



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Instituto de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



MNPEF

**UMA ELETRODINÂMICA PARA A ERA DIGITAL: A FÍSICA DOS SEMICONDUTORES
E A REVOLUÇÃO DO USO DE LEDS NA ILUMINAÇÃO**

José Miranda da Rocha

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadores:

Deise Miranda Vianna

Sidnei Percia da Penha

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2019

UMA ELETRODINÂMICA PARA A ERA DIGITAL: A FÍSICA DOS SEMICONDUTORES
E A REVOLUÇÃO DO USO DE LEDS NA ILUMINAÇÃO

José Miranda da Rocha

Orientadores:
Deise Miranda Vianna
Sidnei Percia da Penha

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Sidnei Percia da Penha (Presidente)

Prof. Isa Costa

Prof. Vitorvani Soares

Prof. Hugo Milward Riani de Luna

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

R672e Rocha, José Miranda da
Uma eletrodinâmica para a era digital: a Física dos semicondutores e a revolução do uso de LEDs na iluminação / José Miranda da Rocha - Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2018.
xv, 142 f.: il.;30cm.
Orientadores: Deise Miranda Vianna e Sidnei Percia da Penha
Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.
Referências Bibliográficas: f. 135-142.
1. Ensino de Física. 2. LED. 3. CTS. 4. Semicondutores. 5. Atividades Investigativas.
I. Vianna, Deise Miranda. II. Penha, Sidnei Percia da III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. IV. Uma eletrodinâmica para a era digital: a Física dos semicondutores e a revolução do uso de LEDs na iluminação

Agradecimentos

Agradeço aos professores do MNPEF pelos ensinamentos durante o curso de mestrado.

Agradeço à minha família e à minha noiva Rayane pelo apoio durante o processo de escrita da dissertação.

Agradeço à minha amiga Dani pelo suporte dado durante as aulas, sua ajuda foi fundamental para que pudéssemos obter os dados da aplicação.

Agradeço ao meu amigo Beto Pimentel pelas longas conversas sobre fotometria no seu tempo vago no laboratório de Física.

Agradeço aos professores Vitorvani, Hugo e Isa por terem aceitado o convite para fazer parte da banca.

Agradeço principalmente aos meus orientadores pela paciência e dedicação durante o processo de orientação, sem eles não seria possível a realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoas de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção.”

Paulo Freire

RESUMO

UMA ELETRODINÂMICA PARA A ERA DIGITAL: A FÍSICA DOS SEMICONDUTORES E A REVOLUÇÃO DO USO DE LEDS NA ILUMINAÇÃO

José Miranda da Rocha

Orientadores:

Deise Miranda Vianna

Sidnei Percia da Penha

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Esta dissertação teve como objetivo principal desenvolver uma sequência didática destinada aos estudantes do Ensino Médio sobre a temática relacionada ao funcionamento das atuais lâmpadas de LEDs, destacando aspectos importantes para a sua formação cidadã. O estudo dos materiais semicondutores surgiu como consequência da necessidade de entendimento do funcionamento dos LEDs. Foram propostas atividades teóricas e experimentais fundamentadas nos pressupostos teóricos do Ensino por Investigação e organizadas em uma abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade - CTS. Nestas atividades os estudantes foram organizados em grupos e estimulados dialogicamente a pensar sobre os aspectos procedimentais e teóricos da investigação: elaborar um plano de investigação, levantar e testar hipóteses, argumentar com os colegas e com o professor. Na sequência proposta foram abordados tópicos da Física dos semicondutores como a dopagem, o movimento de portadores de cargas elétricas na junção PN, a barreira de potencial e o funcionamento do LED. Além disto, apresentamos conceitos fotométricos para que os estudantes realizassem atividades que permitissem comparar a eficiência energética de diferentes tipos de lâmpadas, utilizando o smartphone como luxímetro. As atividades propostas nesta sequência didática foram aplicadas durante as aulas regulares em um colégio da rede federal de ensino, sendo gravadas e descritas nesta dissertação. Após a coleta de dados e transcrição dos áudios, selecionamos alguns “episódios de ensino” que mostraram que as atividades investigativas propostas permitiram aos estudantes uma participação ativa no processo da construção social do seu conhecimento.

Palavras-chave: Ensino de Física, LED, CTS, Semicondutores, Atividades Investigativas.

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2019

ABSTRACT

AN ELECTRODYNAMICS FOR THE DIGITAL ERA: THE SEMICONDUCTORS PHYSICS
AND THE REVOLUTION OF THE USE OF LEDS IN LIGHTING

José Miranda da Rocha

Supervisor(s):

Deise Miranda Vianna

Sidnei Percia da Penha

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física

This dissertation aims to present the operation of the current LEDs bulbs for High School students, highlighting important aspects for the citizen formation. The study of semiconductor materials arose as a consequence of the need to understand the operation LEDs. Theoretical and experimental activities were proposed based on the theoretical assumptions of Teaching by Research and organized in a Science, Technology and Society approach – STS. In these activities the students were organized in groups and dialogically stimulated to think about the procedural and theoretical aspects of the investigation: develop a research plan, raise and test hypotheses, argue with colleagues and the teacher. From the proposed research activities, the students were able to talk about semiconductors physics topics such as the doping, the movement of electric charge carriers at the PN junction, the potential barrier and the operation of the LED. In addition, we presented photometric concepts for students to perform activities that allowed us to compare the energy efficiency of different types of lamps, using the smartphone as a luxmeter. The activities proposed in this work were applied at a High School of the federal education network during regular classes, being recorded and described in this dissertation. After the data collection, we can see from the transcription of the audios that the investigative activities allowed the students to participate actively in the social construction of their knowledge.

Keywords: Physics education, LED, CTS, Semiconductors, Investigative Activities.

Rio de Janeiro
February 2019

Sumário

Capítulo 1	Introdução e Justificativa	1
1.1	A pesquisa sobre proposição de formas de abordagem e uso de LEDs para estudantes do nível médio	3
1.2	A necessidade de inserção da temática para estudantes do ensino médio e as características do trabalho	8
Capítulo 2	Referencial Teórico	10
2.1	Alfabetização Científica	10
2.2	Enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)	14
2.3	Ensino por Investigação	16
Capítulo 3	Física dos semicondutores	23
3.1	Os materiais semicondutores	23
3.2	Estrutura cristalina do silício e do germânio	24
3.3	O átomo de Bohr e o conceito de bandas de energia	25
3.4	Dopagem	31
3.5	Diodo	35
3.6	LED	40
Capítulo 4	Desenvolvimento das atividades	43
4.1	Local de aplicação	43
4.2	Coleta de dados sobre a aplicação	43
4.3	A aplicação	44
Capítulo 5	Considerações finais	70
Apêndice A	Material do Aluno	73
A.1	A “criação” da luz	73
A.2	Características elétricas de diferentes tipos de lâmpadas	77
A.3	Acendendo uma lâmpada	78
A.4	Semicondutores	80
A.4.1	Dopagem	83
A.4.2	O diodo	87
A.4.2.1	O diodo e a formação da barreira de potencial	89
A.4.2.2	Condução de corrente elétrica no diodo	92
A.4.3	LED	94
A.4.4	Lâmpadas LED	101
A.5	Fotometria	103
A.6	Programa Brasileiro de Etiquetagem	111
Apêndice B	Material do Professor	112
B.1	Orientações para as atividades didáticas	113
B.1.1	Atividade 1	113
B.1.2	Atividade 2	114
B.1.3	Atividade 3	115
B.1.4	Atividade 4	117
B.1.5	Atividade 5	119
B.1.6	Atividade 6	120
B.1.7	Atividade 7	121
B.1.8	Atividade 8	122
B.1.9	Atividade 9	124
B.1.10	Atividade 10	125
B.1.11	Atividade 11	126
B.2	Usando tablets e smartphones como luxímetro	127

Apêndice C Roteiro para construção de uma fonte de tensão variável que gere até 3V	129
Apêndice D A evolução das ideias do átomo de Rutherford ao conceito dos níveis de energia permitidos para os elétrons	131
Referências Bibliográficas.....	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição dos elétrons no átomo de germânio e silício	24
Figura 2: Ligação covalente entre elétrons do átomo de silício.	24
Figura 3 - Modelo do átomo de Rutherford.....	25
Figura 4 - Elétron em movimento espiralar em torno do núcleo.....	25
Figura 5 - Níveis de energia do átomo de hidrogênio.	27
Figura 6 - Distribuição dos vinte e nove elétrons do cobre em subcamadas.....	27
Figura 7 - Bandas de energia em um sólido cristalino	28
Figura 8 - Representação das bandas de energia de um material isolante.....	29
Figura 9 - Bandas de energia de um material condutor. Em vermelho está representado as bandas ocupadas e em azul desocupada da última banda de energia.....	29
Figura 10 -Bandas de energia. (a) isolante, (b) semicondutor, (c) isolante.....	30
Figura 11 - Elétrons migrando da banda de valência para a banda de condução devido à agitação térmica. Em azul estão representadas as bandas livres e em vermelho as bandas ocupadas.	30
Figura 12- Movimento de lacunas e elétrons quando submetidos à uma diferença de potencial.....	31
Figura 13 - Impureza de antimônio formando um material do tipo N.	32
Figura 14 - Diagrama dos níveis de energia de um semicondutor do tipo N a baixas temperaturas.....	32
Figura 15 - Impureza do boro formando um material do tipo P.....	33
Figura 16 - Diagrama de bandas de energia para um semicondutor do tipo P em baixas temperaturas. Um nível aceitou um elétron da banda de valência e o elétron deixou um buraco nessa banda.	33
Figura 17 - Representação dos materiais tipo N e tipo P.....	34
Figura 18 - Representação do diodo.....	34
Figura 19 - Movimento de elétrons e lacunas no momento da junção PN.....	35
Figura 20 - Representação do diodo sem polarização externa	35
Figura 21- Efeito da tensão externa na extensão da região de depleção e na altura da barreira de potencial. (a) sem polarização, (b) polarização direta, (c) polarização reversa.....	36
Figura 22 - Diodo reversamente polarizado. Em verde está representado o vetor campo elétrico da fonte de tensão e em vermelho o campo elétrico gerado pelos íons na junção PN.....	36
Figura 23 - Junção PN polarizada reversamente.	37
Figura 24 - Diodo diretamente polarizado. Em verde está representado o vetor campo elétrico da fonte de tensão e em vermelho o campo elétrico gerado pelos íons na junção PN.....	37
Figura 25 - Junção PN diretamente polarizada.....	38
Figura 26 - Curva característica de um diodo.....	38
Figura 27 - Curva característica dos diodos de silício e germânio	39
Figura 28 - (a) LED vermelho, (b) representação do LED.....	40
Figura 29 - Elementos constituintes do LED.....	40
Figura 30 - Recombinação elétron/lacuna na junção PN	41
Figura 31 - Comprimento de onda para diferentes cores do espectro eletromagnético	41
Figura 32 - Entrada do CAP UFRJ.....	43
Figura 33 - : Alunos do terceiro ano divididos apresentando suas ideias durante a primeira atividade.....	44
Figura 34 - Materiais utilizados na terceira atividade	46

Figura 35 - Materiais utilizados na quarta atividade.	49
Figura 36 - Circuito elétrico com lâmpada pingo d'água.	49
Figura 37 - LED reversamente polarizado	50
Figura 38 - LED diretamente polarizado.....	50
Figura 39 - Resposta de um dos grupos na quinta atividade.	52
Figura 40 - Dopagem do tipo N.....	53
Figura 41 - Resposta dos estudantes ao primeiro item da sexta atividade.	54
Figura 42 - Dopagem do tipo P.	55
Figura 43 - Resposta dos estudantes ao segundo item da sexta atividade (aumento da condutividade).	56
Figura 44 - Resposta dos estudantes ao segundo item da sexta atividade (diminuição da condutividade).	56
Figura 45 - Representação da junção PN.....	57
Figura 46 - Representação do movimento de elétrons no momento do contato da junção PN e a formação da barreira de potencial.....	57
Figura 47 - Modelo de fonte de tensão variável	58
Figura 48- Materiais recebidos pelos estudantes para a montagem da fonte de tensão variável.	59
Figura 49 - Conexões dos fios na protoboard para a montagem da fonte de tensão variável.	59
Figura 50 - : Alunos testando a fonte de tensão variável.....	60
Figura 51 - Representação do diodo polarizado. (a) diretamente polarizado, (b) reversamente polarizado.	60
Figura 52 - Resposta de um dos grupos no primeiro item da oitava atividade.....	61
Figura 53 - Diodo reversamente polarizado.	62
Figura 54 - Alunos montando o circuito com LED.	63
Figura 55 - Valor da voltagem medida pelos estudantes.....	64
Figura 56- Resposta dos alunos para o terceiro item da nona atividade.....	64
Figura 57 - Resposta dos estudantes sobre o primeiro item da décima atividade	66
Figura 58 - Aluna esquematizando o arranjo experimental para a décima atividade.....	66
Figura 59 - Cálculos desenvolvidos pelos estudantes para comparar a eficiência da lâmpada incandescente pingo d'água e do LED	67
Figura 60 - Foto do planisfério terrestre tirada por satélites da NASA.....	72
Figura 61 - Diferentes tipos de lâmpadas	74
Figura 62 - Região pouco iluminada.	75
Figura 63- Elemento 1	76
Figura 64- Elemento 2	76
Figura 65 -Elemento 3	76
Figura 66 - Elemento 4	76
Figura 67 - Elemento 5	76
Figura 68 - Lâmpada incandescente	77
Figura 69 - Dispositivos semicondutores. (a) circuito integrado, (b) transistor, (c) LED.	79
Figura 70 - Distribuição dos elétrons nos átomos de germânio e silício.....	80
Figura 71 - Estrutura cristalina do silício	80
Figura 72 - Movimento de lacunas e elétrons em materiais semicondutores.....	81
Figura 73 - Átomo de fósforo na estrutura cristalina de silício	82
Figura 74 - Átomo de boro na estrutura cristalina do silício	83
Figura 75 - Dopagem tipo P	84
Figura 76 - Dopagem do tipo N.....	85

Figura 77 - Diodos de silício	86
Figura 78- Contato inicial na junção PN	87
Figura 79 - Representação do diodo.....	88
Figura 80 - Movimento de elétrons e lacunas no momento da junção PN.....	88
Figura 81 - Barreira de potencial no diodo.....	89
Figura 82 - Diodos polarizados de duas formas distintas	90
Figura 83 - Junção PN inversamente polarizada	91
Figura 84 - Diodo diretamente polarizado com tensão elétrica inferior à voltagem da barreira de potencial	92
Figura 85 - Diodo diretamente polarizado com tensão elétrica superior à voltagem da barreira de potencial	92
Figura 86 - (a) LED vermelho, (b) representação do LED.....	93
Figura 87 - Elementos constituintes do LED.....	93
Figura 88 - Espectro emitido por uma lâmpada incandescente	95
Figura 89 - Emissão da luz pela junção PN.....	96
Figura 90 - Comprimento de onda para diferentes cores do espectro eletromagnético .	97
Figura 91 - Shuji Nakamura	97
Figura 92 - Sistema RGB.....	99
Figura 93 - LED de potência.	99
Figura 94 - Lâmpada LED.....	100
Figura 95 - Partes da lâmpada LED.....	100
Figura 96 - Dissipador de calor da lâmpada LED.	101
Figura 97 - Representação da propagação da luz de uma fonte pontual	103
Figura 98 - Curva de sensibilidade do olho humano aos diferentes comprimentos de onda	104
Figura 99 - Fluxo de água de um chafariz	104
Figura 100 - Espectro eletromagnético emitido por dois diferentes tipos de lâmpadas. (a) incandescente, (b) LED	105
Figura 101 - Representação do fluxo luminoso de uma lâmpada.....	106
Figura 102 - Esfera integradora	106
Figura 103 - Distribuição do fluxo luminoso de um lúmen numa área de 1m ²	107
Figura 104 - Celular funcionando como luxímetro	107
Figura 105 - Diferentes tipos de lâmpadas	109
Figura 106 - Informações presentes na embalagem de uma lâmpada LED	110
Figura 107 - Materiais necessários para a terceira atividade . (a) lâmpada fluorescente, (b) lâmpada LED, (c) lâmpada incandescente , (d) LED , (e) lâmpada incandescente pingo d'água.	115
Figura 108 - Materiais necessários para a quarta atividade. (a) suporte para pilhas, (b) pilhas , (c) fios com garra de jacaré , (d) lâmpada incandescente pingo d'água, (e) LED.	116
Figura 109 - Diodo polarizado. (a) diretamente polarizado, (b) inversamente polarizado.	121
Figura 110 - Print screen do vídeo Coleção Técnica Interativa – Eletrônica – semicondutores.	122
Figura 111 - Materiais necessários para a décima atividade.	124
Figura 112 - Medição de corrente alternada utilizando o alicate amperímetro.	125
Figura 113 - Alguns dos aplicativos de luxímetro disponíveis na Play Store em 10/10/2018.	126
Figura 114 - Celular funcionando como luxímetro.	127
Figura 115 - Modelo de fonte de tensão variável.	128

Figura 116 - Materiais necessários para a montagem da fonte de tensão variável.....	128
Figura 117- Representação do potenciômetro	129
Figura 118 - Fonte de tensão variável na protoboard.	129
Figura 119 - Representação do modelo do átomo de Rutherford.....	130
Figura 120 - Elétron do átomo de hidrogênio em órbita circular.	130
Figura 121 - Elétron em movimento espiral em torno do núcleo	132
Figura 122 - A órbita de um elétron de um átomo de hidrogênio correspondente a uma onda completa de de Broglie.	133
Figura 123 - Possíveis vibrações de uma espira rígida.....	133
Figura 124 - Níveis de energia do átomo de hidrogênio.	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fluxo luminoso e eficiência energética das lâmpadas incandescente, fluorescentes e LED.....	8
Tabela 2 - Valores de resistividade típicos.....	23
Tabela 3 - Resistividade do silício puro e dopado.....	86
Tabela 4 - A cor emitida pelo LED e seu material constituinte	96
Tabela 5 - Algumas informações presentes no datasheet do LED vermelho	115
Tabela 6 - Resistividade de diversos materiais.....	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise dos livros de Física do PNLD (2016 – 2018).....	3
Quadro 2 - Dissertações sobre LEDs e semicondutores encontradas no programa do MNPEF.....	5
Quadro 3 - Artigos encontrados nos periódicos pesquisados	6
Quadro 4 - Aspectos do laboratório tradicional e de atividades investigativas.....	19
Quadro 5 - Níveis de investigação no laboratório de Ciências.....	20
Quadro 6 - A cor emitida pelo LED e seu material constituinte	42
Quadro 7 - Partes das competências gerais esperadas ao final da educação básica.	48
Quadro 8 - Transcrição dos cálculos desenvolvidos pelos estudantes para comparar a eficiência da lâmpada incandescente pingo d'água e do LED.	68
Quadro 9 - A cor emitida pelo LED e seu material constituinte	96
Quadro 10 - Sugestão para a divisão das aulas da sequência didática	111

Capítulo 1

Introdução e Justificativa

O cidadão contemporâneo está cercado de diversas tecnologias que possibilitam a obtenção de informação de forma praticamente instantânea. Neste contexto, a escola não deve se limitar a transmitir informações, mas sim ensinar os estudantes a pensar como os conhecimentos adquiridos estão relacionados com a sua vida e com a sociedade na qual estamos inseridos.

Pensado nesta perspectiva, o ensino de Física na educação básica deve estar direcionado para que o estudante possa compreender a tecnologia que o cerca e seus impactos sociais e ambientais. No que toca à energia elétrica, constatamos que boa parcela da energia elétrica gasta no mundo está atrelada à iluminação. Desde o domínio de técnicas que permitiram o homem controlar o fogo, temos buscado fontes de luz mais duráveis e eficientes.

Thomas Edison (1847-1931) conseguiu produzir lâmpadas incandescentes possíveis de serem comercializadas. Este tipo de lâmpada foi utilizado em todo o mundo, iluminando muitas casas desde o século XIX. A lâmpada incandescente é composta por um filamento metálico que, quando aquecido a altas temperaturas (na ordem de 3000 °C), emite radiação eletromagnética na faixa do visível, mas o aproveitamento energético dela é muito pequeno (por volta de 5%). Ela, atualmente, teve sua venda e fabricação proibidas em diversos países, inclusive no Brasil, devido à sua baixa eficiência energética. A proibição ocorreu por não atender aos valores mínimos de eficiência energética, determinada pela portaria interministerial 1.007, de 31 de dezembro de 2010, do Ministério de Minas e Energia.

Com a proibição da venda das lâmpadas incandescentes, outros tipos de lâmpadas, como a de LED, vêm ganhando destaque no mercado brasileiro. As lâmpadas LEDs são apresentadas como uma opção mais durável e econômica para a iluminação, mas, para que o seu funcionamento possa ser compreendido, é necessário que se estudem os materiais semicondutores. Ao pensarmos o ensino de Física numa perspectiva de formação para a cidadania, é preciso que o ensino de materiais semicondutores esteja presente na educação básica para que auxilie os estudantes a compreender a tecnologia que os cercam atualmente.

Já existe a preocupação com a inserção de temas relacionados com as tecnologias presentes em nossa sociedade. As Orientações Educacionais Complementares aos

Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2002) apresentam seis temas estruturadores para organizar o ensino de Física. Dentre eles, está presente o tema “Matéria e Radiação”. No texto, é apresentada a importância de se ensinar as tecnologias baseadas na radiação e os avanços da microtecnologia para o cidadão, conforme exposto abaixo:

Introduzir esses assuntos no ensino médio significa promover nos jovens competências para, por exemplo, ter condições de avaliar riscos e benefícios que decorrem da utilização de diferentes radiações, compreender os recursos de diagnóstico médico (radiografias, tomografias etc.), acompanhar a discussão sobre os problemas relacionados à utilização da energia nuclear ou compreender a importância dos novos materiais e processos utilizados para o desenvolvimento da informática(...) Essa compreensão das interações e da matéria, agora em nível microscópico, permite um novo olhar sobre algumas propriedades trabalhadas no ensino médio, tais como condutividade e transparência, mas permite também promover, como síntese, uma concepção mais abrangente do universo físico(...) São esses modelos explicativos de matéria, de radiação e de suas interações que também possibilitam o desenvolvimento de novos materiais como cerâmicas, cristais e polímeros ou novos sistemas tecnológicos como microcomputadores, combustíveis nucleares, rastreamento por satélite, lasers e cabos de fibra óptica (BRASIL, 2002, p. 28-29).

Este tema estruturador é dividido em quatro unidades, sendo que uma delas aborda a “Eletrônica e Informática”, onde está presente o ensino dos materiais semicondutores no Ensino Médio, conforme apresentado:

Unidade 5.4: Eletrônica e Informática

- identificar a presença de componentes eletrônicos, como semicondutores, e suas propriedades nos equipamentos contemporâneos;
- identificar elementos básicos da microeletrônica para compreender o processamento de informação (processadores, microcomputadores etc.), redes de informática e sistemas de automação;
- acompanhar e avaliar o impacto social e econômico da automação e informatização na vida contemporânea (BRASIL, 2002, p. 30).

Neste trabalho, construímos uma sequência didática investigativa com o enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) para explicar o funcionamento do LED para estudantes do ensino médio. Nossa motivação inicial foi justamente elaborar uma sequência didática na qual o LED fosse introduzido e utilizado ao longo de todo o curso de eletrodinâmica e não apenas em um capítulo único destinado à sua abordagem. Desta maneira, além das tradicionais experiências que envolvem o uso de lâmpadas incandescentes durante o conteúdo de eletrodinâmica, tínhamos a intenção de desenvolvermos uma abordagem teórica e experimental na qual os estudantes pudessem utilizar os LEDs e as novas lâmpadas de LED em suas atividades de investigação durante vários momentos.

1.1 As pesquisas sobre proposição de formas de abordagem e uso de LEDs para estudantes do nível médio

Para justificar a escolha do tema LED, antes do início da elaboração da sequência didática, fizemos uma busca bibliográfica em livros de Física presentes nos Planos Nacionais de Livros Didático (PNLD), referentes aos anos 2016-2018; dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF); e periódicos selecionados, a saber: Física na Escola, Revista Brasileira de Ensino de Física e no Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Foram analisadas as publicações do período de 2008 até 2017. Em nossa pesquisa nos periódicos utilizamos as seguintes palavras chaves: “ Semicondutores”, “LED” e” Física dos semicondutores”. Organizamos os resultados de nossas pesquisas bibliográficas da seguinte forma: quadro 1 - Análise dos livros de Física do PNLD (2016- 2018), quadro 2 – Dissertações sobre LED e semicondutores encontradas no programa do MNPEF, quadro 3 – Artigos encontrados nos periódicos pesquisados. Conforme apresentados a seguir:

Quadro 1 - Análise dos livros de Física do PNLD (2016-2018).

Livro	Autor	Editora	Volume	Descrição
Compreendendo a Física	Alberto Gaspar (2016).	Ática	3	Na segunda seção do primeiro capítulo do livro, quando discute sobre condutores, isolantes e processos de eletrização há um box que menciona a existência dos materiais supercondutores e dos semicondutores. O autor relata a dificuldade de se classificar os materiais como isolantes ou condutores elétricos .
Física	Gualter, Helou e Newton (2016).	Saraiva	3	No primeiro capítulo do livro os autores diferenciam os materiais condutores e isolantes sem citar a existência dos semicondutores. Porém no final do quarto capítulo, que aborda resistência e corrente elétrica, há um quadro que introduz a teoria de bandas e em seguida diferencia os condutores, semicondutores e isolantes com base nessa teoria.
Física: contextos & aplicações.	Máximo, Alvarenga e Guimarães (2016).	Scipione	3	Não apresenta nenhuma discussão sobre os semicondutores.

Quadro 1 (continuação)

Física	Bonjorno, Prado Casemiro e Clinton (2016).	FTD	3	Na seção 4 do primeiro capítulo, quando aborda o assunto “Condutores e isolantes”, os autores comentam sobre a existência dos materiais semicondutores, como sendo um material classificado entre os isolantes e os condutores. Além disso, apresentam o silício e o germânio como os principais elementos semicondutores e comentam como o processo de dopagem pode influenciar na mudança da condutividade desses materiais. Entretanto, não entram em detalhes do porquê dessa modificação nas propriedades elétricas. No fechamento da seção, mencionam a existência de dispositivos semicondutores como transistores, LEDs e chips sem explicar o seu funcionamento.
Física – Ciência e Tecnologia.	Magno, Gilberto, Cesar (2016).	Moderna	3	Não apresenta nenhuma discussão sobre os semicondutores.
Conexões com a Física.	Sant’ana, Martini Carneiro (2016).	Moderna	3	Não apresenta nenhuma discussão sobre os semicondutores.
Física: Interação e Tecnologia	Filho e Toscano (2016).	LEYA	3	Não apresenta nenhuma discussão sobre os semicondutores.
Física : Aula por aula	Barreto e Xavier (2016).	FTD	3	Não apresenta nenhuma discussão sobre os semicondutores.
Ser protagonista	Benetti, Fukui e Souza (2016).	Saraiva	3	Não apresenta nenhuma discussão sobre os semicondutores.
Física para o ensino médio	Fuke e Kazuhito (2016).	Saraiva	3	Não apresenta nenhuma discussão sobre os semicondutores.
Física	Carron Guimarães Piqueira (2016).	Ática	3	Não apresenta nenhuma discussão sobre os semicondutores.
Física em contextos	Pogibin, Pietrocola, Andrade e Raquel (2016).	Editora do Brasil	3	Não apresenta nenhuma discussão sobre os semicondutores.

Quadro 2 - Dissertações sobre LED e semicondutores encontradas no programa do MNPEF¹.

Título	Autor	Ano	Descrição
Dispositivo eletrônico semicondutor LED: uma abordagem baseada em Unidades de Ensino Potencialmente Significativa	Santo	2017	O autor utilizou a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) na elaboração das aulas para ensinar a Física dos semicondutores e o funcionamento do LED explorando uma simulação do PHET sobre dopagem. Além disso o trabalho apresenta dados sobre a comparação energética entre as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LEDs sem realizar nenhuma experiência sobre o assunto. Como avaliação somativa foi utilizado um questionário feito no Google Forms sobre os conceitos estudados nas aulas anteriores.
Uma abordagem para o ensino de dispositivos LED no ensino médio	Adriéli Alves	2017	Para iniciar a abordagem sobre o LED, são introduzidos conceitos sobre ondas, radiações ionizantes e não ionizantes e sobre o átomo de Bohr. Além do estudo teórico, foi usada uma simulação do PHET sobre estudo de ondas e foi feita uma experiência explorando a variação do brilho LED quando ligado em série com resistores de diferentes valores. No final da sequência didática foi aplicado um questionário para a verificação da aprendizagem dos conceitos ensinados.
Materiais semicondutores : Uma abordagem para o ensino médio.	Andressa Alves	2016	Para iniciar o estudo sobre as lâmpadas LEDs, a autora pediu que os estudantes fizessem uma pesquisa sobre o seu funcionamento com os comerciantes locais. Em seguida fez uma revisão sobre ligações químicas e apresentou o conceito de bandas de energia para diferenciar os materiais condutores, semicondutores e isolantes. Foi pedido que os alunos construíssem maquetes para representar as bandas de energia desses materiais. Para explicar o processo de dopagem, foram utilizadas representações bidimensionais da estrutura cristalina dos semicondutores intrínsecos e extrínsecos. Para finalizar a sequência didática foi feita apresentado o funcionamento do LED e foi feita uma discussão sobre a importância do conhecimento científico na vida atual.
Metodologia de ensino de semicondutores no ensino médio	Rodrigues	2015	O autor utilizou sucata eletrônica para construção de uma fonte de tensão contínua e apresentou o funcionamento de elementos semicondutores e as tecnologias relacionadas a esses tipos de materiais.

¹ As dissertações estão disponíveis no seguinte endereço eletrônico: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/?q=defesas>. Acesso em 10/12/2018.

Quadro 3 - Artigos encontrados nos periódicos pesquisados.

Título do artigo	Revista	Autor	Descrição
Ensino da visão cromática através de aparato com LED's coloridos	Rev. Bras. Ens. Fís (v.38, n.3, p. 1-6)	Silveira Barthem	Os autores abordam a teoria cromática de Young-Helmholtz e montaram um aparato experimental de baixo custo com LEDs das seguintes cores: vermelha (RED), verde (GREEN) e azul (BLUE) para ensinar a síntese aditiva das cores.
Disco de Newton com LEDs	Rev. Bras. Ens. Fís (v.38, n.4, p. 1-9)	Silveira Barthem	Os autores propõem a construção de um disco de Newton com LEDs coloridos. A ideia é produzir diversas cores utilizando LEDs, não somente a branca, com base na teoria cromática de Young-Helmholtz
Determinação experimental da constante de Boltzmann a partir da curva característica corrente-voltagem de um diodo	Rev. Bras. Ens. Fís (v.37, n.1, p. 1-6)	Cruz e Soares	Os autores propõem a montagem de um circuito elétrico com um resistor, um diodo e uma fonte de tensão variável para construir e analisar a curva característica do diodo. Eles realizaram o experimento em três temperaturas distintas: 0°C, 23°C e 100°C. Com a análise da curva característica construída, os autores conseguem concluir que a curva exponencial descreve bem o gráfico $V \times i$ de um diodo. Como resultado da análise matemática do experimento, pode-se concluir que o aumento da temperatura ocasionou mudança na condutividade do diodo. Usando o valor da voltagem (Vd) e corrente elétrica no diodo (Id) polarizado diretamente para o diodo de silício foi calculado o valor da constante de Boltzmann.
O prêmio Nobel de Física de 2014	Cad. Bras. Ens. Fís (v.32, n.2, p. 351-368)	Bassalo	O artigo conta o histórico de invenções de LEDs até os Físicos Isamu Akasaki e Hiroshi Amano, Shuji Nakamura ganharem prêmio Nobel de Física de 2014 devido à invenção do LED azul.
O uso de vídeos curtos para ensinar tópicos de semicondutores	Rev. Bras. Ens. Fís (v.37, n.3, p. 1-7)	Freitas Oliveira	Os autores gravaram quatro vídeos para ensinar a física dos semicondutores que foram disponibilizados no Youtube. Após a exibição de cada um dos vídeos, foi aplicado um questionário para avaliação baseado na escala Likert. Como resultado da avaliação, percebeu que os alunos não entenderam bem alguns conceitos como o de bandas de energia.
Uso de diodos emissores de luz (LED) de potência em laboratório de Óptica	Cad. Bras. Ens. Fís (v.31, n.1, p. 60-67)	Pinheiro Silva Freitas Santiago	As autores utilizam LEDs de alta potência para substituir as tradicionais lâmpadas incandescentes nos laboratórios de ótica e mostram as vantagens obtidas nessa troca.

Quadro 3 (continuação)

Usando LED como forma de energia	Física na escola (v.9, n.1, p 26-28)	Alves Silva	Os autores utilizam LED como célula solar. Para verificar a tensão dos LEDs, quando iluminados, foi colocado um voltímetro em paralelo; verificou-se uma tensão de até 2V ao ilumina-lo com a luz solar.
----------------------------------	--------------------------------------	----------------	--

1.2 A necessidade de inserção da temática para estudantes do ensino médio e as características do trabalho

Nas propostas que analisamos, vimos que o diodo emissor de luz é apresentado, via de regra, como um tópico isolado dentro da Física. Deste modo, desejamos propor uma abordagem teórica e experimental que possibilite aos professores do nível médio inserir esta nova tecnologia LED ao longo do estudo da eletrodinâmica. Nossa sequência didática tem como objetivo central apresentar o funcionamento do LED traçando relações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade. Atualmente, tanto os LEDs quanto as lâmpadas de LED estão amplamente difundidas em nossa sociedade. Esse é um dos motivos que reforçam a necessidade da abordagem desses elementos na escola de Ensino Médio. O desenvolvimento de equipamentos elétricos mais eficientes é uma questão importante para a nossa sociedade, pois está relacionado ao uso de nossos recursos energéticos e decisões sobre investimentos financeiros. Portanto, trata-se de um assunto relevante que os alunos entendam os processos físicos do funcionamento destes dispositivos e que sejam conhecidos pela nossa sociedade bem como os seus possíveis impactos sociais, econômicos e ambientais. Por exemplo, a lâmpada LED possui eficiência energética superior à das incandescentes e fluorescentes e sua escolha pode resultar em economia financeira e menos danos para o meio ambiente. Para que se possa tomar decisões como, por exemplo, de qual lâmpada é melhor para se escolher, uma informação importante é a eficiência energética. Veja, na tabela 1, as informações de fluxo luminoso e eficiência energética de uma lâmpada incandescente (60W), uma fluorescente (15W) e uma LED (4,5W).

