

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

PPGEF
ensino de física

Jeremias Borges da Silva
André Maurício Brinatti
André Vitor Chaves de Andrade
Sílvio Luiz Rutz da Silva
(organizadores)

**ROMEU NUNES DE FREITAS
ANDRÉ MAURÍCIO BRINATTI
JEREMIAS BORGES DA SILVA**

volume 13

**O Fóton em Foco: Relações entre Cor,
Frequência e Energia de Radiações
Eletromagnéticas**

SÉRIE
Produtos Educacionais em Ensino de Física

UEPG - PROEX

SÉRIE

Produtos Educacionais em Ensino de Física

Volume 13

ROMEU NUNES DE FREITAS

ANDRÉ MAURÍCIO BRINATTI

JEREMIAS BORGES DA SILVA

**O Fóton em Foco: Relações entre Cor,
Frequência e Energia de Radiações
Eletromagnéticas**

Jeremias Borges da Silva
André Maurício Brinatti
André Vitor Chaves de Andrade
Silvio Luiz Rutz Da Silva
(ORGANIZADORES)

UEPG – PROEX

1a. Edição

Ponta Grossa – PR

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA

Prof. Dr. Carlos Luciano Sant'Ana Vargas
REITOR

Profa. Dra. Gisele Alves de Sá Quimelli
VICE-REITOR

Profa. Dra. Marilisa Do Rocio Oliveira
PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO E ASSUNTOS CULTURAIS

Profa. Dra. Osnara Maria Mongruel Gomes
PRÓ-REITOR DE PESQUISA E PÓSGRADUAÇÃO

PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MNPEF - POLO 35 – UEPG
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Colegiado

Prof. Dr. Jeremias Borges Da Silva (Coordenador)

Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva (*Vice-Coodenador*)

Prof. Dr. André Maurício Brinatti

Prof. Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes

Prof. Dr. Paulo César Facin

Aluno (*Rep. Discente*)

Suplentes

Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade

Prof. Dr. Júlio Flemming Neto

SÉRIE:

PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA

CONSELHO EDITORIAL DA SÉRIE

Prof. Dr. Alexandre Camilo Junior (UEPG)

Prof. Dr. André Maurício Brinatti (UEPG)

Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade (UEPG)

Prof. Dr. Antonio Sérgio Magalhães de Castro (UEPG)

Prof. Dr. Gelson Biscaia de Souza (UEPG)

Prof. Dr. Jeremias Borges Da Silva (UEPG)

Prof. Dr. Júlio Flemming Neto (UEPG)

Prof. Dr. Luiz Américo Alves Pereira (UEPG)

Prof. Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes (UEPG)

Prof. Dr. Marcelo Emilio (UEPG)

Prof. Dr. Paulo Cesar Facin (UEPG)

Prof. Dr. Fabio Augusto Meira Cássaro (UEPG)

Prof. Dr. Luiz Fernando Pires (UEPG)

Prof. Dr. Sérgio da Costa Saab (UEPG)

Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva (UEPG)

Prof. Dr. Gerson Kniphoff da Cruz (UEPG)

Profa. Dra. Josie Agatha Parrilha da Silva (UEPG)

Prof. Dr. Adriano Reinaldo Viçoto Benvenho (UFABC)

Prof. Dr. Awdry Feisser Miquelin (UTFPR)

Prof. Dr. Carlos Alberto de Oliveira Magalhães Jr (UEM)

Profa. Dra. Cleci Werner da Rosa (UPF)

Prof. Dr. José Ricardo Galvão (UTFPR)

Prof. Dr. Hércules Alves de Oliveira Jr. (UTFPR)

Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo (UFMT)

Prof. Dr. João Amadeus Pereira Alves (UTFPR)

Prof. Dr. Marco Antonio Moreira (UFRGS)

Prof. Dr. Marcos Antonio Florczak (UTFPR)

Profa. Dra. Sandra Mara Domiciano (UTFPR)

Profa. Dra. Sani de Carvalho Rutz da Silva (UTFPR)

SÉRIE

Produtos Educacionais em Ensino de Física

Volume 13

ROMEU NUNES DE FREITAS

ANDRÉ MAURÍCIO BRINATTI

JEREMIAS BORGES DA SILVA

**O Fóton em Foco: Relações entre Cor,
Frequência e Energia de Radiações
Eletromagnéticas**

Jeremias Borges da Silva
André Maurício Brinatti
André Vitor Chaves de Andrade
Silvio Luiz Rutz Da Silva
(ORGANIZADORES)

UEPG – PROEX

1a. Edição

Ponta Grossa – PR

2018

F866f Freitas, Romeu Nunes de
O fóton em foco: relação entre cor, frequência e energia de radiações eletromagnéticas [livro eletrônico] /Romeu Nunes de Freitas, André Maurício Brinatti, Jeremias Borges da Silva. Ponta Grossa: UEPG/PROEX, 2018. (Série Produtos Educacionais em Física, v. 13).
69 p.; il.; e-book

ISBN: 978-85-63023-35-3

1. Ensino-aprendizagem. 2. Física moderna. 3. Radiações eletromagnéticas. 4. Fóton. I. Brinatti, André Maurício. II. Silva, Jeremias Borges da. III. T.

CDD: 530

Ficha Catalográfica Elaborada por Maria Luzia F. Bertholino dos Santos - CRB 9/986

Foto da capa: Arlyne Blackwell

Disponível em:

<http://www.guoguiyan.com/screen-wallpapers/70417624.html>



Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição - Não Comercial- Compartilha Igual 4.0 Internacional.

PREFÁCIO

Durante as últimas décadas, no Brasil se tem conseguido avanços significativos em relação a alfabetização científica, em especial na área do Ensino de Física, nos diversos níveis de ensino, entretanto continua pendente o desafio de melhorar a qualidade da Educação em Ciências. Buscando superar tal desafio a Sociedade Brasileira de Física (SBF) implementou o Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) que se constitui em um programa nacional de pós-graduação de caráter profissional, voltado a professores de ensino médio e fundamental com ênfase principal em aspectos de conteúdos na Área de Física, resultando em uma ação que engloba diferentes capacidades apresentadas por diversas Instituições de Ensino Superior (IES) distribuídas em todas as regiões do País.

O objetivo do MNPEF é capacitar em nível de mestrado uma fração muito grande de professores da Educação Básica quanto ao domínio de conteúdos de Física e de técnicas atuais de ensino para aplicação em sala de aula como, por exemplo, estratégias que utilizam recursos de mídia eletrônica, tecnológicos e/ou computacionais para motivação, informação, experimentação e demonstrações de diferentes fenômenos físicos.

A abrangência do MNPEF é nacional e universal, ou seja, está presente em todas as regiões do País, sejam elas localizadas em capitais ou estejam afastadas dos grandes centros. Fica então clara a necessidade da colaboração de recursos humanos com formação adequada localizados em diferentes IES. Para tanto, o MNPEF está organizado em Polos Regionais, hospedados por alguma IES, onde ocorrerem as orientações das dissertações e são ministradas as disciplinas do currículo.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa, por meio de um grupo de professores do Departamento de Física, faz parte do MNPEF desde o ano de 2014 tendo nesse período proporcionado a oportunidade de aperfeiçoamento para quarenta e cinco professores de Física da Educação Básica, sendo que desses quinze já concluíram o programa tornando-se Mestres em Ensino de Física.

A **Série Produtos Educacionais em Ensino de Física**, que ora apresentamos, consta de vários volumes que correspondem aos produtos

educacionais derivados dos projetos de dissertação de mestrado defendidos. Alguns desses volumes são constituídos de mais de um tomo.

Com essa série o MNPEF - Polo 35 - UEPG, não somente busca entregar materiais instrucionais para o Ensino de Física para professores e estudantes, mas também pretende disponibilizar informação que contribua para a identificação de fatores associados ao Ensino de Física a partir da proposição, execução, reflexão e análise de temas e de metodologias que possibilitem a compreensão do processo de ensino e aprendizagem, pelas vias do ensino e da pesquisa, resultado da formação de docentes-pesquisadores.

A série é resultado de atividade reflexiva, crítica e inovadora aplicada diretamente à atuação profissional do docente, na produção de conhecimento diretamente associado à prospecção de problemas e soluções para o ensino-aprendizagem dos conhecimentos em Física, apresentando estudos e pesquisas que se propõem com suporte teórico para que os profissionais da educação tenham condições de inovar sua prática em termos de compreensão e aplicação da ciência.

A intenção é que a **Série Produtos Educacionais em Ensino de Física** ofereça referências de propostas de Ensino de Física coerentes com as estruturas de pensamento exigidas pela ciência e pela tecnologia, pelo exemplo de suas inserções na realidade educacional, ao mesmo tempo que mostrem como se pode dar tratamento adequado à interdependência de conteúdos para a formação de visão das interconexões dos conteúdos da Física.

Prof. Dr. Jeremias Borges da Silva

Prof. Dr. André Maurício Brinatti

Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade

Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva

Organizadores

Sumário

Apresentação.....	8
1. Introdução.....	9
2. Planejamento	11
2.1 Plano de Unidade Didática	12
2.2 Aula 1: O Efeito fotoelétrico e o conceito de fóton	14
2.3 Aula 2: A fotoemissão em um LED e a cor da luz emitida	19
2.4 Aula 3: A energia dos fótons emitidos por um LED e a frequência da luz emitida	22
2.5 Aula 4: Os fótons que interagem com o fotodiodo	25
3. Textos de apoio ao professor	31
3.1 O efeito fotoelétrico e o conceito de fóton.....	32
3.2 A fotoemissão em um LED e a cor da luz emitida	38
3.3 A energia dos fótons emitidos por um LED e a frequência da luz emitida	45
3.4 Os fótons que interagem com o fotodiodo	47
4. Conjuntos experimentais.....	49
4.1 Conjunto experimental utilizado na Aula 2.....	50
4.2 Conjunto experimental utilizado na Aula 3.....	53
4.3 Roteiro experimental utilizado na Aula 3.....	57
4.4 Conjunto experimental utilizado na Aula 4.....	60
Referências	66

Apresentação

Muitos trabalhos acadêmicos sugerem propostas de ensino de Física Moderna e Contemporânea no nível médio da Educação Básica, no entanto, pode-se afirmar que trabalhar tal tema no Ensino Médio é um desafio e tanto. Frente ao desafio de abordar assuntos de Física Moderna de modo contextualizado em uma perspectiva de aprendizagem significativa, elaborou-se esta proposta de Ensino de Física cujo enfoque é a concepção de fóton e as relações de cor, frequência e energia de radiações eletromagnéticas¹.

Este material foi produzido como uma ferramenta potencial para professores de Física de modo que oferece algumas possibilidades de abordar determinados assuntos de Física Moderna no nível médio da Educação Básica.

O material didático desenvolvido está disposto em três partes que contém, respectivamente, os planejamentos relativos às quatro Aulas, textos de apoio ao professor e conjuntos experimentais. Em cada uma das Aulas propõe-se a realização de uma atividade, tais atividades são elencadas como diferentes maneiras de se realizar experimentação no Ensino de Física.

De acordo com a análise decorrente da aplicação deste Produto Educacional, em cada Plano de Aula consta a seção Momentos da Aula com dicas referentes à motivação, ao desenvolvimento, à avaliação, à síntese integradora, à avaliação e observações relacionadas a possíveis dificuldades e sugestões para contornar as mesmas.

¹ Esta proposição de trabalho foi concebida no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, portanto partes do texto podem estar reproduzidas, mesmo que reescritas na dissertação “FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA EDUCAÇÃO BÁSICA: uma abordagem experimental com ênfase em algumas interações da luz com a matéria”, decorrente da análise da aplicação deste material no Ensino Médio

1. Introdução

Segue uma breve descrição referente às ideias das aulas que compõem este produto educacional que visa a inserção de conceitos relacionados à Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

Na primeira aula: Aula 1, o assunto abordado é o efeito fotoelétrico sob uma ótica histórica desde a observação do respectivo fenômeno, as controvérsias entre as observações experimentais e as previsões teóricas da Física Clássica, até a explicação de Einstein que utilizou conceitos da Física Quântica. O fóton emitido por uma fonte de radiação eletromagnética é apontado como um pacote de energia, cujo valor de energia é proporcional à frequência da referida radiação eletromagnética.

Nesta Aula, tem-se uma sugestão de atividade na qual se utilize uma simulação computacional acompanhada de um questionário cujo objetivo é verificar que há uma relação entre os conceitos de cor, energia e frequência de uma radiação eletromagnética. Uma vez que é estabelecida a relação de que um fóton de energia E , emitido por uma fonte de radiação eletromagnética de frequência f , possui energia E proporcional à frequência f , e, que para a região visível do espectro eletromagnético, a cor da luz emitida é associada ao valor da frequência f . Então, é possível concluir que se duas fontes de luz $F1$ e $F2$ emitem cores diferentes, os fótons emitidos são tais que possuem energias $E1 \neq E2$.

Por sua vez, nos desdobramentos desenvolvidos na segunda aula: Aula 2, são explorados determinados assuntos referentes ao funcionamento do diodo emissor de luz (LED), como por exemplo, a teoria de bandas de energia nos sólidos, a condução de eletricidade em materiais semicondutores, o funcionamento de um diodo e a fotoemissão.

No item relacionado à fotoemissão, apresenta-se uma relação entre a cor da luz emitida por um LED e a energia dos fótons emitidos. A atividade sugerida nesta aula é de caráter qualitativo e consiste em duas etapas. A primeira é uma experiência mental, após uma exposição teórica que explica a emissão de fótons em um LED, realizada por meio de um questionamento referente à probabilidade de um elétron provocar a emissão de um fóton em um circuito com 4 LEDs associados em paralelo (cada um emite uma cor diferente). O objetivo desta etapa é elaborar a hipótese de que a probabilidade do elétron provocar emissão de um fóton é maior no LED que emite radiação eletromagnética de menor frequência. Na segunda etapa deve-se

verificar experimentalmente se a hipótese elaborada na primeira estava correta. No caso da hipótese levantada estiver inconsistente com a prática experimental, deve-se comparar os resultados observados com os aspectos teóricos apresentados anteriormente a fim de que haja concordância entre ambos.

Na terceira aula: Aula 3, apresenta-se um roteiro detalhado para a realização de uma atividade experimental de caráter quantitativo, cujo objetivo é determinar o valor da frequência da radiação eletromagnética emitida por um LED. O experimento consiste na montagem de um circuito em uma placa protoboard, variação da tensão elétrica em um LED, medição dos pares tensão e corrente elétricas nos terminais do LED, organização dos dados obtidos experimentalmente em uma tabela para a construção do gráfico corrente elétrica versus tensão elétrica.

Do gráfico, deve-se obter o potencial de corte para calcular o valor da frequência emitida pelo LED. Recomenda-se comparar os valores teóricos com os resultados obtidos experimentalmente para cada cor. Sugere-se que os educandos sejam organizados em grupos, de modo que em cada grupo seja calcula a frequência emitida por um LED que emite uma “cor” diferente. Recomenda-se ainda que em um dos grupos se obtenha o valor da frequência de um LED que emite infravermelho. Esta prática possibilita medir a frequência de uma radiação eletromagnética invisível ao olho humano. Com relação aos aspectos teóricos, alguns elementos trabalhados nas aulas anteriores subsidiam a realização da atividade experimental. Ao fim da prática experimental realizada na Aula 3, pode-se efetuar uma comparação entre os resultados e as observações do experimento proposto na Aula 2.

Por fim, na quarta aula: Aula 4, é descrito o funcionamento de um fotodiodo. O referido dispositivo eletrônico pode ser percorrido por uma corrente elétrica na presença de luz. Na atividade proposta, é utilizado um circuito com um sensor fotodiodo. O objetivo da atividade é identificar a região do espectro eletromagnético, cujos valores de frequência dos fótons incidentes sobre o fotodiodo são tais que o circuito é ativado.

2. Planejamento

O planejamento das ações docentes é de suma importância para que o professor organize suas ações metodológicas com relação ao que se pretende ensinar. Apresenta-se a seguir o Planejamento de Unidade Didática “o fóton em foco: relações entre cor, energia e frequência de radiações eletromagnéticas” e das Aulas 1, 2, 3 e 4, que compõem a referida unidade didática. O Plano de Unidade desenvolvido neste produto educacional direcionado ao Ensino de Física é composto por:

- Identificação – exposição do tema, da disciplina e do respectivo público alvo;
- Ementa – apresenta os assuntos mais abrangentes;
- Objetivos gerais – relaciona as concepções que se pretende a contemplação por parte dos educandos ao longo das aulas;
- Conteúdo programático – são os conceitos e que se pretende trabalhar na sequência didática;
- Método – indica como as aulas serão desenvolvidas;
- Avaliação – aponta os critérios de investigação para identificar a ocorrência de aprendizagem com relação aos objetivos específicos propostos.

O planejamento das aulas que compõem a unidade didática contém:

- Carga horária – o tempo previsto para a realização de cada Aula;
- Assunto – relativo ao conteúdo programático;
- Competências e habilidades – são relacionadas às atitudes aprendidas e desenvolvidas por parte dos educandos;
- Objetivos específicos – referem-se a ações verificáveis dos educandos relacionadas à aprendizagem do assunto abordado;
- Momentos da Aula – motivação, é a etapa que em procura-se despertar interesse nos educandos com relação ao assunto proposto. Desenvolvimento, refere-se às ações adotadas pelo professor após a motivação. E, síntese integradora, é o momento em que se investiga a aprendizagem dos conceitos trabalhados;
- Avaliação – aponta os critérios de investigação para identificar a ocorrência a aprendizagem em cada aula.

