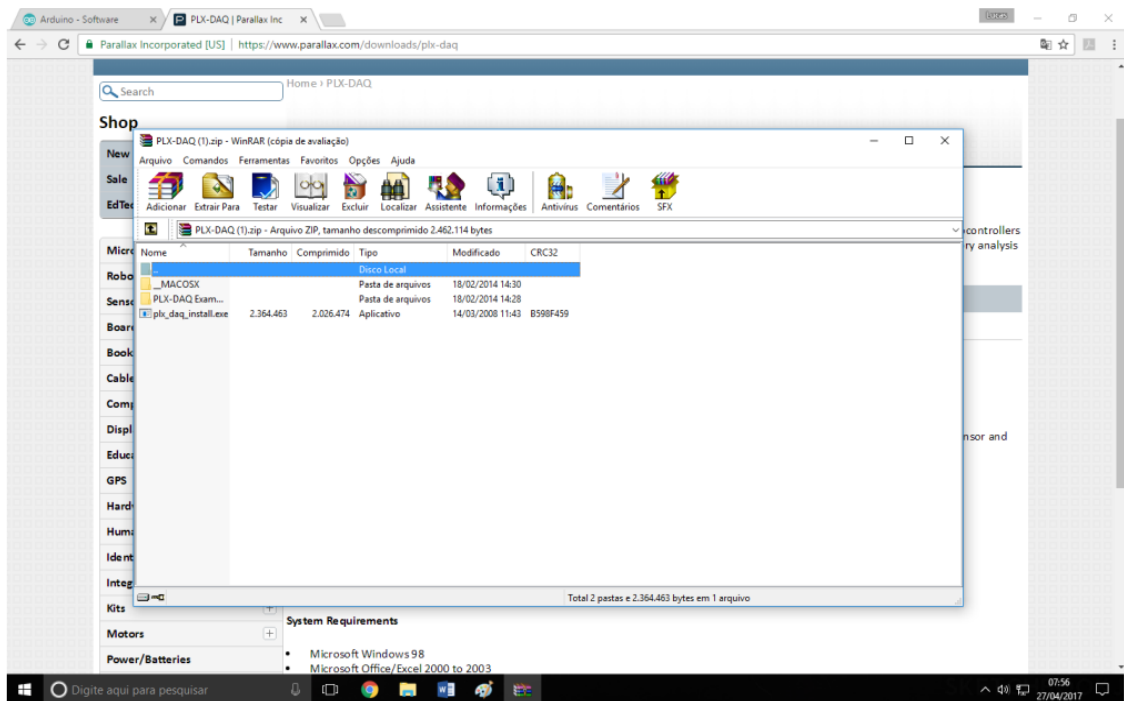


Figura B33 - fazendo a instalação do plx daq.

Aconselhamos que crie uma pasta de trabalho, nesta será feita todos os armazenamentos, será mostrado na figura a seguir, mas deve-se selecionar os arquivos desejado, dando sequência clique na aba “Extrair Para”.

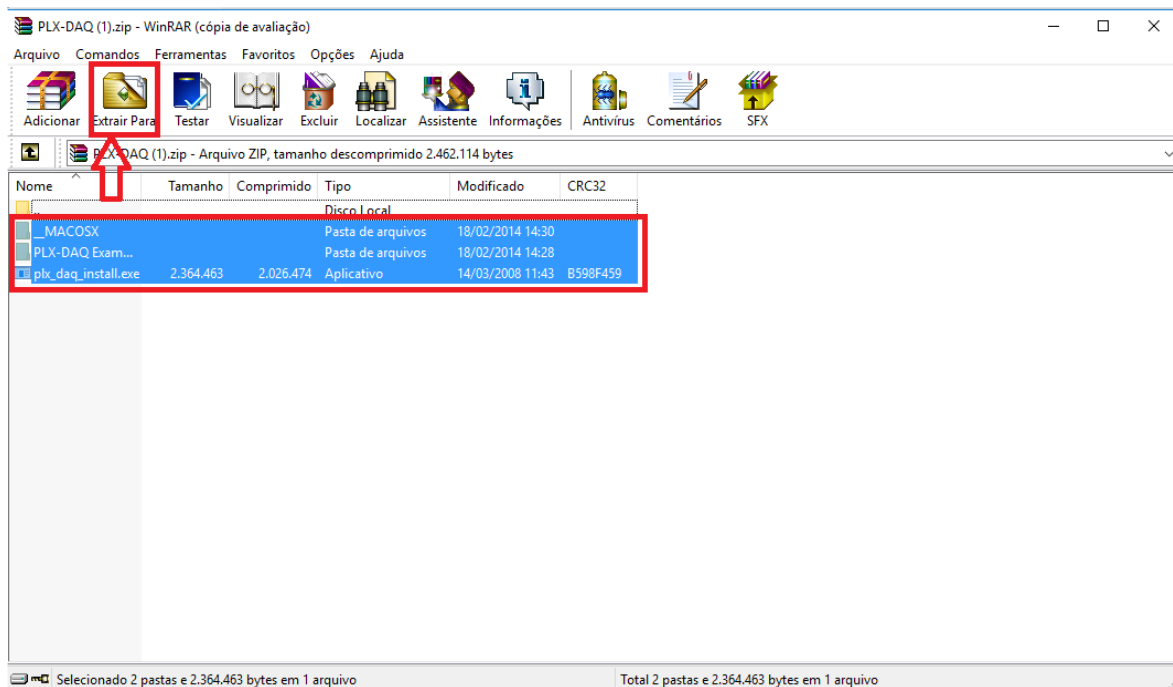


Figura B34 - Selecionando os arquivos desejados.