Tabela 1: Fluxo luminoso e eficiência energética das lâmpadas incandescente, fluorescente e LED.

Lâmpada	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência energética (lm.W ⁻¹)
Incandescente (60 W)	338	5,6333
Fluorescente (15 W)	316	21,0667
LED (4,5 W)	160	35,5556

Fonte: SANTOS et al (2015).

Para o estudo dos semicondutores e do LED, elaboramos atividades investigativas que permitam aos estudantes participarem da construção social do conhecimento, dialogando com os colegas da turma, levantando hipóteses e quando possível testando-as

experimentalmente. Tanto as atividades teóricas como as experimentais apresentadas têm por objetivo tirar o estudante de uma postura passiva em relação a sua aprendizagem.

Nas atividades propostas no Material do Aluno (apêndice A), procuramos trazer discussões que ofereçam oportunidade de reflexão sobre aspectos importantes para a formação cidadã, como a questão do gasto de energia elétrica, e a importância de termos dispositivos cada vez mais eficientes energeticamente.

Além de ter maior eficiência energética, as lâmpadas LEDs são as que apresentam maior durabilidade, cerca de 50.000 h, enquanto as incandescentes duram, em média, 1000 h e as fluorescentes 6000h (SANTOS et al, 2015). Outro ponto importante presente em nosso trabalho - não encontrado na pesquisa bibliográfica feita - é a apresentação de conceitos fotométricos e a elaboração de atividades experimentais que permitam os estudantes comparar a eficiência de diferentes tipos de lâmpadas.

Essa dissertação contém cinco capítulos e quatro apêndices: No primeiro capítulo são apresentadas a Introdução e a Justificativa da escolha do tema; o segundo capítulo é dedicado ao referencial teórico sobre Alfabetização Científica, Enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) e Ensino por Investigação; o terceiro capítulo é dedicado ao estudo dos materiais semicondutores e do funcionamento do LED; o quarto capítulo é dedicado à descrição da aplicação da sequência didática em turmas do ensino médio de um escola da rede federal de ensino e no quinto capítulo estão as Considerações Finais. No apêndice A é apresentado o Material do Aluno; no apêndice B o Material do Professor, que expõe recomendações para os que desejarem aplicar nossa sequência didática; no apêndice C um manual para a construção de uma fonte de tensão variável que gere até 3V; no apêndice D é apresentado uma evolução das ideias do átomo de Rutherford ao conceito dos níveis de energia permitidos para os elétrons.

Capítulo 2

Referencial teórico

2.1 Alfabetização Científica

O primeiro registro encontrado do termo alfabetização científica (AC) foi de 1958 em um artigo de Paul Hurd intitulado “*Science Literacy: Its meaning for American Schools*”. Neste artigo, o autor elabora uma lista de atributos que uma pessoa deve ter para ser considerada Alfabetizada Cientificamente:

- Reconhece que quase todo fato da vida de alguém tem sido influenciado, de alguma maneira, pelas ciências e tecnologias.
- Sabe que as ciências em contextos sociais têm dimensões política, judicial, ética e, às vezes, interpretações morais.
- Usa o conhecimento científico em circunstâncias apropriadas tomando decisões para sua vida e da sociedade, fazendo julgamentos, resolvendo problemas e agindo.
- Reconhece lacunas, riscos, limites e probabilidades na tomada de decisões envolvendo um conhecimento da ciência ou tecnologia.
- Reconhece as relações simbióticas entre ciência e tecnologia e entre ciência, tecnologia e as ações humanas” (HURD;1958 apud PENHA e CARVALHO, 2011, p. 60).

Em consonância com os atributos trazidos por Paul Hurd, a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) afirma que uma pessoa alfabetizada cientificamente deve ter a capacidade de combinar o conhecimento científico com a habilidade de tirar conclusões baseadas em evidências, de modo a compreender e ajudar a tomar decisões sobre o mundo e as mudanças nele provocadas pela atividade humana (OCDE, 2000).

Sobre a temática da AC, Sasseron e Carvalho (2008) defendem um ensino de Ciências que possibilite aos estudantes compreender a cultura científica. Para isto, devem ser desafiados com problemas autênticos que os mobilizem a se engajar em um trabalho de investigação. Desta maneira, é necessário que o ensino de Ciências permita aos alunos trabalharem e discutirem problemas envolvendo fenômenos naturais como forma de introduzi-los ao universo das Ciências (SASSERON e CARVALHO, 2008). Segundo as autoras:

É preciso também proporcionar oportunidades para que os alunos tenham um entendimento público da ciência, ou seja, que sejam capazes de receber informações sobre temas relacionados à ciência, à tecnologia e aos modos como estes empreendimentos se relacionam com a sociedade e com o meio-ambiente e, frente a tais conhecimentos, sejam capazes de discutir tais

informações, refletirem sobre os impactos que tais fatos podem representar e levar à sociedade e ao meio ambiente e, como resultado de tudo isso, posicionarem-se criticamente frente ao tema (SASSERON e CARVALHO, 2008, p. 336).

Para Chassot (2003), para que uma pessoa seja considerada alfabetizada cientificamente, é necessário que seja capaz de compreender a linguagem científica². Essa compreensão pode nos ajudar a prever mudanças que possam acontecer na natureza, assim poderíamos interferir e melhorar nossa qualidade de vida. Seguindo neste sentido, as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2002) apontam a necessidade de um ensino de Física que permita o estudante compreender os fenômenos naturais e tecnológicos. O trecho abaixo mostra uma passagem do referido documento sobre essa questão.

A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. Isso implica, também, na introdução à linguagem própria da Física, que faz uso de conceitos e terminologia bem definidos, além de suas formas de expressão, que envolvem, muitas vezes, tabelas, gráficos ou relações matemáticas (BRASIL, 2002, p. 2).

Nesta perspectiva, podemos destacar a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), de 1996, que coloca a formação geral do cidadão como um dos objetivos centrais da educação básica. No artigo 22 da referida lei: “A educação básica tem por finalidade desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios de formação para trabalho e estudos posteriores” (BRASIL, 1996, p. 22).

Para atender a esse objetivo central da LDB, temos que pensar em um ensino de Física que ajude os alunos a tomarem decisões conscientes tendo como base o seu conhecimento científico. Conforme indica Sasseron (2010):

A preocupação com a formação geral dos estudantes demanda estender estas fronteiras: não basta mais que os alunos saibam apenas certos conteúdos escolares; é preciso formar-lhes para que sejam capazes de conhecer estes conteúdos, reconhece-los em seu cotidiano, construir novos conhecimentos a partir de sua vivência e utilizar os mesmos em situações com as quais possam se defrontar ao longo de sua vida. A educação escolar deixa de ter a obrigação de explorar apenas os assuntos de cada disciplina e precisa formar os alunos para viver em sociedade. Um papel bastante mais amplo se comparado com a educação que se previa antes da LDB (SASSERON, 2010, p. 3).

² Compreender termos e conceitos científicos.

Tendo por base as recomendações de diferentes pesquisadores comprometidos com os objetivos da AC, Carvalho e Sasseron (2008) sintetizaram e agruparam estas recomendações em três grupos que chamaram de “*Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica*”. Esses Eixos servem de base para a elaboração e planejamento de aulas com o objetivo de promover a AC. Segundo as autoras, são eles: a compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais; a compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática; entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente.

O primeiro eixo preocupa-se com a ***compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais***. Para que uma pessoa seja considerada alfabetizada cientificamente, um dos pilares é o entendimento dos termos científicos, conhecimentos e conceitos básicos para a vida e o entendimento de informações do dia-a-dia. Sobre essa questão, Sasseron (2011) aborda a importância deste primeiro eixo:

Em se tratando do ensino da Física para estudantes do Ensino Médio, compreender conceitos físicos básicos, em muitas ocasiões, demandará compreender de que maneira foi possível propor as relações entre as variáveis do mundo natural. Assim, tão importante quanto saber quais são estes conceitos é compreender de que modo eles se estruturam tal como propostos. E a proximidade entre a Matemática e a Física, tradicionalmente trabalhada apenas pelo viés da operacionalização de exercícios didáticos, manifesta-se como uma possibilidade real durante a construção destes conceitos pelos estudantes: a leitura de tabelas e gráficos para posterior compreensão de fórmulas (SASSERON, 2011, p. 11).

O segundo eixo está relacionado com a ***compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática***. Sasseron (2011) destaca duas contribuições essenciais à formação do estudante presentes dentro do segundo eixo. A primeira está associada à ideia de ciência como construção humana, destacando que os conhecimentos científicos estão em constantes transformações. Por isso, a ciência não deve ser considerada como neutra, devem ser levados em conta os aspectos sociais e culturais da investigação científica. A segunda contribuição está relacionada à sala de aula e às interações entre alunos e professores, quando ocorrerem situações de conflitos que exijam análise e reflexões. Sobre a segunda contribuição do segundo eixo estruturante, Sasseron (2011) analisa:

Há que se dar destaque ao modo como o ensino será encaminhado, como as atividades serão propostas e quais as condições oferecidas para que os alunos construam por si próprios, com auxílio de seus colegas e professor, suas concepções sobre os fenômenos investigados. (SASSERON, 2011, p.12).

O terceiro eixo estruturante da AC está pautado no *entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente*. Esse eixo busca identificar o entrelaçamento entre essas esferas, com o objetivo de compreender como a ciência e a tecnologia influenciam nossa vida. Conforme explica Sasseron (2011):

Trata-se da identificação do entrelaçamento entre estas esferas e, portanto, da consideração de que a solução imediata para um problema em uma destas áreas pode representar, mais tarde, o aparecimento de um outro problema associado. Assim, este eixo denota a necessidade de se compreender as aplicações dos saberes construídos pelas ciências considerando as ações que podem ser desencadeadas pela utilização dos mesmos. O trabalho com este eixo deve ser garantido na escola quando se tem em mente o desejo de um futuro sustentável para a sociedade e o planeta (SASSERON, 2011, p. 12).

Sasseron (2011) defende que as propostas didáticas que englobarem esses três eixos estruturantes devem ser capazes de promover a AC. Acreditamos que isso possibilitará aos estudantes utilizar os conhecimentos científicos para tomada de decisões em diversos contextos. Em consonância com estes objetivos de promoção da AC, os Parâmetros Curriculares Nacionais destacam também alguns importantes objetivos para o ensino de Física, esperados no nível médio:

Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional. (BRASIL, 2002, p.229)

Esses documentos oficiais trazem a perspectiva que a Física deve ser ensinada para todos com o objetivo de formar cidadãos. Neste sentido, o ensino de Física é importante para todos os jovens, independentemente de quais profissões seguirão após o término do ensino médio. Com isso, a preocupação é que os estudantes adquiram o conhecimento necessário para compreender e participar do mundo em que vivem (BRASIL, 2002).

Ainda destacando os objetivos da promoção de uma formação para a cidadania, as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) afirmam que:

A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. Isso implica, também, na introdução à linguagem própria da Física, que faz uso de conceitos e terminologia bem definidos, além de suas formas de expressão, que envolvem, muitas vezes, tabelas, gráficos ou relações matemáticas. Ao mesmo tempo, a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas impulsionado (BRASIL, 2002, p.2).

2.2 Enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)

Do agravamento de problemas ambientais e das discussões sobre a natureza da Ciência, nasceu um movimento que passou a pensar criticamente sobre as relações entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade (SANTOS, 2007). A partir da década de 1970, começou a surgir na Europa e, depois nos EUA, grupos preocupados em incorporar no currículo reflexões sobre a natureza da ciência e as consequências devido ao mau uso da tecnologia (ROEHRIG E CAMARGO, 2013).

Ao pensarmos o ensino de Física com o objetivo de formação cidadã, torna-se importante que a interrelação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade seja abordada na escola média. Nossa sociedade é fortemente influenciada pela Ciência e Tecnologia, cujos desenvolvimentos têm nos gerado diversas transformações, provocando mudanças nos campos econômico, político e social (ROBERTS, 1991). Nesta perspectiva, não basta que os alunos aprendam a aplicar fórmulas e resolver problemas matemáticos, mas que tenham conhecimentos que os possibilitem pensar e agir sobre problemas tecnológicos, sociais e ambientais.

Para Santos e Mortimer (2002), o objetivo da educação CTS no ensino médio é alfabetizar cientificamente e tecnologicamente os cidadãos e também afirmam que:

O objetivo central da educação de CTS no ensino médio é desenvolver a Alfabetização Científica e Tecnológica dos cidadãos, auxiliando o aluno a construir conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões (SANTOS e MORTIMER, 2002, p. 114).

Neste contexto, a educação CTS auxiliará os estudantes a construir conhecimentos, habilidades para tomar decisões de cunho científico e tecnológico. Para

Santos e Mortimer (2002), as propostas CTS apresentam três objetivos gerais: a) aquisição de conhecimento; b) utilização de habilidades; e c) desenvolvimento de valores.

Sobre os conhecimentos e habilidades desejáveis que os alunos desenvolvam, destacamos as principais apontadas por Hofstein, Aikenhead e Riquarts (1988), presentes no trabalho de Santos e Mortimer (2002): a) o pensamento lógico e racional para resolver problemas; b) o aprendizado colaborativo/cooperativo; c) a responsabilidade social; d) o exercício da cidadania; e e) a flexibilidade cognitiva e o interesse em atuar em questões sociais.

Para Roehrig e Camargo (2013), a grande mudança do enfoque CTS em relação ao ensino tradicional está na ênfase do desenvolvimento de conhecimentos e habilidades que privilegiam a formação cidadã. Para Santos (2007), a abordagem CTS traz diversas contribuições para o exercício da cidadania. Além disso, afirmam que:

Inserir a abordagem de temas CTS no ensino de ciências com uma perspectiva crítica significa ampliar o olhar sobre o papel da ciência e da tecnologia na sociedade e discutir em sala de aula questões econômicas, políticas, sociais, culturais, éticas e ambientais. Essas discussões envolvem valores e atitudes, mas precisam estar associadas à compreensão conceitual dos temas relativos a esses aspectos sociocientíficos, pois a tomada de decisão implica a compreensão de conceitos científicos relativos à temática em discussão (SANTOS, 2007, p. 4).

Sobre a forma de inserir a abordagem de temas CTS no ensino de ciências, Aikenhead (1994) sugere as seguintes etapas:

1. Introdução de um problema social
2. Análise da tecnologia relacionada ao tema social
3. Estudo do conteúdo científico definido em função do tema social e da tecnologia introduzida
4. Estudo da tecnologia correlata em função do conteúdo
5. Discussão da questão social original

(AIKENHEAD, 1994a apud MORTIMER e SANTOS, 2002, p. 121).

Na abordagem CTS, é fundamental que os alunos tenham “voz” na sala de aula. Seus conhecimentos devem ser levados em consideração. Isso pode ser feito na fase de introdução do problema social ou contextualização de temas sociais. Nestes momentos, é interessante o professor estimular os alunos a participarem da aula, antes mesmo da etapa de discussão do conhecimento científico. Outro fator importante para um maior engajamento dos estudantes é a inserção de temas que estejam dentro de sua realidade.

Se os alunos estiverem envolvidos na temática da aula, é mais provável que participem dela (PINHEIRO, 2005).

2.3 Ensino por investigação

O ensino por investigação é uma abordagem que tem por objetivo que os alunos se tornem protagonistas do seu aprendizado, investigando fenômenos e discutindo sobre os mesmos. Isso favorece que os estudantes se apropriem do conhecimento científico utilizando habilidades cognitivas com atividades próximas à atividade científica (CARVALHO, 2017). Assim, Sasseron (2015) destaca a importância do ensino por investigação para a construção do conhecimento científico:

Assim como a própria construção de conhecimento em ciências, a investigação em sala de aula deve oferecer condições para que os estudantes resolvam problemas e busquem relações causais entre variáveis para explicar o fenômeno em observação, por meio do uso de raciocínios do tipo hipotético-dedutivo, mas deve ir além: deve possibilitar a mudança conceitual, o desenvolvimento de ideias que possam culminar em leis e teorias, bem como a construção de modelos (SASSERON, 2015, p. 58).

Dentre os muitos trabalhos que influenciaram a sala de aula de Ciência, ganham destaque as pesquisas feitas por Jean Piaget e pelo psicólogo Vigotski. Esses pesquisadores, sob pontos de vista diferentes, contribuíram para o entendimento de como o conhecimento é construído (CARVALHO, 2017).

Carvalho (2017) destaca duas importantes contribuições do sócio-interacionista Vigotski para a sala de aula, conforme mostramos a seguir:

O primeiro e para nós o mais fundamental, foi mostrar que as “ mais elevadas funções mentais do indivíduo emergem de processos sociais”. A discussão e a aceitação desse conhecimento trazido por Vigotsky veio modificar toda interação professor-aluno em sala de aula. O segundo tema foi demonstrar que os processos sociais e psicológicos humanos “ se firmam por meio de ferramentas ou artefatos culturais, que mediam a interação entre os indivíduos e entre esses e o mundo físico”. Assim o conceito de interação social mediada pela utilização de tais artefatos culturais é transformador do funcionamento da mente, e não apenas um meio facilitador dos processos mentais já existentes (CARVALHO, 2017, p. 4).

Além disto, o psicólogo desenvolveu o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Esta é a distância entre aquilo que o aprendiz consegue fazer sem ajuda (Zona de Desenvolvimento Real) e o que somente consegue resolver com o auxílio de um adulto ou de um colega (Zona de Desenvolvimento Potencial). O nível de

desenvolvimento real está sempre em modificação a partir do momento que novos conhecimentos vão sendo adquiridos. Para Vigotski, um bom ensino deve ser orientado de tal modo que os estudantes possam atuar na sua Zona de Desenvolvimento Proximal. (CARVALHO, 2017).

Jean Piaget procurou entender como o conhecimento é construído, principalmente o científico, a partir de entrevistas com crianças e adolescentes. Um dos pontos em destaque nas pesquisas “piagetianas” é a importância de um problema para a construção do conhecimento. Nesta perspectiva, é desejável que, ao iniciar a aula, o professor apresente um problema aos estudantes, deixando claro qual o objetivo da investigação (CARVALHO, 2017). Assim, o estudante passa a ter maior ação sobre a sua aprendizagem, buscando uma solução para o problema ou questão que foi colocada previamente. Isto implicará também em uma mudança do modo de abordagem do professor, conforme destacado pela autora:

No ensino expositivo toda a linha de raciocínio está com o professor, o aluno só a segue e procura entendê-la, mas não é o agente do pensamento. Ao fazer uma questão, propor um problema, o professor passa a tarefa de raciocinar para o aluno e sua ação não é mais a de expor, mas de orientar e encaminhar as reflexões dos estudantes na construção do novo conhecimento (CARVALHO, 2017, p. 2).

Por meio de sua resolução do problema, os estudantes podem traçar relações entre as variáveis envolvidas no fenômeno estudado e isso pode ajudar na construção de modelos, leis e teorias. Mas, o que é um problema? Para Krulik e Rudnick “um problema é uma situação, quantitativa ou não, que pede uma solução para a qual os indivíduos implicados não conhecem meios ou mecanismos evidentes para obtê-la” (KRULIK E RUDNICK, 1980, p. 20). Nesta perspectiva, Bachelard (1997) aponta que construção do conhecimento científico está associada à busca da resposta de um problema. Além disso, o autor ressalta que é importante apresentar o problema de forma clara para que ele possa ser resolvido. Sobre a importância do problema para a construção do conhecimento, Bachelard explica:

Antes de tudo o mais, é preciso saber formular problemas. E seja o que for que digam, na vida científica, os problemas não se apresentam por si mesmos. É precisamente esse sentido do problema que dá a característica do genuíno espírito científico. Para um espírito científico, todo conhecimento é a resposta a uma questão. Se não houve questão, não pode haver conhecimento científico. Nada ocorre por si mesmo. Nada é dado. Tudo é construído. (BACHELARD, 1997, p. 148).

Numa proposta investigativa, o docente não deve se limitar a ser um transmissor de conhecimento e passa a ser um orientador no processo de ensino. Nesta posição, ele

conduz o processo de investigação fazendo perguntas, desafios, estimulando os estudantes a pensar sobre o problema proposto (AZEVEDO, 2004). Complementando este pensamento, Penha (2006) destaca alguns cuidados a serem tomados pelos professores na interação com os alunos:

Como o aluno nesta proposta deixa de ter a posição passiva de assistir às aulas e passa a influenciar na sua estruturação, delineando caminhos, estratégias de atuação, questionando, perguntando, caberá ao professor ser ao mesmo tempo incentivador e fomentador destas propostas como também o elemento aglutinador das diferentes idéias para estruturar o caminho a ser seguido. Nesta sua função de análise das estratégias definidas pelos estudantes, o professor deverá ter o cuidado de jamais ridicularizar quaisquer dúvidas ou perguntas que possam surgir, por mais elementares que possam parecer, sobre pena de destruir a relação de confiança que deve permear todo o trabalho. Caberá ao professor, sempre que possível, vincular aos diferentes estudantes ou grupos de estudantes as boas idéias surgidas, destacando-as para a turma e referindo-se ao estudante ou grupo sempre que utilizar tal idéia. Enfim, caberá ao professor as palavras de incentivo e motivação, procurando sempre que possível enaltecer o esforço e o empenho dos estudantes no tratamento de determinado tema (PENHA, 2006, p. 38).

Conforme destaca o autor, o professor deve possibilitar um trabalho colaborativo no qual as ideias dos estudantes devem ser respeitadas. Caso contrário, os alunos serão inibidos de participar da atividade. Isso atrapalharia o objetivo da mudança de papel entre os professores e estudantes, não cooperando para que o discente tenha uma participação ativa em sua aprendizagem.

Segundo Carvalho (2017), as sequências de ensino por investigação (SEI) são uma sequência de atividades (aulas) abrangendo um tópico do programa escolar. De maneira geral, inicia-se uma SEI por um problema, experimental ou teórico, contextualizado, que introduz os alunos no tópico do conteúdo programático.

Sobre essa questão, Borges (2002) destaca a importância de as ações pedagógicas estarem centradas nos alunos:

Pouco importa que esta atividade consista de manipulações observáveis ou em operações mentais que escapem ao observador; pouco importa também que responda total ou parcialmente à iniciativa do aluno, ou que tenha sua origem no incentivo e nas propostas do professor. O essencial é que se trate de uma atividade cuja organização e planejamento fique a cargo do aluno (p. 302).

Nesta perspectiva, os experimentos utilizados na aula de Física mudam de objetivo em relação ao chamado laboratório tradicional. Neste, os experimentos em geral possuem roteiros pré-definidos determinando quais procedimentos devem ser feitos pelos estudantes. As medidas e observações feitas são, no geral, para comprovar uma lei já

conhecida ou então mostrar o que foi ensinado em uma aula teórica. A ideia das atividades investigativas é que os estudantes possam explorar fenômenos, tendo liberdade na forma de resolver o problema proposto (BORGES, 2002). No quadro 4, podemos identificar algumas diferenças entre o laboratório tradicional e as atividades investigativas em relação ao grau de abertura da atividade e da atitude do estudante.

Quadro 4: Aspectos do laboratório tradicional e de atividades investigativas.

Aspectos	Laboratório Tradicional	Atividades investigativas
Quanto ao grau de abertura.	<p style="text-align: center;"><i>Roteiro pré-definido</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Restrito grau de abertura</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Variado grau de abertura</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Liberdade total de planejamento</i></p>
Objetivos da atividade.	Comprovar leis	Explorar fenômenos
Atitude do estudante.	Compromisso com o resultado	Responsabilidade na investigação

Fonte: Borges (2002, p.304).

Quanto ao grau de abertura (TAMIR, 1991 apud BORGES, 2002), propõe uma categorização das atividades investigativas em quatro níveis. No nível 0, todas as etapas da investigação são dadas pelo professor: os problemas; procedimentos; e conclusões são apresentados previamente aos estudantes. Dessa forma, cabe a eles verificar se chegaram aos resultados pretendidos pelo roteiro. No nível 1, há maior grau de liberdade em relação ao nível anterior, as conclusões a serem tomadas pelos estudantes estão em aberto, apesar dos problemas e procedimentos ainda serem fornecidos pelo professor. Já no nível 2, somente o problema é dado pelo professor, os alunos têm a liberdade de escolher os procedimentos para realizar a investigação e a conclusão a ser tomada, também está em aberto. No último nível, todas as etapas são realizadas pelos estudantes. Nesse caso, o problema é trazido pelos estudantes, e a partir dessa questão, o professor mediará a aula dando orientações a eles, no entanto, não dará os procedimentos para a resolução do problema e nem as respostas a que devem chegar (BORGES, 2002). No quadro 5 são apresentados, de acordo com Borges, os níveis de investigação no laboratório de Ciências.

Quadro 5: Níveis de investigação no laboratório de Ciências.

Nível de investigação	Problemas	Procedimentos	Conclusões
Nível 0	Dados	Dados	Dados
Nível 1	Dados	Dados	Em aberto
Nível 2	Dados	Em aberto	Em aberto
Nível 3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Fonte: Borges (2002, p. 306).

Sasseron (2017) propõe algumas formas de iniciar atividades investigativas: a) demonstrações investigativas, b) laboratório investigativo e c) problema aberto.

a) As demonstrações investigativas são problemas experimentais cujo aparato é manipulado pelo professor. No geral, esse tipo de atividade ocorre quando o material é perigoso para ser manipulado pelos estudantes ou há pouco material disponível. Esse tipo de demonstração pode ser iniciado com o professor apresentando um problema aos estudantes, o qual pode fazer perguntas que levem os alunos a participarem da aula e testarem as suas hipóteses (SASSERON, 2017).

Durante a realização da atividade experimental, é importante que o professor se preocupe em explicitar os aspectos experimentais que, por acaso, não tenham sido percebidos pelos estudantes. Embora seja o professor o responsável por manipular os objetos, a forma de elaboração da atividade e o uso dos materiais, é necessário que haja um diálogo constante entre o docente e os discentes, de modo que os estudantes assumam um papel de protagonismo durante a demonstração investigativa (AZEVEDO, 2004).

b) No laboratório investigativo, os estudantes são os responsáveis pela manipulação do material experimental. Eles devem criar hipóteses, elaborar um plano de trabalho, tomar dados e discutir as conclusões possíveis para a resolução do problema proposto. O papel do professor é intervir fazendo perguntas, orientando e estimulando o progresso dos grupos em suas investigações (SASSERON, 2017). A investigação deve começar com um problema desafiador aos alunos. Após a apresentação do problema, o professor pode fornecer materiais aos estudantes que possibilitem testar as suas hipóteses, o docente pode estimulá-los fazendo perguntas como: “ utilizando os materiais disponíveis, como vocês podem verificar as suas hipóteses? ”. É importante ressaltar que no laboratório investigativo não tenha previamente uma lista de ações e procedimentos que os discentes devem fazer. O objetivo é que eles sejam os responsáveis pela criação do plano de trabalho e a forma a desenvolve-lo (SASSERON, 2017).

c) o problema aberto é uma atividade de lápis e papel, semelhante aos exercícios que os alunos resolvem em sala de aula. No entanto, uma das diferenças entre eles é o

enunciado da proposta. Em um exercício tradicional são fornecidas todas as informações para a resolução do problema e, no geral, possui uma resposta única. No problema aberto, a questão não fornece dados e informações aos estudantes, as condições de contorno do problema ficam a cargo dos estudantes, dessa forma podem surgir diversas respostas por parte dos estudantes e pode-se articular meios de verificação da resposta do problema. Por se tratar de um problema de lápis e papel, não é necessário que seja fornecido material experimental para os alunos fazerem a investigação.

Oliveira et al (2017) ilustra um exemplo de um problema fechado (exercício tradicional) e o de um problema aberto. Vejamos os exemplos extraídos do artigo para discutirmos as diferenças entre eles.

Exemplo 1: Problema fechado

Dois carrinhos de brinquedo, de tamanhos desprezíveis, percorrem em uma mesma pista retilínea, em sentidos iguais. O carrinho A, que vai à frente tem velocidade escalar de 10 m/s , e o carrinho B, 12 m/s . Em determinado instante dispara-se um cronômetro e mede-se a distância de 22 m entre eles. Qual o instante que B alcançará A?

(OLIVEIRA et al, 2017, p.10).

No problema fechado, conforme podemos ver, todos os dados necessários estão fornecidos, basta que o aluno conheça as fórmulas que devem ser aplicadas e substitua os valores numéricos para achar o instante de tempo do encontro entre os carrinhos de brinquedo. Veja abaixo um exemplo de problema aberto.

Exemplo 2: Problema aberto

Estime a energia cinética dissipada na colisão frontal de dois automóveis populares que se deslocavam em sentidos contrários na máxima velocidade permitida em autoestradas brasileiras. Se toda energia dissipada na colisão pudesse ser utilizada para manter acesa uma lâmpada comum de 100 W , por quanto tempo ela permaneceria ligada?

(OLIVEIRA et al, 2017, p.11).

No problema aberto citado, os alunos terão que fazer uma série de estimativas para a resolução do problema, como: a massa dos carros populares, a velocidade máxima permitida, a energia cinética perdida. Os estudantes terão que lançar hipóteses, trabalhar com ordens de grandezas, discutir sobre a viabilidade dos dados para a resolução do problema (OLIVEIRA et al, 2017).

Nosso trabalho utilizou o ensino por investigação como abordagem didática para o ensino dos materiais semicondutores e dos LEDs. Como resultado da metodologia utilizada, esperamos promover AC. Desta forma, desejamos que os estudantes se tornem protagonistas no processo de ensino-aprendizagem para que possam compreender o

princípio físico de dispositivos semicondutores como o diodo emissor de luz, traçando relações entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade.

Capítulo 3

Física dos semicondutores

Neste capítulo, apresentaremos tópicos a respeito da Física dos semicondutores com o objetivo de que se possa compreender o funcionamento do LED. Nesta discussão, procurou-se fundamentar alguns aspectos relevantes da Física dos semicondutores abordando aspectos conceituais destes elementos que julgamos relevantes para o aprofundamento teórico, principalmente àqueles professores que desejarem aplicar nossa sequência didática. Deste modo, os conceitos teóricos foram apresentados e discutidos evitando restringi-los apenas a apresentação de seu formalismo matemático.

3.1 Os materiais semicondutores

Os semicondutores são materiais que tem o coeficiente de resistividade intermediário entre os de um condutor e um isolante elétrico. A própria expressão semicondutores já apresenta uma dica em relação à sua resistividade (BOYLESTAD & NASHELSKY 1999). A tabela 2 mostra alguns valores típicos de resistividade elétrica de materiais considerados condutores, semicondutores e isolantes na temperatura 0 K.

Tabela 2 - Valores de resistividades típicos.

Material	Resistividade ($\Omega.cm$)	Classificação
Cobre (Cu)	10^{-6}	Condutor
Germânio (Ge)	50	Semicondutor
Silício (Si)	50.10^3	Semicondutor
Mica	10^{12}	Isolante

Fonte: BOYLESTAD e NASHELSKY (1999).

Uma das vantagens do uso dos materiais semicondutores é que sua resistividade elétrica pode ser alterada significativamente com alguns fatores, como o aumento de temperatura, incidência luminosa e pelo processo de dopagem (KITTEL, 2006).

3.2 Estrutura cristalina do silício e do germânio

O silício e o germânio não são os únicos materiais semicondutores, porém, são os de maior interesse no desenvolvimento de dispositivos semicondutores. Eles estão presentes na família 4A da tabela periódica e possuem quatro elétrons na sua camada de valência (YOUNG e FREEDMAN, 2009). Veja na figura 1 a distribuição dos elétrons destes átomos.

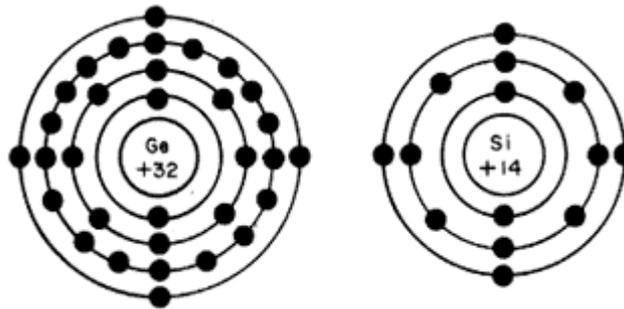


Figura 1 - Distribuição dos elétrons nos átomos de germânio e silício.
Fonte: Alchemist Engenharia (2006).

Os elétrons da camada de valência desses elementos realizam ligações covalentes com os elétrons de um átomo semelhante formando uma estrutura cristalina bem precisa e periódica. A figura 2 traz uma representação bidimensional da estrutura cristalina do silício.

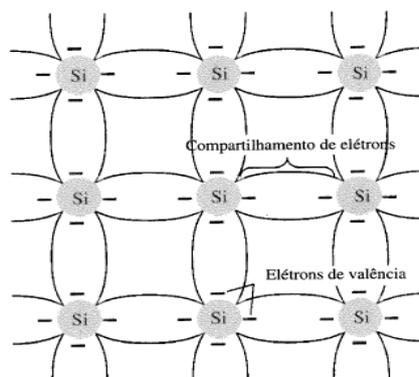


Figura 2 - Ligação covalente entre elétrons do átomo de silício.
Fonte: Boylestad e Nashelsky (1999).