O planejamento foi efetuado a partir das teorias da aprendizagem significativa de Ausubel e da Mediação de Vygotsky, conforme apresentado por Moreira [1].

2.1 Plano de Unidade Didática

Identificação

Unidade: O fóton em foco: relações entre cor, energia e frequência de radiações eletromagnéticas.

Disciplina: Física, segunda série do nível médio da Educação Básica.

Carga Horária: 8 horas-aula.

Ementa

Abordagem do conceito de fóton sob quatro perspectivas: efeito fotoelétrico, funcionamento de um diodo emissor de luz (LED), frequência da radiação emitida por um LED, funcionamento de um fotodiodo.

Objetivos Gerais:

- Compreender conceitos e teorias que abrangem assuntos relacionados à Luz, suas aplicações na abordagem de fenômenos naturais e de dispositivos tecnológicos;
- Perceber a relação da energia de uma onda luminosa com a sua frequência sob o ponto de vista da ideia de fóton;
- Estabelecer conexões entre a energia, a frequência, o comprimento de onda e a cor da luz;
- Relacionar as contribuições e aplicações dos conhecimentos científicos à tecnologia.

Conteúdo Programático

- O efeito fotoelétrico e o conceito de fóton;
- A fotoemissão em um LED e a cor da luz emitida;
- A frequência da luz emitida por um LED;
- Infravermelho, visível e ultravioleta – os fótons que interagem com o fotodiodo.

Método

Aulas teóricas e experimentais, dialogadas, com a utilização de vários meios como recursos didáticos, tais como: lousa, conjuntos experimentais, computador, simulação computacional etc.

Avaliação

Avaliação do processo de ensino e aprendizagem:

Avaliação de forma contínua, cumulativa e sistemática da situação de aprendizagem dos educandos;

Verificar o domínio da aprendizagem dos educandos com relação aos conceitos novos trabalhados nas aulas;

Indicar os efeitos do método utilizado;

Verificar se os objetivos gerais (Plano de Unidade) e específicos (Planos de Aulas) propostos foram alcançados;

Instrumentos de avaliação:

Avaliação escrita: questionários, anotações relativas às atividades experimentais, formulação e sistematização de hipóteses relativas à investigação de situações problema propostas;

Avaliação oral: de modo mais geral e abrangente, está prevista nos momentos de síntese integradora da cada aula. Acontecerá por meio de questionamentos referentes aos objetivos específicos, no caso de ocorrência de erros conceituais, recomenda-se, o diálogo com toda a turma no sentido de resgatar os detalhes teóricos vistos anteriormente e conciliá-los com as observações desenvolvidas nas aulas;

Resolução de situações problemas;

Execução de atividades experimentais.

Observação: segue uma lista de conceitos prévios como requisitos para abordar as aulas constituintes desta unidade didática

- Ondas eletromagnéticas;
- A luz como uma onda eletromagnética;
- Elementos de uma onda: amplitude, período, frequência, comprimento e velocidade de propagação;
- A relação entre cor e a frequência de uma radiação eletromagnética;
- Espectro eletromagnético e as regiões correspondente ao infravermelho, ao visível e ao ultravioleta.

No caso da falta parcial, ou completa dos conceitos prévios citados, recomenda-se que o professor use duas horas-aula para introduzi-los.

2.2 Aula 1: O Efeito fotoelétrico e o conceito de fóton

Carga Horária

Duas horas-aula (100 min)

Assunto

Conceituação de fóton a partir do efeito fotoelétrico.

Competências e Habilidades

- Relacionar os desdobramentos históricos referentes ao efeito fotoelétrico e à concepção de fóton;
- Identificar as grandezas físicas relacionadas ao efeito fotoelétrico;
- Utilizar linguagem simbólica (esquemas, gráficos e expressões matemáticas), na interpretação do efeito fotoelétrico;
- Analisar cientificamente o efeito fotoelétrico por meio de simulação computacional relacionada ao fenômeno físico.

Objetivos Específicos

- Descrever o fóton emitido por uma fonte de radiação eletromagnética como uma partícula com energia proporcional à frequência da referida radiação;
- Explicar que no efeito fotoelétrico, a ocorrência de ejeção de elétrons depende da frequência da luz incidente sobre a superfície metálica;
- Comentar que quanto maior for a intensidade da luz incidente sobre uma superfície metálica, maior será o número de elétrons ejetados pela superfície metálica;
- Citar que quando um fóton colide com um elétron, este transfere toda a sua energia para o elétron, parte da energia é utilizada para que ocorra a emissão (função trabalho) e outra parte é convertida em energia cinética.

Meios

Lousa e giz, datashow, computador, simulação computacional do efeito fotoelétrico [2] e questionário.

Momentos da Aula

Motivação

Questionar aos educandos:

- Vocês sabem explicar como a lâmpada de um poste acende automaticamente quando anoitece? Ou como as lâmpadas dos postes se apagam quando amanhece?

Prováveis respostas baseadas na aplicação deste produto:

- Isso deve ter algo relacionado com a luz;
- A lâmpada do poste desligar quando amanhece devido ao aumento da intensidade luminosa sobre um sensor específico no poste;
- Ocorre devido à variação de intensidade luminosa sobre um componente eletrônico denominado LDR, do inglês, light dependent resistor – resistor dependente de luz;
- Este fato é relacionado ao efeito fotoelétrico.

Fala do professor: para compreender este e outros fenômenos relacionados às interações da luz com a matéria introduziremos o conceito de fóton a partir do efeito fotoelétrico.

Desenvolvimento

Explicar, de modo dialogado, o efeito fotoelétrico e o conceito de fóton de acordo com a seção 3.1, deste material:

- Abordar o efeito fotoelétrico como a ejeção de elétrons de uma superfície metálica devido à incidência de radiação eletromagnética sobre a referida superfície;
- Discutir o desdobramento histórico relacionado ao efeito fotoelétrico;
- Apresentar os paradigmas relacionados ao experimento do efeito fotoelétrico e as previsões da Física Clássica;
- Expor a luz como um feixe de partículas (os fótons).
- Apresentar o fóton, como um pacote que transporta certa quantidade definida de energia definida pela expressão $E = hf$;
- Abordar a transferência de energia do fóton para o elétron: parte da energia absorvida pelo elétron é utilizada para que ocorra a ejeção (função trabalho) e outra parte da energia é convertida em energia cinética ($hf = \Phi + E_c$)

Síntese Integradora

Utilizar a simulação Efeito Foto Elétrico [2], aliada ao questionário disposto neste Plano de Aula. A simulação permite explorar principalmente as variações da frequência e da intensidade luminosa. Portanto, na utilização da simulação deve-se variar a frequência e a intensidade da luz incidente sobre a superfície metálica.

- Abram o aplicativo Efeito Fotoelétrico, varie os parâmetros intensidade (%) e comprimento de onda (nm), para responder ao questionário. Notem que a frequência de uma onda é inversamente proporcional ao respectivo comprimento de onda.

Após a resolução do questionário o professor fará a correção do mesmo da seguinte forma: citará uma pergunta do questionário obedecendo a ordem numérica das questões, em seguida solicitará a resposta da referida questão por parte dos educandos em forma oral, após a resposta dos educandos o professor deverá perceber se a resposta está correta, neste caso poderá complementar a resposta de acordo com a solução comentada disponível no Apêndice A. No caso da ocorrência de erro – isto o professor poderá identificar ao indagar se alguém respondeu algo diferente – o professor deverá conduzir o raciocínio com finalidade de resgatar elementos teóricos discutidos na aula em conjunto com a simulação usadas na aula. Este procedimento deverá ser efetuado até a última questão.

Avaliação

A simulação deve ser utilizada em conjunto com o questionário como meio para verificar se os objetivos propostos foram contemplados. Ocorrerá avaliação na forma escrita por meio do questionário utilizado na síntese integradora. A avaliação oral acontecerá de acordo com as respostas dos educandos na correção do respectivo questionário utilizado na síntese integradora. Caso as respostas discordem dos objetivos previstos, a utilização da simulação deve subsidiar o professor à adequação das respostas por parte dos educandos.

Observações, Possíveis Dificuldades e Sugestões

Síntese: no caso de não haver computadores suficientes para que os educandos interajam com a simulação, pode-se optar por uma das estratégias:

- O professor pode efetuar a simulação em um computador conectado a um multimídia;

- Em último caso, pode solicitar que os educandos realizem (segundo a disponibilidade de cada um) a atividade que envolve a resolução do questionário e a interação com a simulação computacional como tarefa extraclasse. Sendo esta opção escolhida, recomenda-se que o professor efetue a correção do questionário com a turma na próxima aula.

Questionário: Com relação aos conceitos discutidos em aula, e, das observações realizadas na simulação do efeito fotoelétrico, responda as questões que seguem.

1. A energia do fóton incidente é relacionada:
() à intensidade da luz incidente;
() à frequência da luz incidente.
2. A cor da luz, independentemente do meio, é relacionada:
() à intensidade da luz incidente;
() à frequência da luz incidente.
3. Para o espectro visível, a energia do fóton incidente é relacionada:
() à amplitude da onda eletromagnética;
() à cor da luz.
4. Com relação à ejeção de elétrons de uma superfície metálica devido ao efeito fotoelétrico, a intensidade da luz influencia:
() no número de elétrons ejetados;
() na velocidade dos elétrons ejetados.
5. Quando um fóton colide com um elétron, o fóton transfere:
() toda a sua energia para o elétron;
() parte de sua energia para o elétron;
() nenhuma energia para o elétron.
6. A energia que o elétron precisa receber para que seja ejetado da superfície metálica é denominada:
() Função Trabalho;
() Energia Cinética.
7. Um elétron recebeu energia superior à necessária para que fosse ejetado, a esse excesso de energia denomina-se:
() Função Trabalho;
() Energia Cinética.

Solução comentada do questionário utilizado na Aula 1

1. A energia do fóton incidente é relacionada:
 - à intensidade da luz incidente;
 - à frequência da luz incidente.

A energia do fóton é definida por $E = hf$, em que f é a frequência da luz incidente.

2. A cor da luz, independentemente do meio, é relacionada:
 - à intensidade da luz incidente;
 - à frequência da luz incidente.

Se a luz se propaga num meio cujo índice de refração é $n > 1$, da expressão $n = \frac{c}{v}$, tem-se que $v < c$, como $v = \lambda f$, o comprimento de onda da luz neste meio é menor do que quando a luz se propaga no vácuo ($n = 1$), a grandeza que permanece inalterada é a frequência, que indica o número de oscilações da onda por unidade de tempo independentemente do meio em que a luz se propaga. Portanto, pode-se relacionar a cor da luz à frequência, pois esta não depende do meio.

3. Para o espectro visível, a energia do fóton incidente é relacionada:
 - à amplitude da onda eletromagnética;
 - à cor da luz.

A cor da luz depende de sua frequência, como $E = hf$, para o espectro visível a energia do fóton é relacionada à cor da luz incidente.

4. Com relação à ejeção de elétrons de uma superfície metálica devido ao efeito fotoelétrico, a intensidade da luz influencia:
 - no número de elétrons ejetados;
 - na velocidade dos elétrons ejetados.

Quanto maior a intensidade da luz emitida por uma fonte, mais fótons são emitidos. Logo, quanto mais fótons colidirem contra elétrons na superfície da placa, mais elétrons são ejetados.

5. Quando um fóton colide com um elétron, o fóton transfere:
 - toda a sua energia para o elétron;
 - parte de sua energia para o elétron;
 - nenhuma energia para o elétron.

Quando um fóton colide com um elétron, este transfere toda a sua energia para o elétron.

6. A energia que o elétron precisa receber para que seja ejetado da superfície metálica é denominada:
 - Função Trabalho;
 - Energia Cinética.

Parte da energia recebida é utilizada para que ocorra a emissão, a esta parcela de energia denomina-se função trabalho.

7. Um elétron recebeu energia superior à necessária para que fosse ejetado, a esse excesso de energia denomina-se.
 - Função Trabalho;
 - Energia Cinética.

Quando ocorre ejeção de elétrons, parte da energia absorvida é atribuída à função trabalho e o restante é convertido em Energia Cinética.

2.3 Aula 2: A fotoemissão em um LED e a cor da luz emitida

Carga Horária

02 horas-aula (100 min)

Assunto

Funcionamento do Diodo Emissor de Luz.

Competências e Habilidades

- Desenvolver a capacidade de investigação científica, levando os educandos, de forma qualitativa, a classificar, organizar, sistematizar observações referentes ao fenômeno físico investigado;
- Identificar parâmetros relevantes, a compreensão e utilização de leis e teorias físicas;
- A investigação de situações-problema.

Objetivos Específicos

- Explicar a condução de corrente elétrica por um LED;
- Relacionar a cor da luz emitida pelo LED com a energia dos fótons emitidos.

Meios

Lousa e giz e conjunto experimental da Aula 2, disponível na seção 4.1.

Momentos da Aula

Motivação

Diálogo entre professor e educandos com questões e prováveis respostas baseadas na aplicação deste Produto:

Professor: Vocês podem citar exemplos de equipamentos nos quais os LEDs estão presentes? Quais?

Educandos: Semáforos de trânsito, automóveis, lâmpadas, celulares, câmeras fotográficas, TVs e lanternas.

Professor: Já vimos na aula passada que a luz pode ser considerada como um feixe de fótons, sabemos que os fótons possuem energia proporcional à frequência da luz emitida. No caso dos LEDs, como eles funcionam?

Educandos: Funciona como uma lâmpada qualquer.

Professor: Há alguma relação dos fótons estudados na aula anterior com a luz emitida por um LED?

Educandos: Não. Não sei. Sim. Talvez. Creio que sim, pois os LEDs podem emitir diferentes cores, então a frequência e a energia dos fótons emitidos também poderão ser diferentes.

Desenvolvimento

Explicar a fotoemissão em um LED e a cor da luz emitida de acordo com a seção 3.2, deste material:

- Apresentar do diodo emissor de luz;
- Discutir a respeito das bandas de energias em sólidos;
- Conceituar materiais isolantes, condutores e semicondutores com relação às bandas de energias;
- Explanar a condução de eletricidade nos materiais semicondutores e as polarizações em uma junção pn;
- Explicar a fotoemissão em um LED;
- Estabelecer uma relação entre a cor da luz emitida, a energia dos fótons emitidos e a largura de GAP do LED.

Síntese Integradora

Este momento da aula consiste em uma atividade experimental que deve ser efetuada em duas etapas. Para cada etapa os educandos devem ser organizados em grupos, sugere-se cinco grupos. Toda a discussão deve ser efetuada em grupo durante as duas etapas.

Primeira: Experiência Mental

- Quatro LEDs – cada um pode emitir um tom de luz: vermelho, laranja, verde e azul – são ligados em paralelo, todos alimentados pela mesma bateria.
- Considere um elétron qualquer com energia suficiente para provocar a emissão de um fóton em qualquer um dos LEDs mencionados. Ao ser conduzido pelo circuito o elétron apresentará maior probabilidade de provocar a emissão de um fóton em qual LED? _____. Justifique sua resposta!
- Qual LED apresentará maior intensidade luminosa? _____. Por quê?

Segunda: Teste com o circuito (O tutorial para a montagem do circuito está disponibilizado na seção 4.1)

- Ao efetuarem os testes com o circuito, verifiquem se as hipóteses levantadas antes do experimento estão corretas. No caso de as hipóteses levantadas estiverem incompatíveis com a observação experimental confrontem as observações experimentais com os aspectos teóricos apresentados nas aulas.
- Dica: Pense na relação entre a cor e a energia do fóton emitido.

Após a realização das duas etapas, deve-se efetuar uma discussão com a turma toda a fim de comparar as conclusões obtidas em cada grupo. Para efetuar o levantamento das respostas, o professor poderá perguntar: quais foram os aspectos relevantes observados com o experimento em relação às perguntas na etapa anterior aos testes? As respostas-hipótese elaboradas na etapa mental concordaram com as observações experimentais?

Conclusão esperada: Quanto maior a frequência da luz emitida pelo LED, maior é a energia necessária para a emissão de luz, neste caso menos provável será a emissão de um fóton.

Na ocorrência de respostas equivocadas após a realização da atividade, é necessário o diálogo conciliar elementos teóricos vistos anteriormente que concordem com as observações experimentais,

Avaliação

As duas etapas da atividade experimental proposta na síntese integradora servem como meio para verificar o alcance dos objetivos propostos. Ocorrerá avaliação na forma escrita por meio das anotações referentes aos questionamentos propostos na etapa da experiência mental, e, por meio das modificações das mesmas após a observação experimental realizada na segunda etapa. A avaliação oral acontecerá de acordo com as respostas dos educandos no levantamento das mesmas após a realização da atividade proposta.

Observações, Possíveis Dificuldades e Sugestões

Síntese: durante a montagem dos circuitos, deve-se orientar a turma para não conectar os terminais dos LEDs diretamente, isto é, sem o resistor, aos polos da bateria, a fim de que os LEDs não sejam queimados. Recomenda-se ainda que o professor leve consigo alguns LEDs extras para viabilizar a continuidade da prática no caso de alguns queimarem durante a manipulação do circuito por parte dos educandos.