Após selecionar os arquivos, acione o botão “OK”, de acordo com a figura a seguir.

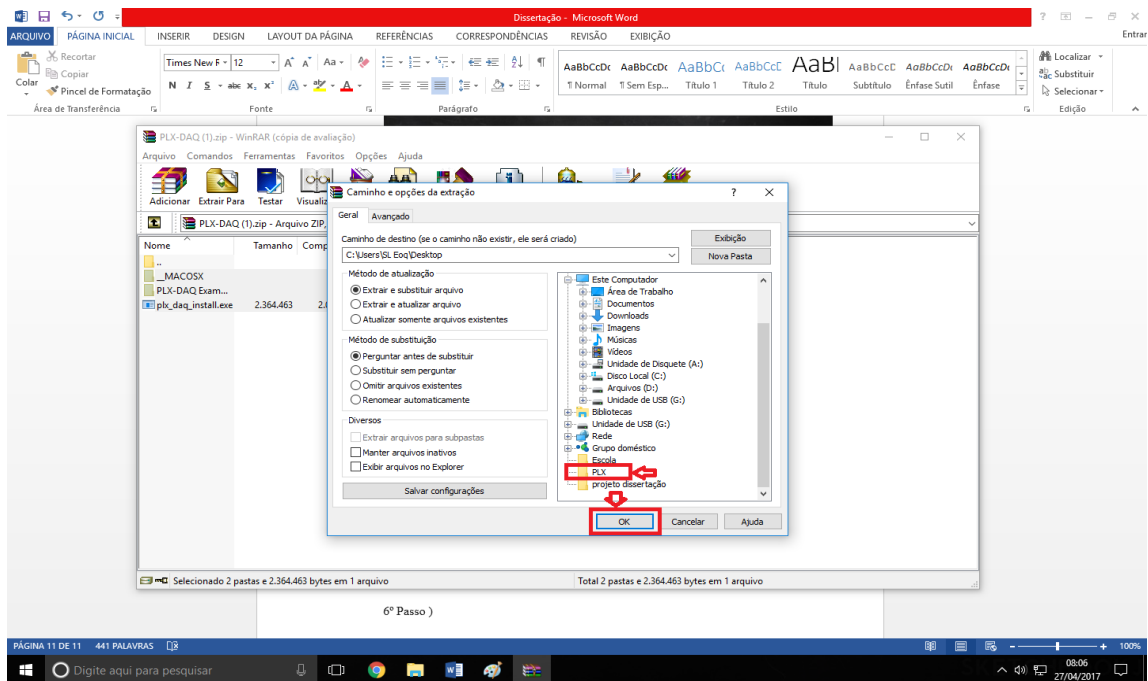


Figura B35 - Aplicando o processo de armazenamento dos arquivos.

Aplique um duplo clique no botão esquerdo do arquivo “plx_daq_install”, veja a seguir na imagem.