Para temperaturas próximas ao 0 K, o silício apresenta comportamento elétrico de isolante. Porém, à temperatura ambiente, alguns elétrons da camada de valência já apresentam energia suficiente para serem removidos da ligação covalente dentro da

estrutura cristalina, deixando lacunas eletrônicas (buracos) em seus lugares. Com isso, a condutividade do material aumenta, sendo necessário um menor valor de voltagem para que uma corrente elétrica seja estabelecida (BOYLESTAD e NASHELSKY, 1999).

3.3 Átomo de Bohr e o conceito de bandas de energia

No modelo atômico de Rutherford, os elétrons estão em órbitas circulares em torno do núcleo, assim como os planetas estão em torno do Sol. Isto está ilustrado na figura 3.

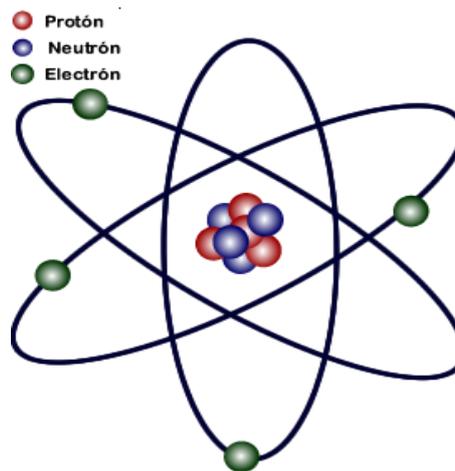


Figura 3 - Modelo do átomo de Rutherford.
Fonte: Wikimedia Commons (2017).

O modelo planetário do átomo apresenta um problema. Em órbitas circulares, os elétrons estariam acelerados, o que, segundo a teoria eletromagnética clássica, significaria que deveria haver emissão de radiação eletromagnética. Com isso, os elétrons perderiam energia mecânica e se realizaria uma trajetória espiral colapsando no núcleo, como ilustrado na figura 4 (EISBERG e RESNICK, 1994).

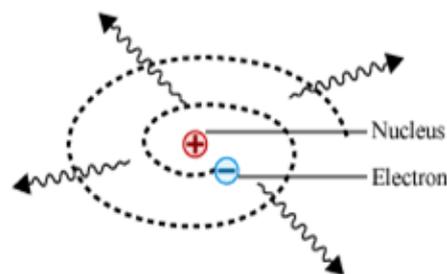


Figura 4 - Elétron em movimento espiral em torno do núcleo.
Fonte: STOA USP (2013).

Em 1913, Niels Bohr apresentou um modelo atômico para o hidrogênio, introduzindo quatro postulados que resolveriam o problema da estabilidade atômica do átomo de Rutherford.

- a) Um elétron em um átomo se move em uma órbita circular em torno do núcleo sob influência da atração coulombiana entre o elétron e o núcleo, obedecendo às leis da mecânica clássica.
- b) Em vez da infinidade de órbitas que seriam possíveis segundo a mecânica clássica, um elétron só pode se mover em uma órbita na qual seu momento angular orbital L é um múltiplo inteiro de \hbar (a constante de Planck dividida por 2π).
- c) Apesar de estar constantemente acelerado, um elétron que se move em uma dessas órbitas possíveis não emite radiação eletromagnética. Portanto, sua energia total E permanece constante.
- d) É emitida radiação eletromagnética se um elétron, que se move inicialmente sobre uma órbita de energia total E_i , muda seu movimento descontinuamente de forma a se mover em uma órbita de energia total E_f . A frequência da radiação emitida ν é igual à quantidade $(E_i - E_f)$ dividida pela constante de Planck h . (EISBERG e RESNICK 1994, p. 138)

Nestes postulados, Bohr propõe que as órbitas dos elétrons são quantizadas para resolver o problema da instabilidade atômica. Nestas órbitas, os elétrons não emitem radiação eletromagnética, portanto, não perdem energia. Além disso, o elétron só emitirá radiação quando mudar de uma órbita de um maior para outra de menor nível de energia. Apesar das mudanças introduzidas, Bohr estabelece que a força de atração entre o elétron e o próton é coulombiana. O valor da energia que o elétron pode assumir para cada órbita possível, pode ser calculada pela seguinte equação:

$$E = - \frac{mZ^2e^4}{(4\epsilon_0\pi)^22\hbar^2} \frac{1}{n^2} \quad (3.1)$$

Sendo m a massa do elétron, Z o número atômico, e carga do elétron, ϵ_0 permissividade elétrica, \hbar a constante de Planck dividida por 2π e n o número quântico principal. O valor de n igual a 1 representa o nível energético de menor energia, ou seja, na órbita mais próxima ao núcleo. Como representado na figura 5, para cada órbita teremos um nível de energia diferente³.

³No apêndice D, apresentamos um maior detalhamento da evolução de algumas ideias que surgiram a partir da proposição do átomo de Rutherford e que culminaram com o estabelecimento dos níveis de energia permitidos para o elétron do átomo de hidrogênio.

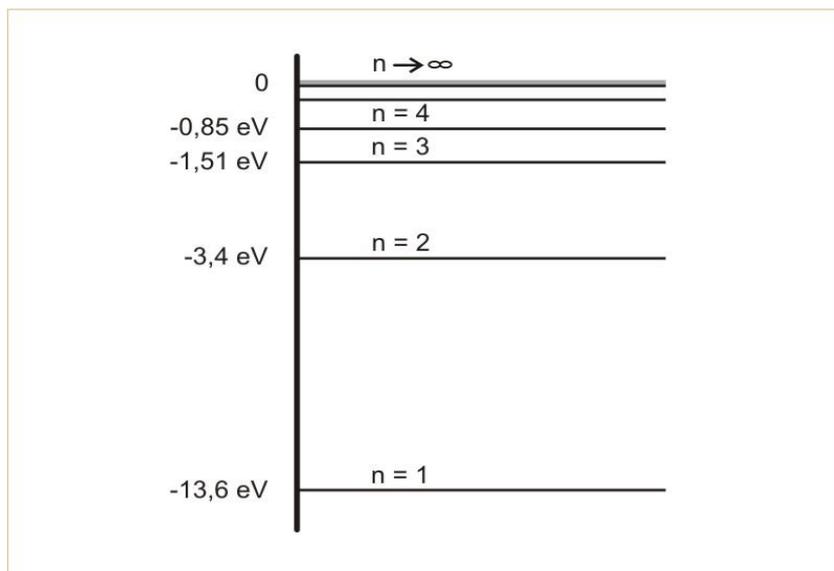


Figura 5 - Níveis de energia do átomo de hidrogênio.
Fonte: Eisberg e Resnick (1994).

Se, ao invés de um átomo de hidrogênio, tivermos um de cobre no estado fundamental, seus vinte e nove elétrons ficam distribuídos em subcamadas na seguinte configuração: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$. Para este átomo, a subcamada 4s está parcialmente preenchida, porque, apesar de poder comportar dois elétrons, só apresenta um. Isto é um fator primordial para que seja considerado um bom condutor de eletricidade (HALLIDAY, RESINIC e WALKER, 2009). Veja essa representação na figura 6.

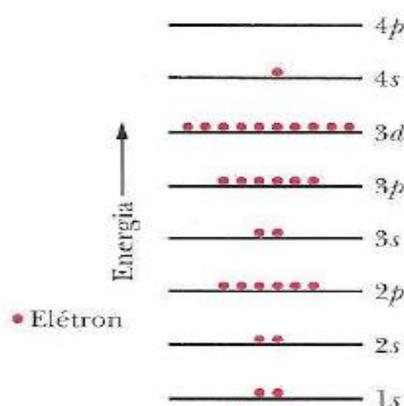


Figura 6 - Distribuição dos vinte e nove elétrons do cobre em subcamadas.
Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2009).

Para entendermos algumas propriedades elétricas dos sólidos, como a condutividade, iremos estudar o conceito de banda de energia. Para entendê-lo, imagine que tenhamos um grande número de átomos idênticos N muito distantes entre si de forma que possamos desprezar a interação entre eles. Nesta configuração, todos os átomos terão o mesmo diagrama de níveis de energia. Se aproximarmos estes átomos de maneira

uniforme, as funções de onda dos elétrons começam a se sobrepor e por conta do princípio da exclusão de Pauli não poderão ocupar os mesmos níveis de energia, então ocorrerá um deslocamento do valor dos níveis de energia dos elétrons (YOUNG e FREEDMAN, 2009). Conforme explicitado a seguir:

À medida que as funções de onda ficam menos localizadas e começam a se sobrepor, estendendo-se a um número de átomos cada vez maior, as energias correspondentes também se deslocam e assumem diversos valores, alguns para cima e outros para baixo (YOUNG e FREEDMAN, 2009, p. 305).

Se tivermos uma rede cristalina com 10^{24} átomos, cada nível do átomo isolado se desdobrará em 10^{24} níveis formando bandas de energia com pequenas bandas proibidas entre eles. Como a diferença entre os níveis de energia sobrepostos é muito pequena, podemos considerar que essas bandas de energia formadas são contínuas. Entre as bandas de energia permitidas (formadas pelos níveis de energia dos átomos que constituem a rede cristalina), há bandas proibidas (regiões energéticas que não podem ser ocupadas pelos elétrons), como podemos ver na figura 7 (YOUNG e FREEDMAN, 2009).

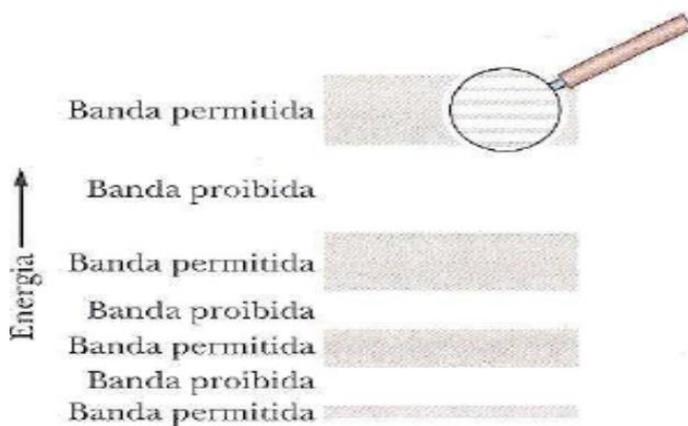


Figura 7 - Bandas de energia em um sólido cristalino. Como mostra a ampliação, cada banda é formada por níveis muito próximos uns dos outros.

Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2009).

Para determinar se um material é condutor, semicondutor ou isolante, devemos conhecer a natureza de suas bandas de energia. No zero absoluto, os isolantes têm sua banda de energia mais elevada totalmente preenchida, essa banda de energia é denominada banda de valência. A banda vazia acima ou semipreenchida acima da banda de valência é denominada banda de condução, conforme indica a figura 8.



Figura 8 - Representação das bandas de energia de um material isolante; os níveis ocupados são mostrados em vermelho e os níveis desocupados em azul.
Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2009).

Para que o material isolante possa conduzir eletricidade, deve receber, no mínimo, uma quantidade de energia (denominada energia de gap) igual à diferença entre a banda de valência e a banda de condução para que os elétrons possam ir da banda de valência para a de condução. No caso de um material isolante como o diamante, a energia de gap é na ordem de 5 eV (HALLIDAY, RESNIC e WALKER, 2009).

Os materiais condutores apresentam a banda de condução parcialmente preenchida. Com isso mesmo para pequenas voltagens, os elétrons dos metais conseguem se mover dentro dessa banda de energia, já que há níveis de energia adjacentes livres na banda de condução (HALLIDAY, RESNIC e WALKER, 2009). Veja a representação das bandas de energia de um material condutor na figura 9.



Figura 9 – Bandas de energia de um material condutor. Em vermelho está representado as bandas ocupadas e em azul desocupada da última banda de energia.
Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2009).

No caso dos materiais semicondutores, a estrutura de bandas é semelhante à dos isolantes. Na temperatura de 0 K, sua banda de valência está totalmente preenchida e a

banda de condução está vazia. A grande diferença está no valor da energia de *gap* (E_g): esta é muito menor para os semicondutores. Para exemplificar, a energia do *gap* do silício (material semiconductor) é de 1,1 eV e, para o diamante (isolante elétrico), esse valor é de 5,5 eV (YOUNG e FREEDMAN, 2009). Na figura 10, veja a representação das bandas de condução e de valência de três diferentes tipos de materiais: isolante, semiconductor e condutor.

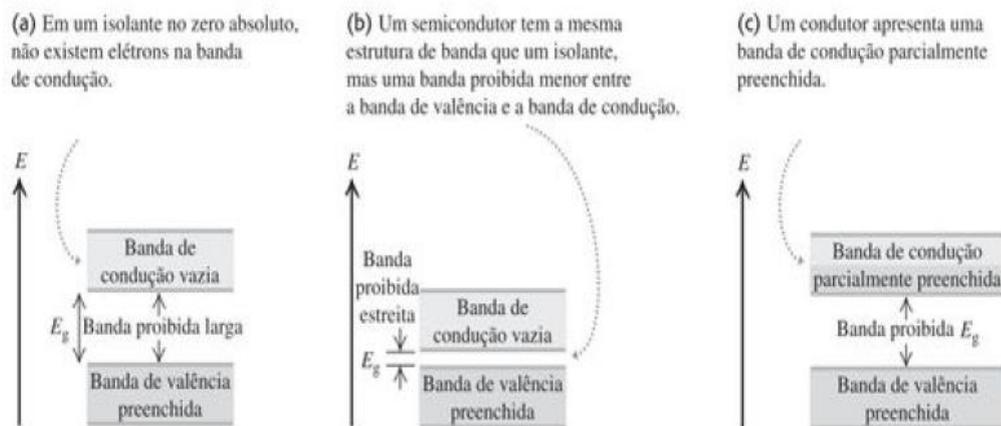


Figura 10 - Bandas de energia. (a) isolante, (b) semiconductor, (c) condutor.
Fonte: Young & Freedman (2009).

No caso do diamante, é pouco provável que os elétrons da banda de valência passem para a de condução por conta do alto valor da energia de *gap*. Porém, para o silício, existe a possibilidade dessa transição ocorrer por meio da agitação térmica (HALLIDAY, RESNIC e WALKER, 2009). Veja a representação na figura 11.

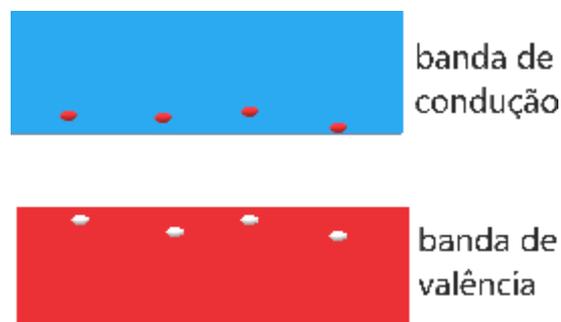


Figura 11 - Elétrons migrando da banda de valência para a banda de condução devido à agitação térmica. Em azul está representado as bandas livres e em vermelho as bandas ocupadas.
Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2009).

Para cada elétron que migrou para a banda de condução, surgirá uma lacuna eletrônica (falta de elétrons) na banda de valência. A lacuna eletrônica, também chamada de buraco, comporta-se como um portador de carga positiva. Ao aplicarmos uma

diferença de potencial em um material semiconductor, caso consigamos fazer com que elétrons migrem da banda de valência para a de condução, haverá um movimento de portadores de cargas elétricas. Desta maneira, as lacunas se moverão no mesmo sentido do campo elétrico e, os elétrons, no sentido oposto do campo elétrico, como representado na figura 12.

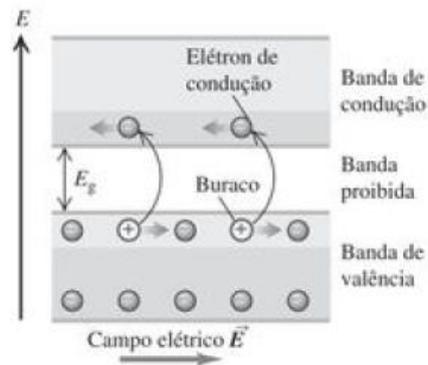


Figura 12 - Movimento de lacunas e elétrons quando submetidos à uma diferença de potencial.
Fonte: Young e Freedman (2009).

3.4 Dopagem

A dopagem é um método utilizado para modificar a condutividade dos materiais semicondutores introduzindo impurezas (elementos de outras famílias da tabela periódica) em sua estrutura cristalina. A adição de impurezas pode alterar significativamente as propriedades elétricas de um semiconductor. Por exemplo, a condutividade do silício pode ser aumentada por um fator de 10^3 ao adicionarmos boro na sua estrutura na proporção de 1 átomo de boro para 10^5 átomos de silício (KITTEL, 2006).

Quando um material semiconductor sofre um processo de dopagem, ele é denominado extrínseco ou dopado. Há dois tipos desses materiais fundamentais para a fabricação de dispositivos semicondutores, como diodos e transistores: tipo N e tipo P (BOYLESTAD e NASHELSKY, 1999).

Em um material do tipo N, a impureza inserida é um elemento pentavalente como o fósforo, o arsênio e o antimônio. Ao introduzir um átomo com cinco elétrons na camada de valência na estrutura cristalina de um elemento tetravalente como o silício, ele realizará as quatro ligações covalentes com átomos vizinhos de silício. Desta forma, o quinto elétron da camada de valência da impureza introduzida estará fracamente ligado ao seu átomo de origem. A figura 13 ilustra uma estrutura cristalina de silício (Si) sendo dopada com o elemento pentavalente antimônio (Sb).

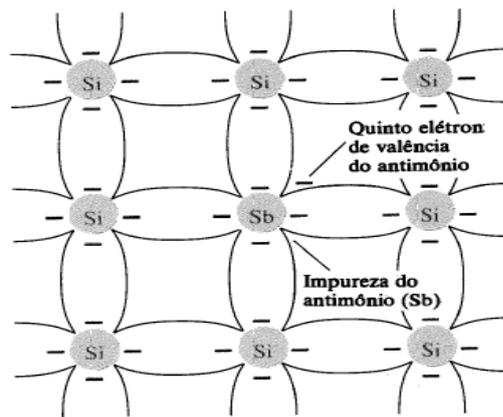


Figura 13 -Impureza de antimônio formando um material do tipo N.
Fonte: Boylestad e Nashelsky (1999).

O aumento da quantidade de elétrons fracamente ligados ao núcleo diminui significativamente o valor da resistência elétrica da estrutura cristalina. Na dopagem do tipo N, o átomo inserido na estrutura cristalina é classificado como doador, pois possui um elétron “livre” para cada elemento dopante inserido. Se, na rede cristalina, tivermos da ordem de 10^{24} átomos de silício e inserirmos um átomo de fósforo para cada 10^6 átomos já presentes no cristal semiconductor, teremos o número de elétrons livres igual a 10^{18} .

Devido a este quinto elétron do átomo dopante, surge um nível de energia na faixa da banda proibida com uma diferença energética de, aproximadamente, 0,01 eV da banda de condução. Com isso, mesmo à temperatura ambiente, muitos elétrons conseguem migrar para a banda de condução (HALLIDAY, RESNIC e WALKER, 2007). Como representado na figura 14.

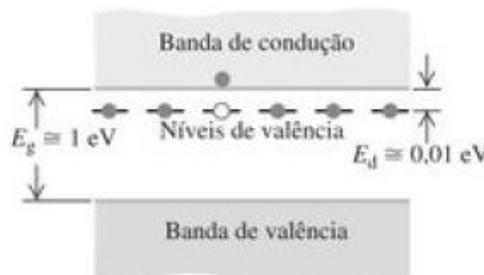


Figura 14 - Diagrama dos níveis de energia de um semiconductor do tipo N à baixas temperaturas.
Fonte: Young e Freedman (2009).

Em um material do tipo P, a impureza introduzida na estrutura do semiconductor é um elemento trivalente, ou seja, materiais que apresentam três elétrons na sua camada de

valência. Dentre os possíveis elementos utilizados nesse tipo de dopagem, estão o boro, o gálio e o índio.

Uma possibilidade de dopagem do tipo P consiste em introduzir boro na estrutura cristalina do silício. O boro, por ser trivalente, realiza três ligações covalentes com os átomos de silício ao seu redor. Nesse caso, conforme podemos ver na figura 15, haverá um número insuficiente de elétrons para completar as ligações da rede cristalina nos pontos onde há boro.

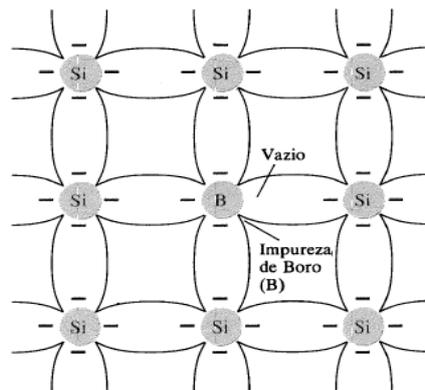


Figura 15 - Impureza do boro formando um material do tipo P.
Fonte: Boylestad e Nashelsky (1999).

É justamente esta lacuna eletrônica que possibilita o aumento da condutividade elétrica neste tipo de dopagem. Um elemento dopante como o boro é chamado de átomo receptor, porque deixa uma ligação covalente incompleta e, desta forma, pode receber um elétron do átomo vizinho (HALLIDAY, RESINIC e WALKER, 2007). Isto gera um nível de energia “aceitador”, que está situado na ordem de 0,01 eV acima do nível de energia da banda de valência. Com isso, alguns elétrons da banda de valência, à temperatura ambiente, podem ter energia suficiente para ocupar uma lacuna. Como está representado na figura 16.

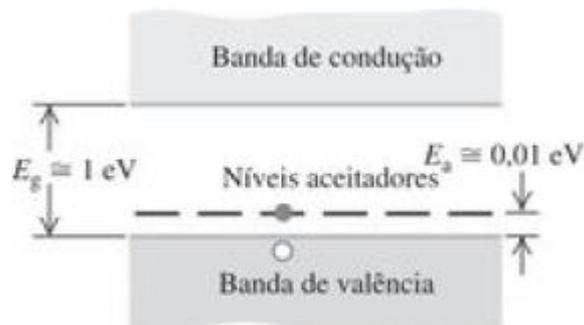


Figura 16 - Diagrama de bandas de energia para um semicondutor do tipo P em baixas temperaturas. Um nível aceitou um elétron da banda de valência e o elétron deixou um buraco nessa banda.
Fonte: Young e Freedman (2009).

Se um elétron do átomo vizinho se mover preenchendo a lacuna eletrônica do boro, surgirá uma lacuna no lugar de origem do elétron que se moveu. Em um semiconductor do tipo P, a corrente elétrica é produzida predominantemente pelo movimento dos buracos (HALLIDAY, RESINIC e WALKER, 2007).

No estado intrínseco, o número de elétrons livres na rede cristalina se deve a alguns elétrons da camada de valência que, de alguma forma, conseguiram quebrar as ligações covalentes. Neste caso, as lacunas eletrônicas estão associadas justamente a esses elétrons livres (BOYLESTAD e NASHELSKY, 1999). Quando temos um material do tipo N, o elétron é denominado portador majoritário (por conta do elétron fracamente ligado ao núcleo do átomo dopante) e o buraco será o portador minoritário. Já, no material do tipo P, a situação se inverte, o buraco (nesse caso, para cada impureza introduzida, haverá a falta de um elétron) é o portador majoritário e o elétron é o portador minoritário, como ilustrado na figura 17 (BOYLESTAD e NASHELSKY, 1999).

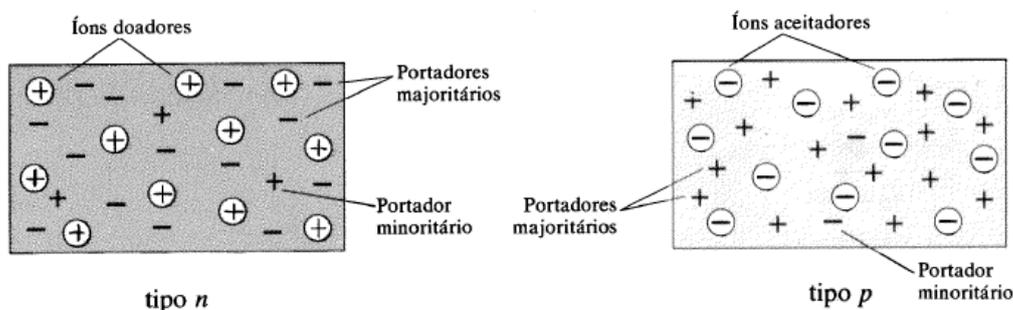


Figura 17- Representação dos materiais tipo N e tipo P.
Fonte: Boylestad E Nashelsky (1999).

3.5 Diodo

Amplamente empregados em nossa atual sociedade tecnológica, os diodos têm grande contribuição na revolução da indústria eletroeletrônica. Eles são formados com a junção de um semiconductor do tipo N com um do tipo P. A figura 18 mostra uma representação do diodo.

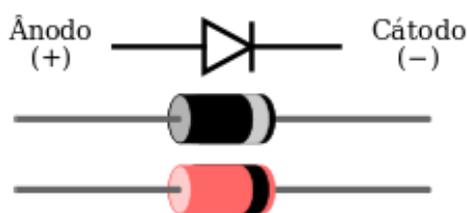


Figura 18 - Representação do diodo. **Fonte:** Wikipédia (2011).

Quando o contato entre essas regiões é estabelecido, há um movimento de elétrons da região N para a região P e, da mesma forma, há uma difusão de lacunas da região P para a região N (GREF, 2012).

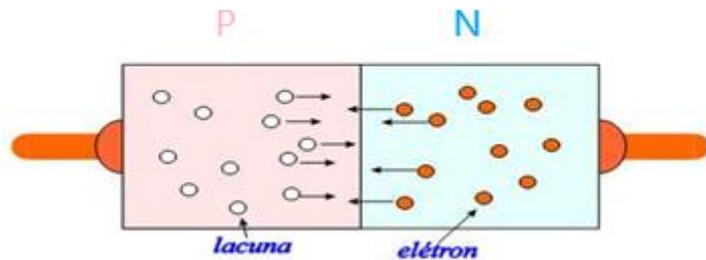


Figura 19- Movimento de elétrons e lacunas no momento da junção PN.
Fonte: Wiki IFSC (2016).

Desta forma, a região P fronteira com N fica carregada negativamente e a região N fronteira com a P fica carregada positivamente, então um campo elétrico é estabelecido da região N para a P, conforme ilustrado na figura 20 (REZENDE, 2015). Devido à ação desse campo elétrico local, o fluxo de cargas entre as regiões P e N diminui quase totalmente, sendo criada uma barreira de potencial.

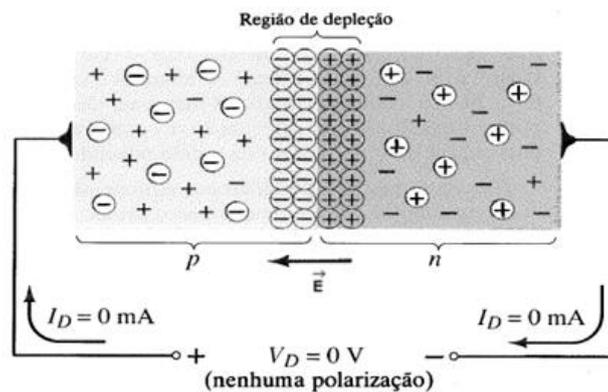


Figura 20 - Representação do diodo sem polarização externa.
Fonte: Boylestad e Nashelsky (1999).

Quando conectamos os terminais do diodo a uma fonte de tensão, surge em seu interior um outro campo elétrico, que será superposto com o campo elétrico criado pelos íons presentes na fronteira da junção PN. Dependendo da forma que o diodo esteja polarizado, haverá uma diminuição ou um aumento na barreira de potencial. Veja esta representação na figura 21.

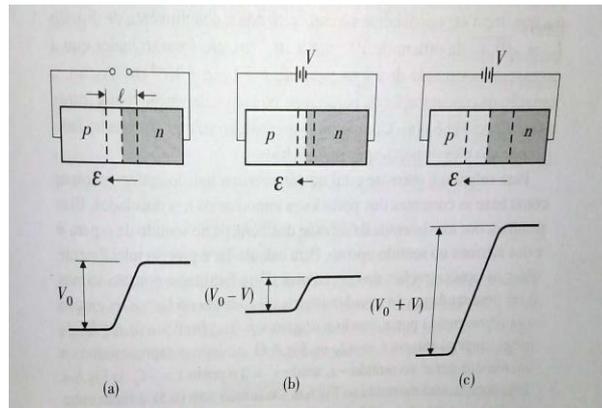


Figura 21 - Efeito da tensão externa na extensão da região de depleção e na altura da barreira de potencial. (a) sem polarização, (b) polarização direta, (c) polarização reversa.
Fonte: Rezende (2015).

Na chamada polarização reversa, também chamada de inversa, quando ligamos o terminal P do diodo ao polo negativo de uma bateria e, o terminal N, ao polo positivo, o campo elétrico produzido pela fonte de tensão tem o mesmo sentido que o campo elétrico da junção PN, como mostrado na figura 22.

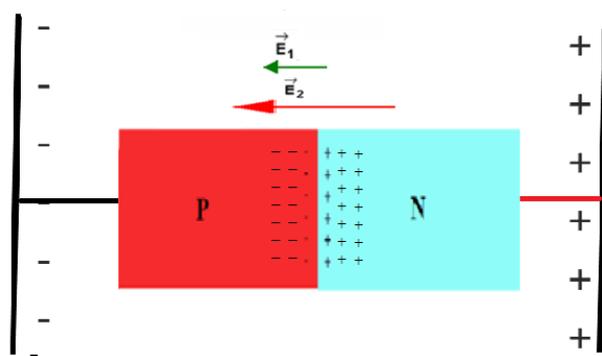


Figura 22 - Diodo reversamente polarizado. Em verde está representado o vetor campo elétrico da fonte de tensão e em vermelho o campo elétrico gerado pelos íons na junção PN.

Desta forma, ocorre um aumento na barreira de potencial do diodo. Com o aumento da zona de depleção, a corrente elétrica no diodo é praticamente nula. Veja a representação da junção PN reversamente polarizada na figura 23.

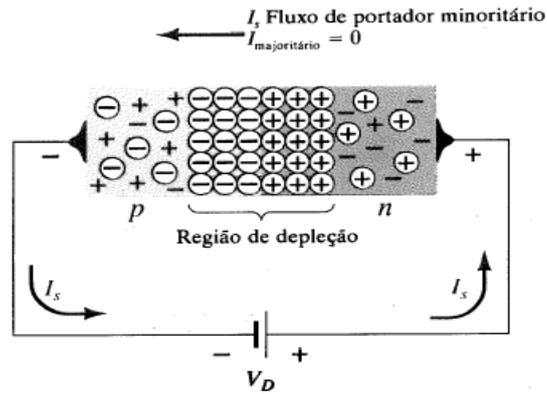


Figura 23 - Junção PN polarizada reversamente.

Fonte: Boylestad & Nashelsky (1999).

Para a polarização direta, quando ligamos o terminal P do diodo ao polo positivo de uma bateria e o terminal N ao polo negativo da bateria, haverá diminuição da região de depleção. Neste caso, o campo elétrico gerado pela fonte de tensão terá sentido oposto ao criado pelos íons da junção PN, como ilustrado na figura 24.

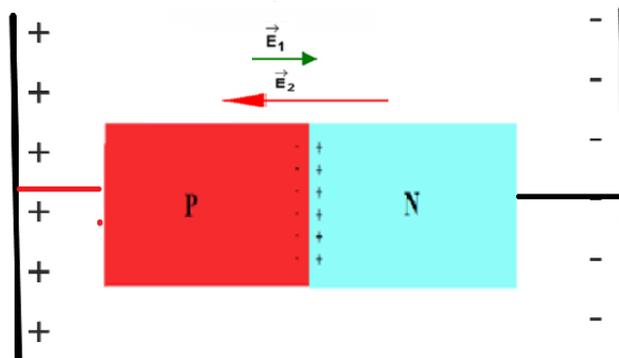


Figura 24 - Diodo diretamente polarizado. Em verde está representado o vetor campo elétrico da fonte de tensão e em vermelho o campo elétrico gerado pelos íons na junção PN.

Fonte: Autoria própria.

Esse tipo de polarização do diodo provocará a recombinação de elétrons do lado N com buracos do lado P à medida que o valor da tensão aplicada for aumentando (REZENDE, 2015). Veja a figura 25.

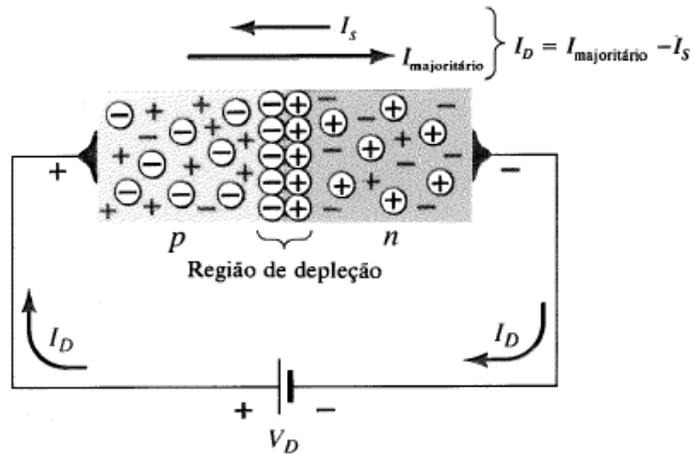


Figura 25 - Junção PN diretamente polarizada.
Fonte: Boylestad e Nashelsky (1999).

Caso a tensão elétrica aplicada seja superior ao valor da voltagem da barreira de potencial, será estabelecida uma corrente elétrica de elétrons da região N para a região P e um movimento de buracos da região P para a região N.