2.4 Aula 3: A energia dos fótons emitidos por um LED e a frequência da luz emitida

Carga Horária

02 horas-aula (100 min)

Assunto

Determinação da frequência emitida por um LED.

Competências e Habilidades

- Desenvolver a capacidade de investigação científica, levando os educandos, de forma quantitativa, a classificar, organizar, sistematizar dados referentes à grandeza física investigada;
- Efetuar medidas de corrente elétrica e diferença de potencial elétrico;
- Analisar e interpretar gráficos;
- Comparar resultados experimentais com previsões teóricas.

Objetivos Específicos

- Coletar dados experimentais (pares de corrente e tensão nos terminais dos LEDs).
- Obter graficamente (corrente versus tensão) o potencial elétrico de corte nos LEDs infravermelho, vermelho, azul e violeta;
- Calcular frequências emitida pelos LEDs infravermelho, vermelho, azul e violeta, a partir dos valores dos potenciais de corte e da constante de Planck.

Meios

Lousa e giz, datashow, computador, software de planilha eletrônica (como por exemplo, o Libre Office), conjunto experimental da Aula 3, disponível na seção 4.2, e roteiro experimental para o professor, disponível na seção 4.3.

Momentos da Aula

Motivação

Abrir a aula com a fala: “no experimento da aula anterior, verificamos que a cor da luz emitida pelo LED depende da frequência dos fótons emitidos”.

Neste momento deve-se efetuar a retomada dos conceitos trabalhados nas aulas anteriores. A retomada poderá ser efetuada por meio de perguntas como:

- Como é definida a energia do fóton emitido por um LED?
- Do ponto de vista energético, o que se pode afirmar a respeito da largura de banda proibida de um LED?

Prováveis respostas dos educandos:

- $E = hf$;
- Quanto mais larga a banda proibida de um LED, maior será a energia necessária para que um elétron ao ser conduzido pelo LED provoque a emissão de um fóton;
- Quanto maior for a largura da banda proibida, maior será a energia dos fótons emitidos pelo LED;
- Quanto maior for a energia dos fótons emitidos maior será a frequência a luz emitida pelo LED.

Continuar a fala: nesta aula vamos verificar experimentalmente o valor da frequência da luz emitida pelos LEDs a partir da definição de energia de um fóton.

Desenvolvimento

Explicar a energia dos fótons emitidos por um LED e a frequência da luz emitida de acordo com a seção 3.3, deste material.

Iniciar o procedimento experimental de acordo com a seção 4.3 deste material:

- Organizar os educandos em grupos, cada grupo receberá um conjunto experimental com um LED que emite infravermelho, vermelho, azul ou violeta;
- Montar o circuito na placa protoboard;
- Com o circuito ligado, variar a resistência no potenciômetro para e coletar pares de tensões e das respectivas correntes no LED;
- A partir dos dados coletados, construir o gráfico corrente versus tensão. Do gráfico deve-se obter o potencial de corte do referido LED;
- Calcular o valor da frequência da luz emitida pelo LED.
- Apresentar os resultados da prática experimental.
- Discutir os resultados da prática experimental.

Nota: o professor pode escolher montar os circuitos com os educandos, ou levar os circuitos já montados. Esta escolha depende do conhecimento da realidade escolar à qual a Aula será desenvolvida. No entanto, recomenda-se que o professor construa os gráficos após a coleta de dados. Para isso, sugere-se que a primeira hora-aula

utilizada seja concluída até o término da coleta de dados. Deste modo, na segunda hora-aula, o professor poderá levar os gráficos impressos e efetuar a distribuição dos mesmos de acordo com a organização dos grupos, isto é, cada gráfico deverá ser entregue ao grupo que realizou as medidas relativas à construção do mesmo.

Síntese Integradora

Comparar os valores obtidos com os valores teóricos relacionados no Quadro 3.1 da seção 3.1, deste material. Da comparação dos valores obtidos por cada grupo, deve-se retomar as ideias discutidas na motivação da aula, principalmente no quesito de efetuar a observação de que as frequências calculadas apresentam valores na ordem crescente do infravermelho ao violeta.

Avaliação

Ocorrerá avaliação na forma escrita por meio da coleta de dados experimentais para a construção do gráfico, da obtenção do potencial de corte do LED utilizado através do gráfico construído e do cálculo da frequência da luz emitida pelo LED utilizado. Ocorrerá avaliação na forma oral de acordo com as observações apontadas pelos educandos na síntese integradora em decorrência da análise dos resultados da atividade experimental.

Observações, Possíveis Dificuldades e Sugestões

Desenvolvimento: Se o professor optar pela montagem do circuito por parte dos educandos, é provável que alguns demonstrem certa dificuldade nas etapas do referido procedimento. O professor pode comprometer o tempo de aula ao dedicar-se à orientação individualizada em cada grupo, haja vista que algumas dificuldades detectadas em determinado grupo podem ser reincidentes nos demais. Para não exceder o tempo de montagem do circuito, cerca de 10 minutos, recomenda-se que o professor faça algumas orientações gerais para a turma toda, conforme disposto na seção 4.3 deste material. Em seguida, sugere-se que o professor supervisione individualmente cada grupo e conforme necessário aponte ajustes na montagem do circuito.

2.5 Aula 4: Os fótons que interagem com o fotodiodo

Carga Horária

02 horas-aula (100 min)

Assunto

A comunicação entre sensor (receptor) fotodiodo e emissor infravermelho.

Competências e Habilidades

- Desenvolver a capacidade de investigação científica, levando os educandos, de forma qualitativa, a classificar, organizar, sistematizar e observação referentes ao fenômeno investigado;
- Investigar a situação problema proposta;

Objetivos Específicos

- Identificar o tipo de frequência que aciona o sensor do circuito localizado no interior de uma vela que “muda de cor”.
- Descrever o funcionamento de um sensor fotodiodo.
- Relacionar a comunicação entre TV e controle remoto ao funcionamento de um fotodiodo, a fim de que ocorra a percepção de que as aplicações deste conhecimento científico podem chegar às casas das pessoas de modo geral.

Meios

Lousa e giz, conjunto experimental da Aula 4, disponível na seção 4.4, e questionário, disponível neste Plano de Aula.

Momentos da Aula

Motivação

Acender a chama de uma vela que “muda de cor”. Em seguida, mostrar o circuito contido no interior da vela (este circuito deve ser retirado de outra vela que muda de cor). Apresentar o componente localizado no centro da parte superior do circuito: o fotodiodo. Então questionar aos educandos oralmente:

- Como este circuito é ativado?
- Será que qualquer frequência de luz pode acionar o dispositivo?

Prováveis respostas dos educandos:

- O dispositivo funciona com a luz, deve ter algo relacionado com o calor;
- Deve funcionar com frequências mais elevadas, pois a energia dos fótons é maior.

Desenvolvimento

Explicar o funcionamento de um fotodiodo de acordo com a seção 3.4 deste material:

- Expor o fotodiodo como um sensor de luz;
- Comparar o funcionamento do fotodiodo com o funcionamento de um LED;
- Expor os intervalos do espectro eletromagnético analisados na aula: infravermelho, visível e ultravioleta;
- Citar o caso do olho humano que é sensível à região visível do espectro eletromagnético.
- Questionar qual é a região do espectro eletromagnético cujas frequências acionam o circuito retirado do interior da vela?

Iniciar o procedimento experimental:

Etapa 1:

- Organizar os educandos em grupos;
- Entregar a cada grupo uma cópia do questionário relacionado à prática experimental para que os educandos possam elaborar hipóteses referentes à situação problema proposta;
- Nos grupos deve ser efetuado um levantamento de hipóteses, nesta etapa os educandos não poderão efetuar testes com o circuito.

Etapa 2:

- Cada grupo deve efetuar testes com o circuito expondo-o à luz de cada lâmpada da caixa.

Etapa 3:

- Após os testes, os educandos ainda reunidos em grupos, deverão comparar as hipóteses levantadas com as observações realizadas, sendo que as hipóteses iniciais poderão ser modificadas.

Mediação do professor: o circuito é acionado quando o fotodiodo é exposto à luz do dia, à luz a chama da vela e à luz de uma lâmpada incandescente (ou halógena). Há a possibilidade de o circuito ser acionado quando próximo das outras lâmpadas.

Nota: para os casos em que o circuito é ativado quando ocorre aproximação da lâmpada. Isto é explicado pelo fato de que além da lâmpada incandescente, as outras

lâmpadas também podem emitir radiação com frequência correspondente à necessária para o funcionamento do circuito, porém com menor intensidade.

Síntese Integradora

Perguntar quais foram as conclusões da turma, com relação ao questionamento proposto na aula frente às observações e discussões realizadas nos grupos.

Na ocorrência de respostas equivocadas após a realização da atividade, é necessário o diálogo conciliar elementos teóricos vistos anteriormente que concordem com as observações experimentais. Para isso, sugere-se que o professor desenvolva um diálogo com a turma, neste diálogo o professor faz a pergunta, então, após ouvir as respostas dos educandos, efetua-se a negociação de significados se identificada a incoerência na fala dos educandos.

Diálogo:

Professor: O circuito deve ser acionado pela luz visível? Se o sensor fosse ativado com luz visível, o que deveria acontecer com o circuito no interior da vela após ser esta ser apagada?

Resposta esperada: A radiação que ativa o circuito não deve ser visível, pois se assim fosse, ao apagar a vela o circuito não seria desativado, uma vez que a própria luz dos LEDs serviria para manter o circuito ativo.

Professor: Por que deveríamos excluir a radiação UV?

Resposta esperada: O uso de lâmpadas que emitem radiação UV em ambientes diversos (casas, escolas, hospitais etc.), poderia causar danos à saúde.

Professor: A radiação que aciona o circuito deve ser correspondente à região do infravermelho?

Teste de verificação: uma maneira de verificar tal suposição é efetuar o uso de um emissor infravermelho conhecido – o LED de um controle remoto – ao direcionar o emissor de um controle remoto comum para uma câmera de celular, podemos identificar uma luminosidade na tela do aparelho – esta corresponde à radiação do infravermelho que não é totalmente filtrada pela câmera. Ao apontar o emissor do controle remoto para o fotodiodo do circuito, quando se aperta qualquer botão do controle, o circuito é ativado.

Nota: o professor pode citar no final da aula que as lâmpadas incandescentes saíram de circulação comercial. A maior parte da energia utilizada no funcionamento de uma

lâmpada incandescente é convertida em calor (relacionado ao infravermelho), enquanto que uma pequena parcela desta energia é convertida em luz visível.

No fim da aula o professor pode questionar quais as possíveis implicações práticas de um televisor funcionar com um fotodiodo sensível à luz visível? Uma possível resposta seria que a TV não funcionaria corretamente caso uma porta janela fosse aberta, amanhecesse, alguém desligasse a lâmpada do ambiente etc.

Avaliação

Ocorrerá avaliação na forma escrita por meio da formulação de hipóteses para responder aos questionamentos propostos, e, pelas respostas finais após as observações experimentais. A avaliação oral acontecerá de acordo com as respostas dos educandos no levantamento das mesmas após a realização da atividade proposta.

Questionário:

Etapa 1: efetuem um levantamento de hipóteses fundamentadas nos conceitos estudados anteriormente para responder os questionamentos:

Como o circuito do interior da vela é ativado?

Qual região do espectro eletromagnético cujas frequências sensibilizam o sensor que aciona o referido circuito? Dica: pense nas regiões correspondentes ao infravermelho, ao visível e ao ultravioleta.

Etapa 2: Sistematizem toda a observação efetuada com o circuito e as lâmpadas (Observem as regularidades e façam comparações).

Etapa 3: Reorganizem a resposta da Atividade 1 com base na observação experimental com o circuito e as lâmpadas.

Prováveis respostas para o questionário utilizado na Aula 4

Etapa 1:

Como o circuito do interior da vela é ativado?

- O circuito precisa de luz, ou de calor para ser ativado.

Qual região do espectro eletromagnético cujas frequências sensibilizam o sensor que aciona o referido circuito?

- Infravermelho, pois tem algo relacionado com o calor liberado pela chama da vela, ou com o calor que vem do Sol até o circuito.
- Visível, pois a vela emite luz visível, assim como o Sol.
- Ultravioleta, pois os fótons com maior frequência transferem mais energia ao fotodiodo.

Etapa 2: Sistematizem toda a observação efetuada com o circuito e as lâmpadas

- Pode-se verificar que o circuito é acionado pela lâmpada incandescente.
- Há uma probabilidade de que o circuito seja acionado por quando muito perto das lâmpadas, no entanto, é menos provável que seja acionado pela luz da lâmpada LED.
- As lâmpadas que esquentam mais oferecem maior probabilidades de acionar o circuito.

Etapa 3: Reorganizem a resposta da Atividade 1 com base na observação experimental com o circuito e as lâmpadas.

- Talvez, deva ser excluída a possibilidade do visível, pois não acende quando longe da maioria das lâmpadas, mesmo que chegue luz visível ao sensor. Caso fosse visível o circuito deveria se manter ativo a partir do momento que os LEDs fossem acesos.
- Provavelmente não deva ser UV, pois só acendeu muito perto da lâmpada negra, que também esquenta, ou seja ela não emite só UV e parte do espectro visível.
- É possível que seja o infravermelho, afinal quanto mais esquenta a lâmpada, mais infravermelho ela emite, neste caso observa-se que a incandescente emite a maior parte da radiação no infravermelho, enquanto que a LED emite muito pouco nessa região do espectro.

Observações, Possíveis Dificuldades e Sugestões

Desenvolvimento: Deve-se verificar se algum educando possui celular com emissor de infravermelho. Caso isto ocorra, recomenda-se que o referido aparelho permaneça guardado durante toda a Etapa 2, para não prejudicar o andamento da mesma.

3. Textos de apoio ao professor

A seguir são apresentados alguns textos de apoio ao professor para subsidiar sua prática com relação à aplicação deste produto educacional direcionado ao Ensino de Física. Os textos contemplam os assuntos programados para as Aulas que compõem a unidade didática “O Fóton em Foco: relações entre cor, frequência e energia de radiações eletromagnéticas”.

Em primeiro lugar aborda-se o conceito de fóton a partir do efeito fotoelétrico, a respeito do mencionado fenômeno físico, são elencados: o contexto histórico; os conflitos entre a Física Clássica e o efeito fotoelétrico; a explicação quântica para o efeito fotoelétrico; e a energia cedida pelo fóton e absorvida pelo elétron.

Na sequência discorre-se a respeito do funcionamento de um diodo emissor de luz (LED), em que são explanados os conceitos referentes a: bandas de energia; condução de eletricidade nos sólidos; materiais condutores, isolantes e semicondutores; corrente elétrica em um material semicondutor; diodos; fotoemissão; e à cor da luz emitida pelo LED.

Após a discussão referente ao funcionamento de um LED, segue uma análise matemática com relação à energia dos fótons emitidos por um LED e a frequência da luz emitida, em que se destaca o procedimento para efetuar o cálculo da frequência da luz emitida por um LED por meio do potencial de corte do mesmo.

Por fim, efetua-se a exposição do sensor fotodiodo e discute-se sobre seu funcionamento com relação à região do espectro eletromagnético cujas frequências podem sensibilizar o referido componente.

Para a elaboração dos textos de apoio ao professor, efetuou-se a consulta nas seguintes referências: Halliday et al. [3], Nussenzveig [4], Tipler [5], Valadares e Moreira [6], Cavalcante e Tavolaro [7], Moura et al. [8] e Dias et al. [9].

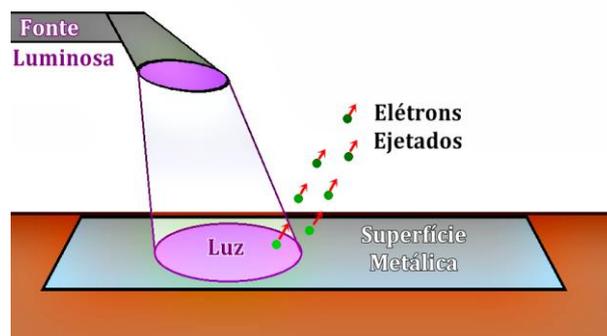
3.1 O efeito fotoelétrico e o conceito de fóton

O efeito fotoelétrico

Existem muitas aplicações tecnológicas presentes em nosso cotidiano nas quais são utilizados dispositivos que interagem com a luz. O dispositivo que liga/desliga a lâmpada de um poste, como por exemplo, funciona devido ao efeito fotoelétrico. Quando determinado tipo de radiação luminosa incide sobre uma superfície metálica, pode ocorrer ejeção de elétrons da superfície, este fenômeno está ilustrado na representação na Figura 3.1.

Tal fenômeno foi denominado de efeito fotoelétrico. Este fenômeno está presente no dia-a-dia de muitas pessoas, desde, como por exemplo, o funcionamento de portas que se abrem e se fecham automaticamente, luzes de postes que se acendem assim que anoitece.

Figura 3.1: Ilustração representativa do efeito fotoelétrico



Fonte: O Autor.

O efeito fotoelétrico não pôde ser explicado teoricamente pela Física Clássica. Em 1921 o renomado físico Albert Einstein (1879-1955), recebeu o Prêmio Nobel pela explicação satisfatória do efeito fotoelétrico sob o ponto de vista teórico da Física Quântica.