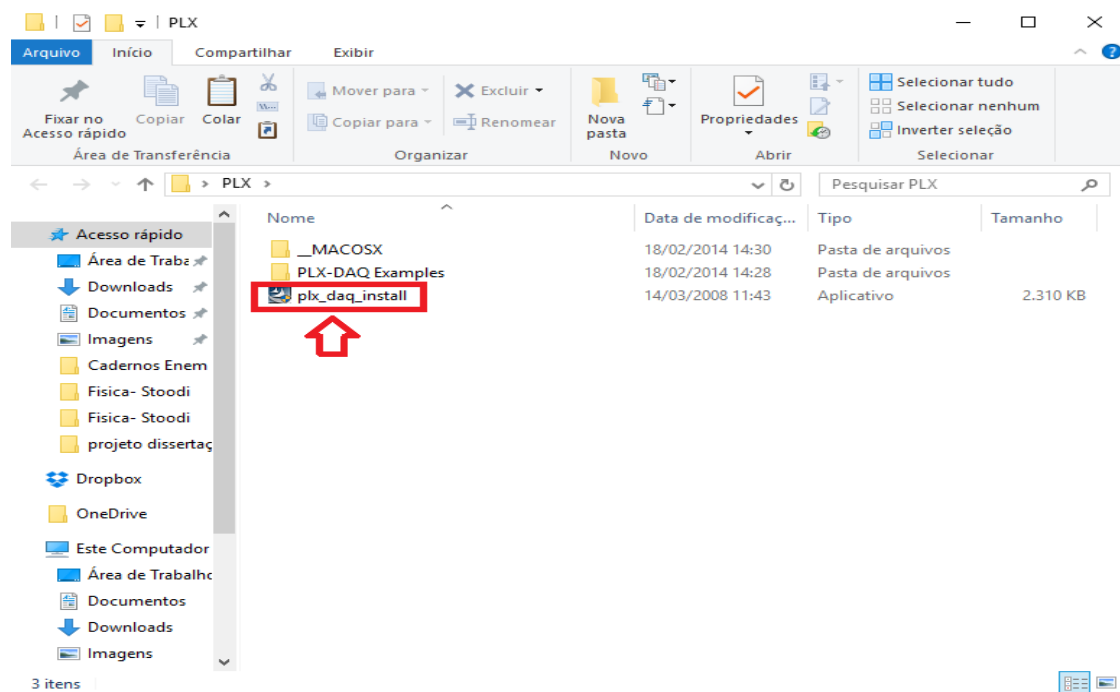


Figura B36 - Nesta imagem você pode ver o processo de instalação.

Agora deverá abrir uma janela de instalação do programa, veja a figura a baixo, então clique no botão “Next”, ele fara o processo de instalação.

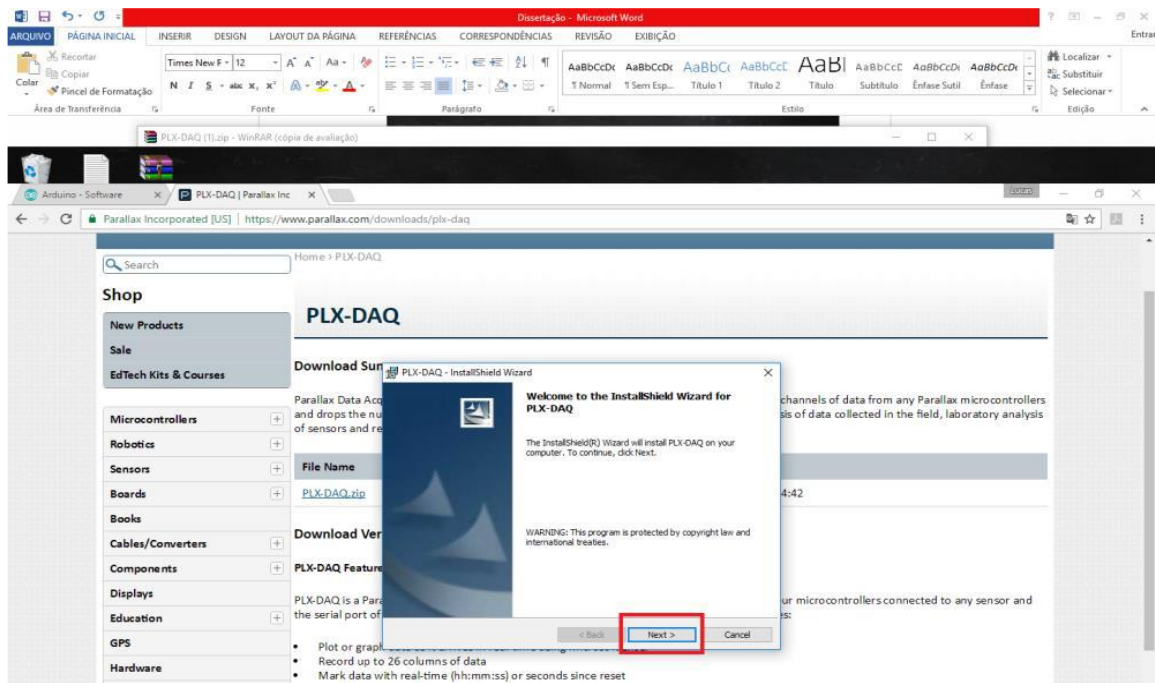


Figura B37 - Sequência de instalação.

Na janela seguinte, deve-se preencher com o seu nome para que a configuração se completa, depois de preencher o que se pede, vá no botão “Next”, observe a figura seguinte:

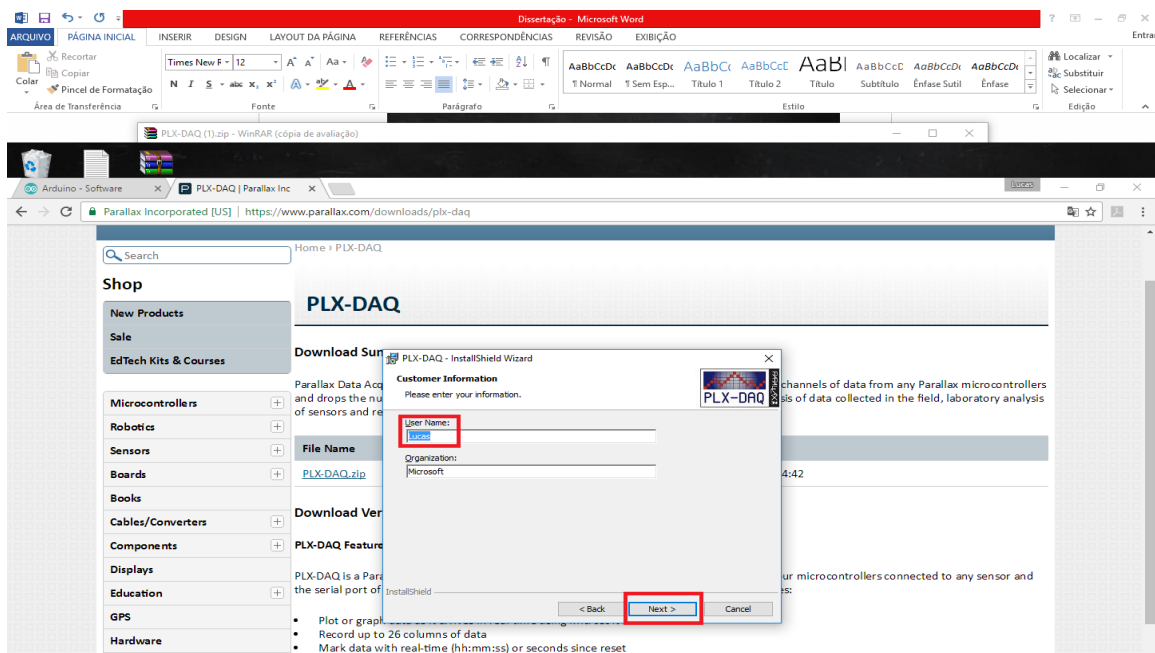


Figura B38 - Configuração e preenchimento de dados.

Depois de apertar botão “Next”, abrirá uma nova janela, nela clique no “Typical”, este é o tipo que você quer a instalação parcial ou completa, neste será completa, depois clique no botão “Next” outra vez.

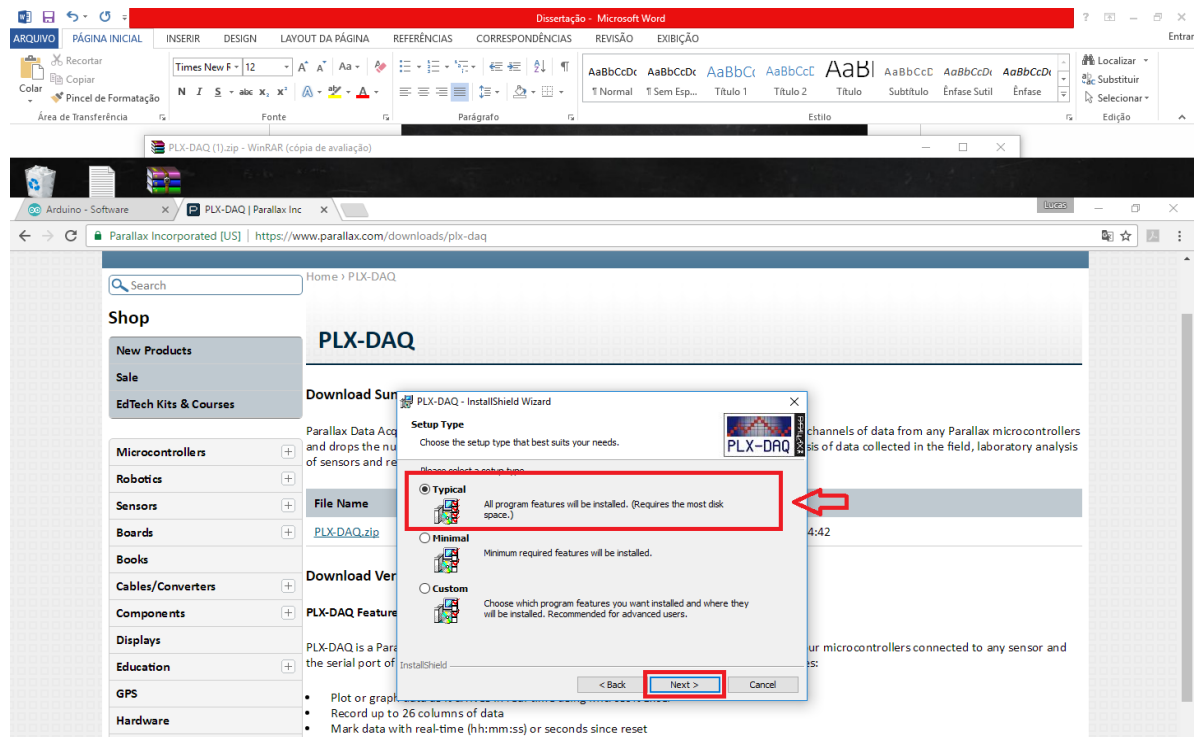


Figura B39 - Escolha da quantidade do software, completa ou não.

Na próxima janela abrirá com um botão “Finish”, é bem provável que leve alguns minutos para a instalação, quando completar aperte o botão mencionando anteriormente para concluir todo o processo.