3.5.1 Curva característica do diodo

A curva característica de um componente eletrônico é o gráfico que mostra como a corrente elétrica que passa por este componente varia com a modificação dos valores de tensão aplicada aos seus terminais. A figura 26 ilustra a curva característica de um diodo.

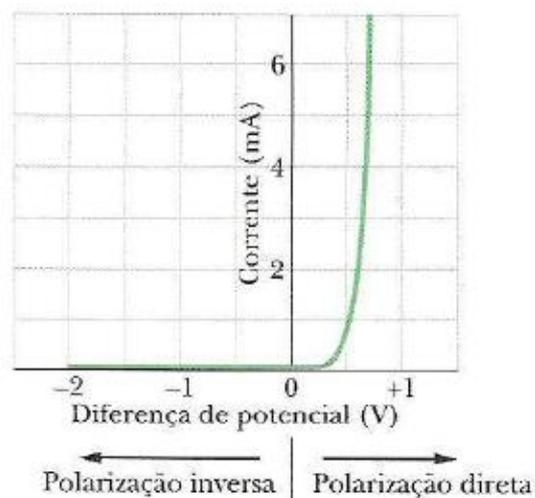


Figura 26 - Curva característica de um diodo.
Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2009).

Conforme discutimos e representado, não há praticamente condução de corrente elétrica na polarização inversa e, na polarização direta, a condução de corrente elétrica

começa a partir do momento que a voltagem aplicada é maior que o valor da barreira de potencial.

O valor da barreira de potencial depende do material semiconductor e dos elementos dopantes introduzidos. Na figura 27, podemos observar as curvas características de um diodo de silício e um de germânio. Com base no gráfico apresentado, podemos perceber que as tensões de corte para esses dois materiais apresentam valores diferentes: aproximadamente, 0,1 V para o diodo de germânio e 0,5 V para o silício. Veja estas curvas características na figura 27.

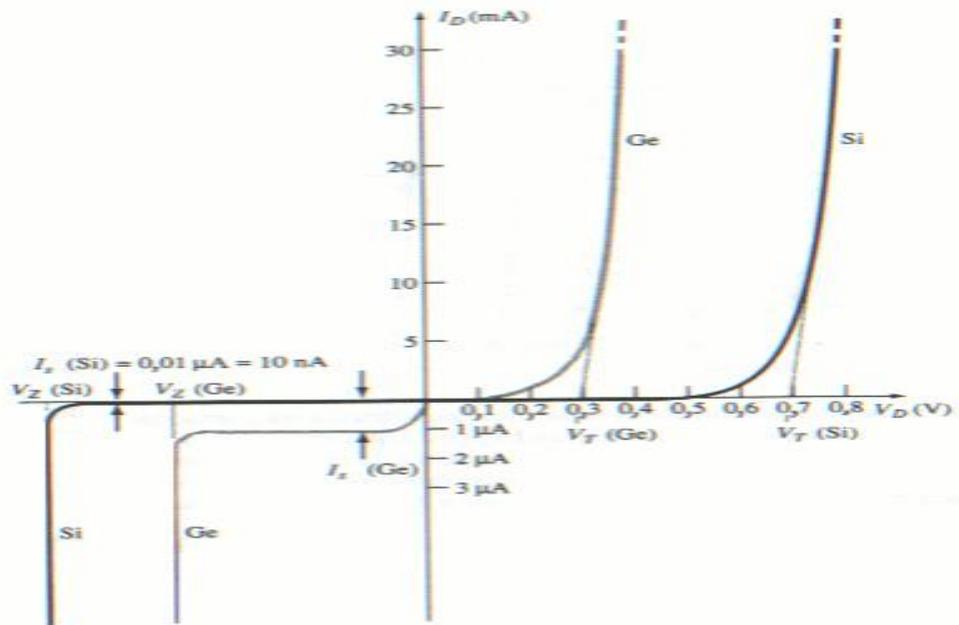


Figura 27 - Curva característica dos diodos de silício e germânio.

Fonte: Wiki IFSC (2018).

Conforme já apresentamos, o valor da corrente elétrica no diodo é muito pequeno na polarização reversa. Porém, é possível que haja um aumento abrupto no valor da corrente elétrica caso seja aplicado uma voltagem maior que a tensão de ruptura. Veja a explicação para o aumento da corrente elétrica na polarização reversa quando a voltagem aplicada é maior que a tensão de ruptura:

Sempre haverá um valor de tensão reversa para o qual ocorrerá ruptura da junção através do mecanismo de avalanche. Como o próprio nome sugere, este é um processo no qual ocorrem eventos sucessivos, resultando numa multiplicação no número de portadores. O primeiro evento resulta da aceleração, pelo campo elétrico, de um elétron proveniente do lado P. Se o elétron tiver energia suficiente pode produzir um par elétron-buraco, resultando na multiplicação por um fator dois no número de portadores. Em seguida, o elétron criado é acelerado para o lado N, enquanto o buraco é acelerado para o lado P. Se a tensão reversa for suficientemente alta, cada um deles produzirá um par elétron-buraco, que, por sua vez, produzirão outros pares, num processo de reação em cadeia (REZENDE, 2015, p.171).

3.6 LED

O LED (**L**ight **E**mitting **D**iode) é um diodo capaz de emitir luz. Atualmente, ele também é utilizado na iluminação, possibilitando a construção de lâmpadas cada vez mais eficientes. Ele tem um polo positivo denominado anodo e o negativo é o catodo. Para emitir luz, o polo positivo da bateria deve ser ligado ao anodo e o negativo ao catodo, o que significa que, desta forma, ele estará diretamente polarizado. A figura 28 mostra a representação do LED.

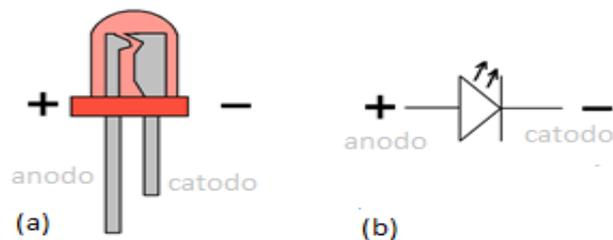


Figura 28 - (a) LED vermelho, (b) representação do LED.
Fonte: Build Electronic Circuits (2014).

No interior do LED, há um chip semicondutor responsável pela emissão de luz. Além disto, apresenta um espelho refletor para distribuir a luz emitida pelo seu encapsulamento, como ilustrado na figura 29.



Figura 29 - Elementos constituintes do LED.
Fonte: IAR UNICAMP (2018).

Na polarização direta há uma recombinação de elétrons livres da banda de condução com as lacunas da banda de valência próximo à junção PN. Neste processo, os

elétrons livres, ao preencherem uma lacuna eletrônica e recompuserem uma ligação covalente, vão de um nível de maior energia para outro de menor energia. Com isto, eles liberam uma quantidade de energia igual à diferença energética entre esses dois níveis.

A figura 30 ilustra o processo de recombinação e a emissão da luz feita pelo LED.

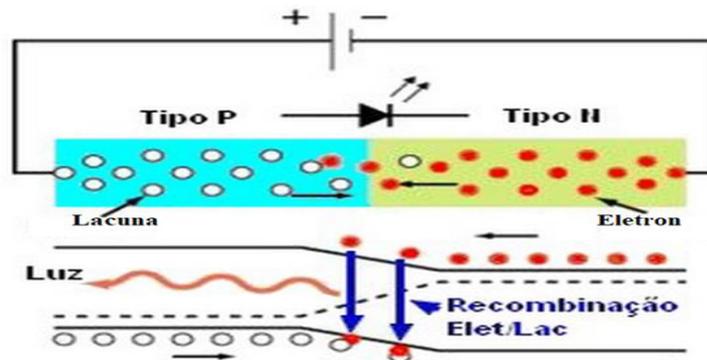


Figura 30 - Recombinação elétron/lacuna na junção PN.
Fonte: Eletrônica Geral (2018).

Ao se conhecer o valor da energia liberada no processo de recombinação, poderemos utilizar a equação da Planck para determinarmos o valor do comprimento de onda da radiação eletromagnética emitida.

$$\lambda = \frac{h\nu}{E} \tag{3.2}$$

Sendo: h – constante de Planck, ν - velocidade da luz, E – energia liberada.

Para que tenhamos luz visível, a radiação eletromagnética emitida deve ter comprimento de onda entre 380 nm e 780 nm, conforme ilustrado na figura 31.

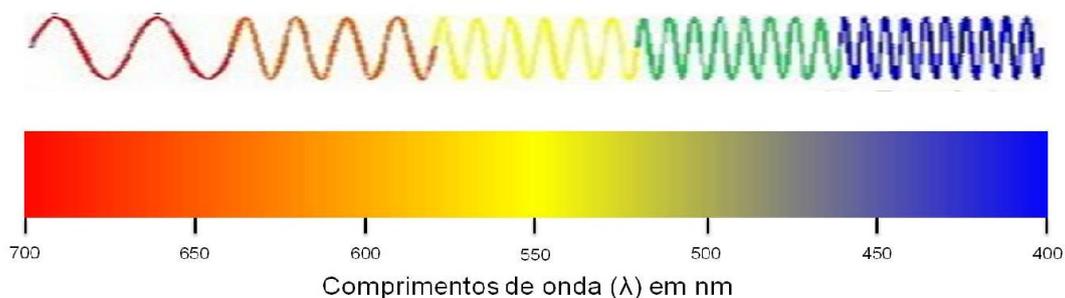


Figura 31 - Comprimento de onda para diferentes cores do espectro eletromagnético visível.
Fonte: Bases sobre a teoria da cor aplicada aos sistemas digitais (2013).

O LED é feito com materiais como o fosforeto de gálio e seleneto de zinco, que emitem radiação eletromagnética na faixa do visível quando diretamente polarizados. O quadro 6 ilustra alguns dos materiais usados na construção dos diodos emissores de luz de diferentes cores.

Quadro 6: A cor emitida pelo LED e o material semiconductor constituinte.

	Cor emitida	Material semiconductor
	Vermelho	Fosforeto de alumínio, gálio e zinco Fosforeto de gálio
	Amarelo	Fosforeto de alumínio, gálio e zinco Fosforeto de gálio
	Verde	Fosforeto de gálio Fosforeto de alumínio, gálio e zinco Fosforeto de alumínio e gálio Nitreto de gálio e índio.
	Azul	Seleneto de zinco Nitreto de gálio e índio.

Fonte: Autoria própria⁴.

Desde a invenção do LED vermelho por Nick Holonyack, em 1963, o dispositivo teve sua gama de aplicações ampliadas. Inicialmente, os diodos emissores de luz eram utilizados somente como indicadores de estado (ligado/desligado) em rádios e televisões; hoje, estão presentes iluminando diversas regiões do globo terrestre. Com o desenvolvimento tecnológico, foi possível construir LEDs que emitissem mais luz e fossem mais eficientes energeticamente. Em 2014, os pesquisados Akasaki Isamu, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura ganharam o prêmio Nobel de Física devido à invenção do LED azul.

O desenvolvimento das lâmpadas LEDs é de grande importância para a nossa sociedade: elas são mais duráveis e eficientes que as lâmpadas convencionais, o que gera uma grande economia de recursos energéticos e financeiros.

⁴ Informações consultadas disponíveis em: <en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode>. Data de acesso: 20/01/2018.

Capítulo 4

Desenvolvimento da atividade

4.1 Local de aplicação

Nosso trabalho foi realizado no Colégio de Aplicação da UFRJ, Rio de Janeiro. A sequência didática foi aplicada para três turmas da terceira série do ensino médio, tendo cada uma delas, em média, trinta alunos. As aulas ocorreram durante o curso regular no qual os estudantes estudavam os conceitos de eletrodinâmica no ano letivo de 2018, sendo aplicada pelo autor da dissertação. Durante as atividades, a turma foi dividida em grupos de três alunos para favorecer a interação entre os discentes na construção do conhecimento.



Figura 32: Entrada do CAP UFRJ.

4.2 Coleta de dados sobre a aplicação

Para a visualização dos estudantes, as quatro primeiras atividades foram filmadas utilizando a webcam de dois notebooks. Nas atividades seguintes, além da filmagem, colocamos um gravador de áudio em cada um dos grupos para que pudéssemos identificar o diálogo entre os estudantes no momento das atividades. Durante as aulas seguimos a ordem dos conteúdos e das atividades contidas no material do aluno (Apêndice A). Na transcrição dos áudios, os nomes dos alunos foram trocados para preservar suas identidades e pedimos autorização dos responsáveis para a filmagem e reprodução das imagens e falas dos estudantes. A seguir, descreveremos a interação dos estudantes durante a aplicação das atividades.

4.3 A aplicação

Atividade 1

Num primeiro momento, foi feita a leitura do texto “a criação da luz”, que está presente no apêndice A. Após a leitura desse texto, os estudantes observaram uma foto de nosso planisfério retirada por um satélite da NASA à noite, onde é possível identificar regiões com diferentes luminosidades. Com base nisso, foi pedido que os grupos identificassem as possíveis causas da diferença de iluminação entre algumas regiões presentes na foto e quais características de suas vidas mudariam caso vivessem em uma região sem acesso à iluminação noturna. A figura 33 mostra os alunos de uma turma apresentando suas respostas ao professor.



Figura 33 - Alunos do terceiro ano divididos apresentando suas ideias durante a primeira atividade.
Fonte: Autoria própria.

Foi dado um tempo determinado para que os alunos pudessem discutir entre si e elaborar suas ideias. Em seguida, os grupos apresentaram-nas para a turma e discutiram sobre as questões levantadas. Abaixo transcrevemos algumas das interações presentes na sala de aula em uma das turmas durante a primeira atividade.

Bruna: *Com base no mapa, pude concluir e que a luz acompanha o desenvolvimento tecnológico.*

Professor: *Como pode chegar a essa conclusão?*

Bruna: *Acompanhando as semelhanças entre os países. Os EUA estão muito iluminados, a Europa e o Japão também apresentam bom desenvolvimento econômico.*

Jaqueline: *Se olharmos para o hemisfério Sul e para o hemisfério Norte podemos ver uma grande diferença de iluminação entre a África e a Europa. Isso está intimamente ligado com o desenvolvimento tecnológico do local.*

Kaike: Também tem a ver com a quantidade de população no local, tem regiões que não está iluminada porque é deserto.

Atividade 2

Na segunda atividade, os alunos leram os textos “Do fogo às lâmpadas LED”, “Lâmpadas incandescentes saem do mercado a partir de julho de 2016”, “A relação entre a iluminação Pública e Criminalidade” presentes no Material do Aluno (apêndice A). Após a leitura, os grupos apresentaram os principais aspectos presentes nos mesmos. Os alunos participaram da discussão e interagiram com toda a turma. Relataremos abaixo algumas das interações coletivas presentes durante a leitura de cada texto.

Texto 1: Do fogo às lâmpadas LED

Kaike: O texto primeiro fala sobre a importância de se enxergar a noite para poder se caçar e realizar outras atividades e os tipos de iluminação artificial que foram produzidas.

Bruna: Foi necessário aprimorar a fonte luminosa que usamos para enxergar durante o período noturno. O potencial de iluminação era baixo quando era uma chama, tentaram fazer lâmpadas, mas elas não eram tão eficientes e eles foram sendo aprimoradas até que se chegou na lâmpada incandescente e depois com o passar do tempo percebeu-se que não era tão boa, ela consumia muito energia e começou a se ter uma necessidade de economizar energia elétrica.

Jaqueline: Com o passar do tempo, buscou-se lâmpadas cada vez mais eficientes. A lâmpada de óleo tinha eficiência de $0,1 \text{ lm/W}$ já as incandescentes atuais tinham eficiência de 15 lm/W , ou seja, uma eficiência cerca de 150 vezes maior que as da lâmpada de óleo.

Denis: Então a tendência é que se gaste a menor quantidade de energia possível para que se emita a maior quantidade de luz possível. O texto diz que a lâmpada incandescente é pouco eficiente porque emite muito calor e tem rendimento de 5 %.

Após as falas dos estudantes, o professor pegou uma lâmpada incandescente e mostrou o filamento de tungstênio e explicou para os estudantes as dificuldades encontradas historicamente para se conseguir um filamento adequado para a lâmpada incandescente.

Texto 2: Lâmpadas incandescentes saem do mercado a partir de julho de 2016

Jaqueline: *O segundo texto fala sobre a proibição da venda das lâmpadas incandescentes e cita alguns países que já adotaram essa proibição como: China, Índia, Reino Unido, Estados Unidos, Canadá, Cuba.*

Professor: *Quais foram os motivos que levaram essa proibição?*

José Eduardo: *As lâmpadas incandescentes são pouco eficientes, a ideia é que ela seja substituída por lâmpadas mais eficientes como a LED.*

Jaqueline: *Se conseguirmos lâmpadas que esquentem menos, a tendência é que elas sejam mais eficientes.*

Texto 3: A relação entre a iluminação pública e a criminalidade.

Kaike: *Quanto mais um local for iluminado, a tendência é que esteja mais movimentado e isso acaba gerando uma maior segurança.*

Denis: *A iluminação noturna possibilita que as pessoas possam se movimentar mais nesse período, movimenta o comércio e dá maior sensação de segurança.*

Essa atividade trouxe a discussão de diferentes aspectos relacionados à iluminação que são de grande importância para a cidadania. Conseguimos abordar aspectos relacionando a produção científica e seu impacto na sociedade. Desta forma podemos perceber que os textos e a metodologia utilizada permitiram a participação dos estudantes que avaliaram a importância e evolução da tecnologia de iluminação, abordando aspectos desejados quando elaboramos uma proposta que seja orientada à promoção da AC considerando os aspectos CTS.

Atividade 3

Na terceira atividade, os estudantes tinham que identificar alguns tipos diferentes de lâmpadas, suas tensões elétricas e potências nominais de funcionamento. Para isso, cada grupo recebeu o material presente na figura 34.



Figura 34 - Materiais utilizados na terceira atividade.

Após receberem o material, os estudantes tiraram as lâmpadas das embalagens e começaram a identificar os diferentes tipos de lâmpadas e as informações pedidas. Foi dado um tempo de cinco minutos para que os estudantes realizassem a atividade.

Em seguida, o professor exibiu as lâmpadas para os estudantes e pediu que identificassem o tipo de lâmpada, o valor da potência e tensão nominal. Veja algumas interações entre o professor e os estudantes durante o desenvolvimento da atividade.

Professor: *Como vocês conseguiram identificar esses diferentes tipos de lâmpada?*

Kaíke: *Pelo formato das lâmpadas.*

Professor: *Mas tanto a lâmpada LED como a incandescente apresentam uma forma semelhante, como fizeram para diferencia-las?*

Denis: *A incandescente possui um filamento e as de LED não.*

Kaíke: *Além disso, a forma da fluorescente é diferente e ela é preenchida por um gás.*

Podemos relatar que os estudantes não tiveram dificuldade em identificar os tipos de lâmpadas e suas características elétricas presentes em sua embalagem. A dificuldade relatada foi em encontrar as características elétricas da lâmpada incandescente pingo d'água e do LED.

Na lâmpada incandescente pingo d'água temos o valor da sua voltagem nominal e sua respectiva corrente elétrica impressa em sua rosca; com essas informações é possível calcular sua potência nominal. Poucos alunos conseguiram identificar essas informações, então foi necessário que o professor colocasse essa informação disponível aos estudantes. Para o LED, o professor forneceu aos estudantes o valor da tensão de funcionamento e a corrente elétrica de operação nominal do LED vermelho que estavam utilizando.

A identificação de aspectos técnicos de equipamentos elétricos e o reconhecimento de suas unidades de medidas é uma habilidade importante para a formação cidadã. Nessa atividade, os estudantes conseguiram identificar a potência elétrica e a tensão nominal de diferentes tipos de lâmpadas, assim alcançando o objetivo

desejado na atividade. A identificação de grandezas físicas em embalagens de produtos está embutida em uma das competências gerais das Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, como podemos observar no quadro 7.

Quadro 7: Parte das competências gerais esperadas ao final da educação básica.

COMPETÊNCIAS GERAIS	SENTIDO E DETALHAMENTO EM FÍSICA
I.1 SÍMBOLOS, CÓDIGOS E NOMENCLATURAS DA C&T Reconhecer e utilizar adequadamente na forma oral e escrita símbolos, códigos e nomenclatura da linguagem científica.	<ul style="list-style-type: none">• Reconhecer e saber utilizar corretamente símbolos, códigos e nomenclaturas de grandezas da Física, por exemplo, nas informações em embalagens de produtos, reconhecer símbolos de massa ou volume; nas previsões climáticas, identificar temperaturas, pressão, índices pluviométricos; no volume de alto-falantes, reconhecer a intensidade sonora (dB); em estradas ou aparelhos: velocidades (m/s, km/h, rpm); em aparelhos elétricos, códigos como W, V ou A; em tabelas de alimentos, valores calóricos.• Conhecer as unidades e as relações entre as unidades de uma mesma grandeza física para fazer traduções entre elas e utilizá-las adequadamente. Por exemplo, identificar que uma caixa d'água de 2 m³ é uma caixa de 2 000 litros, ou que uma tonelada é uma unidade mais apropriada para expressar o carregamento de um navio do que um milhão de gramas.

Fonte: BRASIL (2002, p. 7).

Este tipo de atividade está também fundamentado nas indicações de Sasseron e Carvalho (2011) sobre os **Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica** que aborda a **importância da compreensão de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais** para a vida diária do cidadão.

Atividade 4

Na quarta atividade, foi proposto um experimento no qual os estudantes tiveram que montar um circuito elétrico para acender uma lâmpada incandescente pingo d'água e um LED verde, utilizando duas pilhas, suporte para pilha e fios com garras de jacaré. Os grupos receberam o material em uma bandeja, como ilustrado na figura 35.

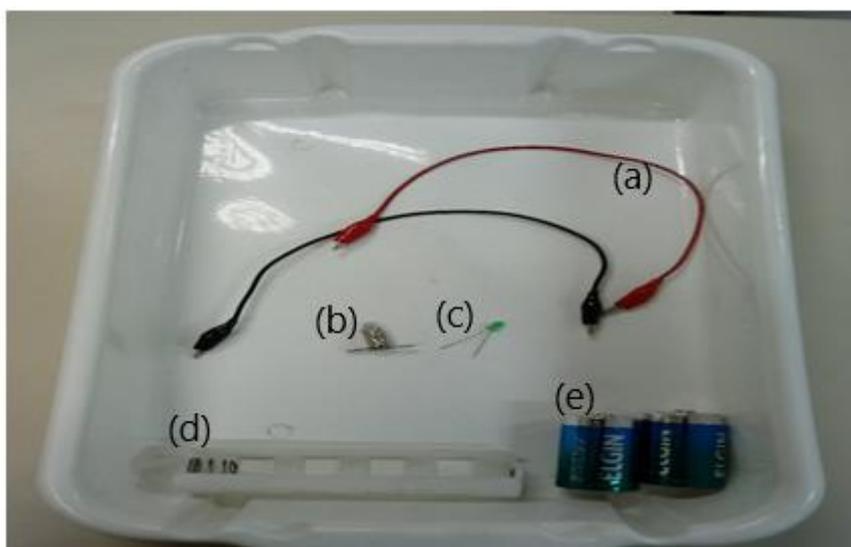


Figura 35 - Materiais utilizados na quarta atividade. (a) fios com garra de jacaré, (b) lâmpada incandescente pingo d'água, (c) LED, (d) suporte de pilhas, (e) pilhas.

Inicialmente, foi pedido aos alunos que desenhassem o circuito que seria construído para fazer as lâmpadas acenderem. Antes dos estudantes realizarem a montagem, o professor verificou se os esquemas desenhados pelos grupos estavam corretos.

Na próxima etapa, os estudantes fizeram o circuito elétrico para acender a lâmpada incandescente pingo d'água. Os grupos conseguiram realizar essa parte da atividade sem dificuldades. Veja o circuito montado por um dos grupos na figura 36.

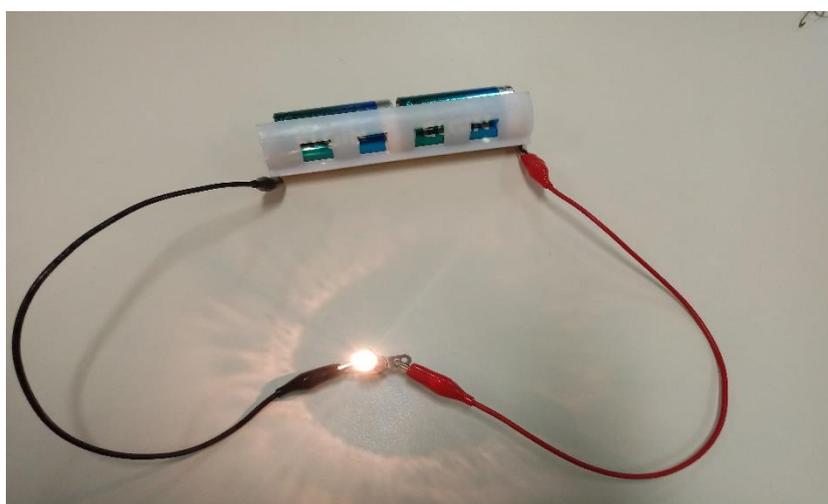


Figura 36 - Circuito elétrico com lâmpada pingo d'água.

Após isto, os estudantes substituíram a lâmpada incandescente pingo d'água pelo LED verde. Nessa parte da atividade, alguns grupos apresentaram dificuldades em fazer o LED verde emitir luz. Pois ele somente acende quando diretamente polarizado e, neste

momento, os estudantes não tinham essa informação. Um dos alunos que polarizou o LED inversamente - por isto, não o conseguia fazer acender - fez o seguinte questionamento: “ *Professor, você tem outro LED? Acho que este está queimado*”. Na figura 37 temos um LED reversamente polarizado.

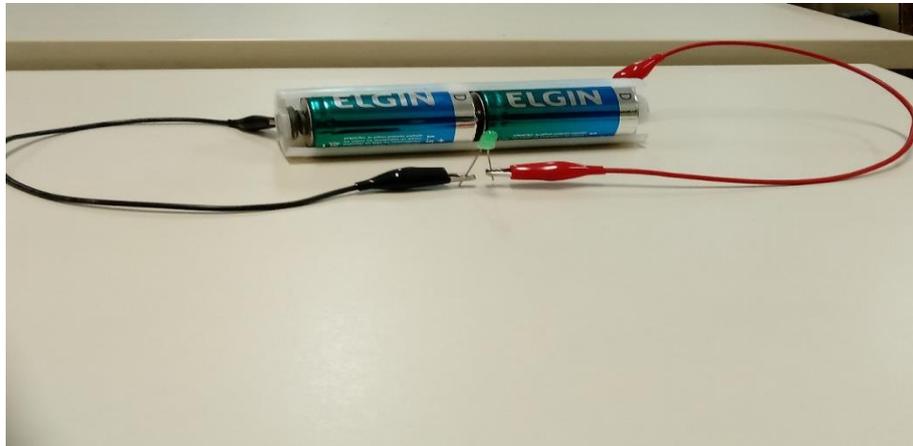


Figura 37 - LED reversamente polarizado.

O professor sugeriu aos estudantes que tentassem mudar a conexão invertendo as ligações dos fios. Um dos grupos questionou se faria diferença, mas inverteram a polaridade da ligação do LED e verificaram que ele passou a emitir luz, como podemos ver na figura 38.

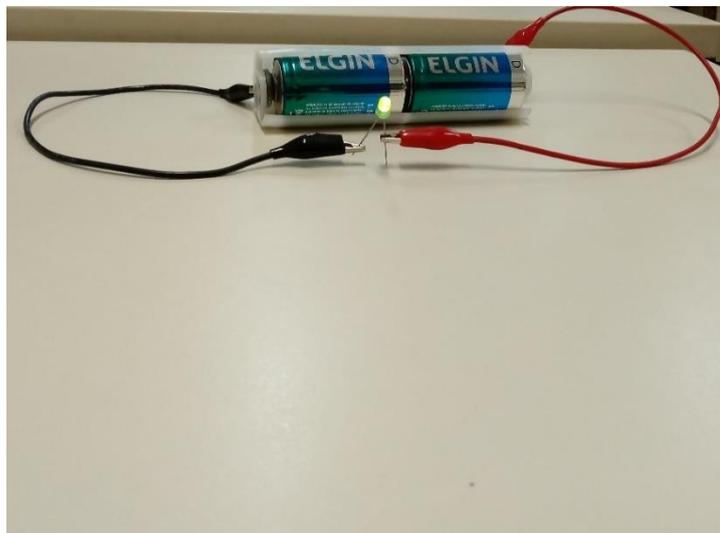


Figura 38 - LED diretamente polarizado.

Fonte: Autoria própria.

Após todos os grupos conseguirem realizar a tarefa, deu-se início à última parte da atividade. Nela, os alunos verificaram se o LED e a lâmpada incandescente pingo

d'água tinha uma polaridade “correta” para o seu funcionamento. O docente fez a seguinte pergunta aos grupos:

“Há uma polaridade correta para fazer-los acender ou ambos emitiam luz quando ligado independente da forma que a bateria é conectada? ”

Alguns grupos já haviam percebido que o LED só emite luz quando ligado numa determinada polaridade, mas outros grupos não haviam percebido pois tinham polarizado o LED diretamente na primeira tentativa. A ideia é mostrar experimentalmente que o LED só emite luz quando está diretamente polarizado.

Os alunos retomaram o experimento para fazer o teste proposto pelo professor no terceiro item da quarta atividade. Após realizarem o experimento, todos os grupos responderam que para a lâmpada incandescente pingo d'água não havia, mas para o LED sim. Veja a fala de um aluno sobre a ligação do diodo emissor de luz:

“O LED tem uma perninha maior e outra menor; faz diferença onde ligamos os terminais da bateria, ele só emite luz quando a perninha maior é ligada no positivo da bateria e a menor ao negativo ”.

No final da atividade, apesar de não saberem o porquê, os alunos já tinham notado que o LED tem o princípio de funcionamento diferente da lâmpada incandescente. Essa atividade tinha por objetivo que os estudantes pudessem identificar algumas propriedades técnicas de funcionamento das lâmpadas incandescentes e dos diodos emissores de luz. Assim, esse conhecimento técnico prescinde muitas vezes o conhecimento científico que explica o fenômeno observado e também está de acordo com uma proposta CTS de formação para a cidadania. Ao fim da atividade os estudantes conseguiram perceber que esses dois dispositivos funcionam de maneiras distintas.

Para finalizar a aula o professor lançou a seguinte pergunta para a turma:

“ Qual o motivo do LED só emitir luz quando ligado numa determinada polaridade? ”

Os estudantes não conseguiram responder esta pergunta, o que é compreensível visto que ainda não tinha sido iniciado o estudo dos materiais semicondutores. Dessa forma, o professor expôs aos alunos que estavam tratando de dispositivos que possuem funcionamentos diferentes e, na próxima aula, iniciariam estudos sobre os materiais semicondutores para poder entender o funcionamento do LED.

Atividade 5

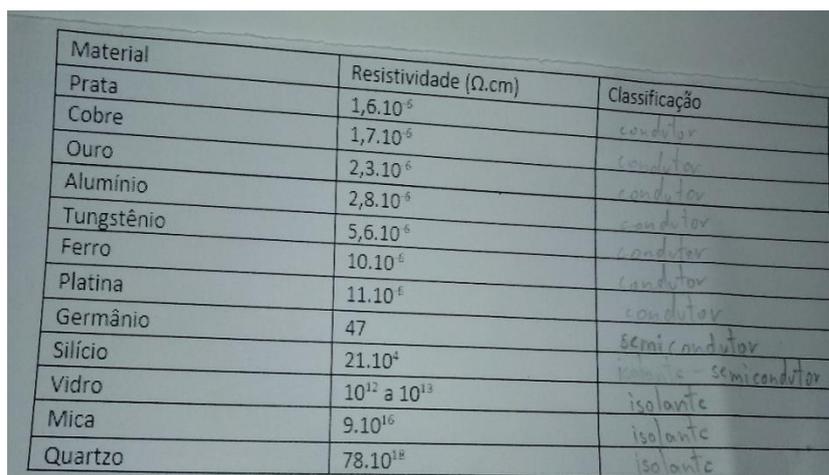
Na quinta atividade foi iniciado o estudo sobre os materiais semicondutores; num primeiro momento o professor perguntou aos estudantes o que seria um material semicondutor, veja algumas das respostas dos estudantes durante a interação com o professor:

“ Um material que conduz mais ou menos ”

“O semicondutor está entre os isolantes e os condutores”

“ Está ali no meio, ele nem conduz muito e nem resiste muito ”

Com base na interação com os alunos, apresentou-se o conceito de semicondutores e foi dada uma lista de materiais e seus respectivos valor de resistividade elétrica. Assim, foi pedido que os estudantes classificassem os materiais presentes na tabela como condutores, semicondutores ou isolantes elétricos. Nessa atividade, os grupos, de maneira geral, conseguiram classificar o silício e o germânio como semicondutores. A figura 39 mostra a tabela presente na atividade preenchida por um dos grupos.



Material	Resistividade ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Classificação
Prata	$1,6 \cdot 10^{-6}$	condutor
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-6}$	condutor
Ouro	$2,3 \cdot 10^{-6}$	condutor
Alumínio	$2,8 \cdot 10^{-6}$	condutor
Tungstênio	$5,6 \cdot 10^{-6}$	condutor
Ferro	$10 \cdot 10^{-6}$	condutor
Platina	$11 \cdot 10^{-6}$	condutor
Germânio	47	semicondutor
Silício	$21 \cdot 10^4$	semicondutor
Vidro	10^{12} a 10^{13}	isolante
Mica	$9 \cdot 10^{16}$	isolante
Quartzo	$78 \cdot 10^{18}$	isolante

Figura 39 - Resposta de um dos grupos na quinta atividade.

Fonte: Autoria própria.

A seguir reproduzimos parte das interações dos alunos durante o momento que escreviam na tabela.

Jaqueline: Olha os que são condutores são 10^{-6} todos esses conduzem bem.