A proposição teórica da Física Quântica provocou uma série de quebras de paradigmas com a Física Clássica. A Teoria Clássica então não era satisfatória para explicar alguns fenômenos físicos, como por exemplo, o próprio efeito fotoelétrico. Havia controvérsias entre a Teoria Clássica e as observações experimentais, por isso houve a necessidade de propor outra explicação que estivesse de acordo com as observações experimentais. O fato é que a teoria clássica funciona muito bem para alguns fenômenos físicos, no entanto, para outros não, por isso, a razão de outra teoria que melhor explique tais fenômenos da Física.

O contexto histórico

Em 1872, o físico russo Alexander Stoletov (1839-1896), ao extrair ar de um pequeno frasco que continha duas placas metálicas ligadas aos terminais de uma bateria e isoladas eletricamente uma da outra, constatou uma corrente elétrica na bateria quando a luz de uma lâmpada de mercúrio atingia uma das placas. Por volta de 1860, o físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879), propôs um modelo matemático de equações que unificava leis relacionadas a fenômenos elétricos e magnéticos. As Equações de Maxwell mencionavam que se um campo elétrico variava com o tempo, este induzia um campo magnético, e, se um campo magnético variasse com o tempo, este induzia um campo elétrico. Portanto, se em determinada região do espaço forem gerados campos elétrico e magnético variáveis com o tempo, nessas condições um campo torna possível à existência do outro, com isso os campos elétrico e magnético coexistem e podem propagar-se. A propagação de campos elétrico e magnético variáveis com o tempo denomina-se de radiação eletromagnética.

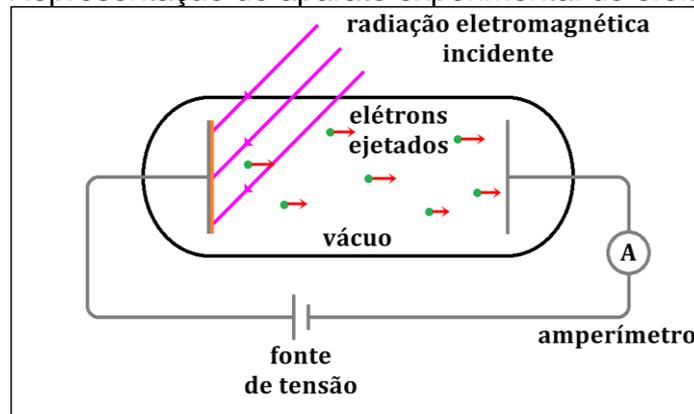
Em 1887, os físicos alemães Heinrich Hertz (1857-1894) e seu assistente Wilhelm Hallwachs (1859-1922) investigavam a natureza eletromagnética da luz de acordo com as previsões teóricas de Maxwell. Quando Hertz e Hallwachs realizavam um experimento relacionado à propagação de ondas eletromagnéticas, ocorriam descargas elétricas entre duas esferas metálicas, observou-se que o comprimento da centelha ficava maior quando uma radiação ultravioleta incidia sobre a superfície metálica da esfera ligada ao terminal negativo da bateria, esse fenômeno foi denominado de fotoeletricidade. Hallwachs propôs que ao absorver a energia da onda eletromagnética, as cargas elétricas são excitadas a ponto de escapar da superfície do metal.

A existência do elétron foi detectada em 1897, pelo físico britânico Joseph John Thomson (1856-1940). Neste mesmo ano as cargas elétricas emitidas pela superfície metálica nos fenômenos observados Stoletov e Hertz foram identificadas como elétrons. No efeito fotoelétrico, os elétrons ejetados da placa mediante a incidência de certa radiação luminosa sobre uma superfície metálica foram denominados de fotoelétrons. De acordo com a teoria clássica, os elétrons recebiam energia da luz incidente, a energia recebida para que ocorresse a emissão de elétrons da placa deveria ser proporcional à intensidade da luz, entretanto, isto não foi verificado experimentalmente.

Os conflitos entre a Física Clássica e o efeito fotoelétrico

O físico alemão Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947) fez um detalhado estudo experimental a respeito do efeito fotoelétrico, cujo aparato utilizado está ilustrado na Figura 3.2, onde o amperímetro foi utilizado para detectar o movimento dos elétrons. A placa metálica que recebeu radiação eletromagnética estava conectada ao polo positivo da bateria para que não ocorresse ejeção de elétrons devido ao campo elétrico entre as placas.

Figura 3.2: Representação do aparato experimental do efeito fotoelétrico



Fonte: O Autor.

Lenard concluiu que:

- A ejeção de elétrons ocorre a partir de determinada frequência denominada de frequência de corte.
- O valor da frequência de corte depende da substância na qual se incide a radiação eletromagnética.
- A frequência de corte da maioria dos metais corresponde à região do ultravioleta. No entanto, corresponde à região do espectro visível para alguns óxidos de cério e de potássio.
- Quando a frequência da radiação eletromagnética incidente é inferior à frequência de corte não ocorre o efeito fotoelétrico, mesmo que seja aumentada a intensidade da radiação que incide sobre a superfície metálica.
- Quando ocorre emissão, o número de fotoelétrons ejetados é proporcional à intensidade da radiação incidente.

Da análise realizada por Lenard, são apresentadas algumas contradições entre as previsões teóricas da Física Clássica e os resultados obtidos experimentalmente:

- Quanto maior a intensidade de uma onda, maior é a amplitude desta. Portanto, maior é a energia transportada pela onda. Por exemplo, uma radiação eletromagnética com intensidade suficientemente elevada teria um campo elétrico associado que exerceria uma força elétrica suficientemente intensa para remover elétrons da superfície metálica, independentemente da frequência da radiação incidente.
- Se a intensidade da radiação eletromagnética incidente fosse muito baixa, um elétron levaria muito tempo, até algumas horas ao acumular energia para ser removido. Se a intensidade da radiação eletromagnética incidente fosse mais elevada, então o elétron demoraria menos tempo ao acumular a energia necessária para que fosse ejetado da superfície metálica. Entretanto, em 1928, observou-se experimentalmente que o intervalo de tempo entre a incidência da radiação eletromagnética sobre a superfície metálica e a emissão dos fotoelétrons é da ordem de nanossegundos (10^{-9} s), independentemente se a radiação incidente fosse mais ou menos intensa.

A explicação quântica para o efeito fotoelétrico

Em 1905, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955), publicou a explicação do efeito fotoelétrico. Einstein fundamentou-se na teoria dos *quanta*, proposta em 1900, pelo físico alemão Max Planck (1858-1947). Segundo a teoria dos *quanta*, a energia é quantizada, a cada porção discreta de energia denomina-se de quantum, em que, do latim *quanta* é o plural de *quantum*. Contudo, Planck não afirmou que as radiações eletromagnéticas se propagavam em porções discretas de energia. Einstein considerou que a energia das radiações eletromagnéticas é quantizada. A radiação eletromagnética passou a ser tratada como um feixe de partículas: os *quanta*, depois de 1926, estas partículas com energias discretas foram denominadas de fótons.

Os fótons são partículas que transportam energia, mas não têm massa de repouso. Da interpretação teórica proposta por Einstein, os fótons são comparados com pacotes que transportam porções discretas de energia, e, o valor da energia E de um fóton é definido pela equação 3.1, em que f é a frequência, medida em Hz, da radiação eletromagnética, e, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s é a constante de Planck. Segundo Einstein o número de fótons emitidos é proporcional à intensidade da radiação eletromagnética que incide sobre uma superfície metálica, e, a energia de cada fóton é proporcional à frequência desta radiação,

$$E = hf. \quad 3.1$$

A energia cedida pelo fóton e absorvida pelo elétron

De acordo com a explicação de Einstein, quando um fóton interage com um elétron, o elétron absorve toda a energia do fóton, parte desta energia é utilizada para que o elétron seja ejetado da superfície metálica, a esta parcela de energia denomina-se de função trabalho, que é representada pela letra grega Phi, lê-se fi e se escreve Φ . A parcela restante da energia absorvida pelo elétron corresponde à energia cinética máxima $E_{C(Máx)}$ do fotoelétron. Do princípio da conservação da energia obtém-se a definição:

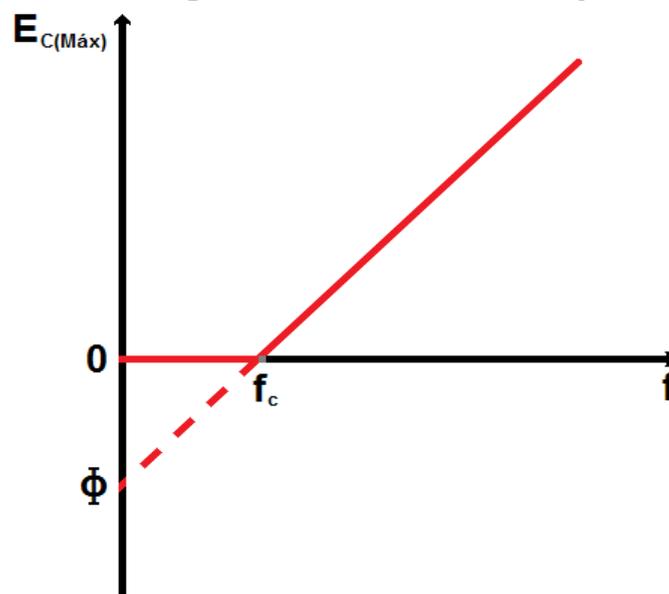
$$E = \phi + E_{C(Máx)}. \quad 3.2$$

Ao combinar as igualdades dadas pelas equações 3.1 e 3.2, tem-se que:

$$E_{C(Máx)} = hf - \Phi. \quad 3.3$$

De modo que, se $hf < \Phi$, não ocorre emissão de fotoelétrons. Nota-se que a equação 3.3 é função linear, logo da representação gráfica da energia cinética máxima $E_{C(Máx)}$ em função da frequência f obtém-se uma reta conforme indicado na Figura 3.3, em que o valor da energia cinética máxima $E_{C(Máx)}$ será superior a 0 J, se a frequência f da radiação eletromagnética incidente for superior à frequência de corte f_c .

Figura 3.3: Energia cinética máxima em função da frequência



Fonte: O Autor.

A função trabalho corresponde à energia que os elétrons precisam receber para vencerem a barreira de potencial da superfície metálica. A barreira de potencial do metal corresponde à energia aprisiona os elétrons ao mesmo. Em 1916, o físico norte-americano Robert Andrews Millikan (1868-1953), confirmou experimentalmente o valor da constante de Planck a partir do coeficiente angular da reta do gráfico da energia cinética máxima $E_{C(Máx)}$ em função da frequência f para diferentes materiais. Millikan obteve retas com frequências de corte diferentes. No entanto, as inclinações das retas (coeficiente angular) eram equivalentes à constante de Planck h , expressa na equação 3.4, de modo que para $f \geq f_c$:

$$h = \frac{\Delta E_{C(Máx)}}{\Delta f} \quad 3.4$$

A energia dos fótons tem valor muito pequeno, por isso, utiliza-se o elétron-volt² como unidade de energia no efeito fotoelétrico, de modo que 1,0 eV corresponde à energia equivalente à aproximadamente $1,6 \cdot 10^{-19}$ J.

Para o espectro de luz visível, a frequência pode ser relacionada à cor conforme dados apresentados no Quadro 3.1, que apresenta valores de comprimento de onda, frequência e energia dos fótons emitidos por uma fonte de radiação eletromagnética. É importante destacar que mesmo que uma onda mude de um meio para outro, sua frequência permanece inalterada.

Quadro 3.1: Relação de cor e suas quantidades correspondentes.

Cor	Comprimento de Onda (10^{-9} m)	Frequência (10^{12} Hz)	Energia dos Fótons emitidos (eV)
Vermelho	~625-740	~405-480	~1,68-1,99
Laranja	~590-625	~480-510	~1,99-2,11
Amarelo	~565-590	~510-530	~2,11-2,20
Verde	~500-565	~530-600	~2,20-2,49
Ciano	~485-500	~600-620	~2,49-2,56
Azul	~440-485	~620-680	~2,56-2,83
Violeta	~380-440	~680-790	~2,83-3,27

Fonte: O Autor.

² Um elétron-volt é a unidade de energia que corresponde ao trabalho τ realizado pela força elétrica para que um elétron de carga $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, se desloque do repouso entre dois pontos cuja diferença de potencial elétrico seja $U = 1$ V:

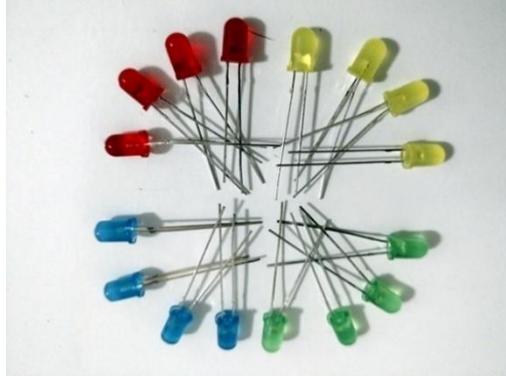
$$\tau = qU \Rightarrow 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

3.2 A fotoemissão em um LED e a cor da luz emitida

O diodo emissor de luz

LED, do inglês – Light Emitting Diode: Diodo Emissor de Luz. Os LEDs, como os apresentados na Figura 3.4 estão presentes em lanternas, automóveis, TVs, smartphones, por exemplo. Existem várias aplicações modernas nas quais os LEDs estão presentes. Para explicar o funcionamento do diodo emissor de luz é preciso explorar alguns conceitos da Física do Estado Sólido, especificamente bandas de energias e o dispositivo semicondutor.

Figura 3.4: Imagem de LEDs de diferentes cores



Fonte: O Autor.

Bandas de energias

Uma banda de energia corresponde à configuração de energia do sólido. Denomina-se camada³ de valência, a camada mais externa do átomo que é ocupada pelos elétrons com maior nível de energia, também denominados de elétrons mais livres.

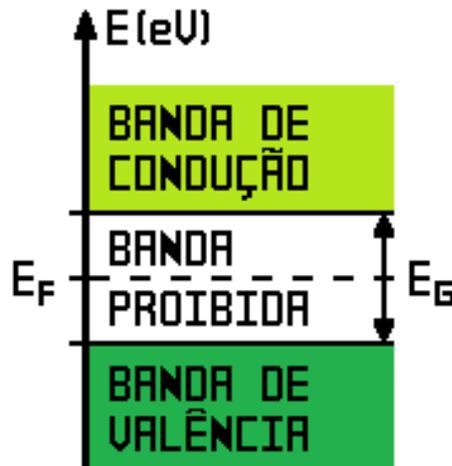
No caso de um sólido, a banda de energia ocupada pelos elétrons mais livres é denominada de banda de valência. Para que elétrons de uma banda de valência totalmente ocupada possam participar da condução de eletricidade em um sólido, estes precisam ser excitados ao receber energia suficiente de uma fonte externa, como por exemplo, de uma bateria. A banda de energia ocupada por elétrons excitados que podem participar da condução de eletricidade num sólido é denominada de banda de condução. Podem haver valores não permitidos de energia, isto é, um

³ As camadas K, L, M, N, O, P, e Q de um átomo são associadas ao número quântico principal $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6,$ e 7 , este número indica os níveis de energia de um elétron. Elétrons com maior nível de energia estão nas camadas mais externas do átomo. Quanto maior for o nível de energia de um elétron, este estará mais afastado do núcleo, portanto, mais fracamente ligado ao núcleo, por isso, estes elétrons são denominados de elétrons mais livres. Em geral, são os elétrons mais livres que participam de ligações químicas.

elétron da banda de valência só é promovido à banda de condução se receber uma energia mínima necessária para a transição acontecer.

Os valores de energia intermediários entre a banda de valência e a banda de condução compõem uma região denominada de banda proibida. Portanto, não há elétrons com energias correspondentes aos valores da banda proibida. Na Figura 3.5 é apresentado uma representação de diagrama de bandas de energia mencionadas anteriormente, suas respectivas larguras juntamente com a indicação do valor de energia correspondente à largura da banda proibida denotado por E_G , Energia de GAP, e o valor de energia no centro da banda proibida denominado de E_F , Energia de Fermi. A unidade de energia utilizada nos diagramas de bandas de energia é o eV.

Figura 3.5: Representação de um diagrama de Bandas de Energia



Fonte: O Autor.

Condução de eletricidade nos materiais

Os materiais apresentam propriedades distintas, entre elas destacam-se a resistividade elétrica e a largura da banda proibida (GAP), que são características importantes para determinar se um material é condutor, isolante ou semiconductor.

A resistividade elétrica é uma propriedade microscópica dos materiais, esta é relacionada à resistência elétrica, quanto menor for o valor da resistividade de um material, maior será a condutividade elétrica do mesmo. Os metais são bons exemplos de condutores porque apresentam resistividade elétrica muito baixa. De outro lado os bons isolantes possuem resistividade elétrica muito elevada e por isso são maus condutores de eletricidade. Sob esta perspectiva, materiais semicondutores apresentam resistividade elétrica intermediária.