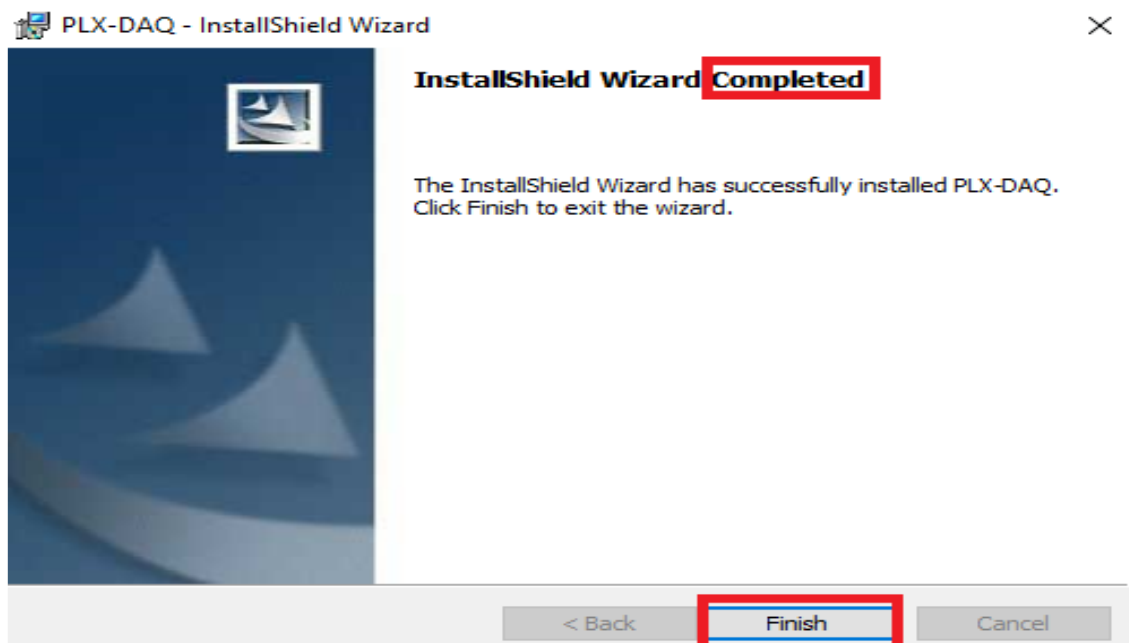


Figura B40 - Processo de Instalação concluída.

Pronto, agora criando em uma pasta com o nome do programa “PLX-DAQ”, nele pode-se armazenar os dados do programa que utilizaremos ao longo da elaboração de projetos. Contudo, quando for abrir o programa, apresentará uma interface do Excel com o “PLX-DAQ”, observe a figura a seguir.

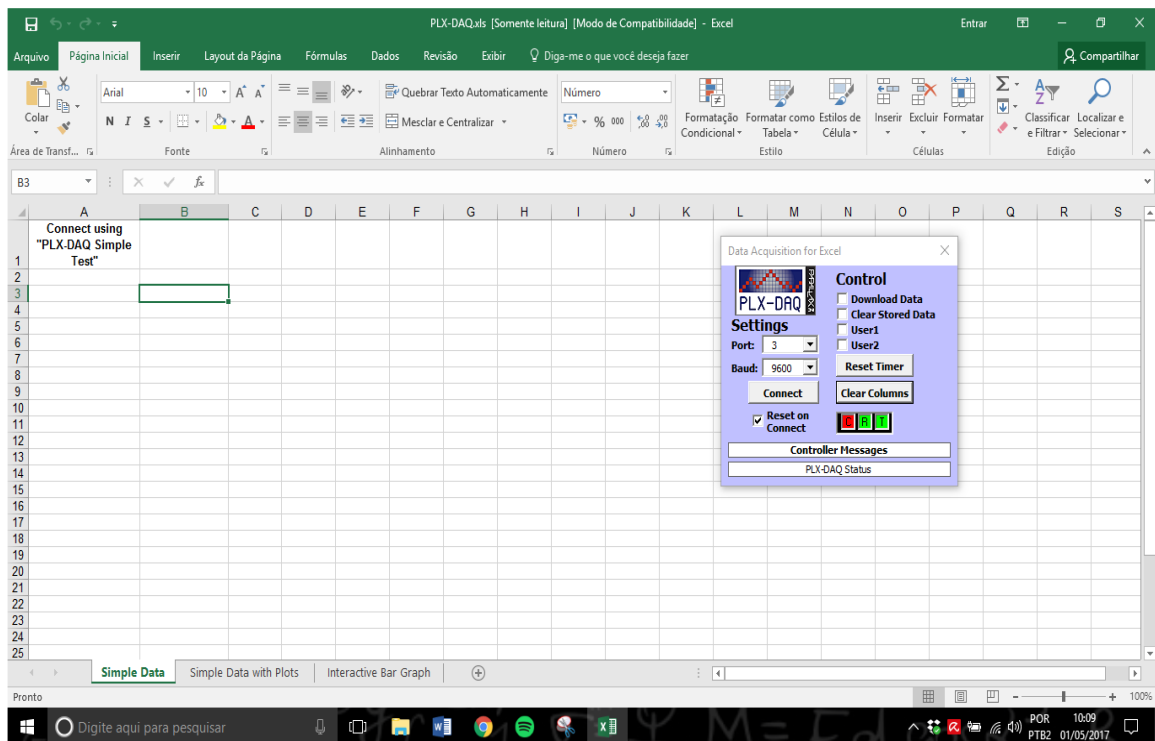


Figura B41 - Interface do "PLX-DAQ"

B.6 Google Drive

Local onde pode ser armazenado, compartilhado e guardar todas os documentos atribuídos ao desenvolvimento das ações de ensino, pesquisa ou extensão, a plataforma colaborativa de criação e edição de documentos diversos.