Carlos: Acho que só o silício é semicondutor, tem o vale do silício.

Jaqueline: O semicondutor é aquele que não conduz muito como o condutor e nem pouco como o isolante.

Kaike: Do vidro para baixo é isolante, mas e o germânio, será que é isolante também?

Carlos: Não sei, pelo valor deve ser sim. Mas mesmo assim ele deve conduzir alguma coisa né?

Kaike: Todos conduzem, mas vai depender da voltagem que tá nele.

Jaqueline: Mas o germânio comparado com os de cima é muito grande, porque todos são 10^{-6} e pouco comparado com os de baixo.

Carlos: Então o germânio também é semicondutor.

Os alunos já tinham estudado os materiais condutores e isolantes e tendo como base o valor da resistividade elétrica dos materiais já conhecidos como bons e maus condutores elétricos, conseguiram identificar o silício e o germânio como elementos semicondutores.

Após o preenchimento da tabela o professor apresentou o silício e o germânio como os principais elementos semicondutores. Em seguida foi explicado a formação da estrutura cristalina do silício e a condução de corrente feita por elétrons e lacunas nos semicondutores.

Atividade 6

Na sexta atividade, após a introdução do conceito de dopagem, os alunos discutiram sobre a sua influência na condutividade do material semicondutor quando impurezas da família IIIA e VA são introduzidas em sua estrutura cristalina. Nessa atividade, tínhamos por objetivo fazer os alunos levantarem suas hipóteses e discuti-las com os colegas de classe e com o professor, antes da formalização do conteúdo. Num primeiro momento foi abordado a dopagem do tipo N. Como representado na figura 40:

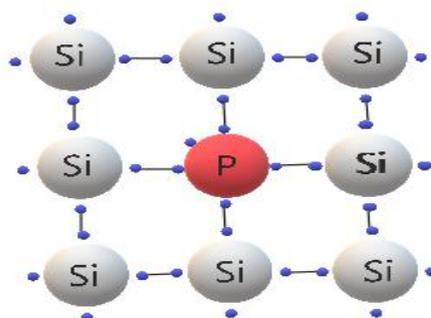


Figura 40 - Dopagem do tipo N. **Fonte:** Autoria própria.

A partir de uma representação bidimensional da estrutura cristalina do silício dopada com fósforo, os alunos deveriam responder se a introdução desse elemento

alteraria a condutividade do material e justificar sua resposta. Veja a seguir parte da interação de um dos grupos durante essa parte da atividade:

Jaqueline: Acho que vai alterar, tipo...

Kaike: Acho que vai aumentar, vai alterar porque vai ficar um elétron livre na camada.

Jaqueline: Concorda Denis?

Denis: Acho que vai aumentar, por causa do quinto elétron do fósforo.

Carlos: Tipo, a adição do átomo de fósforo iria diminuir a condutividade

Kaike: Como o fósforo tem um elétron a mais na camada de valência, esse elétron vai ficar livre.

Jaqueline: Não... eu acho que não. Eu acho que o núcleo do átomo vai puxá-lo.

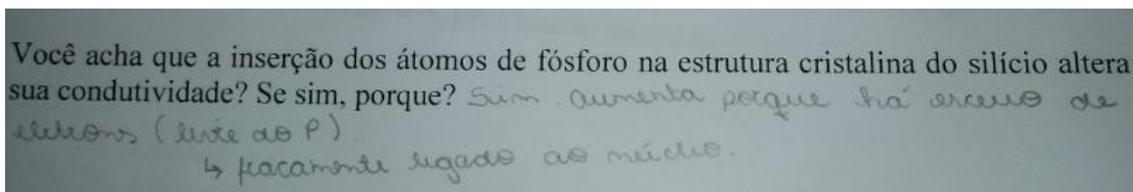
Kaike: O fósforo tem um elétron a mais, certo?

Carlos: Quanto mais elétrons na camada de valência, mais complicado é de o átomo perder elétron.

Denis: Vai aumentar, dos cinco elétrons da última camada do fósforo, quatro estão ligados com os de silício, tem um elétron que não realiza ligação covalente com nenhum elétron, por isso conduz melhor.

Carlos: é verdade, aumenta então.

No diálogo dos estudantes, pudemos perceber que a discussão possibilitou aos estudantes entenderem a importância do quinto elétron do elemento dopante para o aumento da condutividade da estrutura cristalina do semicondutor. Neste episódio Carlos afirma que a inserção do fósforo diminuiria a condutividade da estrutura. Denis discorda afirmando que o fósforo tem quatro elétrons realizando ligações covalentes com átomos de silício, mas tem um elétron fracamente ligado ao núcleo, por isso a condutividade da estrutura iria aumentar. Apesar da discordância de ideias, num primeiro momento, por meio do diálogo o grupo chegou à conclusão que haveria aumento na condutividade. Veja na figura 41 a resposta que esses alunos escreveram em seu material como conclusão do grupo:



Você acha que a inserção dos átomos de fósforo na estrutura cristalina do silício altera sua condutividade? Se sim, porque? Sim, aumenta porque há excesso de elétrons (livre do P).
↳ fracamente ligado ao núcleo.

Figura 41 - Resposta dos estudantes ao primeiro item da sexta atividade.

Fonte: Autoria própria.

Esse tipo de atividade possibilita aos estudantes elaborarem e defenderem suas hipóteses em seu grupo. Essa é uma característica esperada quando temos a intenção de promover a AC em nossas salas de aula, conforme destaca Sasseron (2015):

(...) ao promover condições para que os estudantes trabalhem ativa e conjuntamente na resolução de um problema, novas perguntas vão se construindo e se transformando em novas avaliações. Esse processo deflagra o estabelecimento de argumentação quando permite e solicita que haja debate de ideias explícitas, oralmente ou graficamente em tarefas escolares. Considerando esse modo de propor atividades nas aulas de ciências, entendemos que os alunos se encontram no desenvolvimento da Alfabetização Científica, uma vez que atitudes de caráter crítico, social, racional e objetivo podem ser postos em prática justamente e auxiliando a aprendizagem de conceitos das ciências (SASSERON, 2015, p. 64).

Num segundo momento da atividade, discutiu-se a dopagem do tipo P. Os alunos deviam responder se a inserção de átomos de boro na estrutura cristalina do silício alteraria sua condutividade. Veja na figura 42, uma representação bidimensional da inserção do boro na rede cristalina do silício.

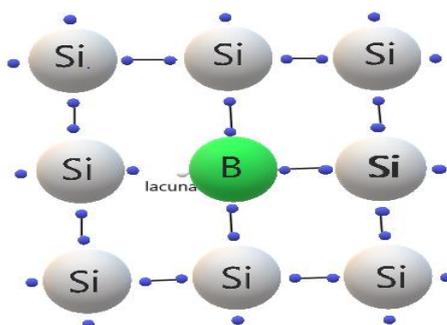


Figura 42 - Dopagem do tipo P.
Fonte: Autoria própria.

O professor perguntou aos estudantes: “Se agora, o átomo de boro fosse introduzido na rede cristalina do silício, o que vocês acham que iria acontecer?” Em seguida, foi dado um tempo determinado para que os grupos pudessem elaborar suas respostas. Veja a seguir a interação de alguns estudantes sobre estas questões:

Jaqueline: Vai diminuir.

Denis: Diminuiu porque?

Carlos: Quando o boro é introduzido vai ficar com um elétron a menos na estrutura.

Denis: Não vai aumentar?

Carlos: é o seguinte, o fósforo ele tem um elétron fracamente ligado por isso, mas aqui com o boro não tem. A falta de elétron atrapalha a condução.

Denis: Mas quando temos só silício, o buraco não ajuda na condução de corrente elétrica? Então não deveria aumentar? Se todos os elétrons tivessem ligados seriam mais difícil ter corrente elétrica.

Carlos: Acho não, vai conduzir menos. Não tem um elétron sobrando para aumentar a condução.

Denis: Mas a lacuna também é importante para a condução do semiconductor, porque facilita a passagem do elétron.

Carlos: Ih, então aumenta?

Denis: aumenta, o espaço já está lá para a passagem do elétron.

Na figura 43 podemos ver a resposta escrita desse grupo sobre a mudança de condutividade do semicondutor quando um elemento trivalente como o boro é introduzido em sua estrutura cristalina.

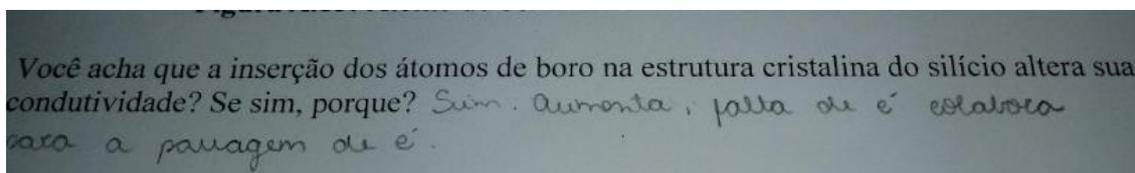


Figura 43 - Resposta dos estudantes ao segundo item da sexta atividade (aumento da condutividade).
Fonte: Autoria própria.

Apesar do grupo apresentado na figura 43 ter concluído que haveria aumento na condutividade, houve estudantes que num primeiro momento responderam que a inserção do boro diminuiria a condutividade do material, como ilustrado na figura 44.

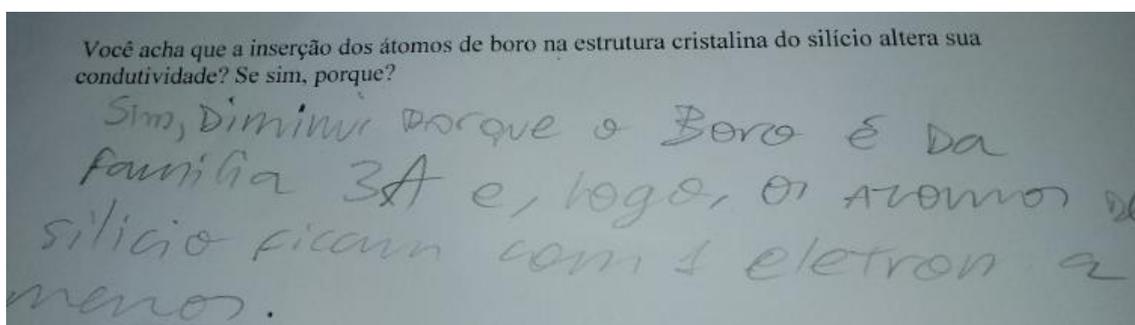


Figura 44 - Resposta dos alunos ao segundo item da sexta atividade (diminuição da condutividade).
Fonte: Autoria própria.

Como resultado da interação de todos os grupos, podemos perceber que, inicialmente, a ideia da lacuna ser importante para a condução de corrente elétrica não foi concebida por parte dos estudantes. Porém, a discussão foi importante para que eles pudessem expor suas ideias e pensar sobre esta questão. Em seguida, o professor explicou como acontece a condução de corrente elétrica nos dois tipos de dopagem e ressaltou a importância das lacunas para a condução na dopagem do tipo P.

Atividade 7

A sétima atividade tem como proposta o estudo da formação da barreira de potencial do diodo. Em princípio, o professor deu um diodo para cada um dos grupos e

disse que este elemento é formado a partir da junção de um semiconductor do tipo N com um semiconductor do tipo P. Após essa explicação, o professor apresentou a proposta da atividade aos grupo; responder à seguinte pergunta: “ O que acontece ao juntarmos um semiconductor dopado do tipo N com um do tipo P? Você acha que poderá ocorrer algum movimento de cargas elétricas entre estes dois semicondutores? Caso sim, faça uma representação deste processo. “

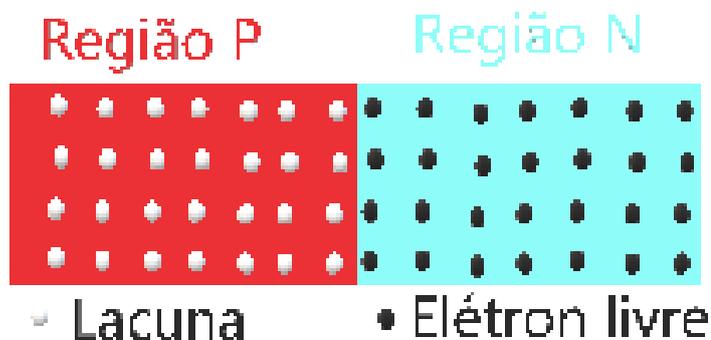


Figura 45 - Representação da junção PN.

No diálogo dos estudantes, podemos perceber que a pergunta colocada possibilitou pensarem sobre o movimento de elétrons quando ocorre o contato inicial na junção PN, mas a maioria dos grupos achou que não teria deslocamento de lacunas, como podemos ver na interação descrita a seguir:

Jaqueline: *Ué, os elétrons livres vão para as lacunas.*

Bruna: *Acho que vai ter movimento de elétrons da região N para a região P.*

Kaike: *Mas será que vai ter de lacunas também?*

Jaqueline: *Não, acho que só de elétrons.*

Denis: *Deve ter de lacunas também, ela também participa da condução do semiconductor.*

Bruna: *Os elétrons vão se mover num sentido e as lacunas no outro?*

Kaike: *Sim, vai ter movimento dos dois.*

Veja na figura 46 o desenho feito por um dos grupos, durante a atividade:

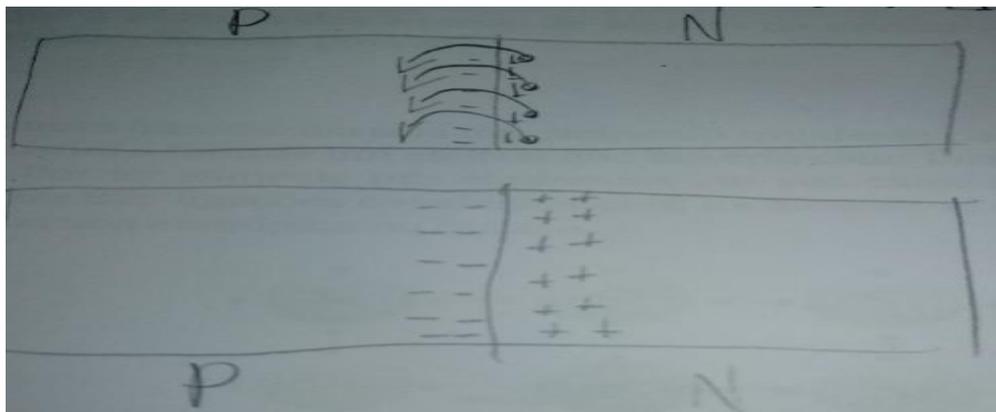


Figura 46 - Representação do movimento de elétrons no momento do contato da junção PN e a formação da barreira de potencial.

Após discutirem e responderem no seu material, os alunos apresentaram suas respostas e dúvidas ao professor. Um dos estudantes fez a seguinte pergunta:

“Todos os elétrons livres da região N vão para a P e todas as lacunas da P vão para a N?” O professor aproveitou o questionamento colocado para discutir a formação da barreira de potencial na junção PN e transferiu a pergunta para a turma: *“O que acham que vai acontecer?”* Um dos alunos respondeu: *“acho que não vão ser todos, vai ter uma hora que vai ficar em equilíbrio”*. Em seguida outro aluno questiona *“para ficar em equilíbrio uma metade dos elétrons vão passar e outra não”*. Apesar de não terem, ainda, estudado o conceito de barreira de potencial alguns estudantes perceberam que em algum momento as cargas em movimento poderão oferecer certa dificuldade ao fluxo de carga na junção PN e inclusive impedir o movimento de cargas. Essa discussão levantada serviu como gancho para a explicação do conceito de barreira de potencial.

Construção da fonte de tensão variável

Para as atividades 8 e 9 do Material do Aluno (Apêndice A) precisamos de uma fonte de tensão variável. Como no laboratório da escola não tínhamos nenhuma dessas fontes disponíveis, propusemos a construção de um modelo simples de fonte de tensão variável mostrada e esquematizada na figura 47.

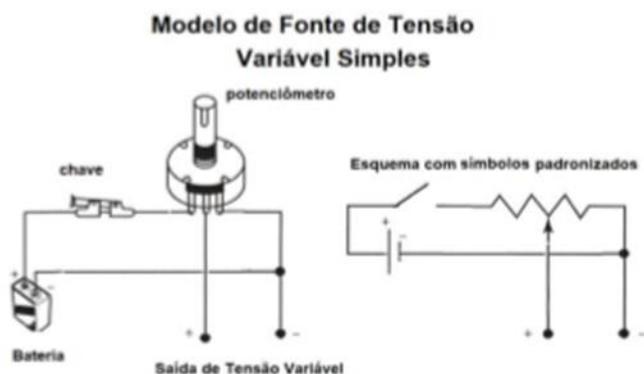


Figura 47 - Modelo de fonte de tensão variável.

Para a construção da fonte de tensão variável, o professor deu para cada grupo os seguintes materiais: potenciômetro, suporte para pilhas, pilhas, jumpers e uma protoboard. Como podemos ver na figura 48.

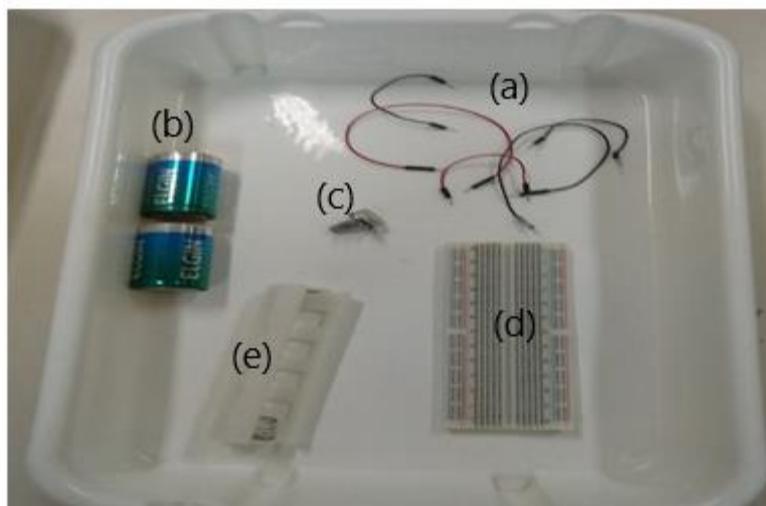


Figura 48 - Materiais recebidos pelos estudantes para a montagem da fonte de tensão variável. (a) jumpers, (b) pilhas, (c) potenciômetro, (d) protoboard, (e) suporte para pilhas.

Após a distribuição do material, o professor utilizando de abordagem dialógica recordou sobre o funcionamento do reostato de 3 pontas, elaborando os esquemas nos quais mostrou que o valor da resistência podia ser variado entre os pontos deste potenciômetro e também do uso da protoboard. Os estudantes já haviam estudado divisores de tensão e sabiam que quando colocamos dois resistores em série a d.d.p da fonte se distribui entre eles. Utilizando estes conhecimentos conseguiram realizar as

ligações necessárias no potenciômetro para a montagem da fonte de tensão variável, como podemos ver na figura 49.

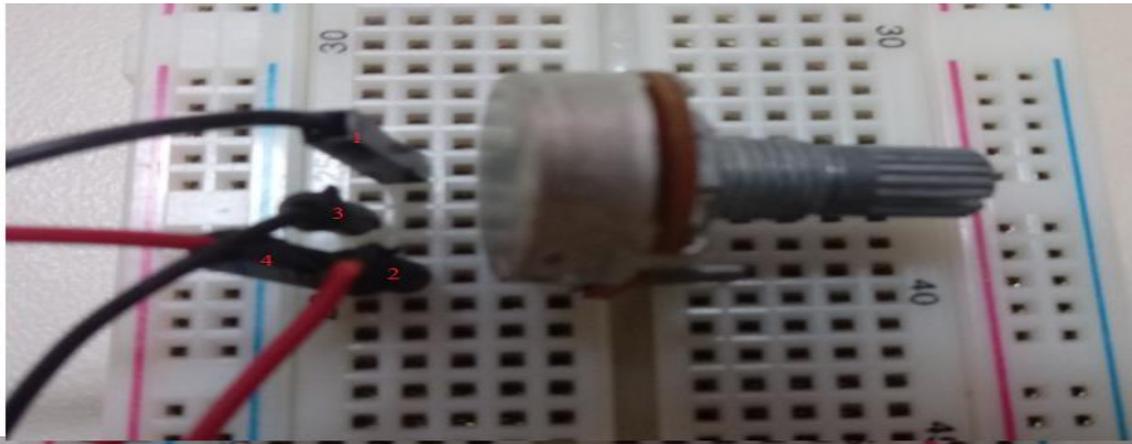


Figura 49 - Conexões dos fios na protoboard para a montagem da fonte de tensão variável.

Os fios 1 e 2 funcionaram como alimentação do potenciômetro. O fio 1 foi conectado ao polo negativo da bateria, e o 2 ao terminal positivo. Já o fio 3 foi conectado no terminal central e o fio 4 na mesma linha de conexão do potencial positivo da bateria. Dessa forma, os fios 3 e 4 fornecem a tensão variável ao girarmos o cursor do potenciômetro.

Em seguida, os grupos utilizaram fios com garra de jacaré e um multímetro, para que eles pudessem verificar se sua fonte de tensão variável estava funcionando. Na figura 50, uma das alunas está testando a fonte de tensão variável construída pelo seu grupo.

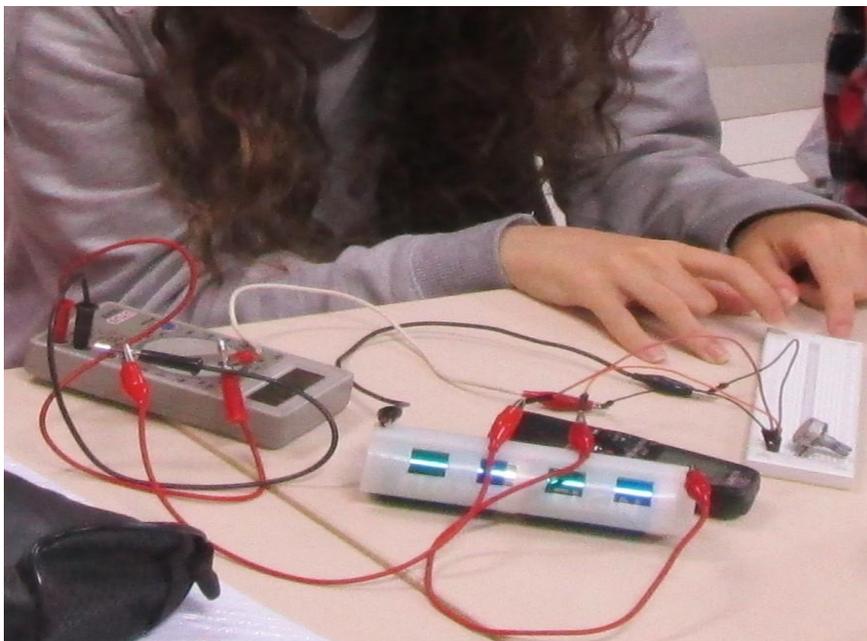


Figura 50 - Alunos testando a fonte de tensão variável.

Atividade 8

A oitava atividade tem por objetivo estudar o comportamento elétrico do diodo quando submetido a uma diferença de potencial. Foi apresentada aos estudantes a existência dos dois tipos de polarização possível (direta e reversa), como representado na figura 51.

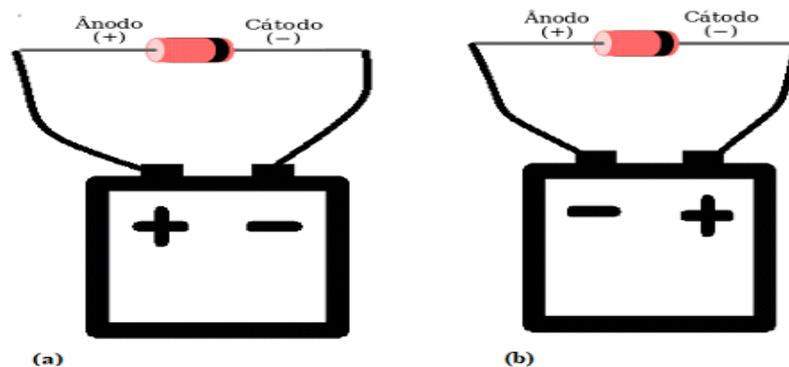


Figura 51 - Representação do diodo polarizado. (a) diretamente polarizado, (b) reversamente polarizado.

No início da atividade, os estudantes responderam a seguinte pergunta: “ *Você acha que poderá ocorrer condução de corrente elétrica em algum destes casos? Justifique sua resposta com os conhecimentos que você já possui.* ”

Um dos grupos utilizou o conhecimento sobre a polarização do LED para embasar sua resposta, afirmando que este dispositivo somente emite luz quando diretamente polarizado, presumindo que o diodo teria um comportamento elétrico semelhante. Veja parte do diálogo entre um dos grupos de estudantes sobre a questão colocada.

Kaike: *Acho que se colocar o positivo no negativo vai dar ruim, não vai acontecer nada, porque o elétron não vai passar.*

Denis: *Positivo no positivo vai conduzir, é isso a pergunta? (Nesse momento, o estudante estava se referindo à polarização direta)*

Kaike: *eu acho que é na polarização direta, porquê o polo negativo vai repelir os elétrons da parte N para a outra parte.*

Jaqueline: *Acho que é exatamente isso. Na outra forma o elétron não consegue passar para o outro lado.*

Bruna: *O Led tem polaridade certa para ligar, no diodo deve ser igual.*

Jaqueline: *Para ter movimento de corrente o elétron tem que sair do negativo para o positivo, é mais fácil no primeiro caso.*

Na figura 52 podemos ver a resposta do grupo (Bruna – Denis – Jaqueline – Kaike), sobre esta questão.

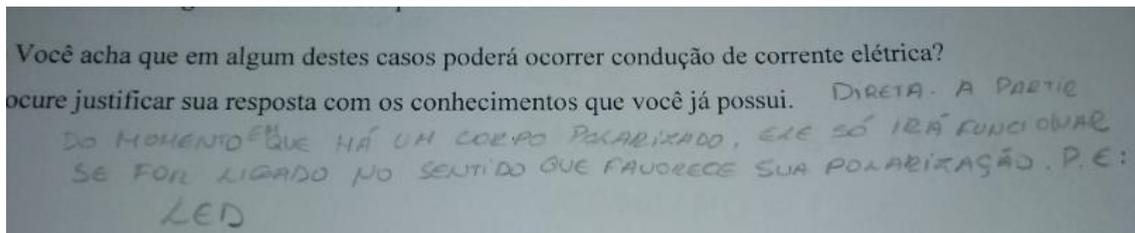


Figura 52 - Resposta de um dos grupos no primeiro item da oitava atividade.

Num segundo momento da atividade, os estudantes planejaram as ligações elétricas para a medição de corrente elétrica e voltagem no diodo para poderem testar suas hipóteses. Como os estudantes já tinham conhecimento sobre o funcionamento do amperímetro e do voltímetro, não apresentaram dificuldade na esquematização do circuito elétrico. Em seguida, foi pedido aos estudantes que montassem o circuito elétrico esquematizado para poderem testar suas hipóteses de forma experimental. Descrevemos a seguir, parte das interações dos alunos durante a construção do circuito para testar suas hipóteses.

Jaqueline: *Vamos colocar o diodo diretamente polarizado para ver se tem corrente.*

Denis: *Mas tipo assim, então tem que ligar o terminal positivo ao anodo e o negativo ao catodo, é isso?*

Kaike: *Isso. Vamos fazer a ligação.*

Jaqueline: *Ué, não está conduzindo, acho que estamos errados, mas não era para conduzir.*

Bruna: *Não tem corrente elétrica ou ligamos errado alguma coisa.*

Kaike: *Olha só, a voltagem está dando zero e a corrente também.*

Denis: *Gira o botão para ver se muda alguma coisa*

Kaike: *Vou girar.*

Bruna: *Viu não tá acontecendo nada, estávamos errado.*

Kaike: *ih, começou a conduzir, tá conduzindo, estamos certo.*

Jaqueline: *Se invertermos será que vai continuar tendo corrente?*

Kaike: *Vamos testar, inverte para vermos*

Jaqueline: *Olha não está passando, estávamos certo, só conduz na forma direta.*

Veja na figura 53, o circuito construído com o diodo polarizado de forma reversa. Pela leitura do amperímetro, podemos ver que a corrente elétrica indicada é nula e a do voltímetro é 3,03 V.



Figura 53 - Diodo reversamente polarizado.

Após a oitava atividade, o professor explicou o porquê da assimetria de condução de corrente elétrica nas duas formas de polarização do diodo e mostrou um vídeo “ Coleção Técnica Interativa – Eletrônica – Semicondutores” que mostra o processo tecnológico envolvido na produção dos diodos, disponível no endereço eletrônico: www.youtube.com/watch?v=HmvppRT9nm4. Acessado em 10/01/2018.

Em seguida o docente apresentou o LED como um diodo capaz de emitir luz, ressaltando que todas as propriedades estudadas anteriormente também são válidas para os LEDs. Na sequência explicou aos estudantes o processo de emissão de luz feita pelo LED retomando os conhecimentos estudados sobre o átomo de Bohr. Antes do início da próxima atividade foi exibido um vídeo “ A Brilliant Idea: Nick Holonyak, Jr. And the LED”no qual Nick, criador do LED vermelho, explica o contexto da criação do primeiro diodo emissor de luz que pode ser acessado no endereço eletrônico: www.youtube.com/watch?v=cvIHUt0HhZA&t=269s. . Acessado em 10/01/2018.

Atividade 9

Na nona atividade, os estudantes estimaram o valor da barreira de potencial para LEDs de quatro cores diferentes. A ideia da atividade era mostrar que o valor da barreira de potencial do LED está relacionado com a cor emitida pelo LED. Para isso utilizaram a fonte de tensão variável construída por eles e quatro LEDs de diferentes cores: vermelho, amarelo, verde e azul.

Na primeira parte da atividade foi pedido aos estudantes que fizessem um esquema de um circuito elétrico que permitisse a medição da voltagem aplicada no LED. Nessa configuração o diodo emissor de luz devia estar diretamente polarizado e o voltímetro colocado em paralelo com o mesmo.

Utilizando a fonte de tensão variável construída, os estudantes montaram o circuito planejado e variaram a voltagem aplicada até que o LED começasse a emitir luz. Na figura 54, podemos ver os alunos desenvolvendo a atividade experimental proposta com o LED verde.



Figura 54 - Alunos montando o circuito com LED verde.

Fonte: Autoria própria.

Evidentemente, esse valor medido está um pouco acima do valor da barreira de potencial, pois já temos uma quantidade de recombinações suficientes para a emissão da luz. Com isso, o professor explicou que se aumentassem o valor da voltagem aplicada até o valor de operação nominal haveria um aumento no número de recombinações, produzindo assim maior luminosidade. Veja na figura 55, o valor medido por um dos grupos durante a atividade:

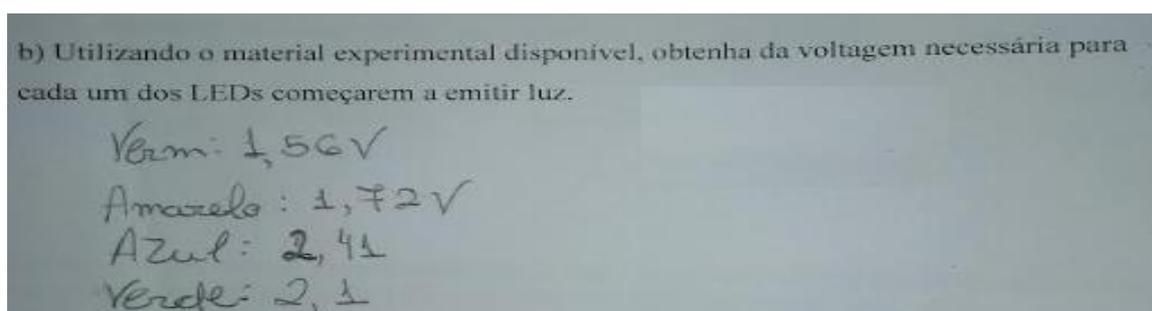


Figura 55 - Valor da voltagem medida pelos estudantes. **Fonte:** Autoria própria.

Após a realização das medidas, o professor pediu aos grupos que explicassem o porquê da diferença dos valores encontrados para os quatro LEDs. Dentre as respostas dos alunos, as mais frequentes foram as seguintes:

“Cada LED apresenta um valor de barreira de potencial diferente”

“Deve ser porque são feitos de materiais diferentes”

“ O valor muda de acordo com a cor emitida”

Veja a resposta escrita de um dos grupos para esta questão na figura 56.

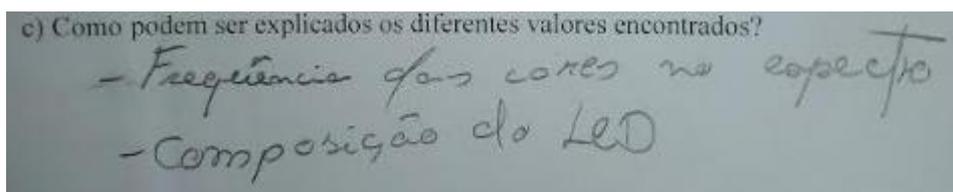


Figura 56 - Resposta dos alunos para o terceiro item da nona atividade.

Fonte: Autoria própria.

Atividade 10

Nessa atividade, os estudantes compararam a eficiência energética de uma lâmpada incandescente pingo d’água e um LED de alto brilho. Para isso precisaram medir o valor da corrente elétrica e voltagem de cada um dos dispositivos para calcular a potência elétrica de cada um dos componentes. Para comparar a quantidade de luz emitida, utilizaram o celular na função de luxímetro.