Devido aos diferentes níveis de energia, os elétrons podem ocupar diferentes espaços nas bandas de energia permitidas. Quando um espaço não é ocupado por nenhum elétron, este espaço é denominado de espaço vazio ou disponível. A seguir, para entender melhor a condução de eletricidade em materiais, serão apresentados aspectos relacionados às bandas de energia em condutores, isolantes e semicondutores.

Condutores

Para que um material seja classificado como condutor, pelo menos uma das condições a seguir deve ser satisfeita:

- A banda de valência pode ser parcialmente ocupada. Neste caso, elétrons de valência podem ser excitados em níveis próximos de energia, cuja situação está representada no diagrama de bandas de energia na Figura 3.6a;
- A banda de valência pode coincidir parcialmente com a banda de condução, situação representada no diagrama de bandas de energia na Figura 3.6b.

Isolantes

Isolantes elétricos são dispositivos que oferecem alta resistência à condução de eletricidade. Um sólido é classificado como isolante elétrico se a banda de valência estiver totalmente ocupada, e, se a largura da banda proibida for superior a aproximadamente 2,0 eV, sendo que o diagrama de bandas de energia para estes tipos de materiais é mostrado na Figura 3.6c.

Devido às características de um isolante elétrico, para que elétrons de valência sejam promovidos à banda de condução, é necessário que estes recebam energia razoavelmente alta. Denomina-se de ruptura da rigidez do dielétrico quando acontece condução de elétrons num material isolante.

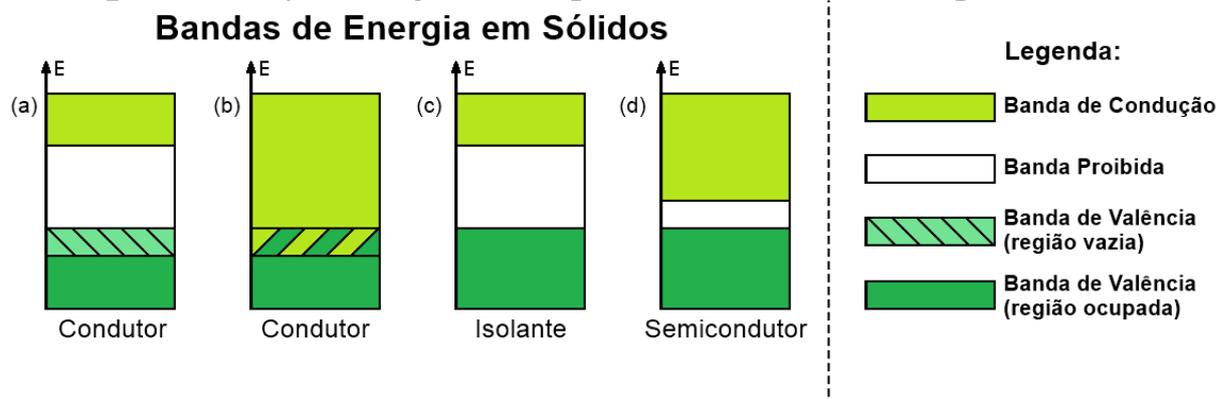
Semicondutores

Materiais semicondutores possuem a banda de valência totalmente ocupada. No entanto, a banda proibida é relativamente estreita conforme a representação dada na Figura 3.6d, deste modo elétrons de valência podem facilmente ser excitados à banda de condução. Se um elétron de valência é excitado à banda de condução, o espaço que era ocupado pelo elétron na banda de valência fica vazio, este espaço vazio é denominado de “buraco”. Quando uma tensão elétrica aplicada num sólido

semicondutor transfere um elétron de valência de um átomo para um espaço desocupado de outro átomo próximo, pode-se afirmar que:

- No primeiro átomo surgiu um buraco devido à saída do elétron de valência.
- No segundo átomo o elétron transferido ocupou o espaço que estava vazio, portanto, o buraco que havia inicialmente no segundo átomo desapareceu.
- O elétron e o buraco foram deslocados em sentidos contrários.

Figura 3.6: Representação em diagramas de bandas de energia em sólidos



Não é possível que um espaço das bandas de energia esteja ocupado e vazio simultaneamente. Isto é, ao considerar determinado espaço das bandas de energia, ou haverá um elétron quando o espaço estiver ocupado, ou existirá um buraco quando o referido espaço estiver vazio. Por isso, determinado ponto de um sólido não pode conter um elétron e um buraco ao mesmo tempo.

Corrente elétrica em um material semicondutor

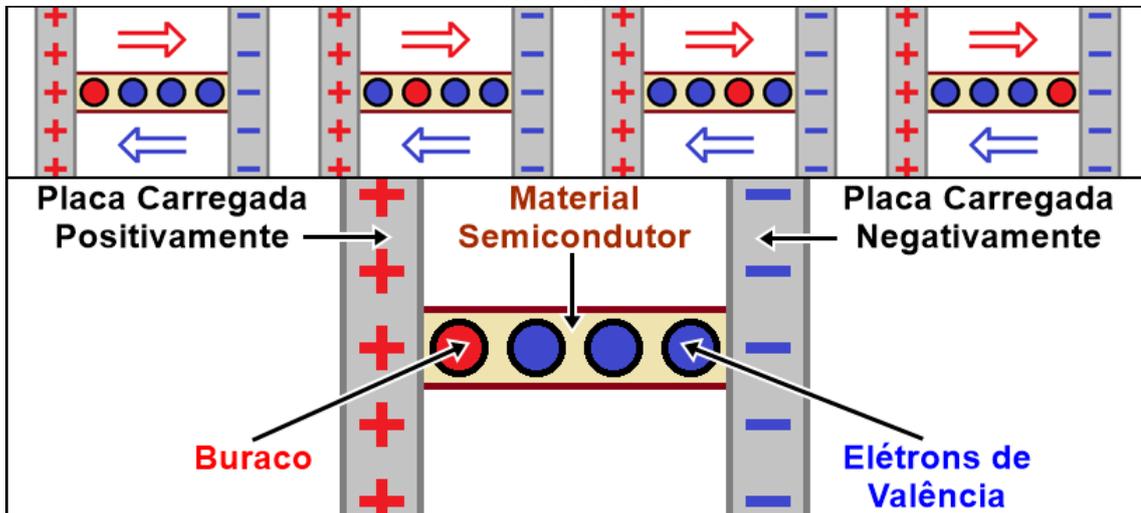
Quando ocorre condução de eletricidade em determinado material, tem-se um movimento “ordenado” de cargas elétricas, este movimento é denominado de corrente elétrica. O sentido da corrente elétrica depende de como é considerado o movimento das cargas, isto é, se for levado em conta o deslocamento dos elétrons⁴, o movimento tem um sentido: os elétrons são repelidos⁵ pelo polo negativo e atraídos pelo positivo, de uma bateria, como por exemplo. No entanto, se o deslocamento dos buracos for levado em conta, então o sentido do movimento é outro: os buracos são repelidos pelo polo positivo e atraídos pelo negativo. Portanto, a corrente de elétrons possui sentido

⁴ Os elétrons são portadores de cargas elétricas de sinal negativo. Como um buraco consiste na falta de um elétron, os buracos são portadores de cargas elétricas de sinal positivo.

⁵ A interação entre cargas elétricas de mesmo sinal é de afastamento, enquanto que, a interação entre cargas elétricas de sinais contrários é de aproximação.

contrário ao da corrente de buracos. A Figura 3.7 a ilustra de forma esquematizada o movimento de elétrons e de buracos.

Figura 3.7: Ilustração de Corrente de buracos e de elétrons em um material semiconductor



Fonte: O Autor.

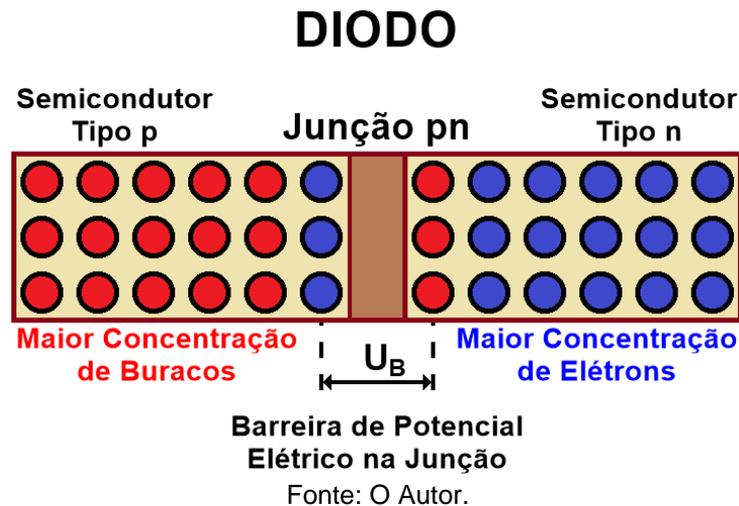
Diodos

Um diodo consiste na junção de dois materiais semicondutores, um tipo p (positivo) com maior quantidade de buracos⁶, e, outro tipo n (negativo) com excesso de elétrons⁷. Devido à diferença de concentração de cargas positivas e negativas, ocorre uma transferência de elétrons para o lado p e de buracos para o lado n. Como efeito da transferência de cargas para ambos os lados, aparece uma barreira de potencial elétrico U_B na junção pn. Na Figura 3.8 está representado um diodo retificador constituído pela junção uma junção pn, este permite o fluxo de elétrons em um único sentido.

⁶ Átomos aceitadores de elétrons.

⁷ Átomos doadores de elétrons.

Figura 3.8: Ilustração de uma junção pn



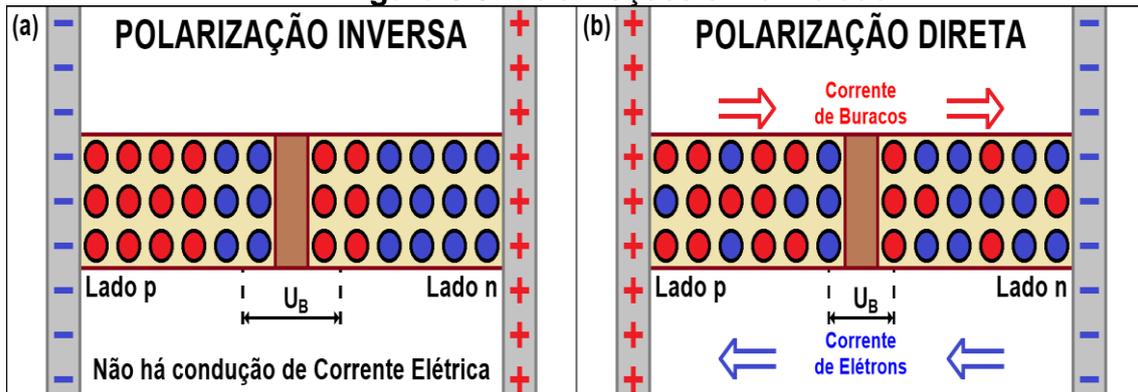
Um LED possui a mesma característica que um diodo retificador, isto é, um LED só conduz elétrons em um único sentido. Para não confundir corrente de buracos e de elétrons, que possuem sentidos contrários, adota-se a corrente convencional, na qual considera-se o movimento das cargas positivas (buracos), do polo positivo ao negativo⁸.

A barreira de potencial elétrico U_B impõe certa dificuldade para que ocorra deslocamento de elétrons para o lado p e de buracos para o lado n. Para ocorrer condução de corrente elétrica no diodo, este deve ter suas extremidades submetidas à uma tensão elétrica capaz de vencer a barreira de potencial na junção. Ao conectar os lados p e n de um diodo aos polos de uma bateria, pode ocorrer dois tipos de polarização na junção pn, situações mostradas na Figura 3.9:

- Ocorre Polarização Inversa quando se conecta o polo negativo ao lado p e o positivo ao lado n, conforme representado na Figura 3.9a. Neste tipo de configuração a tensão elétrica aplicada pela bateria dificulta ainda mais o fluxo de elétrons para o lado p e de buracos para o lado n.
- Ocorre Polarização Direta quando se conecta o polo positivo ao lado p e o negativo ao lado n, conforme representado na Figura 3.9b. Quando a tensão externa vence a barreira de potencial da junção, aumenta a difusão de buracos para o lado n e de elétrons para o lado p, facilitando a condução de corrente elétrica pelo dispositivo.

⁸ Como apontado anteriormente, não há problemas em se usar o sentido convencional para a corrente elétrica. Vale a pena destacar que a corrente de elétrons é denominada de corrente real.

Figura 3.9: Polarizações em um diodo



Fonte: O Autor.

A fotoemissão

O LED é um diodo de alta polarização em que a corrente elétrica que percorre o componente é razoavelmente elevada, de aproximadamente 20 mA⁹. Para que ocorra emissão de luz, elétrons e buracos são atraídos para a junção do dispositivo, de modo que quando um elétron é “recombinado” com um buraco ocorre a emissão de um fóton com energia definida pela equação 3.1 e por comodidade é apresentada em seguida,

$$E = hf. \quad 3.1$$

No lado p da junção, quando elétrons da banda de condução são transferidos para espaços disponíveis (buracos) na banda de valência há liberação¹⁰ de energia em forma de radiação eletromagnética (fótons). No lado n, quando elétrons de valência são excitados e passam a ocupar espaços disponíveis na banda de condução, a energia excedente também é liberada em forma de luz. Cada elétron pode ocupar somente um espaço disponível, e, cada espaço disponível pode ser recombinado apenas com um elétron, por isso, a cada recombinação elétron-buraco ocorre emissão de um fóton. Se ocorrer n recombinações, n fótons serão emitidos.

A cor da luz emitida pelo LED

Conforme apresentado na Seção 3.1, há uma relação entre a energia do fóton e a cor da luz emitida. Cores diferentes procedem de valores distintos de frequências. Como por exemplo, se um LED emitir fótons com energia $E = 1,75$ eV, a

⁹ Se a corrente for de 20 mA, então no intervalo de 1 s, passam cerca de 10^{17} pela junção do LED.

¹⁰ Elétrons da banda de condução possuem níveis maiores de energia, quando estes elétrons são transferidos para espaços disponíveis na banda de valência, os mesmos passam a ocupar níveis de energia inferiores, por isso, a diferença de energia é liberada em forma de luz.

respectiva frequência da radiação eletromagnética seria $f \cong 420.10^{12}$ Hz, este valor corresponde à luz ao vermelho. A cor da luz emitida pelo LED depende da energia cedida em cada recombinação elétron-buraco. Quanto mais larga for a banda proibida (GAP), maior será a energia do fóton emitido. Portanto, maior será a respectiva frequência da radiação eletromagnética emitida. No entanto, a cor da luz independe da intensidade de corrente elétrica. Quanto maior for a corrente elétrica que percorre o dispositivo, maior será o número fótons emitidos, conseqüentemente maior será a intensidade da luz emitida pelo LED. A cor e a frequência dependem de que tipo de impurezas são utilizadas na fabricação dos materiais semicondutores que constituem os diodos emissores de luz, estas impurezas interferem nas propriedades dos LEDs, deste modo pode-se obter radiações eletromagnéticas com frequências diferentes. Para a obtenção de algumas cores de luz mais específicos, existem outros fatores externos à fabricação dos LEDs, por exemplo, o encapsulamento do dispositivo pode ser tingido.

3.3 A energia dos fótons emitidos por um LED e a frequência da luz emitida

Cálculo da frequência da luz emitida por um LED

Da definição de trabalho realizado pela força elétrica para transportar uma carga elétrica, tem-se que a energia para transportar cada elétron de carga elétrica $q = 1,6.10^{-19}$ C, entre as extremidades de um LED submetido à diferença de potencial elétrico U é:

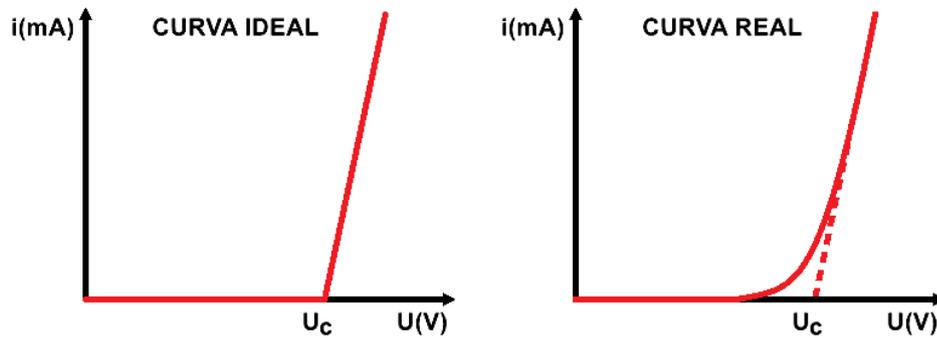
$$E = qU. \quad 3.5$$

Quando um elétron é conduzido pelo LED, ocorre a emissão de um fóton de energia:

$$E = hf, \quad 3.1$$

em que $h = 6,63.10^{-34}$ J.s é a constante de Planck, e, f é a frequência da radiação eletromagnética emitida. O LED apresenta uma barreira de potencial elétrico associado à sua estrutura, isto implica que a condução de corrente elétrica ocorre a partir de determinado valor de U que pode ser verificado graficamente pela curva característica $i \times U$ representada na Figura 3.10.

Figura 3.10: Representação esquemática da curva características de um LED



Fonte: O Autor.