Neste é possível o “armazenamento de arquivos em nuvens, utilizando memória de servidores *on-line* e permitindo o acesso remoto pela *Internet* sem a necessidade de instalação de programas ou armazenamento físico de dados” (SANTIAGO & DOS SANTOS, 2014). Considerando que há variações no tamanho disponibilizado em aquisição de planos pagos ou não, contudo há versão padrão para usuários, abrangido em 15 GB.

B.7 Google forms

Permite ao usuário que “recolha e organize gratuitamente informações grandes e pequenas” (GOOGLE, 2017), podendo ser visualizado gráficos e planilhas, podem ser apresentados uma variação de estilos de perguntas, possibilidade de envio de arquivos, exibição de imagens ou vídeos e outras características (GOOGLE, 2017). (HEIDEMANN, OLIVEIRA, & VEIT, 2010) afirma que “levantamentos de opiniões podem ser facilmente implementados no Google Forms”.

Este pode-se realizar a consulta aos discentes sobre a atividade realizada, questões de pesquisa sobre experimentos ou até mesmo apresentar como *feedback* ao que deseja conhecer, considerando que há possibilidade de ser utilizado virtualmente.

B.8 Tinkercad

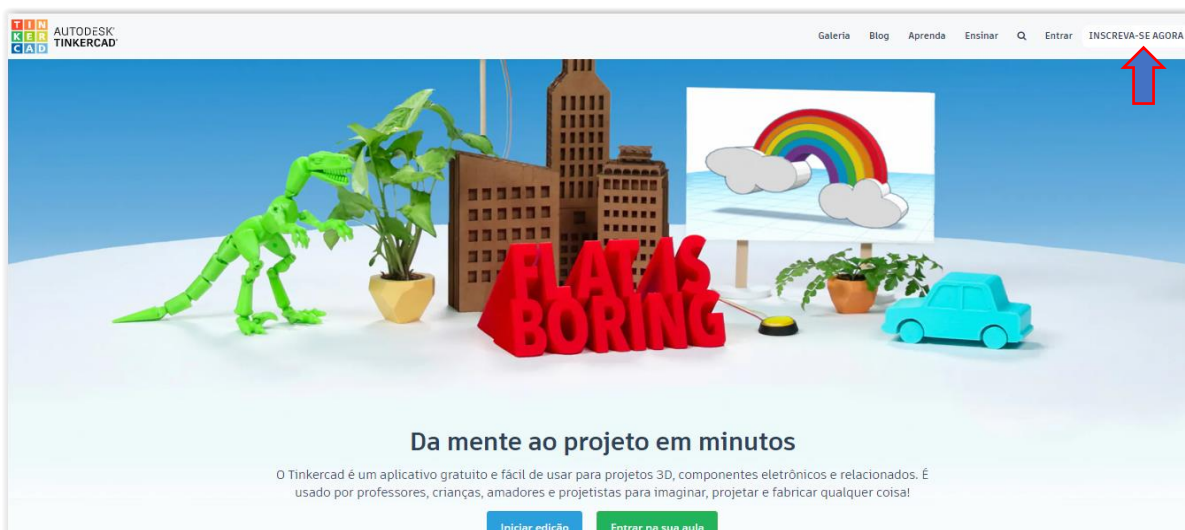
É uma ferramenta que pode auxiliar na construção de protótipos que sejam feitos antecipadamente, antecedendo a construção estrutural de determinados instrumentos que podem ser usualmente aproveitados, tendo como exemplo diversas modelagens abordadas no próprio site: <https://www.tinkercad.com/>. Contudo, entenderemos a sua funcionalidade, onde apresentam intuitivamente o seu mecanismo, para tanto, temos que definir alguns itens do sistema que é apresentado.

Tinkercad é uma ferramenta gratuita e on-line, onde podem ser criados modelos em 2D ou 3D, sendo que o usuário pode desenvolver o seu próprio projeto de forma simples, considerando que em minutos o projeto ficará construído; nele também podemos pode-se uma variação geométricas.

Os recursos apresentados *Tinkercad* são suficientes para modelagem e, inclusive, para impressão em 3D, podendo visualizar os projetos tridimensionalmente, apresentando as formas geométricas, tipo esféricas, caixas, textos, números, conectores, pois todos estão disponíveis nesta plataforma. Um outro ponto interessante é a possibilidade de *baixar* os códigos para acessar a placa Arduino. A seguir, apresentaremos os passos para a utilização do *Tinkercad*.