No início da atividade, foi pedido aos estudantes que pensassem numa forma de comparar a eficiência energética da lâmpada incandescente pingo d’água com a do LED. Os alunos conseguiram construir estratégias eficientes para a atividade, como podemos perceber no diálogo a seguir:

Kaike: *Qual vai ser o critério que vamos utilizar para saber qual deles é mais eficiente?*

Carlos: *deve ser pelo rendimento da lâmpada.*

Kaike: *Não seria pela eficiência?*

Carlos: *Precisamos então saber a quantidade de luz que cada uma tem.*

Bruna: *Isso, mas com a distância a luminosidade vai diminuindo, como vamos fazer?*

Kaike: *Então para comparar tem que colocar na mesma distância.*

Bruna: *Boa ideia.*

Carlos: Mas já não está marcando um valor de lux mesmo antes de ligarmos a lâmpada?

Bruna: é só no final a gente descontar esse valor, tipo a tara da balança.

Carlos: então já tá marcando um valor, no final é só descontarmos esse valor.

Kaike: Mas não temos as potências delas.

Carlos: qual o critério que vamos utilizar para saber qual é mais eficiente?

Kaike: Vamos pôr o luxímetro e coloca-los na mesma distância para compara-los.

Kaike: E tem que colocar a questão da potência também, temos que medir a potência.

Bruna: Como vamos medir a potência?

Carlos: vamos montar o circuito e medir a voltagem e a corrente para calcular a potência.

Kaike: como usa o voltímetro mesmo?

Carlos: Tem que colocar em paralelo e o amperímetro em série.

Bruna: Como fazemos depois para saber qual é eficiente com o valor da potência e da luminosidade?

Carlos: é só comparar a relação entre a luz emitida e a potência de cada uma delas.

Após a interação, o grupo escreveu a seguinte resposta em seu material: “Vamos usar o luxímetro e colocar ambos dispositivos na mesma posição. Para saber a eficiência também calcularemos a potência de cada lâmpada com auxílio do voltímetro e amperímetro”. Como podemos ver na figura 57.

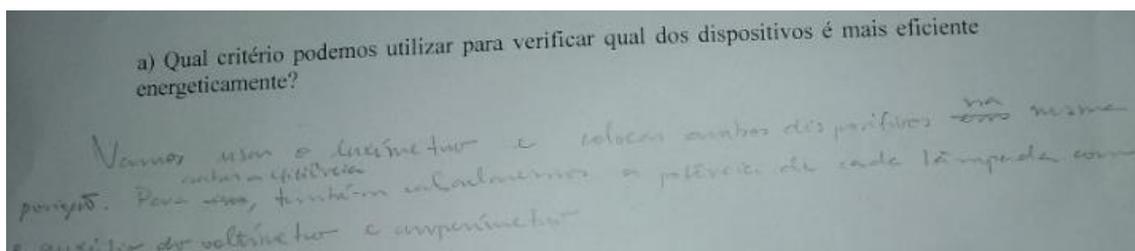


Figura 57 - Resposta dos estudantes sobre o primeiro item da décima atividade.

Fonte: Autoria própria

Em seguida os alunos montaram o esquema para a medição das grandezas físicas planejadas, para comparar a eficiência do LED e da lâmpada incandescente pingo d'água.

Para a atividade, disponibilizamos um suporte de celular por grupo, para facilitar a montagem do arranjo experimental. No momento da experiência, é importante que o celular esteja à mesma distância da fonte de luz, pois a iluminância depende da distância entre a fonte de luz e o sensor. Veja na figura 58, uma aluna esquematizando a construção do arranjo experimental para a atividade.

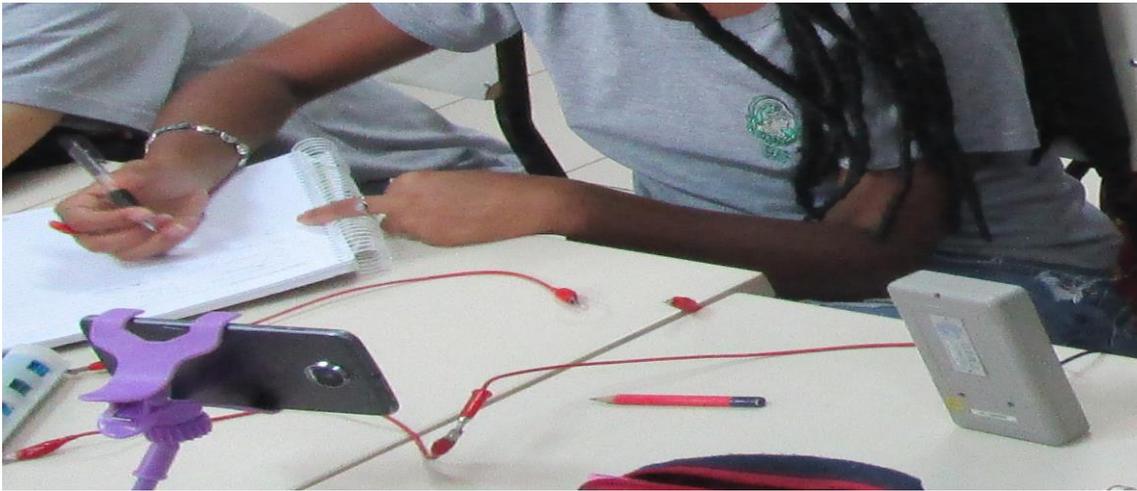


Figura 58 - Aluna esquematizando o arranjo experimental para a décima atividade.
Fonte: Autoria própria.

Dando continuidade à atividade, os discentes montaram o circuito elétrico para realizar a medida de iluminância, corrente elétrica e voltagem para cada um dos dispositivos.

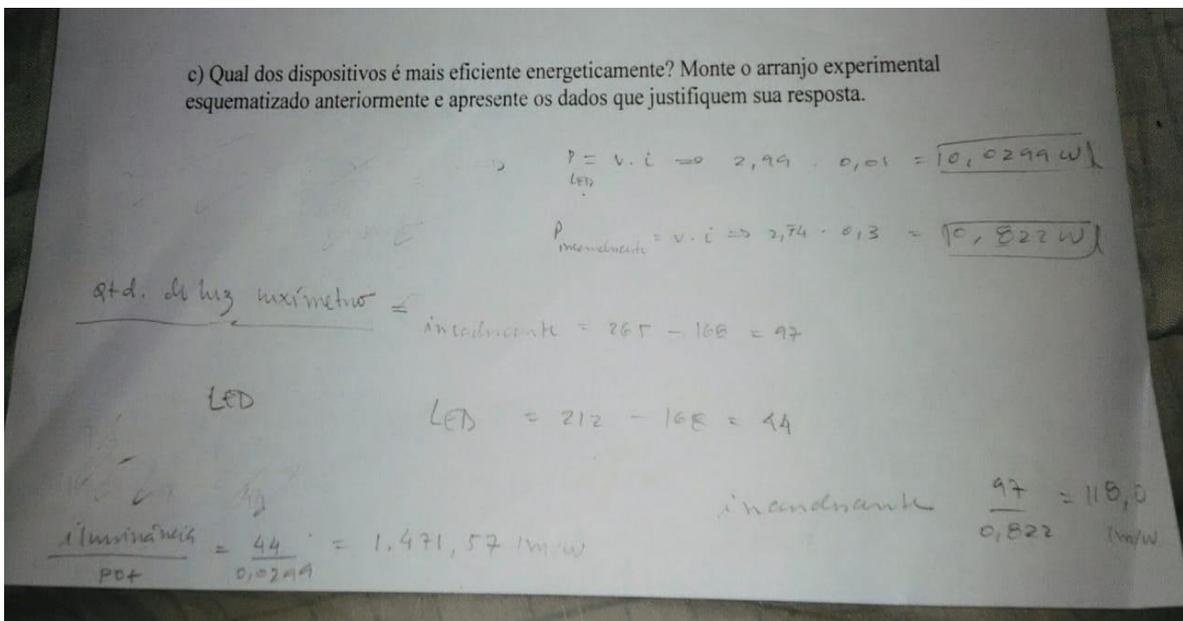


Figura 59 - Cálculos desenvolvidos pelos estudantes para comparar a eficiência da lâmpada incandescente pingo d'água e do LED.
Fonte: Autoria própria.

Para visualizarmos melhor os cálculos feitos pelos estudantes transcrevemos os dados da figura 59 no quadro 8.

Quadro 8: Transcrição dos cálculos desenvolvidos pelos estudantes para comparar a eficiência da lâmpada incandescente pingo d'água e do LED.

$$P_{\text{LED}} = V.I = 2,99 \cdot 0,01(\text{VA}) = 0,0299 \text{ W}$$

$$P_{\text{incandescente}} = 2,74 \cdot 0,3 = 0,822 \text{ W}$$

Qtd de luz luxímetro

$$\text{Incandescente: } 265 - 168 = 97$$

$$\text{LED} = 212 - 168 = 44$$

LED

$$\frac{\text{Iluminância}}{\text{Potência}} = \frac{44}{0,0299} = 1471,57 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

Incandescente

$$\frac{\text{Iluminância}}{\text{Potência}} = \frac{97}{0,822} = 118 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

Podemos ver no quadro que os estudantes encontraram a potência de 0,0299 W para o LED e 0,822 W para a lâmpada incandescente. Além disso, a medida do luxímetro aumentou de 97 lux para o dispositivo de filamento e 44 lux para o LED. Apesar do diodo emissor produzir uma menor quantidade de luz, quando fizeram a razão entre a iluminância e a potência de cada dispositivo, concluíram corretamente que o LED é mais eficiente energeticamente.

Capítulo 5

Considerações finais

Ao iniciar a preparação desta dissertação, tínhamos como objetivo elaborar uma sequência didática na qual o LED fosse utilizado como mais uma possibilidade nas atividades de sala de aula destinadas ao estudo da eletrodinâmica. Então, num primeiro momento, fizemos uma busca sobre propostas que visam o ensino da Física dos semicondutores e do funcionamento do LED para estudantes do Ensino Médio. Esta pesquisa foi feita nos livros do PNLD (2016-2018), nas dissertações do Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e nas principais revistas de ensino de Física do Brasil. Encontramos os seguintes resultados:

a) Dos doze livros didáticos, somente um deles aborda, de fato, tópicos referentes aos semicondutores. Dois deles somente citam a existência desse tipo de materiais e os outros nove livros não citam os semicondutores.

b) Nas dissertações do MNPEF, encontramos quatro trabalhos que apresentam propostas para a inserção dos semicondutores e dos LEDs no Ensino Médio, porém sentimos falta de atividades que visam discutir aspectos teóricos importantes para o entendimento do funcionamento do LED, como o processo de dopagem e a formação da barreira de potencial. Além disso, nenhum dos trabalhos analisados propuseram experimentos que possibilitassem a comparação da eficiência de diferentes tipos de lâmpadas.

c) Nos artigos encontrados, nenhum deles apresenta propostas investigativas para inserir os LEDs no Ensino Médio.

Como base para fundamentação de nossa proposta, destacamos em nosso referencial teórico alguns aspectos da AC, do Ensino por Investigação e do Enfoque CTS, que serviram como orientação para a construção de nossa sequência didática. Desta forma, buscamos elaborar uma sequência de ensino na qual os estudantes pudessem participar da construção coletiva do conhecimento. Elaboramos também uma revisão sobre tópicos importantes da Física dos semicondutores para que se possa compreender o funcionamento dos LEDs.

Nosso quarto capítulo foi dedicado à descrição da aplicação da sequência didática. As atividades iniciais tinham por objetivo elaborar uma contextualização sobre a importância da iluminação para a vida humana e os motivos que levaram à proibição da comercialização das lâmpadas incandescentes. Nestas atividades, os estudantes puderam

identificar diferentes tipos de lâmpadas existentes no mercado, bem como suas especificidades como os valores de tensões e potências nominais de funcionamento. Além disso, foram discutidos aspectos importantes para a vida cidadã dos estudantes. Elaboramos também atividades com abordagem experimental envolvendo a montagem e a estruturação de circuitos contendo lâmpadas pingo d'água, LEDs e diodos. Nossa abordagem experimental possibilitou aos estudantes compreenderem que o diodo emissor de luz e a lâmpada incandescente emitem luz por processos físicos distintos. Ao estudar os materiais semicondutores, os estudantes puderam entender o funcionamento do LED. Para começar, o professor questionou os alunos sobre o que seria “um semicondutor”, então eles apresentaram suas “definições”. Com base nas respostas dadas pelos estudantes, o docente apresentou, de forma dialógica, a definição de semicondutores. Na quinta atividade, boa parte dos discentes conseguiram identificar o silício e o germânio como materiais semicondutores, ao analisarem o valor do coeficiente de resistividade de diversos materiais.

Ao trabalharem nas atividades sobre o processo de dopagem nos materiais semicondutores, percebemos que os estudantes conseguiram compreender: a) a importância do quinto elétron do elemento dopante para o aumento da condutividade da estrutura cristalina do semicondutor na dopagem do tipo N; b) a importância do buraco para o aumento da condutividade do semicondutor, no estudo de dopagem tipo P; e c) que haveria um movimento de portadores de cargas elétricas ao juntarmos um semicondutor do tipo P com outro do tipo N. Isto possibilitou que os estudantes tivessem uma melhor compreensão sobre a formação da barreira de potencial no diodo e deu suporte para as discussões posteriores sobre a condução de corrente elétrica no diodo diretamente e inversamente polarizado. A montagem de um circuito elétrico utilizando uma fonte de tensão variável permitiu aos estudantes levantar e testar suas hipóteses sobre a condução de corrente elétrica no diodo e, a partir da discussão feita, compreender o porquê do LED somente emitir luz quando diretamente polarizado, bem como o valor da voltagem necessária para o LED emitir luz depender da frequência da cor emitida.

Além disto, apresentamos conceitos fotométricos para que os estudantes pudessem fazer uma atividade experimental para comparar a eficiência luminosa de uma lâmpada incandescente pingo d'água e de um LED de alto brilho. Para esta atividade, eles utilizaram o celular como luxímetro e um multímetro para a medição de corrente elétrica e voltagem. A partir das interações dos estudantes e das respostas escritas, podemos perceber que eles conseguiram traçar estratégias para poder resolver o problema proposto.

Na última atividade, o objetivo era comparar a eficiência de lâmpadas domésticas. Nesta etapa, os alunos utilizaram as estratégias já desenvolvidas na atividade anterior para comparar a eficiência das seguintes lâmpadas: incandescente, fluorescente e LED. Eles utilizaram aparelhos de medidas que possibilitaram o cálculo da potência elétrica das lâmpadas e, ao usarem smartphones na função de luxímetro, mediram a iluminância produzida por cada uma dessas lâmpadas. Com isto, chegaram à conclusão que a LED possui maior eficiência energética.

Por meio das interações dos estudantes na sala de aula, percebemos que as atividades investigativas propostas conseguiram fazer os estudantes participar da aula, discutindo com os colegas de turma e com o professor. O modo como as atividades foram propostas permitiu que o professor pudesse utilizar o diálogo na construção do conhecimento. Neste sentido, as interações entre os estudantes favoreceram a compreensão de aspectos teóricos dos materiais semicondutores. Através de algumas perguntas colocadas, eles conseguiram relacionar o conteúdo ensinado com a vida cidadã, não se limitando apenas à obtenção do conhecimento físico.

Gostaríamos de destacar nossa percepção de que este tipo de abordagem possibilitou ensinar aspectos teóricos da Física dos semicondutores, como a dopagem, a formação da barreira de potencial e a condução de corrente elétrica no diodo, fazendo uso de atividades investigativas nas quais os estudantes puderam levantar suas hipóteses e discuti-las com os colegas e, quando possível, testá-las de forma experimental. Outra questão importante que conseguimos observar em nosso trabalho é que os estudantes tiveram dificuldades para compreender o papel da lacuna eletrônica na condução de um semicondutor com dopagem do tipo P, assim como o movimento de lacunas no momento da junção PN. Então, podemos sinalizar que se deve dar uma atenção especial a este aspecto teórico dos semicondutores.

Por fim, acreditamos que um diferencial da nossa sequência didática seja justamente a possibilidade de que os estudantes atuem como protagonistas em uma atividade de investigação experimental sobre a eficiência de diferentes tipos de lâmpadas, utilizando o celular como luxímetro para medida da iluminância, além do uso de amperímetro e voltímetro para a medição de grandezas físicas que permitissem o cálculo da potência elétrica. Acreditamos que não se esgotam aqui as possibilidades de aplicação das atividades propostas em turmas de Ensino Médio sobre a temática. Por isto, desejamos aplica-la em outras instituições de ensino.

Apêndice A Material do Aluno

A.1 A “criação” da luz

Disse o ser humano: haja luz. E houve luz.

Não é por acaso que a Bíblia, o mais importante livro que normatiza a cultura judaico-cristã, inicia a metáfora de criação do universo pela ordem direta dada por Deus para a “criação” da luz. Como sabemos, a luz é um componente fundamental para o surgimento e manutenção da vida na Terra. Historicamente, foi justamente o domínio das técnicas de geração e produção de iluminação que auxiliou a adaptação do homem aos diferentes locais do nosso planeta. A necessidade de iluminar nossas cidades, principalmente nos períodos noturnos, foi fundamental para a organização política, social, cultural e econômica dos diferentes povos da Terra. Observe a foto de nosso planisfério retirada por satélites da NASA à noite.



Figura 60 - Foto do planisfério terrestre tirada por satélites da NASA.

Fonte: Think Geo energy (2016)

Atividade 1: A iluminação no globo terrestre

A iluminação, seja ela artificial ou natural, é fundamental para as nossas vidas. Desde a descoberta do fogo até à invenção das lâmpadas, a iluminação artificial tem possibilitado diversas modificações nas sociedades humanas. Gostaríamos que, juntamente com seus colegas de grupo, vocês possam refletir e apresentar suas respostas sobre as seguintes questões:

a) Quais possíveis motivos para a diferença de luminosidade nas diferentes regiões apresentadas no planisfério terrestre?

b) Quais os principais aspectos de sua vida pessoal seriam modificados caso vivessem em uma região sem acesso à iluminação noturna?

Atividade 2: Produção da luz e seu impacto na sociedade

Para iniciar nossa discussão sobre os diferentes tipos de lâmpadas, selecionamos três fragmentos de textos que mostram diferentes aspectos relacionados às formas de “produção” da luz e seu impacto na sociedade. Gostaríamos que, juntamente com seus colegas de grupo, vocês fizessem a leitura de cada texto, identificando os principais aspectos que são abordados em cada caso.

Texto 1: Do fogo às lâmpadas LED

A necessidade de enxergar à noite (para caçar, afugentar animais) ou em locais escuros (floresta, moradia) levou ao desenvolvimento de fontes de iluminação artificial. Os primeiros humanos recolhiam restos de queimadas naturais, mantendo as chamas em fogueiras. Posteriormente, descobriu-se que o fogo poderia ser produzido ao se atritar pedras ou esfregar madeiras, dando o primeiro passo rumo à tecnologia de iluminação artificial.

A necessidade de transporte e manutenção do fogo levou ao desenvolvimento de dispositivos de iluminação mais compactos e de maior durabilidade. Assim, há cerca de 50 mil anos, surgiram as primeiras lâmpadas a óleo, feitas a partir de rochas e conchas; e, possuindo como pavio, fibras vegetais que queimavam em óleo animal ou vegetal. [...]

As lâmpadas a óleo têm eficiência de, aproximadamente, 0,1 lúmen/watt (0,1 lm/W). Lúmen é a unidade de fluxo de energia luminosa e watt é a unidade de energia por unidade de tempo (potência). Portanto, 0,1 lm/W significa que, para cada watt produzido (no caso, pela queima do óleo), é gerado 0,1 lúmen de fluxo luminoso (no caso, de luz visível). [...]

O domínio da tecnologia de geração de energia elétrica e o entendimento de efeitos associados à passagem de corrente elétrica em materiais viabilizaram o desenvolvimento de novas tecnologias de iluminação. [...]

A primeira patente de lâmpada incandescente de maior vida útil foi depositada, na Inglaterra, pelo físico e químico britânico Joseph Swan (1828-1914), em 1878. As lâmpadas de Swan – contendo um filamento de celulose carbonizada, acondicionado em um bulbo de vidro evacuado – chegaram a ser instaladas em residências e pontos de referência na Inglaterra. No ano seguinte, o inventor e empresário norte-americano Thomas Edison (1847-1931) construiu e patenteou, nos EUA, uma lâmpada similar à de

Swan, cuja duração média chegava a 13,5 horas. Logo depois, Edison propôs o uso de filamentos de bambu carbonizado, garantindo durabilidade de cerca de 1,2 mil horas à sua lâmpada.

As lâmpadas de tungstênio modernas podem durar até 2 mil horas, mas têm baixa eficiência (cerca de 15 lm/W) e baixo rendimento (5%) – só 5% da energia elétrica fornecida à lâmpada é transformada em luz visível. Por causa do baixo rendimento, desde 2012, a União Europeia decidiu abolir as lâmpadas incandescentes. Com a proibição da venda das lâmpadas incandescentes, outros tipos de lâmpada ganharam mais espaço no mercado, como a lâmpada LED.

Disponível em:

cienciahoje.org.br/revista/materia/id/966/n/do_fogo_as_lampadas_led(adaptado). Acesso em 03/01/2018.

Texto 2: Lâmpadas incandescentes saem do mercado a partir de julho de 2016. Governo quer estimular consumo de modelos alternativos, como fluorescentes e de LED, mais econômicos.

A partir do dia 30 de junho de 2016, as lâmpadas incandescentes saem de circulação no País. A regra vale para importação e comercialização das lâmpadas incandescentes de uso geral em território brasileiro e visa elevar o comércio de modelos mais eficientes.



Figura 61 - Diferentes tipos de lâmpadas

Segundo dados da ONU, a substituição das lâmpadas incandescentes no mercado é capaz de economizar anualmente cerca de 5% de toda a energia elétrica utilizada no mundo. Uma lâmpada fluorescente compacta, comparada a uma lâmpada incandescente de luminosidade equivalente, economiza 75%. E se a opção for por uma lâmpada de LED, essa economia sobe para 85%. [...]

A proibição da venda das lâmpadas incandescentes no País ajuda a estimular a adoção de opções mais econômicas e duráveis, como o LED, já adotado amplamente em

outros países como China, Índia, Reino Unido, Estados Unidos, Canadá, Cuba, Austrália, Argentina, Venezuela e na União Europeia.

A partir dos prazos finais estabelecidos, fabricantes, atacadistas e varejistas serão fiscalizados. Os estabelecimentos, importadores e fabricantes que não atenderem à legislação estarão sujeitos às penalidades previstas em lei.

Disponível em: brasil.gov.br/infraestrutura/2016/06/lampadas-incandescentes-saem-do-mercado-a-partir-de-julho. Acesso em 03/01/2018.

Texto 3: A relação entre a iluminação pública e a criminalidade

Iluminação pública é o serviço que tem o objetivo de prover luz ou claridade artificial aos logradouros públicos no período noturno [...]. “Prover luz” pode ser entendido como iluminar adequadamente cada logradouro público de acordo com sua especificidade [...]; uma iluminação que atenda às normas técnicas vigentes e, além disso, dê sensação de segurança e conforto aos usuários do local.[...]

A iluminação pública é essencial à qualidade de vida nos centros urbanos, atuando como instrumento de cidadania e permitindo aos habitantes desfrutar, plenamente, do espaço público no período noturno.



Figura 62: Região pouco iluminada.

A melhoria da qualidade dos sistemas de iluminação pública traduz-se em melhor imagem da cidade, favorecendo o turismo, o comércio e o lazer noturno; ampliando a cultura do uso eficiente e racional da energia elétrica; e contribuindo, assim, para o desenvolvimento social e econômico da população. Essa relação entre iluminação e segurança pode ser confirmada com base nas estatísticas policiais da capital paulista. O Centro de Estudos da Violência da Universidade de São Paulo (USP) determinou os horários de maior incidência de cada tipo de crime. Na maioria dos casos, os problemas estão associados com a falta de iluminação.

Disponível em:

bussinesstour.com.br/uploads/arquivos/7e766f5534244d2d51fc7fe1b55f9444.pdf.

Acesso em 03/01/2018.

A.2 Características elétricas de diferentes tipos de lâmpadas

Para ligar um equipamento elétrico, é necessário conecta-lo a uma fonte de tensão (por exemplo, as tomadas de nossa casa, que podem fornecer 110/220 V, ou pilhas, que fornecem 1,5 V cada uma). Cada equipamento elétrico deve ser ligado em uma fonte que forneça a tensão elétrica adequada para o seu funcionamento. Na maioria das vezes, esta informação está impressa no próprio equipamento ou na sua embalagem.

Atividade 3: Identificando alguns tipos de lâmpadas e suas características elétricas.

Nas figuras 63 a 67 são apresentadas imagens de cinco elementos diferentes que serão recebidos pelo seu grupo. Ao observar as instruções impressas em sua embalagem ou no próprio produto, complete a tabela abaixo identificando, quando possível, algumas características elétricas de cada um desses elementos.



Figura 63 - elemento 1



Figura 64 - elemento 2



Figura 65 - elemento 3



Figura 66 - elemento 4



Figura 67 - elemento 5

	Tipo de dispositivo emissor de luz	Tensão de funcionamento	Potência elétrica
Elemento 1			
Elemento 2			
Elemento 3			
Elemento 4			
Elemento 5			

A.3 Acendendo uma lâmpada

Para acendermos uma lâmpada, é necessário montar um circuito elétrico no qual a corrente elétrica possa sair de um dos polos de alimentação da bateria, passar pelo interior da lâmpada e chegar ao outro polo da bateria.

A figura 68 mostra alguns componentes de uma lâmpada incandescente. Ao passar pela lâmpada, a corrente elétrica é conduzida pelas partes metálicas e fios até chegar ao filamento de tungstênio. Este filamento oferece certa dificuldade para a passagem de corrente elétrica. A colisão dos elétrons livres com os átomos do filamento provoca o aumento de sua energia térmica que, em alguns casos, chega à temperatura aproximada de 3000°C. Nesta faixa de temperatura, a lâmpada passa a emitir luz visível. É justamente por este fato que este tipo de lâmpada é pouco eficiente para produção de luz, já que a maior parte da energia elétrica é utilizada no aquecimento do seu filamento.



Figura 68 - Lâmpada incandescente.
Fonte: Rolê Científico (2016)

Atividade 4: Montando um circuito elétrico.

Nesta atividade, montaremos um circuito elétrico simples para acender uma lâmpada pingo d'água e um LED.

a) Inicialmente, planejem sua ação fazendo um desenho (esquema) de como pretendem ligar os fios, a pilha e a lâmpada.

b) Monte o circuito elétrico planejado e faça acender a lâmpada pingo d'água e o LED em momentos distintos.

c) Invertam a polaridade da pilha para verificar se isso exerce alguma influência no acendimento da lâmpada pingo d'água e do LED. Qual foi o resultado obtido?

A.4 Semicondutores

O uso de materiais semicondutores possibilitou a miniaturização e o barateamento de diversos aparelhos, possibilitando a fabricação de muitos componentes eletrônicos como os fotocondutores, diodos, transistores, circuitos eletrônicos e o LED. Veja a figura 69.

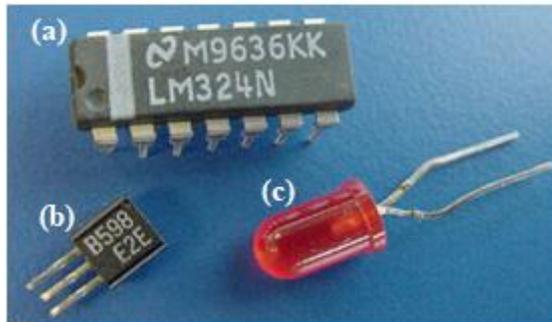


Figura 69 - Dispositivos semicondutores. (a) circuito integrado, (b) transistor, (c) LED.
Fonte: Super Bright LEDs (2018).

Os semicondutores são materiais que têm o coeficiente de resistividade intermediário entre os de um condutor e um isolante elétrico.

Atividade 5:

A tabela 3 mostra o valor do coeficiente de resistividade de alguns materiais. Classifique-os como condutores, isolantes ou semicondutores e diga qual foi o critério utilizado em suas escolhas.

Tabela 3 - coeficiente de resistividade de alguns materiais.

Material	Resistividade ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Classificação
Prata	$1,6 \cdot 10^{-6}$	
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-6}$	
Ouro	$2,3 \cdot 10^{-6}$	
Alumínio	$2,8 \cdot 10^{-6}$	
Tungstênio	$5,6 \cdot 10^{-6}$	
Ferro	$10 \cdot 10^{-6}$	
Platina	$11 \cdot 10^{-6}$	
Germânio	47	
Silício	$21 \cdot 10^4$	
Vidro	10^{12} a 10^{13}	
Mica	$9 \cdot 10^{16}$	
Quartzo	$78 \cdot 10^{18}$	

Nesta tabela, não deve ter sido difícil para você identificar quais materiais seriam os bons condutores de eletricidade (os que possuíam baixa resistividade) e quais os materiais isolantes (que possuíam elevada resistividade). No entanto, uma certa dificuldade deve ter sido identificar os materiais semicondutores. Entretanto, acertou se identificou que o germânio e o silício são semicondutores.

O silício e o germânio não são os únicos materiais semicondutores, porém, são os de maior interesse no desenvolvimento de dispositivos eletrônicos. Agora vamos aprofundar nossos estudos sobre esses semicondutores, eles estão presentes na família 4A da tabela periódica e possuem quatro elétrons na sua camada de valência. Veja a distribuição de elétrons dos átomos de germânio e silício na figura 70.

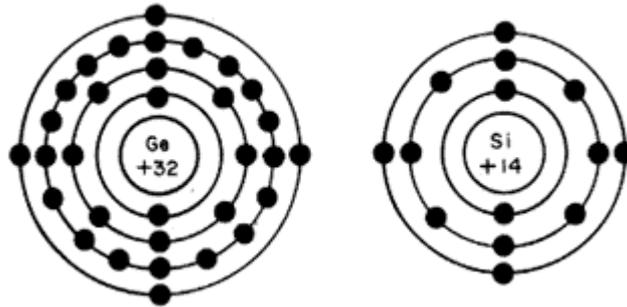


Figura 70 - Distribuição dos elétrons no átomo de germânio e silício
Fonte: Alchemist engenharia (2006)

Os átomos de silício e germânio não são encontrados isolados na natureza. Eles se associam realizando ligações covalentes com elétrons de átomos idênticos gerando uma rede cristalina. Desta forma, os átomos de silício ficam estáveis segundo a regra do octeto. A figura 71 traz uma representação bidimensional da estrutura cristalina do silício.

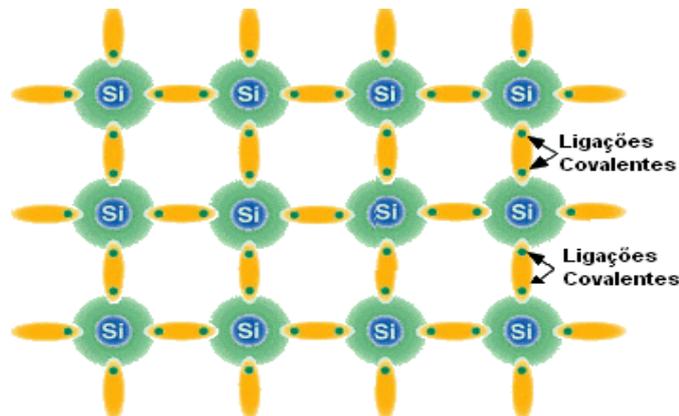


Figura 71 - Estrutura cristalina do silício.
Fonte: Eletrônica PT (2018).

Para temperaturas próximas a 0 K, o silício apresenta comportamento elétrico de isolante. Porém, à temperatura ambiente, alguns elétrons da camada de valência já apresentam energia suficiente para serem removidos da ligação covalente dentro da estrutura cristalina. Esses elétrons deixam lacunas eletrônicas (buracos) em seus lugares. Com isso, a condutividade do material aumenta, sendo necessário um menor valor de voltagem para que uma corrente elétrica seja estabelecida. Ao aplicarmos uma diferença de potencial nessa estrutura, teremos um movimento de elétrons em um sentido e um de buracos no sentido oposto. A lacuna, apesar de não possuir carga elétrica, comporta-se na estrutura cristalina como se fosse uma carga positiva, justamente por representar a falta de um elétron.

Conforme ilustra a figura 72: quando os elétrons se movem, nos seus lugares, ficam buracos.

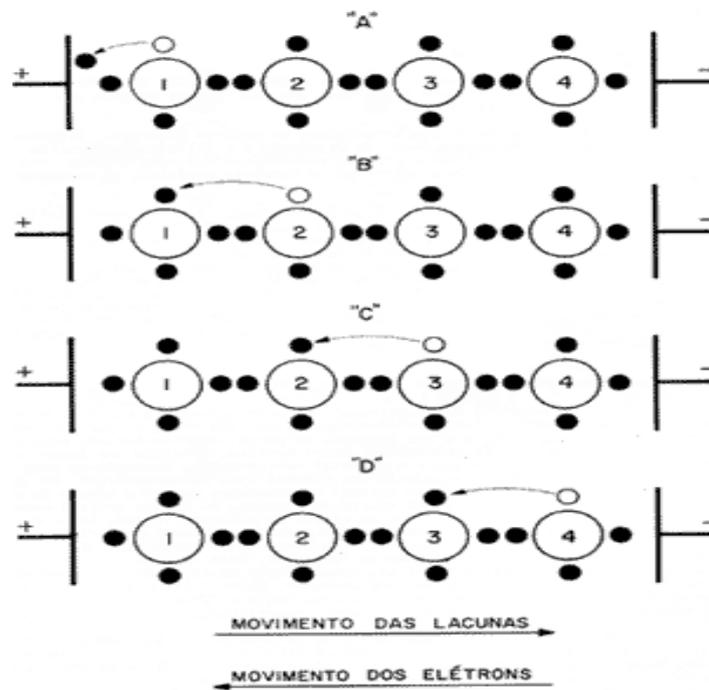


Figura 72- Movimento de lacunas e elétrons em materiais semicondutores.
Fonte: Alchemist Engenharia (2006).