A curva característica de um LED é obtida ao variar a tensão elétrica nos terminais do referido componente. Dos pares corrente e tensão elétricas é construído o gráfico corrente versus tensão no LED, a curva gerada é denominada de curva característica. Idealmente um LED deveria conduzir corrente elétrica a partir de um valor de tensão específico denominado de potencial de corte, entretanto o que se verifica experimentalmente é que pode ocorrer condução de corrente para tensões menores que o potencial de corte.

Da curva característica de um LED (Figura 3.1), U_c é denominado potencial de corte do LED. Para um LED ideal, i aumenta linearmente com $U \geq U_c$. Para um LED real o valor de U_c é obtido ao traçar uma reta tangente ao trecho linear da curva $i \times U$ do LED. Com o valor de U_c obtido graficamente, da combinação entre as equações 3.1 e 3.5, obtém-se

$$\begin{aligned} hf &= qU_c, \\ f &= \frac{q}{h} U_c. \end{aligned} \quad 3.6$$

A equação 3.6, possibilita obter o valor experimental da frequência da luz emitida por um LED, este valor pode ser comparado com previsões teóricas apresentadas no Quadro 3.1, apresentado anteriormente.

3.4 Os fótons que interagem com o fotodiodo

Sensores de luz

Existem várias finalidades relacionadas à utilização de sensores de luz, seguem alguns exemplos nos quais determinados dispositivos funcionam com componentes sensíveis à presença e/ou variação de luz:

- O sensor de luminosidade que “liga ou desliga” a lâmpada de um poste do sistema de iluminação pública. Durante o dia o sensor desliga a lâmpada, enquanto que, durante a noite o sensor mantém a lâmpada ligada;
- O sensor de presença que faz com que uma porta seja aberta quando alguém se posiciona próximo à mesma;
- O sensor de alarme que é ativado quando algum movimento é captado pelo dispositivo.

Há muitas outras aplicações de sensores na indústria e em diversas tecnologias.

O fotodiodo

O fotodiodo consiste em um diodo sensível à radiação eletromagnética. Como se trata de um diodo, o dispositivo é formado pela junção de dois materiais semicondutores, um tipo p e outro tipo n, conforme apresentado anteriormente na seção 3.2. Ao contrário do LED que pode emitir luz quando percorrido por uma corrente elétrica, o fotodiodo só conduz eletricidade quando recebe radiação eletromagnética com valores específicos de frequência.

Por exemplo, o olho humano pode ser citado como um sensor biológico de luz, pois é sensível às radiações eletromagnéticas com determinados valores de frequência, estes valores são definidos em um intervalo denominado de região visível do espectro eletromagnético.

Esta região é limitada entre os valores de frequência correspondentes às cores vermelho e violeta. O olho humano não consegue perceber radiações eletromagnéticas cujos valores de frequência são:

- Inferiores a $405 \cdot 10^{12}$ Hz, frequência limite inferior para o vermelho, estes valores de frequência compõem certa região do espectro eletromagnético denominada de infravermelho.

- Superiores a $790 \cdot 10^{12}$ Hz frequência limite superior para o violeta, estes valores de frequência compõem outra região do espectro eletromagnético denominada de ultravioleta.

Existem outras regiões do espectro cujas radiações eletromagnéticas são invisíveis ao olho humano, no entanto, nesta seção atém-se às regiões infravermelho, visível e ultravioleta do espectro eletromagnético.

Assim como o olho humano, o fotodiodo é sensível a frequências específicas limitadas em determinada região do espectro eletromagnético. Dependendo do material utilizado na fabricação de fotodiodos, estes podem ser sensíveis a diferentes regiões do espectro eletromagnético. Como por exemplo, o fotodiodo constituído de germânio é sensível à região do infravermelho, enquanto que o constituído de silício é sensível ao ultravioleta.

Um fotodiodo pode ser sensibilizado por uma lâmpada desde duas condições sejam satisfeitas:

- A mesma deve emitir radiação eletromagnética cujas frequências estejam contidas no intervalo do espectro eletromagnético cujos fótons interagem com o fotodiodo;
- Um número suficiente de fótons interagentes com o fotodiodo deve incidir sobre o mesmo.

Com relação à última condição citada, pode-se destacar que a probabilidade da luz emitida por uma lâmpada capaz de sensibilizar um fotodiodo depende da intensidade de radiação incidente sobre o mesmo, pois quanto maior a for este valor, maior será o número de fótons que chegam ao fotodiodo. Observa-se que a intensidade depende da distância:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi d^2}. \quad 3.7$$

Em que I corresponde à intensidade, P à potência (uma característica da lâmpada), A à área (geralmente é superfície esférica, cujo raio coincide com a distância entre a fonte e o receptor), e, d à distância da lâmpada (fonte) ao sensor (fotodiodo). Disto, pode-se concluir que se uma lâmpada emite radiação eletromagnética com frequência necessária para ativar o circuito, porém se a intensidade de radiação for muito pequena o sensor provavelmente não será acionado.

4. Conjuntos experimentais

Para facilitar a compreensão referente à organização dos conjuntos experimentais utilizados nas Aulas que compõe este produto educacional, são apresentados os procedimentos para as montagens dos mesmos.

O primeiro conjunto, utilizado na Aula 2, consiste em um circuito elétrico de 4 LEDs associados em paralelo. O uso do circuito permite verificar qualitativamente que quanto menor for a frequência da luz emitida por um LED, maior será a probabilidade de um elétron ser conduzido pelo mesmo e provocar a emissão de um fóton.

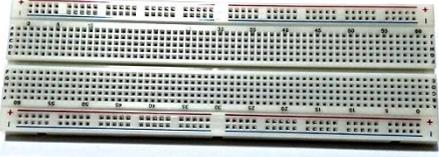
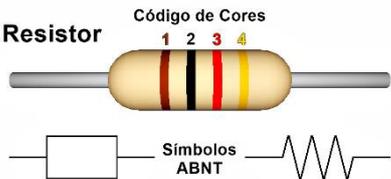
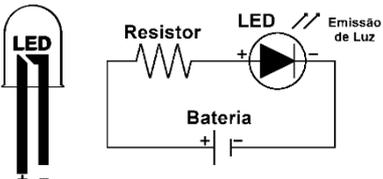
O segundo conjunto, utilizado na Aula 3, é composto por um circuito elétrico acompanhado de dois multímetros. A prática desenvolvida na Aula 3 tem por objetivo efetuar o cálculo da frequência da luz emitida por um LED a partir da definição de energia de um fóton. Aliado ao referido conjunto, tem-se um roteiro experimental para nortear as ações do professor quanto aos procedimentos necessários à realização da atividade proposta.

Por fim, o último conjunto, utilizado na Aula 4, é constituído por uma caixa que contém 5 lâmpadas, estas emitem diferentes radiações eletromagnéticas. Outro componente que integra o conjunto citado, é o circuito elétrico retirado do interior de uma vela, este faz com que a mesma mude de cor. O circuito é acionado por um sensor fotodiodo mediante a incidência de luz com frequências específicas correspondentes à determinada região do espectro eletromagnético sobre o mesmo. Expor o circuito à luz emitida por cada lâmpada e efetuar diferentes testes experimentais são tarefas para investigar hipóteses para identificar a região do espectro eletromagnético cujas frequências acionam o circuito.

4.1 Conjunto experimental utilizado na Aula 2

Materiais

No Quadro 4.1 são apresentados os materiais e respectivas funções para a montagem do circuito utilizado na Aula 2. No Quadro 4.2 há um orçamento¹¹ dos referidos materiais.

Quadro 4.1: Materiais utilizados para montagem do circuito da Aula 2	
Materiais	Funções
Placa Protoboard 	O circuito utilizado na prática experimental deverá ser montado sobre uma placa protoboard.
Resistor R = 1 kΩ 	O resistor R terá a função de “regular a corrente”, isto é, se o LED for conectado diretamente à bateria de tensão $U = 9,0 \text{ V}$, as chances de queimar o componente são altas. O valor da resistência do componente utilizado no circuito é $R = 1 \text{ k}\Omega$.
4 LEDs 	Serão utilizados 4 LEDs de emissão nas cores: vermelho, amarelo (ou laranja), verde e azul (ou violeta).
Bateria de 9 Volts (Corrente Contínua) 	Como fonte de tensão será utilizada uma bateria de corrente contínua e tensão nominal $U = 9,0 \text{ V}$.

Fonte: O Autor

¹¹ Realizado na cidade de Ponta Grossa em agosto de 2015.

Quadro 4.2: Orçamento dos materiais utilizados para montagem do circuito proposto na Aula 2

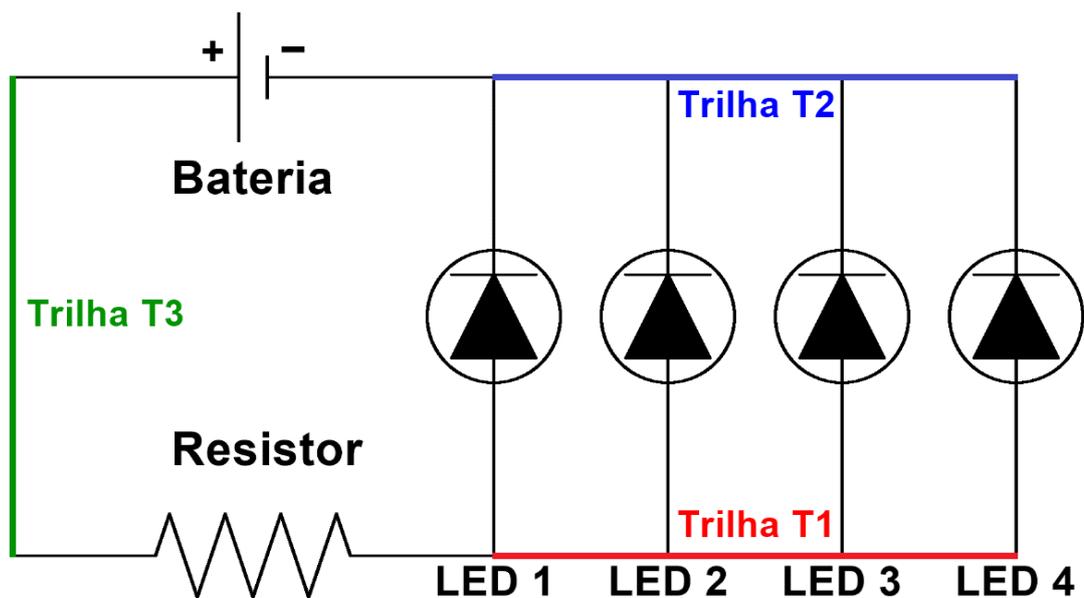
Materiais	Quantidade	Custo aproximado
Placa protoboard	1	R\$ 35,00
Bateria (9 v) c/ conector	1	R\$ 5,00
Led 5 mm (cores)	4	R\$ 12,00
Resistor 1 k Ω	1	R\$ 0,50
Total (1 conjunto)	1	R\$ 52,50

Fonte: O Autor.

Procedimentos para montagem do circuito (Figura 4.1)

- Associe todos os LEDs em paralelo de modo que o terminal positivo de cada LED esteja conectado a uma mesma trilha T1, e, cada negativo sobre outra trilha T2;
- Conecte um dos terminais do resistor e o polo positivo (fio vermelho) da bateria a outra trilha separada T3;
- Ligue o outro terminal do resistor à trilha T1 que contém o terminal positivo de cada LED;
- Conecte o polo negativo (fio preto) da bateria à trilha T2 que contém o terminal negativo de cada LED.

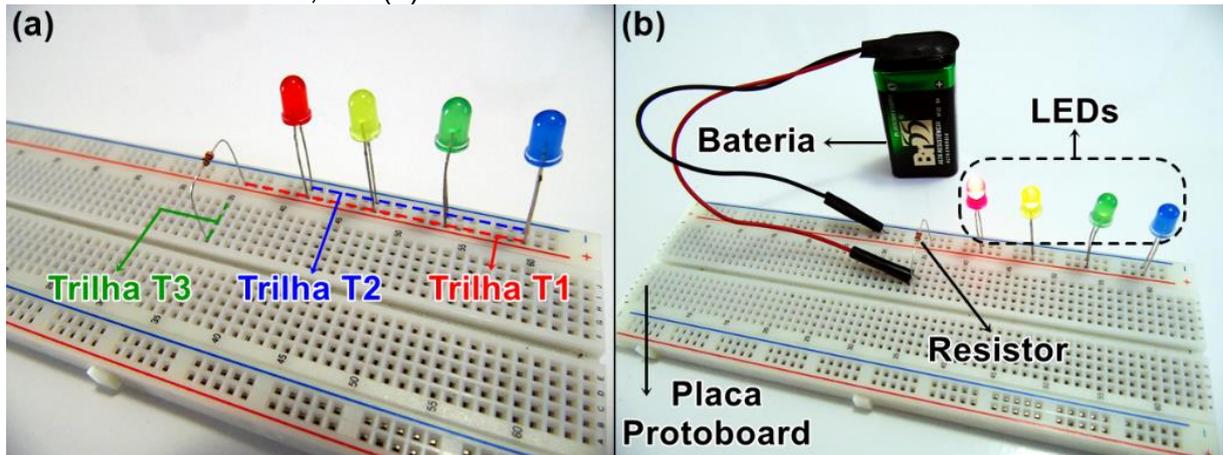
Figura 4.1: Representação do circuito com 4 LEDs de diferentes cores associados em paralelo utilizados na Aula 2



Fonte: O Autor.

Na Figura 4.2 estão apresentados a indicação das trilhas T1, T2 e T3 na placa protoboard e o circuito em funcionamento. Da observação do circuito em funcionamento com os quatro LEDs associados em paralelo pode-se verificar que o LED emissor de luz vermelha brilha mais intensamente que os outros, enquanto que o LED emissor de luz azul não acende.

Figura 4.2: Circuito utilizado na Aula 2, em (a) são indicadas as trilhas T1, T2 e T3, e, em (b) tem-se o circuito em funcionamento



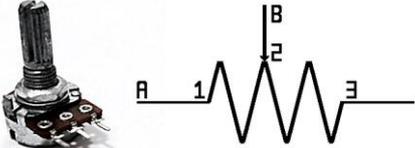
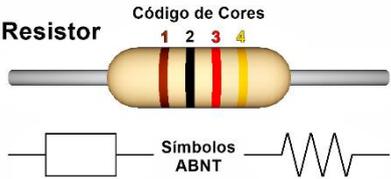
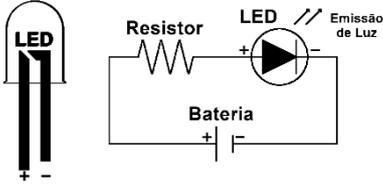
Fonte: O Autor.

4.2 Conjunto experimental utilizado na Aula 3

Materiais

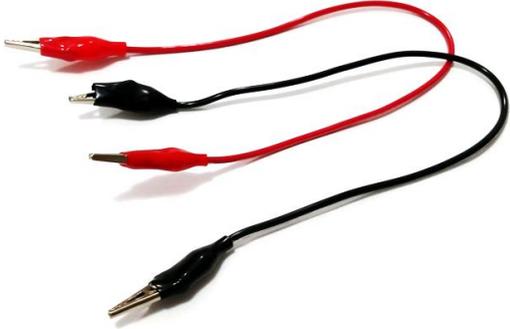
No Quadro 4.3 seguem os materiais necessários e respectivas funções para a montagem do circuito utilizado na Aula 3. No Quadro 4.4 é apresentado um orçamento¹² dos referidos materiais.

Quadro 4.3: Materiais utilizados para montagem do circuito da Aula 3
(continua)

Materiais	Funções
<p>Placa Protoboard</p> 	<p>O circuito utilizado na prática experimental deverá ser montado sobre uma placa protoboard.</p>
<p>Potenciômetro</p>  <p>Contatos 1 2 3</p>	<p>O potenciômetro terá a função de variar a resistência equivalente do circuito, deste modo pode-se obter valores diferentes de corrente e tensão nos terminais do LED.</p>
<p>Resistor</p>  <p>Código de Cores 1 2 3 4</p>	<p>O resistor R terá a função de “regular a corrente”, isto é, se o LED for conectado diretamente à bateria de tensão $U = 9,0 \text{ V}$, as chances de queimar o componente são altas. O valor da resistência do componente utilizado no circuito é $R = 1 \text{ k}\Omega$.</p>
<p>LED</p> 	<p>Cada grupo receberá um LED de emissão: infravermelho, vermelho, azul ou violeta.</p>
<p>Multímetro</p> 	<p>Para efetuar as medidas no circuito, serão utilizados dois multímetros. Um associado em paralelo ao LED, para medir a tensão elétrica $U(V)$ no dispositivo. Outro em série com o LED, para medir a intensidade de corrente elétrica $i(mA)$ que passa pelo mesmo.</p>

¹² Realizado na cidade de Ponta Grossa em agosto de 2015.