Ao acessar a página <https://www.tinkercad.com/>, deve-se criar o seu usuário, como mostramos a seguir:

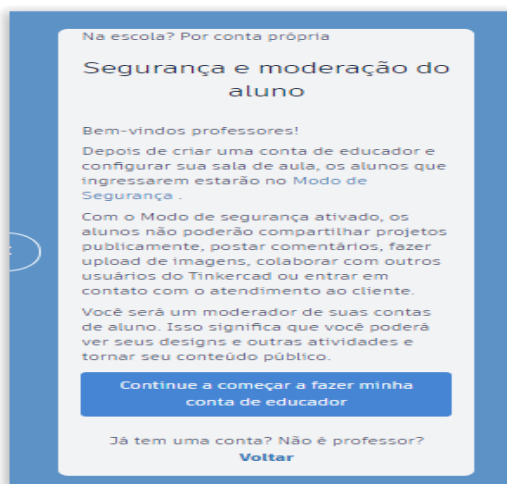
1. Clicar em “Inscreva-se agora”;



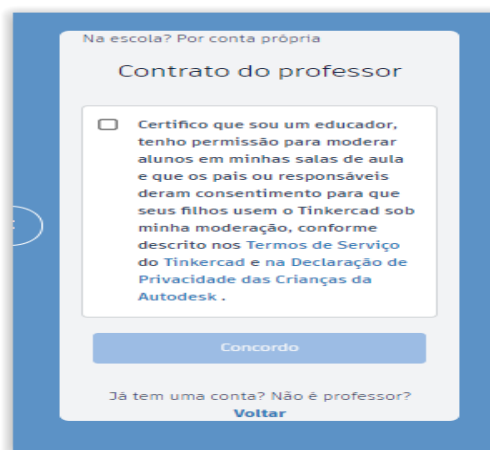
2. Deve-se escolher ao iniciar a edição, podendo ser “Na escola?”, que apresentam dois itens, sendo “Os educadores aqui” ou “Alunos, entrem em uma turma”, contudo, pode ser “por conta própria”, e nele o usuário pode clicar em “Criar uma conta pessoal”;



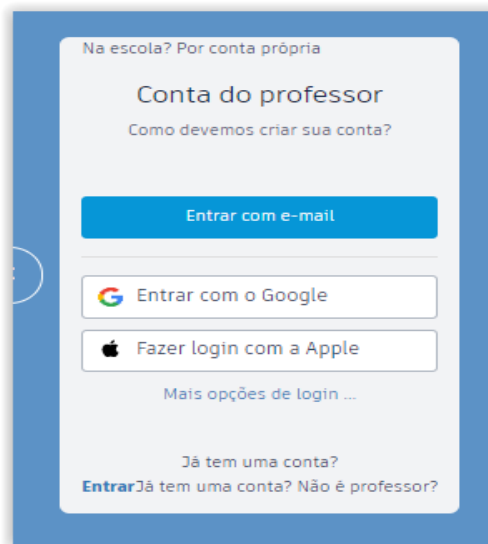
3. Como educador, você pode construir uma sala, neste ponto o usuário, pode clicar em “Continue a começar a fazer minha conta de educador”;



4. Na sequência a janela que virá é só marcar no certificado e concordar;



5. Na janela seguinte, é possível que possa entrar com seu e-mail, conta google ou Apple;



6. Para criar a sua conta usando o e-mail, deve-se preencher o que se pede;
7. Saia e entre novamente, acessando a aba no lado esquerdo, clique em “Circuitos”, depois clique em “Criar novo circuito”;
8. Depois que entrar, tem uma aba do lado direito que estão disposto todos os componentes eletrônicos, nele podem ser arrastados e construído os projetos, logo a cima da aba, tem “código”, “iniciar simulação” e “exportar”;