A.4.1 Dopagem

A dopagem é um método utilizado para modificar a condutividade dos materiais semicondutores introduzindo impurezas (elementos de outras famílias da tabela periódica) em sua estrutura cristalina.

Atividade 6: Discutindo o processo de dopagem.

Nesta atividade, discutiremos como a introdução de impurezas na estrutura cristalina do semicondutor pode alterar sua condutividade. Para isto, colocaremos duas situações nas quais as impurezas são inseridas na estrutura cristalina do silício. Juntamente com os seus colegas, responda sobre as seguintes questões:

a) Imagine que seja possível introduzir uma certa quantidade de átomos de fósforo na estrutura cristalina do silício. Nesta nova configuração, cada átomo introduzido de fósforo estará cercado por quatro átomos de silício. Desta forma, dos cinco elétrons da camada de valência do fósforo, quatro deles realizam ligações covalentes com os elétrons da camada de valência dos átomos vizinhos mais próximos, como podemos ver na figura 73.

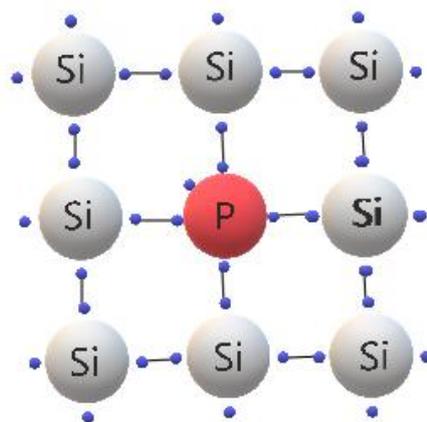


Figura 73 - Átomo de fósforo na estrutura cristalina de silício.

Fonte: Autoria própria.

Você acha que a inserção dos átomos de fósforo na estrutura cristalina do silício altera sua condutividade? Se sim, por quê?

b) Caso a impureza introduzida seja um elemento trivalente como o boro, existirá a falta de um elétron para cada átomo introduzido. Por ter somente três elétrons em sua camada de valência, ele somente consegue realizar três ligações covalentes com os átomos vizinhos, enquanto os átomos de silício da rede cristalina necessitam realizar quatro ligações covalentes. Essa falta de elétron é denominada lacuna eletrônica ou buraco. Veja a figura 74:

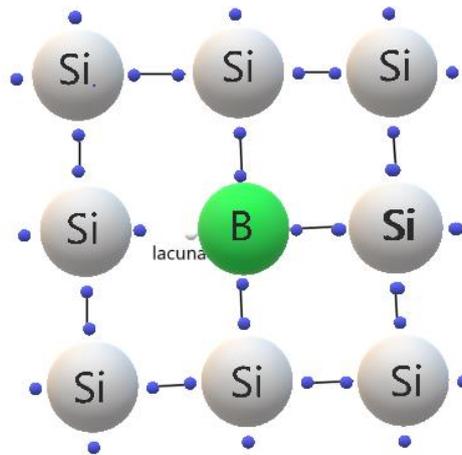


Figura 74 - Átomo de boro na estrutura cristalina do silício.

Fonte: Autoria própria.

Você acha que a inserção dos átomos de boro na estrutura cristalina do silício altera sua condutividade? Se sim, por quê?

A.4.1.1 Explicando o processo de dopagem

Conforme discutimos na atividade anterior, a inserção de átomos de outras famílias da tabela periódica pode alterar as propriedades elétricas da estrutura cristalina do semiconductor. Quando a impureza introduzida é um elemento pentavalente como o fósforo, o antimônio ou o arsênio, dizemos que a dopagem é do tipo N. Caso seja um elemento trivalente como índio, boro ou gálio, a dopagem é do tipo P.

Conforme disposto na figura 75: no caso da inserção de um átomo trivalente, como o de boro, na rede cristalina do silício, existe a falta de um elétron que deveria estar fazendo uma ligação covalente com o elétron da camada de valência de um átomo vizinho. É justamente essa lacuna eletrônica que possibilita o aumento da condutividade elétrica nesse tipo de dopagem. Um elemento dopante como o boro é chamado de átomo receptor, pois deixa uma ligação covalente incompleta, o que significa que pode receber um elétron.

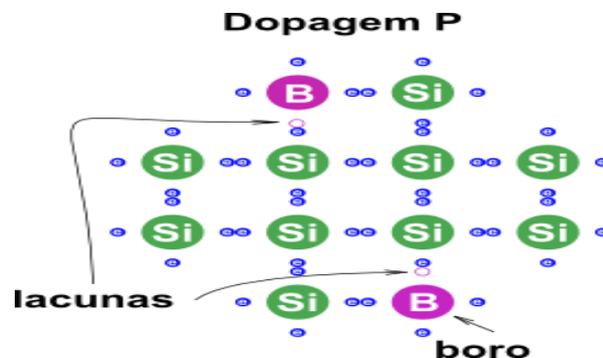


Figura 75 - Dopagem tipo P.
Fonte: Elétron Pi (2017).

Se um elétron do átomo vizinho se mover preenchendo a lacuna eletrônica do boro, surgirá uma lacuna no lugar de origem do elétron. Isso pode ocorrer quando um elétron ganha energia suficiente para quebrar uma ligação covalente e migrar para o buraco de um átomo vizinho.

Conforme ilustrado na figura 76: no cristal do tipo N, haverá um elétron da camada de valência que estará fracamente ligado ao seu núcleo e não participa das ligações covalentes.

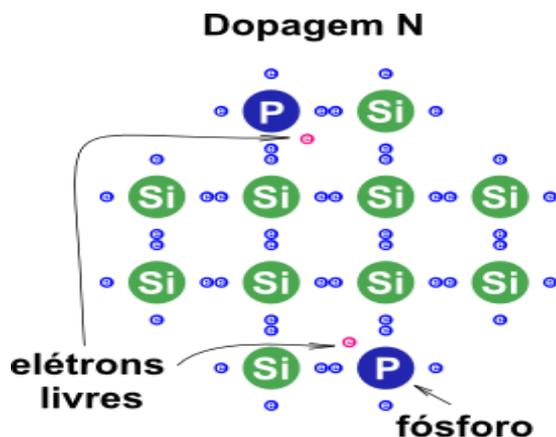


Figura 76 - Dopagem do tipo N.
Fonte: Elétron Pi (2017).

O aumento da quantidade de elétrons fracamente ligados ao núcleo diminui significativamente o valor da resistência elétrica da estrutura cristalina. Na dopagem do tipo N, o átomo inserido na estrutura cristalina é classificado como doador, pois possui um elétron livre para cada elemento dopante inserido. É importante ressaltar também que, mesmo após ser dopado, o cristal semiconductor continua eletricamente neutro, porque a impureza introduzida tem a mesma quantidade de prótons e elétrons.

Imagine que, para fazer o processo de dopagem de uma amostra de silício puro, tivéssemos que colocar um átomo de fósforo para cada 10^6 átomos de silício. Você seria capaz de dizer qual seria a quantidade de elétrons livres que estariam contidos em uma amostra que contenha 10^{24} átomos de silício? Faça os cálculos antes de prosseguir.



Você deve ter encontrado uma quantidade de 10^{18} elétrons livres para esta amostra de silício. Esta quantidade de elétrons modificará significativamente a resistividade deste tipo de material. Na tabela abaixo, você pode verificar que, enquanto o silício puro apresenta resistividade de $2,5 \times 10^3 \Omega.m$, o silício tipo N possui resistividade $8,7 \times 10^{-4} \Omega.m$ (10^7 vezes menor que o silício puro). Deste modo, enquanto o silício puro se comporta como mau condutor de eletricidade, quando comparado aos metais como cobre e alumínio (que possuem resistividade da ordem de $10^{-8} \Omega.m$), o mesmo não acontece com o silício dopado, que passa a ser considerado também um bom condutor de eletricidade. A tabela 4 ilustra como a resistividade da estrutura cristalina do silício muda significativamente quando impurezas são introduzidas.

Tabela 4 - Resistividade do silício puro e dopado.

Material	Resistividade (Ohm.m) a 20 °C
Silício puro	$2,5.10^3$
Silício tipo N ⁵	$8,7.10^{-4}$
Silício tipo P ⁶	$2,8.10^{-3}$

Fonte: Autoria própria⁷.

A.4.2 O diodo

Os diodos são componentes eletrônicos amplamente empregados na construção de circuitos de vários aparelhos eletrônicos. Eles são formados basicamente quando fazemos a junção de dois semicondutores que foram previamente dopados: um do tipo P e outro do tipo N. Veja a ilustração de um diodo na figura 77.



Figura 77 - Diodos de silício

Fonte: Baú da Eletrônica (2018)

⁵ Para a introdução de 10^{23} átomos de fósforo para cada m^3 da estrutura cristalina do silício.

⁶ Para a introdução de 10^{23} átomos de alumínio para cada m^3 da estrutura cristalina do silício.

⁷ Disponível em:

www.cid.unir.br/uploads/84798939/arquivos/F%C3%ADsica%20III_Corrente%20El%C3%A9trica%20e%20Resist%C3%A2ncia.pdf. Acessado em 20/01/2018.

Atividade 7: Dialogando sobre a junção PN

Nesta e nas próximas atividades, investigaremos algumas das propriedades do diodo. Inicialmente, gostaríamos que você e seus colegas, com base nos conhecimentos adquiridos, refletissem e elaborassem algumas hipóteses sobre a seguinte questão:

O que acontece ao juntarmos um semiconductor dopado do tipo N com um do tipo P? Você acha que poderá ocorrer algum movimento de cargas elétricas entre estes dois semicondutores? Caso sim, faça uma representação deste processo.

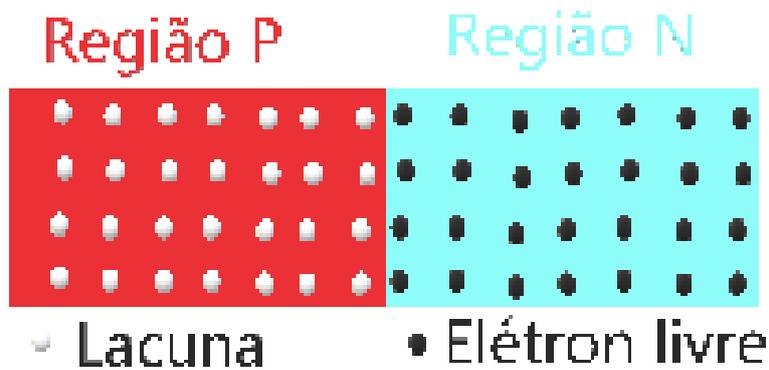
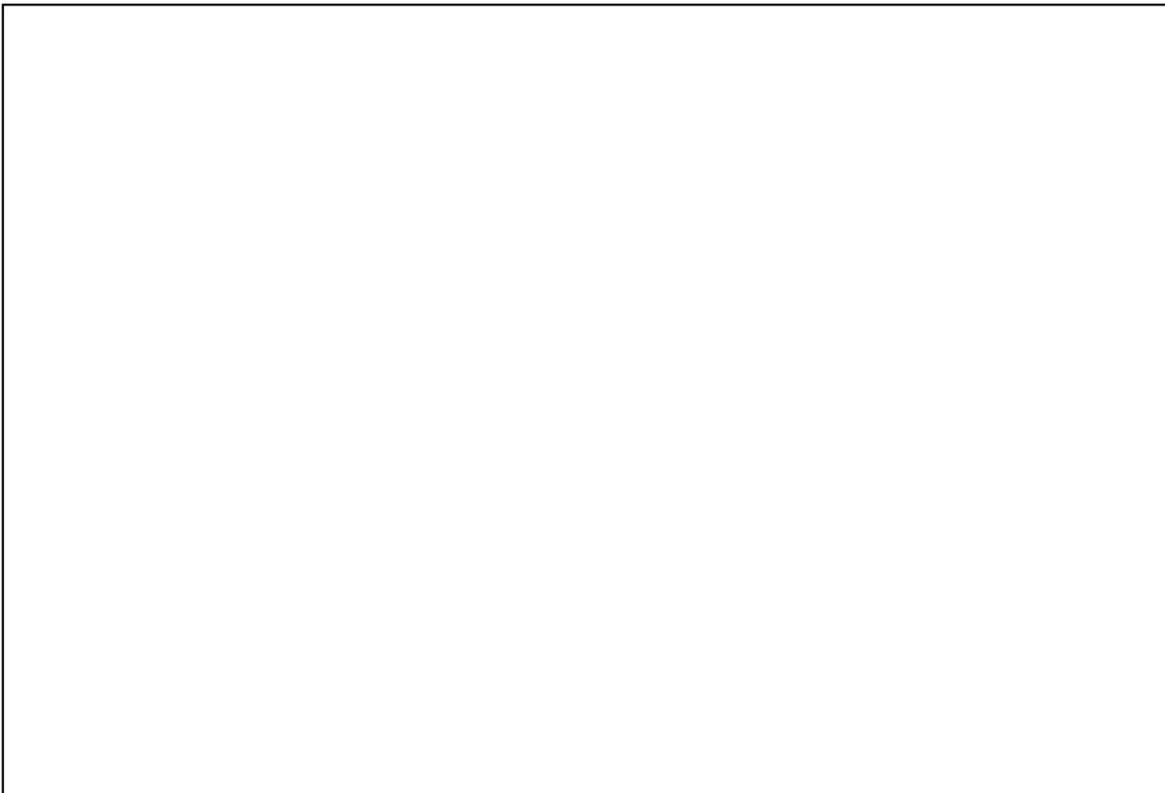


Figura 78 - Contato inicial na junção PN.
Fonte: Autoria própria.



A.4.2.1 O diodo e a formação da barreira de potencial

Conforme discutimos anteriormente, a junção de um semiconductor do tipo P com outro do tipo N dá origem aos diodos. A figura 79 ilustra a representação de um diodo.

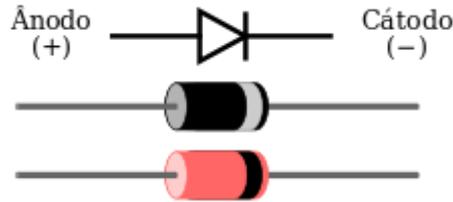


Figura 79 - Representação do diodo.
Fonte: Wikipédia (2011).

Quando colocamos em contato um semiconductor do tipo N com um do tipo P, é estabelecido um movimento de elétrons da região N para a P e, de forma análoga, podemos dizer que há um deslocamento de lacunas da região P para a região N, como mostra a figura 80.

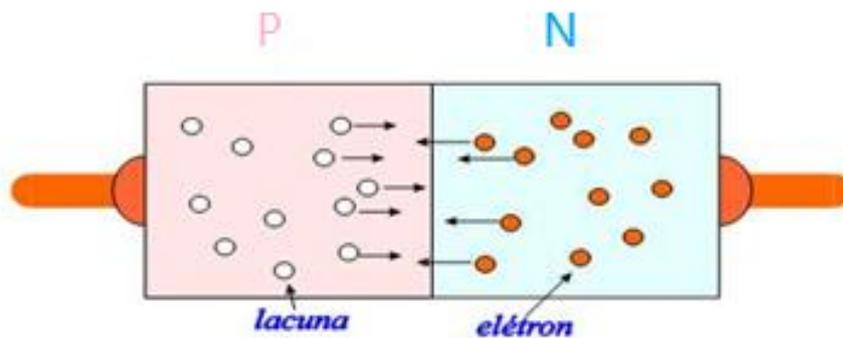


Figura 80 - Movimento de elétrons e lacunas no momento da junção PN.
Fonte: Wiki IFSC (2016).

O material do tipo N estava inicialmente neutro, mas fica ionizado positivamente devido ao movimento dos elétrons da região N para a P. O mesmo raciocínio é válido para a região P: ela estava neutra, mas, ao receber um elétron do material tipo N, fica ionizada negativamente. A figura 81, ilustra a ionização sofrida pelo semiconductor após realizarmos a junção PN.

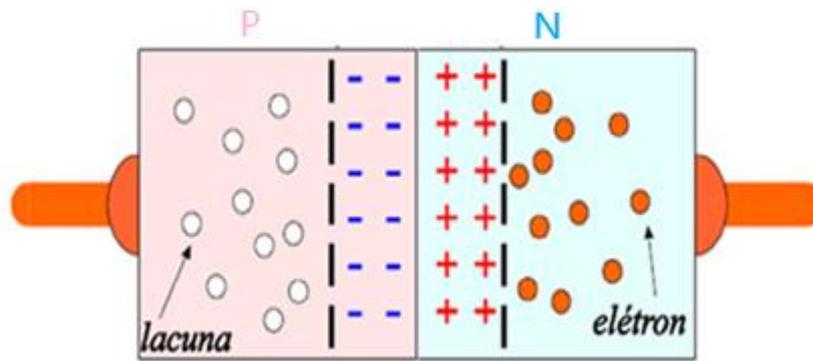


Figura 81 - Barreira de potencial no diodo.
Fonte: Wiki IFSC (2016).

O movimento de cargas elétricas na junção PN faz com que parte dos “elétrons livres” do material N ocupem algumas lacunas da parte P. Com isto, cria-se uma área desprovida de cargas livres denominada região de depleção.

Atividade 8: Comportamento elétrico do diodo

Nesta atividade, iremos continuar nossa investigação sobre o funcionamento do diodo. Na figura 82, estão representadas duas maneiras distintas de se conectar o diodo a uma fonte de tensão. Na maneira (a), ligamos o anodo (+) ao polo positivo da bateria e o catodo (-) ao polo negativo. Esta ligação é chamada de polarização direta. Na maneira (b), ligamos ao contrário e dizemos que, deste modo, o diodo está inversamente polarizado.

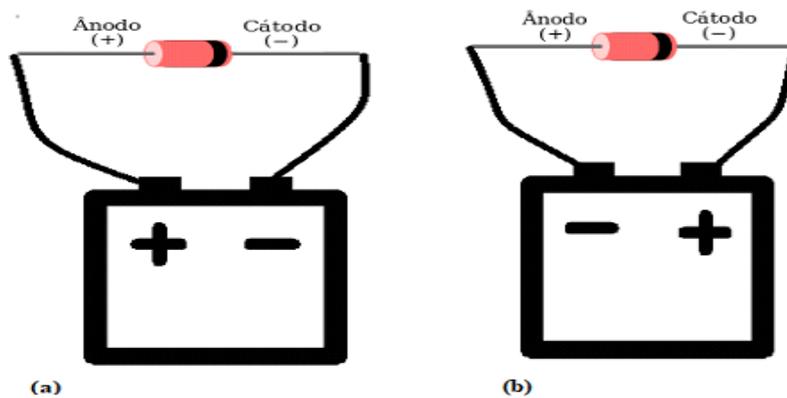


Figura 82 - Diodos polarizados de duas formas distintas.

Fonte: Autoria própria.

a) Você supõe que poderá ocorrer condução de corrente elétrica em algum destes casos? Justifique sua resposta com os conhecimentos que você já possui.

b) Esquematize as ligações que devem ser feitas para a medição de corrente elétrica e voltagem no diodo.

c) Utilizando os instrumentos de medidas adequados e uma de fonte de tensão variável, seu grupo deve medir, caso exista, o valor da corrente elétrica que passa pelo diodo e a voltagem aplicada em cada uma destas situações.

A.4.2.2 Condução de corrente elétrica no diodo

Conforme pudemos verificar em nossas experiências, dependendo da forma como o diodo está polarizado, ele pode ou não conduzir corrente elétrica. Com o terminal negativo ligado ao catodo e o positivo ligado ao anodo, conseguimos verificar que há condução de corrente elétrica no diodo utilizando o amperímetro. Se invertemos a polaridade da fonte de tensão, não conseguimos medir nenhum valor de corrente elétrica em nossa experiência.

Dizemos que a polarização é inversa ou reversa, quando o terminal positivo da bateria é ligado ao material tipo N e, o material P, ao terminal negativo. Desta forma, os elétrons do lado N são atraídos pelo polo positivo da bateria e, conseqüentemente, as lacunas do material P são atraídas pelo terminal negativo da bateria. Neste caso, haverá um aumento da região de depleção, conforme podemos ver na figura 83, e o diodo não permitirá a passagem da corrente elétrica.

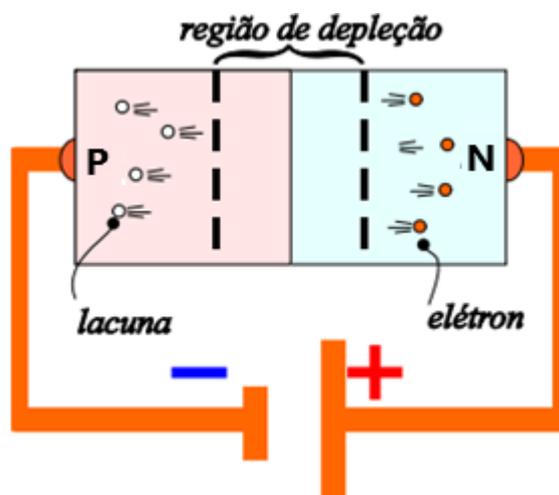


Figura 83 – Junção PN inversamente polarizada.
Fonte: Wiki IFSC (2016).

Na polarização direta, o terminal positivo da bateria é ligado ao material do tipo P e o negativo ao do tipo N. Com isto, haverá um movimento de elétrons e lacunas, diminuindo a extensão da região de depleção, como representado na figura 84.

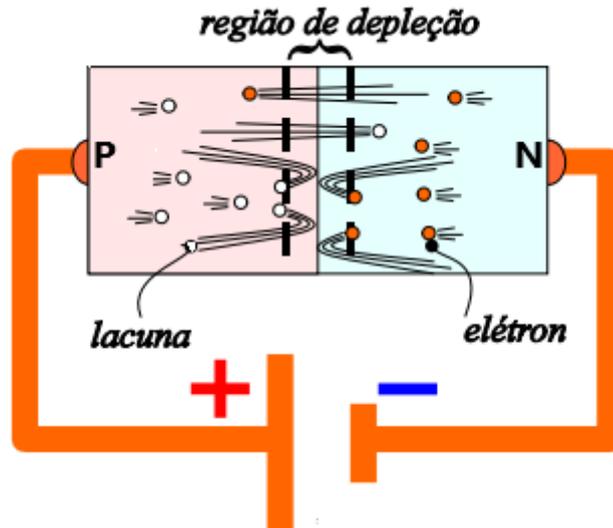


Figura 84 - Diodo diretamente polarizado com tensão elétrica inferior à voltagem da barreira de potencial.

Fonte: Wiki IFSC (2016).

Caso a tensão elétrica aplicada seja superior ao valor da voltagem da barreira de potencial será estabelecida uma corrente elétrica de elétrons da região N para a região P e um movimento de buracos da região P para a região N. Neste caso, acontece um processo denominado recombinação, no qual elétrons ocupam lacunas eletrônicas. A figura 85 ilustra este processo.

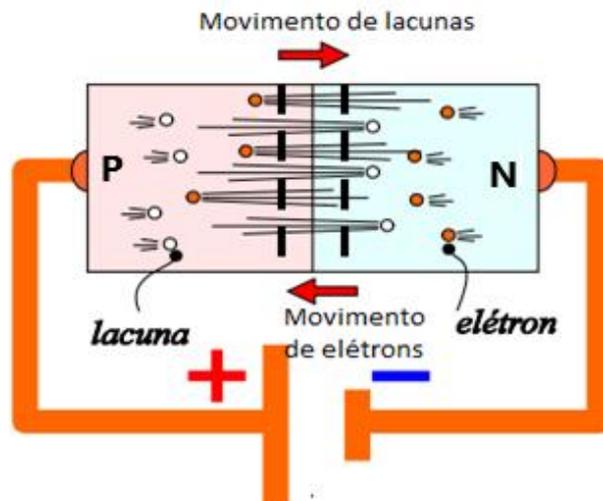


Figura 85 - Diodo diretamente polarizado com tensão elétrica superior à voltagem da barreira de potencial.

Fonte: Wiki IFSC (2016).

A.4.3 LED

O LED (**L**ight **E**mitting **D**iode) é um diodo capaz de emitir luz. Ele tem um polo positivo denominado anodo e o negativo é o catodo. Para emitir luz, o polo positivo da bateria deve ser ligado ao anodo e o negativo ao catodo e, assim, ele estará diretamente polarizado. A figura 86 mostra a representação do LED.

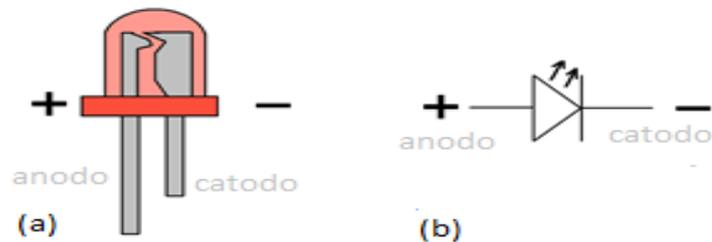


Figura 86 - (a) LED vermelho, (B) representação do LED.
Fonte: Build Electronic Circuits (2014).

No interior do LED, há um chip semicondutor responsável pela emissão de luz. Além disto, apresenta um espelho refletor para distribuir a luz emitida pelo seu encapsulamento, como ilustrado na figura 87.



Figura 87 - Elementos constituintes do LED.
Fonte: Iar Unicamp (2018).

Atividade 9: Investigando LEDs de diferentes cores.

Nesta atividade, temos o objetivo de estimar o valor da barreira de potencial de LEDs de diferentes cores. Para isto, seu grupo receberá uma fonte de tensão variável, um multímetro e quatro LEDs de cores diferentes: vermelha, amarela, verde e azul.

a) Faça um esquema das ligações da montagem do circuito elétrico que permita medir a voltagem aplicada no LED.

b) Utilizando o material experimental disponível, obtenha o valor da voltagem necessária para cada um dos LEDs começar a emitir luz.

c) Como podem ser explicados os diferentes valores encontrados?

A.4.3.1 Explicando o processo de emissão de luz feita pelo LED

O processo de emissão de luz feito pelo LED é diferente das lâmpadas incandescentes. Como já vimos, para as lâmpadas incandescentes, o filamento é aquecido a altas temperaturas até emitir radiação eletromagnética na faixa do visível. Porém, elas também emitem outros tipos de radiação como o infravermelho e o ultravioleta, sendo uma pequena faixa do espectro eletromagnético na região do visível, como podemos ver na figura 88.

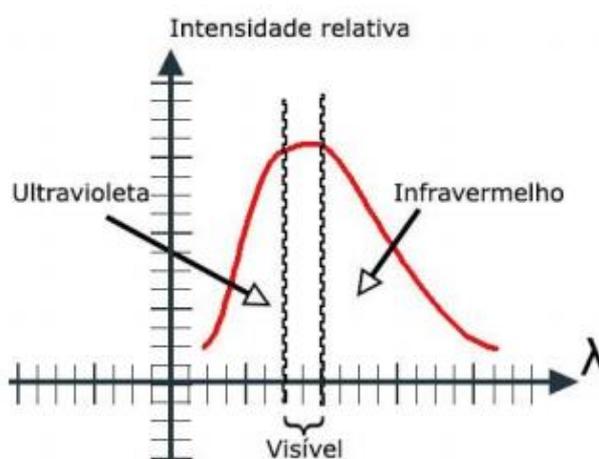


Figura 88 - Espectro emitido por uma lâmpada incandescente.
Fonte: Iar Unicamp (2018).

O processo de emissão de luz feita pelo LED é nomeado eletroluminescência. Para entender o princípio básico da emissão da luz pelo LED, temos que nos lembrar do modelo do átomo de Bohr. Nele, quando um elétron passa de um nível de maior energia para outro de menor nível de energia, emite uma quantidade de radiação eletromagnética exatamente igual à diferença entre esses dois níveis. Esse é o princípio básico da emissão de luz utilizada na construção dos LEDs.

Quando um LED está diretamente polarizado, a corrente elétrica flui do anodo para o catodo. Desta forma, há uma recombinação de elétrons e lacunas próximo à junção PN. Neste processo, os elétrons livres vão de um nível de maior energia para outro de menor energia ao preencher uma lacuna eletrônica e recompor ligações covalentes. Com isso, liberam uma quantidade de energia igual à diferença energética entre esses dois níveis. O valor da frequência da radiação eletromagnética emitida depende do valor da energia liberada pelos elétrons. A figura 89 ilustra o processo de recombinação e a

emissão da luz feita pelo LED. Para conseguirmos emitir uma luz mais intensa, precisamos aumentar o número de recombinações feitas.

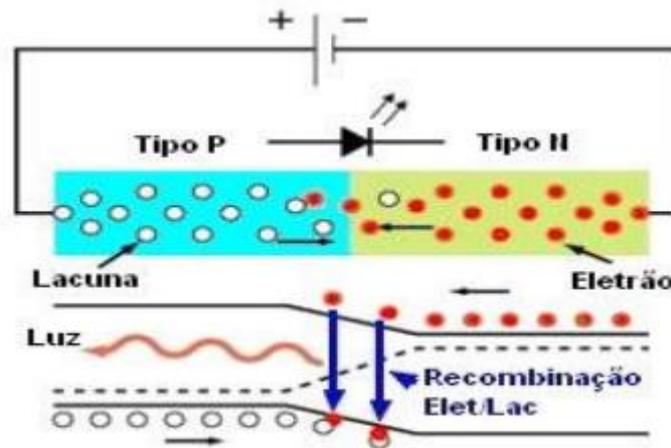


Figura 89 - Emissão de luz pela junção PN.
Fonte: Eletrônica Geral (2018).

A cor da luz emitida pelos LEDs está ligada à sua composição e à concentração dos elementos dopantes. Isso influenciará no valor da barreira de potencial e também no valor de comprimento de onda emitido. Como resultado de nossa última experiência, pudemos perceber que quanto maior for o valor da frequência da luz emitida, maior será o valor da voltagem necessária para o LED começar a acender. O quadro 9 ilustra alguns dos materiais semicondutores que podem compor o LED de acordo com a cor emitida.

Quadro 9 - A cor emitida pelo LED e seu material constituinte.

	Cor emitida	Material semicondutor
Vermelho		Fosforeto de alumínio, gálio e zinco
		Fosforeto de gálio
Amarelo		Fosforeto de alumínio, gálio e zinco
		Fosforeto de gálio
Verde		Fosforeto de gálio
		Fosforeto de alumínio, gálio e zinco
		Fosforeto de alumínio e gálio
		Nitreto de gálio e índio.
Azul		Seleneto de zinco
		Nitreto de gálio e índio.

Fonte: Autoria própria⁸.

⁸ Informações consultadas disponíveis em: <en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode>. Data de acesso: 20/01/2018.

De acordo com o valor da energia liberada no processo de recombinação, poderemos ter um valor diferente de comprimento de onda emitido. A luz visível é uma onda eletromagnética com comprimento de onda entre 380 nm e 780 nm, conforme ilustrado na figura 90.

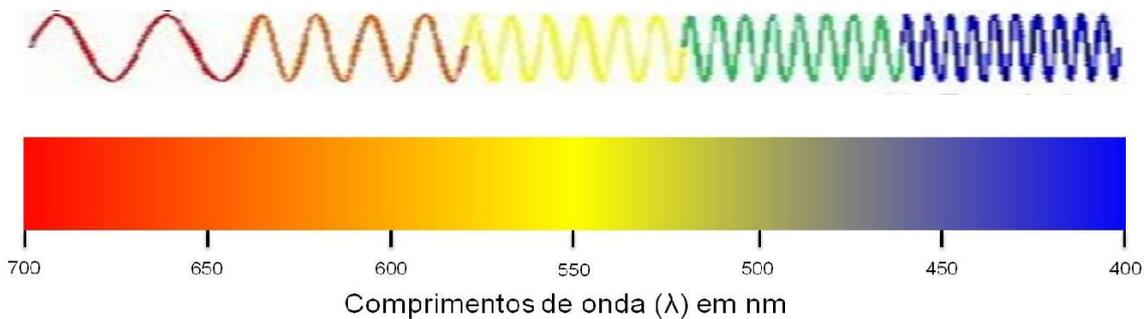


Figura 90 - Comprimento de onda para diferentes cores do espectro eletromagnético visível.

Fonte: Bases Sobre A Teoria da Cor Aplicada Aos Sistemas Digitais (2013).

Em 1963, o primeiro LED foi inventado por Nick Holonyack somente na cor vermelha. Inicialmente, o LED era utilizado para indicar se aparelhos como rádios e televisões estavam ligados. No final da década de 1960, foi inventado o LED amarelo e, nos anos 1970, os verdes. Havia uma grande dificuldade de se conseguir produzir materiais que emitissem luz azul de forma eficiente. Com o avanço tecnológico da década de 80, foi possível conseguir LEDs vermelhos com maior intensidade luminosa e começaram a ser empregados na indústria automotiva, mas ainda não existiam LEDs que emitissem luz branca.

Em 1993, após muitos anos de pesquisa, os pesquisadores Akasaki Isamu, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura (Figura 91) conseguiram produzir o LED azul. Dois anos depois, fabricaram um LED que produz luz branca. Pela descoberta do LED azul, eles ganharam o Nobel de Física no ano de 2014.

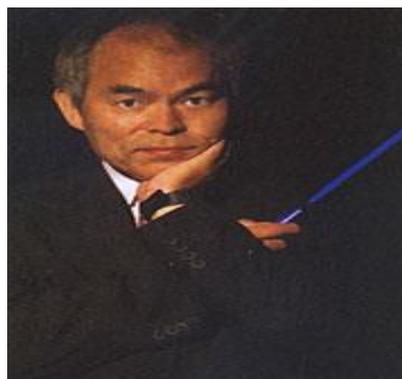


Figura 91 - Shuji Nakamura.