Quadro 4.3: Materiais utilizados para montagem do circuito da Aula 3
(continuação)

Materiais	Funções
<p>1 par de Cabos com Garras Jacaré</p> 	<p>Os cabos com garras jacaré serão utilizados para conectar as pontas dos cabos do multímetro que deve ser ligado em série com o circuito.</p>
<p>Bateria de 9 Volts (Corrente Contínua)</p> 	<p>Como fonte de tensão será utilizada uma bateria de corrente contínua e tensão nominal $U = 9,0 \text{ V}$.</p>

Fonte: O Autor

Quadro 4.4: Orçamento dos materiais utilizados para montagem do circuito proposto na Aula 3

Materiais	Quantidade	Custo aproximado
Multímetro digital	2	R\$ 40,00
Placa protoboard	1	R\$ 35,00
Bateria (9 v) c/ conector	1	R\$ 5,00
Cabos c/ garras jacaré (vermelho e preto)	2	R\$ 5,00
Potenciômetro (1 k Ω)	1	R\$ 3,50
Potenciômetro (20 k Ω)	1	R\$ 3,50
Led 5 mm (cores)	1	R\$ 3,00
Resistor 1 k Ω	1	R\$ 0,50
Total (1 conjunto)	1	R\$ 95,50

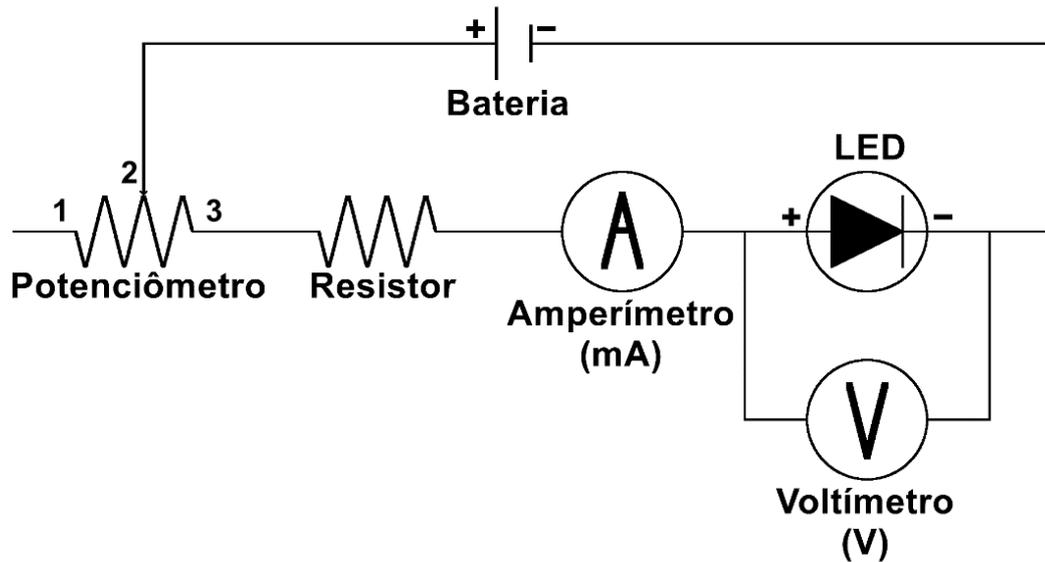
Fonte: O Autor.

Procedimentos para a montagem do circuito, de acordo com a Figura 4.3

- O potenciômetro de 20 k Ω deve ser colocado na placa próximo ao canto inferior esquerdo na coluna A, de modo que os contatos 1, 2 e 3 do componente sejam conectados, respectivamente, no início das linhas 01, 03 e 05;
- Atrás do potenciômetro, na coluna E, deve ser conectado o polo positivo da bateria (fio vermelho) na mesma trilha (linha 03) que o contato 2 do potenciômetro;
- Ainda atrás do potenciômetro, na coluna E, deve ser conectado um dos contatos do resistor de 1 k Ω na mesma trilha (linha 5) que o contato 3 do potenciômetro. O resistor não deve encostar na estrutura metálica do potenciômetro. O outro contato do resistor deve ser conectado na coluna E em uma trilha afastada do potenciômetro, como por exemplo, na linha 12;
- O cabo vermelho com garras jacaré deve ser conectado à extremidade do resistor que está afastada do potenciômetro (coluna E, linha 12). A extremidade livre do cabo vermelho com garra jacaré deve ser conectada ao contato do cabo vermelho (mA) do amperímetro (multímetro usado para medir corrente contínua com escala selecionada em 20mA);
- Na coluna A deve ser conectado o contato positivo do LED (maior), na linha 20. O contato negativo (menor) do mesmo deve ser conectado à linha 24 na coluna A;
- O cabo preto com garras jacaré deve ter uma de suas extremidades conectadas ao contato do cabo preto (COM) do amperímetro, e, a outra conectada ao contato do contato positivo do LED (coluna A e linha 20);
- O contato do cabo vermelho do voltímetro (multímetro usado para medir tensão elétrica com escala selecionada em 20 V) deve ser encostado ao contato positivo do LED (coluna A e linha 20). O contato do cabo preto (COM) do voltímetro deve ser encostado no contato negativo do LED (coluna A e linha 24);
- Após certificar que todos os procedimentos listados acima foram executados, o polo negativo (fio preto) da bateria deve ser conectado na coluna E, na mesma trilha que o contato negativo do LED (linha 24).

Observação: Em dado momento, conforme apresentado na Seção 4.3, o potenciômetro de 20 k Ω deve ser substituído pelo potenciômetro de 1 k Ω nas mesmas condições.

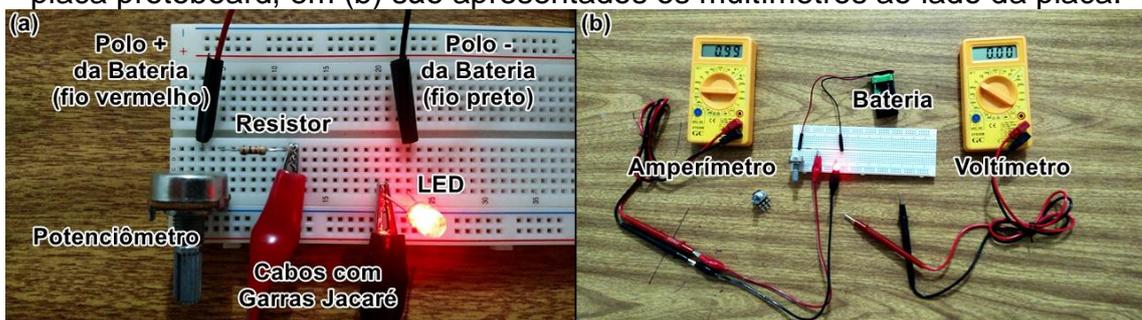
Figura 4.3: Representação do circuito utilizado na Aula 3.



Fonte O Autor

Na Figura 4.4 é mostrado o circuito utilizado na Aula 3. Em (a) tem-se os componentes ligados à placa protoboard. Em (b) tem-se os multímetros, à esquerda o amperímetro selecionado em 20mA e à direita o voltímetro selecionado em 20V. Para efetuar as medidas de tensão elétrica nos terminais do LED, deve-se encostar as extremidades dos cabos do voltímetro nos contatos do referido componente.

Figura 4.4: Circuito utilizado na Aula 3, em (a) tem-se os componentes ligados à placa protoboard, em (b) são apresentados os multímetros ao lado da placa.



Fonte: O Autor.

4.3 Roteiro experimental utilizado na Aula 3

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Coleta de dados

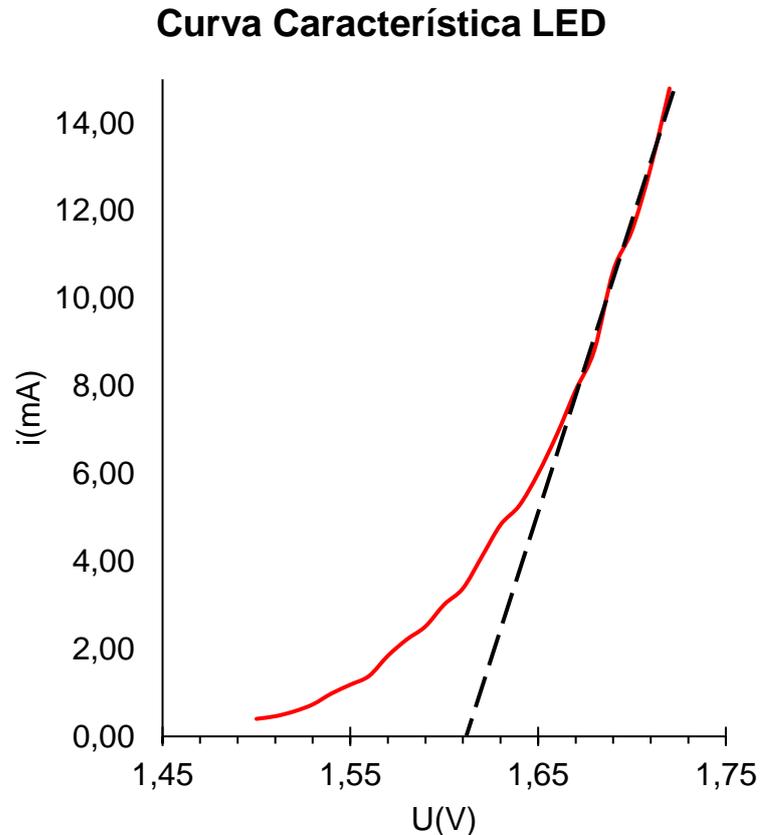
O amperímetro indicará a corrente elétrica i (mA) no circuito e o voltímetro indicará a diferença de potencial elétrico U (V) no LED. Inicialmente eixo do potenciômetro de 20 k Ω deve ser girado no sentido anti-horário de modo que os valores de i e U sejam mínimos. Então deve-se girar o eixo do potenciômetro no sentido horário de modo que o valor de U registrado no voltímetro aumente com intervalos fixos de 0,01 V. Todos os valores de i (mA) e U (V) devem ser anotados, valores para exemplificar são apresentados na Tabela 4.1. A partir de determinado valor torna-se difícil variar o valor de U em intervalos fixos de 0,01 V. Nesta etapa da coleta de dados deve-se substituir o potenciômetro de 20 k Ω pelo de 1 k Ω , as medidas devem continuar até que i e U atinjam valores máximos.

Tabela 4.1: Medidas de U e i para exemplificação

Número da medida	Diferença de potencial no LED U (V)	Corrente no circuito i (mA)
1	1,50	0,40
2	1,51	0,46
3	1,52	0,57
4	1,53	0,73
5	1,54	0,98
6	1,55	1,18
7	1,56	1,38
8	1,57	1,84
9	1,58	2,21
⋮	⋮	⋮
23	1,72	14,79
⋮	⋮	⋮
n-ésima	$U_{(Máx.)}$	$i_{(Máx.)}$

Fonte: O Autor

Para obter o valor do potencial de corte U_c do LED deve-se construir o gráfico da corrente elétrica i (mA) pela diferença de potencial elétrico U (V) a partir dos dados coletados e registrados na tabela. Então deve-se traçar uma reta tangente à parte linear da curva característica obtida como exemplificado no Gráfico 4.1. U_c corresponde ao valor em que a reta traçada intercepta o eixo U (V).

Gráfico 4.1: Exemplificação de uma curva característica de um LED

Fonte: O Autor

Cálculos

Ao substituir o valor do potencial de corte U_C na equação (3.6), obtém-se a frequência da radiação eletromagnética emitida pelo LED:

$$f = \frac{qU_C}{h} \Rightarrow f = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} U_C \Rightarrow f(\text{Hz}) \cong (241 \times U_C) 10^{12}.$$

Por exemplo, se utilizar o potencial de corte obtido do Gráfico 4.1, obtém-se um valor de frequência $f \cong 388 \cdot 10^{12}$ Hz.

Análise do resultado

Por fim, deve-se efetuar uma comparação entre os valores de frequência obtidos experimentalmente com os respectivos intervalos teóricos previstos (Quadro 3.1). No caso do valor de frequência calculado a partir do Gráfico 4.1, o referido valor corresponde ao infravermelho.

Discussão dos resultados e considerações finais

Este experimento possibilita calcular a frequência da cor emitida por um LED a partir da definição de energia dos fótons emitidos ($E = hf$). Mesmo que haja algum desvio no valor obtido, tem-se boa aproximação em relação ao espectro eletromagnético, com frequências obtidas na ordem de 10^{14} Hz. Outros fatores devem ser levados em conta, como por exemplo, a luz emitida por um LED não é monocromática.

4.4 Conjunto experimental utilizado na Aula 4

Materiais para a construção da caixa

No Quadro 4.5 seguem os materiais necessários para a montagem da caixa utilizada na Aula 4.

Quadro 4.5: Materiais usados para construir a caixa utilizada na Aula 4.

Itens		Quantidade	Dimensões (mm)
Madeira Compensada	Tampo (Placa 1) e Base (Placa 2)	2	320x300x10
	Lateral Direita (Placa 3) e Lateral Esquerda (Placa 4)	2	680x300x10
	Fundo (Placa 5)	1	700x320x10
	Suporte para os soquetes das lâmpadas (Placa 6)	1	300x300x10
	Suporte para os interruptores das lâmpadas (Placa 7)	1	300x70x10
Soquetes cerâmicos para as lâmpadas		5	45x40
Interruptores de sobrepor para as lâmpadas		5	64x42x40
Fios condutores de cobre encapado		4m	2
Conector para tomada macho (10A)		1	---
Lâmpadas		Quantidade	Potência (W)
Fluorescente branca		1	15
Fluorescente suave		1	13
Incandescente		1	15
LED		1	5
Negra		1	5
Itens gerais para a montagem e acabamento		Cola para madeira, fita isolante, parafusos, fixa cabos, tinta cor preto fosco e seladora para madeira.	
Ferramentas		Estilete, alicate de corte, furadeira, esquadro, régua, trena, nível, chaves de fenda e philips.	

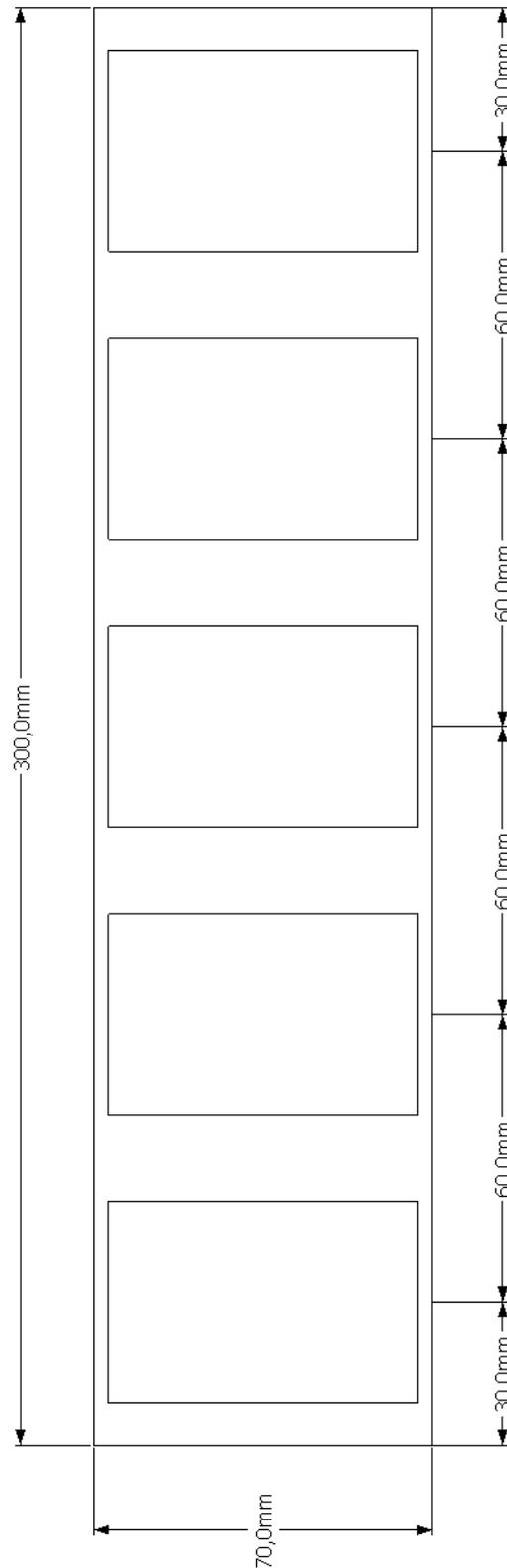
Fonte: O Autor.

A madeira compensada deve ser lixada e tingida com a tinta preto fosco. Recomenda-se usar uma seladora para conservar a pintura na caixa por mais tempo.