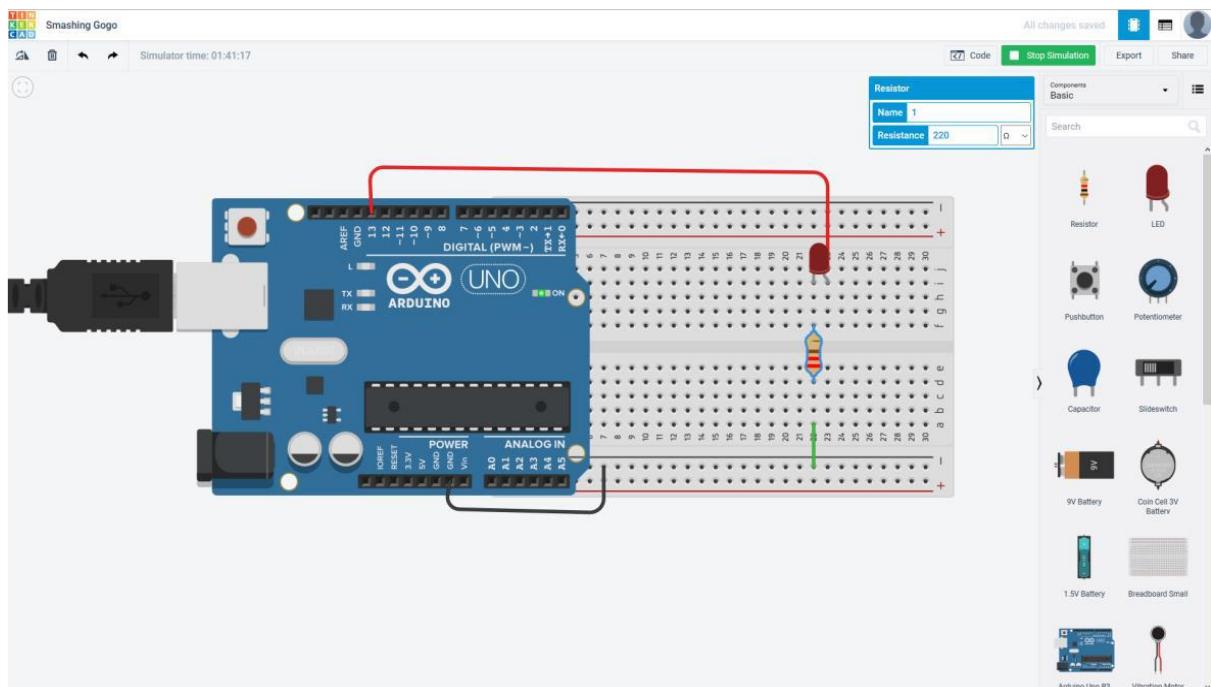


Figura B27 - Os componentes eletrônicos do Tinkercad para serem aplicado na placa Arduino.

O importante desta ferramenta é que possui propriedades pertinentes ao projeto assim correspondido, para exemplificarmos, podemos ver a caixa de propriedade de resistor sendo usado no circuito representado, permitindo assim, alterar nomes dos componentes, valores de resistências e até unidades de medidas.

A disponibilização destes componentes é integrada a placa Arduino (Versão UNO), com

um ambiente de programação (IDE), para blocos e texto. Apresenta também uma depuração aos códigos e traz um monitor serial na versão original, tornando essa ferramenta um excelente estudo, aplicação e simulação para prototipagem de projetos.

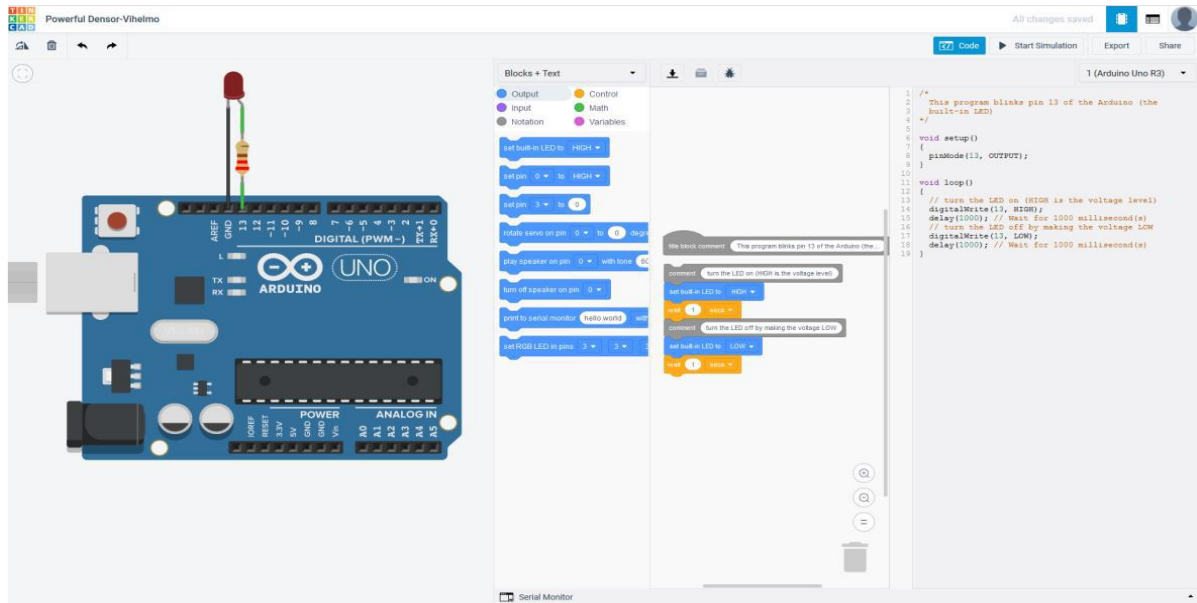


Figura B28 - Ambiente para programação no Tinkercad para Arduino.

Com essa ferramenta simples e gratuita, otimizando a forma de começar modelagens em 3D, principalmente. Na compreensão de entendimento dessa sequência e utilização das noções básicas, vale ressaltar que não é necessário baixar arquivos, mas terá que ter uma internet para que tenham acesso a página *Tinkercad*.

Entretanto, serão abordados três experimentos, sendo que o primeiro não utilizará o *Tinkercad*, então, os dois restantes utilizarão a plataforma mencionado. Segue os experimentos, para que possamos entender o Efeito Fotoelétrico de forma didática e diferenciada.