Procedimento para a montagem da caixa

- Deve-se efetuar a marcação dos interruptores de sobrepor na Placa 7, conforme apresentado na Figura 4.5

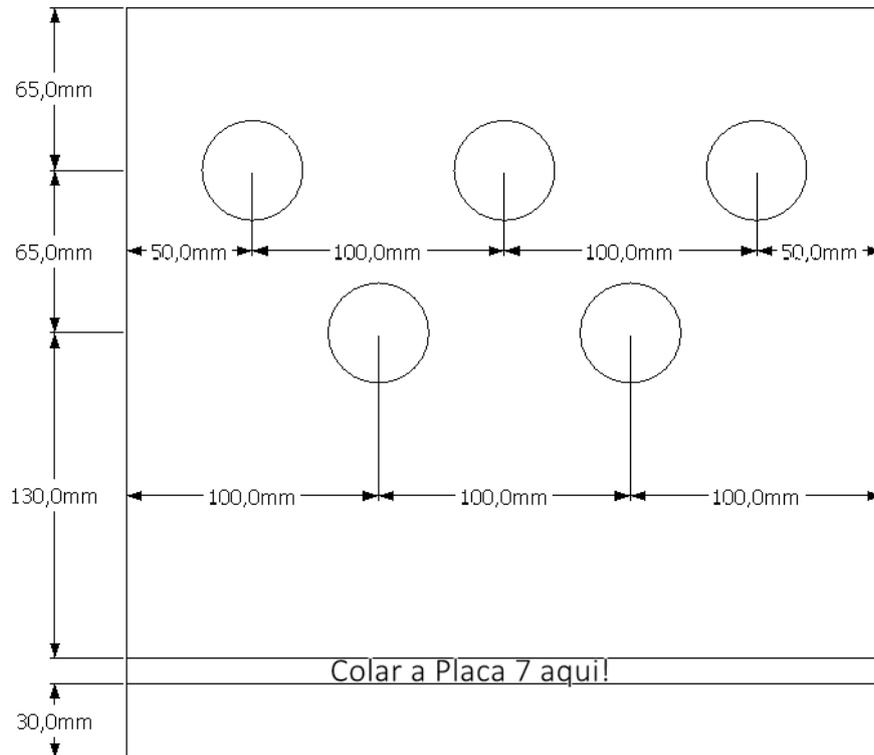
Figura 4.5: Marcação no suporte dos interruptores das lâmpadas



Fonte: O Autor

- Após efetuar as marcações na Placa 7, deve-se marcar as posições dos soquetes e da Placa 7 sobre a Placa 6, como mostrado na Figura 4.6. Após a marcação, a Placa 7 deve ser colada e parafusada à Placa 6.

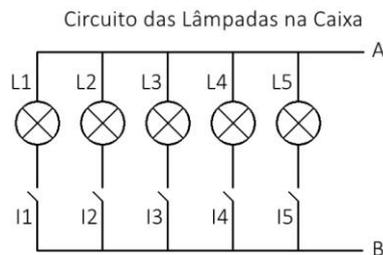
Figura 4.6: Marcação no suporte dos soquetes das lâmpadas



Fonte: O Autor

- Em seguida é necessário montar o circuito elétrico nas Placas 6 e 7. Destaca-se que as lâmpadas devem ser associadas em paralelo, e, cada uma das lâmpadas deve estar associada em série com um interruptor conforme a representação do circuito da Figura 4.7. Deste modo, cada lâmpada pode ser ligada e/ou desligada individualmente.

Figura 4.7: Representação do circuito elétrico

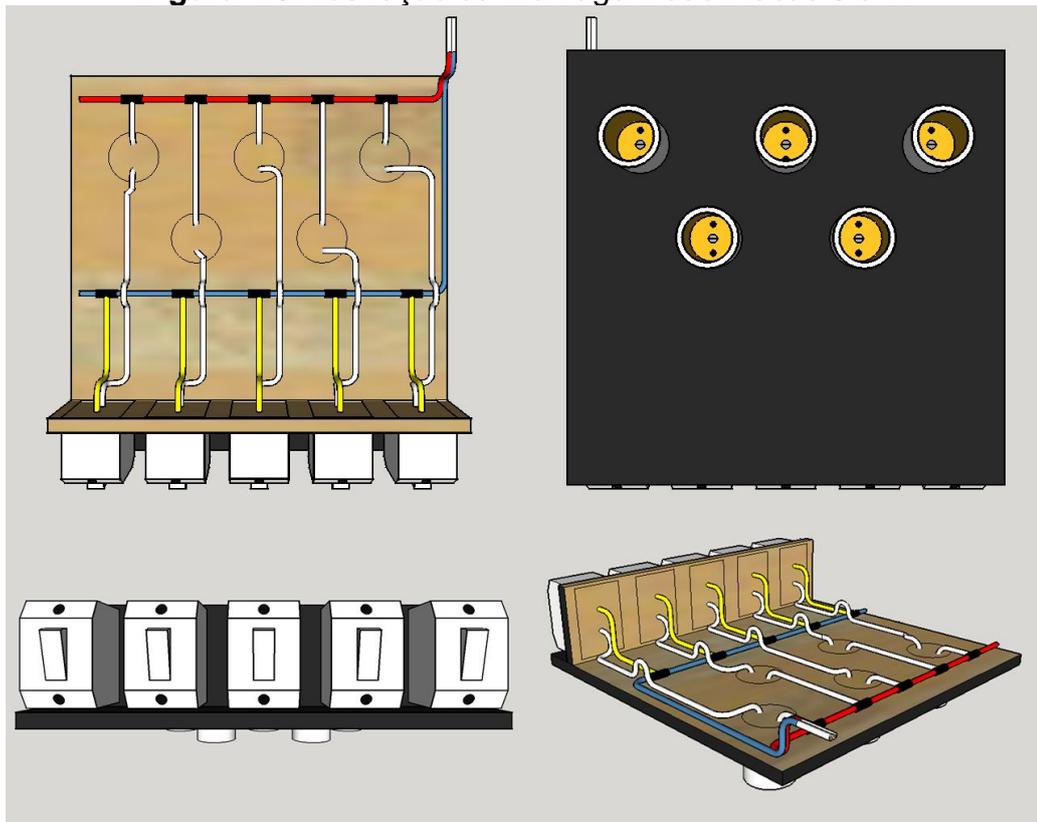


L: Lâmpadas, I: Interruptores
A e B são os contatos que devem ser ligados à tomada

Fonte: O Autor.

Para melhor visualização das etapas citadas anteriormente, segue uma ilustração na Figura 4.8, da Placa 7 fixada à Placa 6, bem como montagem do circuito, colocação dos interruptores na Placa 7 e posicionamento dos soquetes das lâmpadas (bocais) na parte inferior da Placa 6.

Figura 4.8: Ilustração da montagem das Placas 6 e 7.

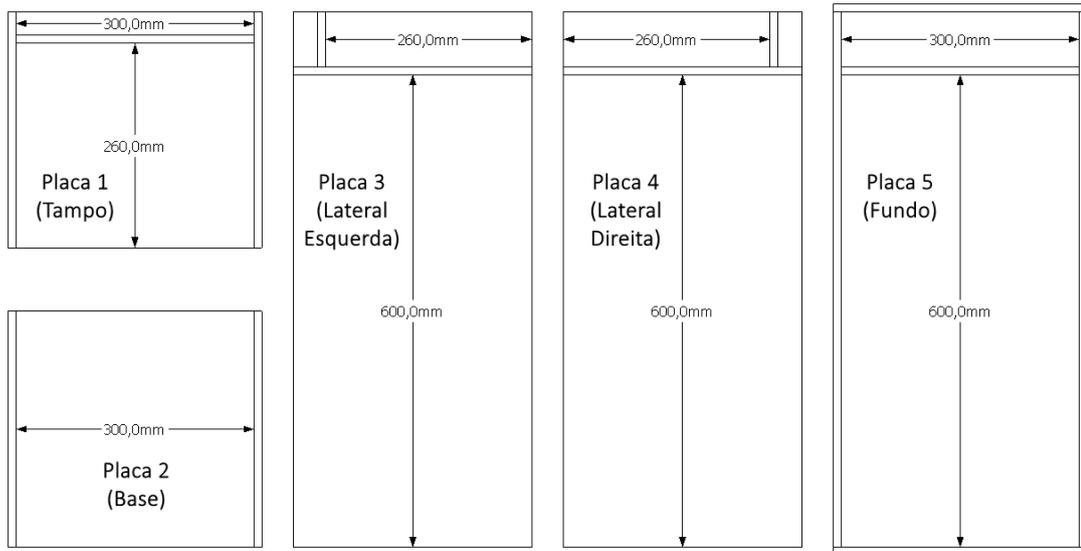


Fonte: O Autor.

- A estrutura da caixa deverá ser montada de modo que as Placas 3 e 4 sejam coladas e parafusadas sobre as extremidades opostas de 300 mm da Placa 2 de modo que a distância interna entre as laterais seja de 300 mm.
- Em seguida a junção das Placas 6 e 7 deverá ser fixada às Placas 3 e 4, de modo que o topo da placa 7 fique alinhado com o topo das Placas 3 e 4. Observe-se que a Placa 6 deverá estar paralela à Placa 2 sendo a distância interna entre ambas as placas equivalente a 600 mm.
- A Placa 5 deverá ser fixada às Placa 2, 3 e 4. Então, deverá ser aberto um orifício na Placa 5 para efetuar a passagem dos fios que conectarão circuito à rede elétrica.
- Por fim, a Placa 1 deverá ser fixada ao topo das Placas 3, 4, 5 e 7.

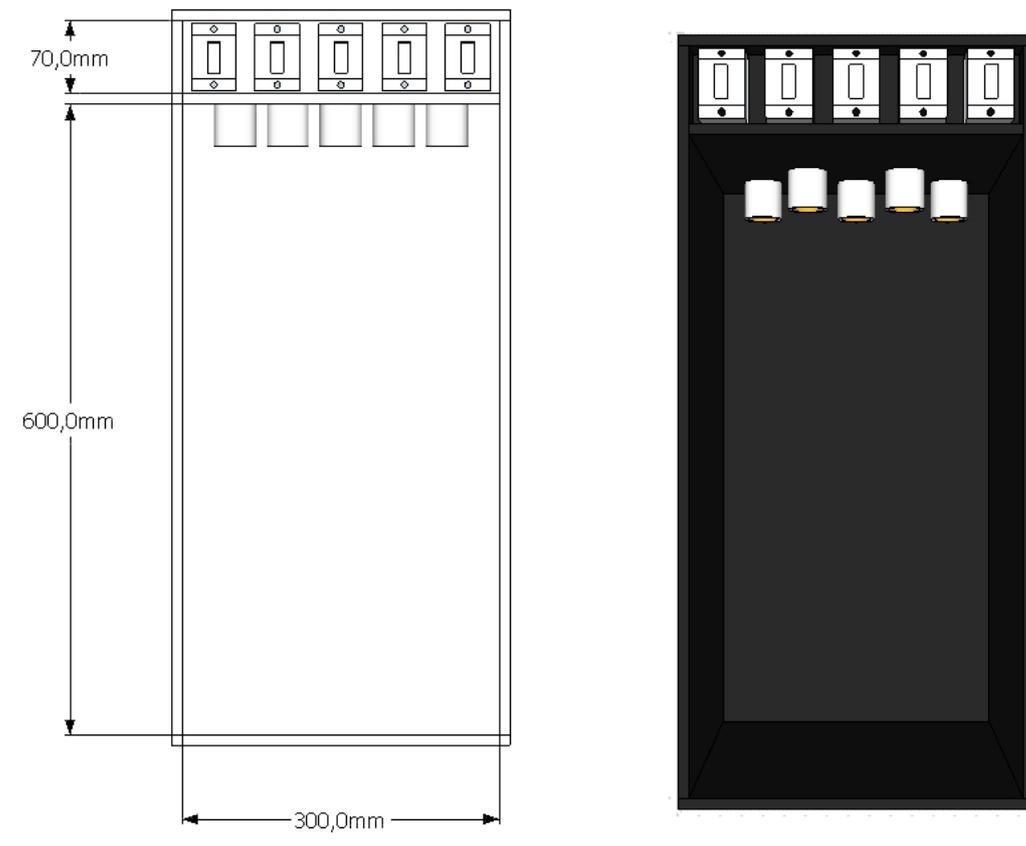
Para melhor visualização dos processos de montagem da estrutura da caixa seguem nas Figuras 4.9 e 4.10, as marcações nas Placas utilizadas e o modelo após o processo de montagem da caixa, respectivamente.

Figura 4.9: Marcações das Placas nas partes internas para a montagem da caixa



Fonte: O Autor.

Figura 4.10: Modelo da caixa



Fonte: O Autor.

Na Figura 4.11, tem-se o circuito retirado do interior de uma vela que muda de cor, este contém um sensor fotodiodo. O circuito é acionado quando radiações de frequências específicas incidem sobre o fotodiodo. Na Figura 4.12, o circuito é exposto

à luz das lâmpadas da caixa, observa-se apenas que em alguns casos o circuito acende.

Figura 4.11: Circuito com sensor fotodiodo



Fonte: O Autor.

Figura 4.12: Fotodiodo exposto à luz das lâmpadas da caixa.



Fonte: O Autor.

Referências

1. MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2ª. ed. São Paulo: EPU, 2015.
2. LEMASTER, R. et al. Photoelectric Effect. **PhET Interactive Simulations**. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric>. Acesso em: Junho 2016.
3. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. 9ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 2014.
4. NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade e Física Quântica**. São Paulo: Blucher, v. 4, 2014.
5. TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. **Física Moderna**. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
6. VALADARES, E. C.; MOREIRA, M. A. Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 2, p. 359-372, 1998.
7. CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma aula sobre o efeito fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **Física na Escola**, v. 3, n. 1, p. 24-29, 2002.
8. MOURA, S. L. et al. Constante de Planck: uma nova visão para o Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 4, p. 246-251, 2011.
9. DIAS, I. F. L.; TEIXEIRA, R. C.; DUARTE, J. L. **Intrdução aos semicondutores e sua aplicações tecnológicas**. 1ª. ed. Londrina: EDUEL, 2005.

Referências Consultadas

- ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no Ensino de Física: usando simulações do PhET. **Física na Escola**, v. 11, n. 1, p. 27-31, 2010.
- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no Ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.
- HODSON, D. Experiments in Science and Science Teaching. **Educational Philosophy and Theory**, v. 20, n. 2, p. 53-66, 1988.

- MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 94-99, 2000.
- MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 7, n. 2, p. 23-30, 2012.
- OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física Moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.
- OLIVEIRA, M. M. L. et al. Práticas experimentais de Física no contexto do ensino pela pesquisa: uma reflexão. **Experiências em Ciências**, v. 5, n. 3, p. 29-38, 2010.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 2, p. 135-151, 2001.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". **Investigação em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.
- PEREIRA, A. P.; CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F. Concepções relativas à dualidade onda-partícula: uma investigação na formação de professores de Física. **Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 1, p. 72-92, 2009.
- PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.
- SILVA, L. F.; ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: uma experiência para abordar o efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 313-324, 2012.
- SILVA, S. C. R.; SCHIRLO, A. C. Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel: reflexões para o Ensino de Física ante a nova realidade social. **Imagens da Educação**, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2014.

SÉRIE
PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA

VOLUME 1 – Automatização de Experimentos de Física Moderna com o Kit Lego NXT Mindstorms

Wanderley Marcílio Veronez, Luiz Américo Alves Pereira, Gélson Biscaia de Souza

VOLUME 2 – O Arduino na Programação de Experiências em Termodinâmica e em Física Moderna

Marilene Probst Novacoski, Gélson Biscaia de Souza, Luiz Américo Alves Pereira

VOLUME 3 – Do Magnetismo à Lei da Indução Eletromagnética de Faraday

Marlon Labas, Fábio Augusto Meira Cássaro

VOLUME 4 – Estudando Astronomia, Aprendendo Física: Atividades Práticas de Observação do Sol

Ana Caroline Pscheidt, Marcelo Emílio

VOLUME 5 – Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano

Gustavo Trierveiler Anselmo, Júlio Flemming Neto, Antônio Sérgio Magalhães de Castro

VOLUME 6 – Ensino dos Conceitos de Movimento e Inércia na Mecânica, a partir de uma Concepção de Ciência que não Utiliza a Lógica Binária

Luiz Alberto Clabonde, Luiz Antônio Bastos Bernardes, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 7 – Uma Proposta de Utilização de Mídias Sociais no Ensino de Física com Ênfase à Dinâmica de Newton

Heterson Luiz De Lara, Alexandre Camilo Junior, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 8 – O Eletromagnetismo e a Física Moderna através de Atividades Experimentais

Ademir Kreпки Henisch, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 9 – Física Nuclear e Sociedade

Tomo I – Caderno do Professor

Tomo II – Caderno do Aluno

Josicarlos Peron, André Vitor Chaves de Andrade

VOLUME 10 – Conceituação e Simulação na Dinâmica do Movimento

Tomo I – Caderno do Professor

Tomo II – Caderno do Aluno

Leandro Antonio dos Santos, Antônio Sérgio Magalhães de Castro

VOLUME 11 – Montagem de um Painel Didático e Atividades Experimentais em Circuitos de Corrente Contínua

Renato Dalzotto, Sérgio da Costa Saab, André Maurício Brinatti

VOLUME 12 – Nas Cordas dos Instrumentos Musicais

Luís Alexandre Rauch, André Maurício Brinatti, Luiz Fernando Pires

VOLUME 13 – O Fóton em Foco: Relações entre Cor, Frequência e Energia de Radiações Eletromagnéticas

Romeu Nunes de Freitas, André Maurício Brinatti, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 14 –

Tomo I - Iniciação em Robótica e Programação com Algumas Aplicações em Física

Tomo II – Tutorial: Tela Interativa com Controle do Nintendo Wii

Hernani Batista da Cruz, Luiz Antônio Bastos Bernardes, Silvio Luiz Rutz da Silva

VOLUME 15 – O Uso do Software Tracker no Ensino de Física dos Movimentos

Edenilson Orkiel, Silvio Luiz Rutz da Silva



Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons –
Atribuição -Não Comercial- Compartilha Igual 4.0 Internacional.

Disponível em:

<http://uepg.br/proex/Home/ebook.html>