Fonte: Ciência Hoje (2006)

Em 2006, Nakamura deu uma entrevista à revista Ciência Hoje. Leremos parte dela para analisarmos o potencial das aplicações do LED em nossa sociedade. Nas respostas dadas pelo referido pesquisador, podemos perceber as grandes possibilidades de benefícios que os usos dos LEDs podem nos proporcionar.

ENTREVISTA: SHUJI NAKAMURA – O NOVO EDISON

O senhor disse, em uma entrevista, que pretende doar parte do prêmio para instituições e universidades cujas linhas de pesquisa sejam voltada à disseminação da iluminação no mundo, principalmente no Terceiro Mundo. Por quê?

Um terço da população do planeta não tem nem eletricidade, nem iluminação. No entanto, com os LEDs brancos que inventei, a iluminação poderia chegar até eles. Em muitas regiões dos países em desenvolvimento, não há iluminação à noite. Os LEDs brancos, ligados a pequenas baterias alimentadas por células solares, poderiam ser usados como fontes de luz nestes lugares.

Em termos de economia de energia, o senhor poderia nos dar uma idéia sobre as principais diferenças entre um LED branco e uma lâmpada incandescente? Em comparação com esta última, quanto tempo a mais duraria um LED branco?

A eficiência de um LED branco é cerca de 10 vezes mais alta que a de uma lâmpada incandescente convencional. Portanto, podemos dizer que, caso a fonte de alimentação seja a mesma, um LED branco poderia funcionar por um período 10 vezes maior.

Seria possível calcular quanta energia seria economizada, por exemplo, nos Estados Unidos, caso ocorra a substituição das lâmpadas incandescentes e fluorescentes por lâmpadas de estado sólido, ou seja, LEDs?

A iluminação com LED branco poderia ser empregada para diminuir o consumo de energia, bem como para poupar recursos [energéticos]. Só nos Estados Unidos, calcula-se que, por volta de 2025, a iluminação à base de LED branco já teria economizado algo equivalente à energia produzida por 133 usinas. Em outras palavras, 133 usinas poderiam deixar de ser construídas. O Departamento de Energia estima que, também por volta de 2025, até US\$ 98 bilhões [cerca de R\$ 215 bilhões] em recursos energéticos tenham sido poupados, caso a iluminação seja feita por LEDs. Essa troca também reduziria a emissão de gases do efeito estufa e, conseqüentemente, reduziria drasticamente os efeitos do aquecimento global. Isso ajudaria todos os países a reduzir suas emissões, em acordo com o Protocolo de Kyoto.

Disponível em: cienciahoje.org.br/artigo/entrevista-shuji-nakamura-o-novo-edison/.
Acesso em: 20/10/2017.

Uma das vantagens do uso dos LEDs é a maior possibilidade de disseminação da iluminação para lugares que não tem acesso à eletricidade. As lâmpadas LED, por possuírem potência elétrica menor que as lâmpadas convencionais (incandescente e fluorescente), poderiam ser alimentadas eletricamente por células solares. Além disso, Nakamura ilustra o impacto ambiental que poderia ser causado nos EUA se todas as

lâmpadas utilizadas fossem de LED. Neste cenário, haveria uma grande economia financeira e diminuiria a necessidade da construção de novas usinas, reduzindo os efeitos do aquecimento global. Se pensarmos numa substituição a nível mundial, teríamos um impacto ambiental e econômico bem mais intenso.

A criação do LED azul possibilitou a criação de lâmpadas LED que emitissem luz branca. Uma das formas de se produzir luz branca é por meio da combinação entre as cores vermelho (RED), verde (GREEN) e azul (BLUE). Como podemos ver na figura 92.

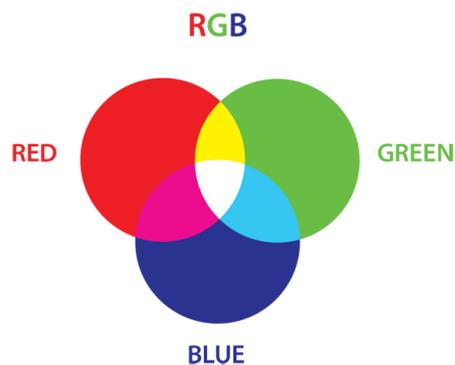


Figura 92 - Sistema RGB.
Fonte: Wikipédia (2018).

Hoje, temos LEDs que emitem radiação desde o infravermelho até o ultravioleta. Outro avanço possível foi a criação dos LED de potência, que apresentam maior eficiência energética que os LEDs comuns. Veja na figura 93.

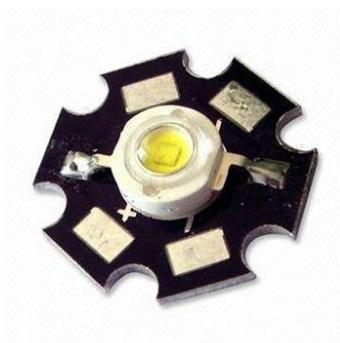


Figura 93 - LED de potência.
Fonte: Portal do LED (2018).

A.4.4 Lâmpadas LED

As lâmpadas LED são compostas por uma associação de LEDs, conforme podemos ver na figura 94.



Figura 94 - Lâmpada LED.

Fonte: Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (2015).

As lâmpadas de LED são ligadas em tensão alternada de 110 V ou 220 V, mas os LEDs funcionam em tensão contínua. Por isto, necessitam de um circuito auxiliar denominado DRIVER para o funcionamento adequado dos LEDs. O DRIVER converte corrente alternada em contínua, transformando o valor da tensão de 110 V ou 220 V num valor apropriado para o funcionamento dos LEDs⁹. A figura 95 mostra alguns componentes presentes na Lâmpada LED.



Figura 95 - Partes da lâmpada LED.

Fonte: Pro Inova (2018).

⁹ Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/iluminacao/como-funciona-fita-de-led/>. Acesso em: 10/01/2018.

Outro elemento presente nas lâmpadas de LED é o dissipador de calor. Apesar da luz emitida pela lâmpada LED ser considerada “fria” por não emitir calor, seu chip produz energia térmica. O aumento de temperatura na junção PN pode danificar o chip, diminuindo sua vida útil e qualidade. Por isso, abaixo da placa de LEDs, é colocado um dissipador de calor cuja função, como o próprio nome sugere, é absorver calor. A figura 96 ilustra um dissipador de calor feito de alumínio.

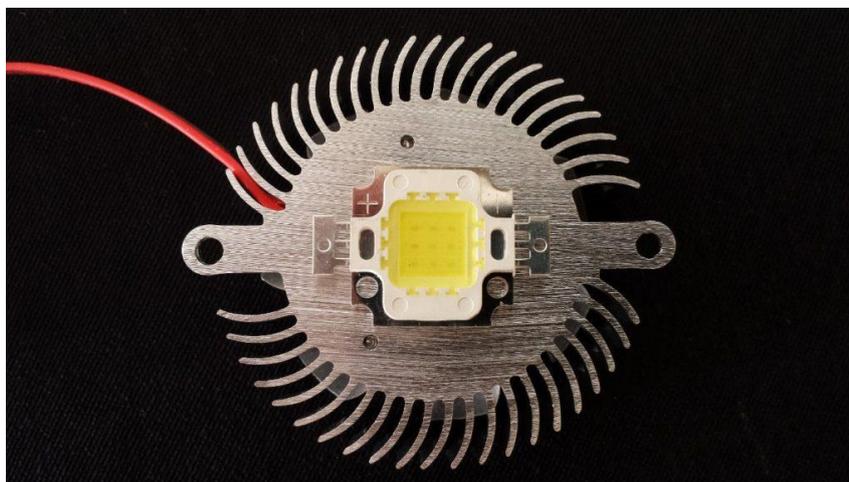


Figura 96 - Dissipador de calor da lâmpada LED.
Fonte: Pro Inova (2018).

Diferentemente das lâmpadas incandescentes e fluorescentes, cujos bulbos são de vidro, os bulbos das lâmpadas LED são de plástico. Isso oferece algumas vantagens sobre os demais tipos de lâmpadas: a primeira é a segurança do consumidor, reduzindo o risco de a lâmpada quebrar e ocorrer lesões; a segunda, o plástico é mais fácil de ser reciclado que o vidro.

Outro aspecto atraente das lâmpadas LEDs é sua vida útil ser muito superior que a das incandescentes e fluorescentes compactas. Enquanto as lâmpadas de filamento têm vida útil de, aproximadamente, 1000 horas e as lâmpadas fluorescentes, 6000 horas; as de LED podem chegar a 50000 horas. O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) aponta que a vida útil é o tempo que a lâmpada pode funcionar com, aproximadamente, 70 % de sua capacidade luminosa.

Após a proibição da venda de lâmpadas incandescentes domésticas, as lâmpadas LED começaram a se popularizar no mercado ao serem apresentadas como opções mais duráveis e mais eficientes. Com a sua popularização ocorreu uma queda no seu preço nos

últimos anos. Numa reportagem do jornal *O Globo*¹⁰ (2014), é possível consultar os preços das lâmpadas naquele ano. As lâmpadas LED custavam entre 40 e 160 reais; já as fluorescentes compactas, entre 8 e 20 reais; e as incandescentes, entre 2 e 4 reais. As lâmpadas LED eram muito mais caras que as outras e isso desestimulava a sua venda. Hoje, o preço delas está muito menor do que em 2014. É possível encontrar lâmpadas LED de 12W na faixa de 10 reais, ou seja, a mesma faixa de preço que as fluorescentes compactas. A diminuição do custo das lâmpadas LED é um fator importante para que elas se tornem cada vez mais presentes na casa dos consumidores. Mas será que as lâmpadas LED são de fato mais eficientes? Para fazer um experimento que nos possibilite comparar a eficiência luminosa entre diferentes tipos de lâmpadas, iremos estudar alguns conceitos fotométricos.

A.5 Fotometria

A Fotometria é uma área da Ciência que se propõe a medir as grandezas associadas à luz visível se preocupando como o olho humano a percebe. Estudaremos alguns conceitos fotométricos para podermos realizar atividades experimentais, nas quais desejamos comparar a eficiência luminosa de diferentes tipos de lâmpadas. Para iniciarmos o nosso estudo sobre fotometria temos uma importante questão para pensarmos: por que uma lâmpada parece ter mais brilho quando está próxima do observador e menos brilho quando está mais distante? O fato de percebermos um brilho menor quando estamos mais distantes de uma lâmpada está associado à atenuação do valor da energia da luz com a distância. Para entendermos melhor a dependência do brilho percebido com a distância entre a fonte de luz e o observador, podemos pensar num conceito de densidade de raios luminosos, que está associado à quantidade de raios de luz que atravessam uma determinada superfície. Observe a figura 97 que representa a propagação de luz de uma fonte pontual S num meio transparente, homogêneo e isotrópico.

¹⁰ Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/noticia/2014/06/lampadas-mais-usadas-no-pais-deixam-de-ser-produzidas-em-julho.html>. Acesso em: 04/04/2018.

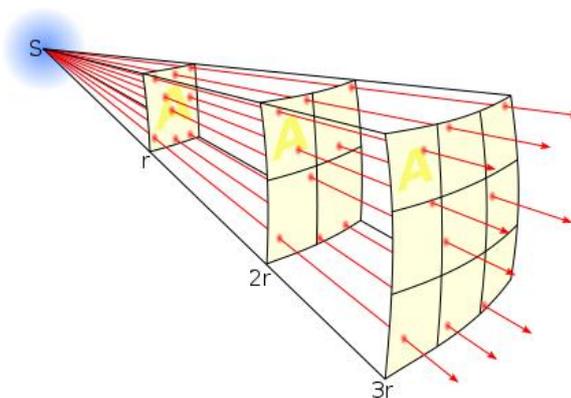


Figura 97 – Representação da propagação da luz de uma fonte pontual.
Fonte: Wikimedia Commons (2008).

Para um observador situado a uma distância “ r ” da fonte de luz, sua pupila receberá uma densidade de raios maior do que um outro situado numa distância duas vezes maior, por isso o observador mais próximo deve perceber uma maior sensação de brilho. Se considerarmos que a propagação da luz se dá de forma esférica, podemos dizer que a área que os raios luminosos atravessam aumenta com o quadrado da distância e, portanto, a densidade luminosa diminuirá também com o quadrado da distância. Esta é a explicação para a atenuação do valor da energia com a distância. Esse conceito de densidade luminosa está associado com uma grandeza física denominada **iluminância**, sendo o lux sua unidade de medida no Sistema Internacional de Medidas (S.I).

Se quisermos comparar a quantidade de luz emitida por diferentes lâmpadas, qual critério poderemos utilizar? Quando estamos tratando de um mesmo tipo de lâmpada (por exemplo incandescente), podemos fazer uma relação quase direta entre sua potência e a quantidade de luz emitida. Em outras palavras, uma lâmpada incandescente de 50 W certamente iluminará menos luz do que uma de 100 W, também incandescente. Porém, se estivermos tratando de diferentes tipos de lâmpadas, por exemplo uma incandescente e outra LED, a que tiver maior potência não necessariamente emitirá mais luz, pois nem toda energia recebida pela lâmpada se transformará em energia luminosa. Além disso, nossos olhos possuem sensibilidade diferente para cada comprimento de onda dentro do espectro visível. Isto pode ser representado em um gráfico que os cientistas chamam de “sensibilidade espectral relativa” que também varia de acordo com o período do dia (diurno e noturno). Veja esta curva para o período diurno representado na figura 98:

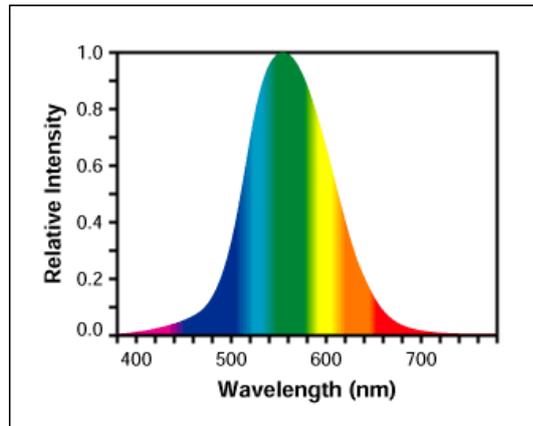


Figura 98 - Curva de sensibilidade do olho humano aos diferentes comprimentos de onda.
Fonte: Energy Labs (2018).

Olhando para a figura 98, notamos que para cada frequência da luz nossos olhos respondem de formas distintas, sendo por exemplo mais sensível ao verde e menos sensível ao vermelho e ao violeta. Quando a luz incide em nossa retina, o que percebemos é como se fosse uma média ponderada dos comprimentos de ondas dentro da faixa do visível, em que o olho atribui um peso maior para alguns comprimentos de onda (verde, amarelo, azul), e menor para outros (vermelho, violeta).

Como dissemos, as lâmpadas não emitem radiação eletromagnética somente na faixa do visível. Para termos lâmpadas mais eficientes é necessário que um maior percentual de energia elétrica recebida pela lâmpada seja transformado em luminosa.

Agora estudaremos os conceitos de fluxo radiante e fluxo luminoso. Para podermos entendê-los melhor vamos, primeiramente, pensar no fluxo de água de um chafariz, como ilustrado na figura 99.



Figura 99 - Fluxo de água em um chafariz.
Fonte: Yellow Fish (2018).

O fluxo de água de um chafariz leva em consideração o volume de água que sai por intervalo de tempo. Já para o fluxo radiante de uma lâmpada, o que importa é a quantidade total de energia eletromagnética emitida num intervalo de tempo, ou seja, a potência total emitida pela lâmpada, cuja unidade no S.I. é o watt (W).

$$\Phi_r = \frac{E}{\Delta t}$$

Sendo : Φ_r - fluxo radiante, E – energia total emitida pela lâmpada, Δt – intervalo de tempo.

No entanto, temos que considerar que nem todo o fluxo radiante da lâmpada provocará sensação visual ao olho humano, mas somente a faixa cujos comprimentos de onda estão entre 380nm-780nm. Veja na figura 100 o espectro eletromagnético emitido por uma lâmpada incandescente e uma LED.

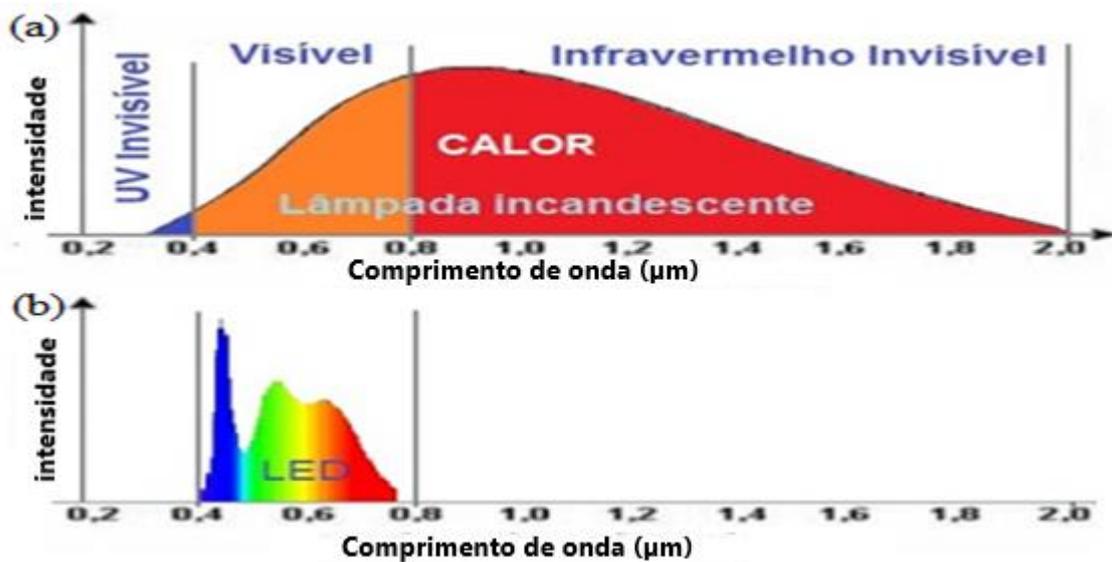


Figura 100 - Espectro eletromagnético emitido por dois diferentes tipos de lâmpadas. Em (a) incandescente; (b) LED.

Fonte: Compatibilidade Electromagnética (2017).

Ao olharmos o espectro emitido pela lâmpada incandescente, podemos perceber que grande parcela de sua energia eletromagnética está na faixa do infravermelho e na região do ultravioleta, sendo somente uma pequena parcela dentro da região do visível. Já, para a lâmpada LED, quase toda radiação eletromagnética emitida está na faixa do visível. Se considerarmos somente a energia eletromagnética capaz de sensibilizar o olho humano, estamos nos referindo ao seu **fluxo luminoso**.

O fluxo luminoso é a energia eletromagnética capaz de sensibilizar o olho humano.

Se tivermos uma lâmpada incandescente e uma LED com o mesmo fluxo radiante, elas não terão o mesmo fluxo luminoso. Para fins de iluminação, qualquer radiação eletromagnética que não esteja dentro da faixa do visível representa desperdício de energia. De forma geral, podemos dizer que fluxo luminoso é a quantidade total de luz emitida por unidade de tempo, cujos comprimentos de onda estejam entre o vermelho e o

violeta (claro que temos que levar em consideração como o olho é sensibilizado por cada comprimento de onda), sendo o lúmen sua unidade de medida no S.I. Na figura 101 apresentamos uma representação do fluxo luminoso de uma lâmpada.



Figura 101 - Representação do fluxo luminoso de uma lâmpada.
Fonte: Dr. Lux (2018).

Para a medição do fluxo luminoso, é necessário um dispositivo denominado “ esfera integradora ”, como podemos ver na figura 102. Como o próprio nome sugere, este dispositivo tem formato esférico sendo toda sua parte interna pintada de branco para favorecer as reflexões. No interior da esfera integradora, há um bocal para a lâmpada ser colocada e um sensor de luz para que se possa calcular o fluxo luminoso a partir das medições realizadas.



Figura 102: Esfera integradora.
Fonte: Wikipédia (2009).

Para uma distribuição uniforme de luz podemos relacionar quantitativamente o fluxo luminoso e a iluminância produzida por uma lâmpada pela seguinte equação:

$$I = \frac{\Phi_l}{A}$$

Sendo :I– Iluminância, Φ_l -Fluxo luminoso, A – Área da superfície. .

Se tivermos a iluminância de 1 lux, podemos dizer que numa área de 1m^2 incide um fluxo luminoso de 1 lúmen, como representado na figura 103.

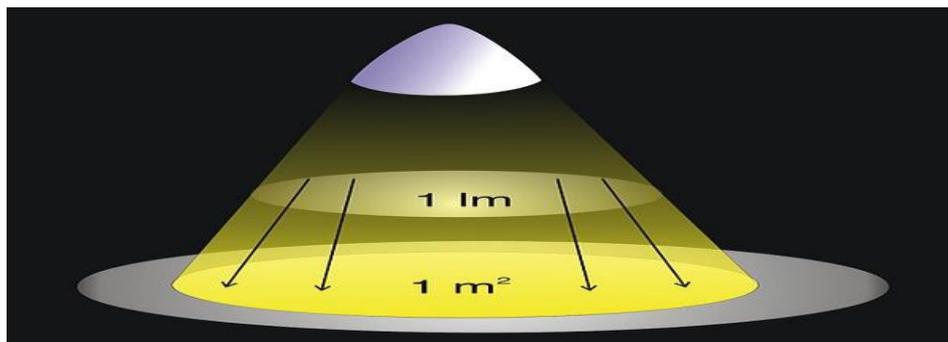


Figura 103: Distribuição do fluxo luminoso de um lúmen numa área de 1m^2 .
Fonte: Wikimedia Commons (2008).

Uma forma de medir a sensação de brilho provocada por uma fonte luminosa (iluminância) é utilizar um aparelho denominado luxímetro. Ele é composto por um disco branco leitoso que possui um filtro simulando a sensibilidade do olho humano, captando assim somente a energia da radiação eletromagnética na faixa do visível. Alguns smartphones e tablets possuem sensor de luz. Nesses aparelhos, é possível baixar um aplicativo para que os mesmos funcionem na função de luxímetro.



Figura 104: Celular funcionando como luxímetro.
Fonte: Ourolux (2018).

Outro conceito importante é o de eficiência luminosa (η). Este é definido como a razão entre o seu fluxo luminoso (Φ_l) e o valor da sua potência elétrica (P).

$$\eta = \frac{\Phi_l}{P}$$

Por não possuímos uma esfera integradora para medir o fluxo luminoso de cada uma das lâmpadas, utilizaremos o celular na função de luxímetro para medição da iluminância produzida por cada uma das lâmpadas durante a nossa experiência.

Atividade 10: Comparando a eficiência energética de um LED e de uma lâmpada incandescente pingo d'água.

Conforme estudamos anteriormente, a lâmpada incandescente pingo d'água e o LED são dois dispositivos que emitem luz por processos diferentes. Nesta atividade, investigaremos qual dos dispositivos citados é mais eficiente energeticamente. Responda aos itens abaixo e realize a atividade experimental proposta.

a) Qual critério podemos utilizar para verificar qual dos dispositivos é mais eficiente energeticamente?

b) Desenhe um arranjo experimental que possibilite realizar as medidas necessárias para compararmos a eficiência do LED e da lâmpada incandescente pingo d'água.

c) Qual dos dispositivos é mais eficiente energeticamente? Monte o arranjo experimental esquematizado anteriormente e apresente os dados que justifiquem sua resposta.

Atividade 11: Comparando a eficiência de diferentes tipos de lâmpadas.

Na figura 105, há três tipos diferentes de lâmpadas: fluorescente, incandescente e LED. Nessa atividade, seu grupo receberá uma lâmpada de cada tipo com potências nominais diferentes.



Figura 105 – Diferentes tipos de lâmpadas.

Fonte: Rádio Igaporã (2008).

Com o material recebido e utilizando o celular na função de luxímetro, desenvolva uma forma experimental de comparar a eficiência energética dessas lâmpadas. Descreva o procedimento utilizado.

A.6 Programa Brasileiro de Etiquetagem

O que é o Programa Brasileiro de Etiquetagem?

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo INMETRO, fornece informações sobre o desempenho dos produtos, considerando atributos como a eficiência energética, o ruído e outros critérios que podem influenciar a escolha dos consumidores que, assim, poderão tomar decisões de compra mais conscientes (INMETRO, 2017).

Para garantir os requisitos mínimos de desempenho energético e segurança elétrica, as lâmpadas LED são certificadas pelo INMETRO. A partir do ano de 2017, somente as lâmpadas LED que passarem pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem poderão ser comercializadas. Em suas embalagens, é obrigatório conter, no mínimo, as três informações: o fluxo luminoso em lúmens (lm); a potência da lâmpada em watts (W); e a eficiência luminosa (lm/W), indicando a relação do fluxo luminoso com a potência. A etiqueta está ilustrada na figura 106.



Figura 106 - Informações presentes na embalagem de uma lâmpada LED.
Fonte: INMETRO (2017).

Ao usar a informação da etiqueta das lâmpadas, é possível que o consumidor veja uma equivalência entre diferentes tipos de lâmpadas de potências diferentes. O que importa para a iluminação é o fluxo luminoso; o valor da potência elétrica da lâmpada estará associado ao seu gasto de energia, para saber qual delas é mais eficiente. Como vimos, basta fazer a razão entre o fluxo luminoso e a potência elétrica. Segundo dados do INMETRO, uma lâmpada incandescente de 60 W tem um fluxo luminoso semelhante ao de uma fluorescente compacta de 15W, que, por sua vez, corresponde a uma de LED de potência 9 W. Justamente por produzir uma luminosidade semelhante com menor gasto energético, dizemos que a lâmpada LED tem maior eficiência luminosa.

Apêndice B

Material do Professor

Este material é voltado aos professores que desejarem usar a nossa sequência didática sobre o funcionamento do LED. Nele, apresentaremos algumas características de nossa sequência didática, bem como sugestões de como aplicá-la. O material do aluno foi planejado de forma que o estudante sempre possa desenvolver alguma ação que o faça pensar sobre o conteúdo da aula, seja por meio da leitura de um texto, debates ou experimentos. No desenvolvimento do trabalho, utilizamos os referenciais teóricos de Ensino por Investigação, Alfabetização Científica e o enfoque CTS (Ciência Tecnologia e Sociedade).

O Ensino por Investigação requer que os estudantes tenham uma participação ativa na aula. Para isso, devem ser desafiados por um problema que os engajem no tópico estudado. No material do aluno, as atividades propostas visam a interação entre os estudantes e o professor de modo que eles possam levantar suas hipóteses, discuti-las e testa-las, transformando-se nos principais agentes no processo de construção do conhecimento. Para favorecer o diálogo entre os estudantes durante as atividades, recomendamos que a turma seja separada em grupos de alunos antes de iniciar nossas aulas.

As atividades descritas neste manual estão presentes no material do aluno (apêndice A), além dos textos de apoio para o estudo da Física dos semicondutores e do funcionamento do LED, todos numa linguagem adequada aos estudantes do ensino médio. Recomendamos que a leitura deste manual seja feita paralelamente ao Material do Aluno para que se possa entender melhor nossa proposta didática.

Como já aplicamos este material em seis aulas, durante um curso regular de Física, apresentamos os esquemas no quadro 10 com os tópicos abordados, as atividades desenvolvidas em cada aula e os pré-requisitos necessários para o desenvolvimento de cada aula.

Quadro 10 - Sugestão para a divisão das aulas da sequência didática.

Aula	Tópicos abordados	Atividades desenvolvidas	Pré – requisitos	Duração
1	Importância da luz para a vida humana As diferentes formas de produção de luz	Atividade 1 Atividade 2	Não há	50 min

	A proibição da venda das lâmpadas incandescentes.			
2	Características elétricas de uma lâmpada. Funcionamento da lâmpada incandescente. Montagem de um circuito elétrico. Apresentação do LED como um dispositivo bipolar	Atividade 3 Atividade 4	Voltagem Potência elétrica	50 min
3	Conceito de semicondutor Estrutura cristalina Dopagem	Atividade 5. Atividade 6.	Coeficiente de resistividade. Regra do octeto. Ligações químicas.	50 min
4	Diodo	Atividade 7 Atividade 8	Funcionamento do voltímetro e do amperímetro.	50 min
5	Funcionamento do LED e das lâmpadas LED	Atividade 9	Átomo de Bohr	50 min
6	Fluxo radiante Fluxo luminoso Iluminância Eficiência luminosa	Atividade 10 Atividade 11	Funcionamento do voltímetro e amperímetro.	100 min

Fonte: Autoria própria.

A seguir, apresentaremos orientações para a aplicação de cada uma das atividades presentes no material do aluno (Apêndice A).

B.1 Orientações aos professores para as atividades didáticas

B.1.1 Atividade 1

A primeira atividade tem o objetivo de discutir aspectos importantes relacionados à iluminação e à vida humana. Para iniciar a aula, sugerimos que seja feita a leitura do texto “A Criação” da Luz”, presente no apêndice A. No mesmo material, há uma foto

tirada por satélites da NASA, que mostra pontos de luz em diversos locais do globo terrestre no período noturno. Para iniciar a discussão sobre a importância da iluminação para a sociedade, sugerimos que o professor peça aos alunos que respondam sobre as seguintes questões:

Quais possíveis motivos para a diferença de luminosidade nas diferentes regiões na imagem do planisfério terrestre no período noturno?

Quais os principais aspectos de sua vida pessoal seriam modificados caso vivesse em uma região sem acesso à iluminação noturna?

Recomendamos que essa aula seja feita de maneira interdisciplinar com um professor de Geografia para que se possa aprofundar a discussão sobre as causas da diferença de iluminação em diferentes regiões do nosso planeta. Como vimos, a primeira atividade é dividida em duas perguntas: na primeira, busca-se discutir aspectos socioeconômicos relacionados à distribuição da iluminação nas diferentes regiões do globo terrestre; e, na segunda pergunta, os estudantes são estimulados a refletir sobre os aspectos de suas vidas que mudariam caso não tivessem acesso à iluminação noturna. Sugerimos que, inicialmente, seja dado um tempo para que os grupos possam elaborar suas respostas e discuti-las entre os integrantes do grupo e, depois, possam apresentá-las e discuti-las com os colegas e os professores.

B.1.2 Atividade 2

A segunda atividade é iniciada com a leitura dos textos “Do fogo às lâmpadas LED”, “Lâmpadas incandescentes saem do mercado a partir de julho de 2016” e “A relação entre a iluminação pública e a criminalidade”, todos presentes no apêndice A. A partir destas leituras, os grupos devem apresentar os principais aspectos presentes em cada texto.

O primeiro texto aborda algumas formas de iluminação artificial produzida pelo homem, apontando as principais dificuldades e motivações que o levaram a buscar fontes de luz cada vez mais duráveis e eficientes desde o fogo até a criação das lâmpadas LED. O segundo texto aborda os motivos que levaram à proibição da venda de lâmpadas incandescentes no Brasil e em diversos países do mundo. Já o terceiro texto é um fragmento de um artigo e discute a relação entre a iluminação pública e a criminalidade.

Sugerimos que a segunda atividade, assim como a primeira, seja dividida em dois momentos: no primeiro, os alunos devem ter um tempo para discutir as ideias presentes em cada texto entre os membros do grupo; e, num segundo momento, apresentem as suas respostas para a turma. Neste tipo de atividade, é importante que o professor estimule os alunos a participar da aula, se preciso indagando-os e dando subsídios para que possam continuar a discussão. Caso algum grupo não consiga apresentar suas ideias sobre um texto específico, sugerimos que o professor busque estabelecer uma interação dialógica com os membros do grupo de forma a elaborar questionamentos que ajudem os estudantes a identificar a temática central que está sendo abordada. Por exemplo, no caso do texto “Lâmpadas incandescentes saem do mercado a partir de julho de 2016”, o professor poderia elaborar questões como: “ Qual é o principal assunto abordado no texto? ”, “ Qual foi o motivo que levou à proibição da venda de lâmpadas incandescentes? ”.

Nessa atividade, sugerimos discussões de alguns tópicos a partir da leitura dos textos:

- As diferentes formas de iluminação artificial produzida pelo homem desde o fogo até a as lâmpadas LED;
- Os motivos para o fim da comercialização da lâmpada incandescente e as opções de lâmpada para substituí-la;
- A relação entre segurança pública e a iluminação noturna.

As duas primeiras atividades, busca-se trabalhar as relações entre a Ciência, Tecnologia e Sociedade ao abordar tópicos importantes para a vida cidadã.

B.1.3 Atividade 3

Na terceira atividade, os estudantes devem identificar alguns tipos de lâmpadas e o valor da tensão elétrica e da potência nominal de cada uma delas, quando possível. Estas informações, na maioria das vezes, estão impressas no próprio equipamento ou na sua embalagem.

Para esta atividade precisaremos dos seguintes materiais, por grupo: uma lâmpada fluorescente, uma lâmpada LED, uma lâmpada incandescente, uma lâmpada incandescente pingo d’água e um LED, como ilustrado na figura 107.



Figura 107 - Materiais necessários para a terceira atividade: (a) lâmpada fluorescente, (b) lâmpada LED, (c) lâmpada incandescente, (d) LED, (e) lâmpada incandescente pingo d'água.

Fonte: Autoria própria.

Recomenda-se que, inicialmente, o professor dê aos estudantes os materiais necessários para a atividade. Ao entregá-los, o docente deve pedir que identifiquem o tipo de lâmpada, a voltagem de funcionamento e a potência dissipada em funcionamento normal, quando possível.

Para as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LED, o valor da potência e tensão nominal está presente na embalagem das mesmas. Na rosca da lâmpada incandescente pingo d'água, está impresso o valor da tensão nominal e da corrente elétrica quando submetida a esta voltagem. Com esses valores, é possível calcular sua potência elétrica nominal. No caso do LED, o professor pode apresentar estas informações aos estudantes, as quais podem ser encontradas no datasheet do LED. A tabela 5 ilustra algumas características ópticas e elétricas de um LED vermelho de alto brilho. Nela, podemos identificar dados como o valor do comprimento de onda predominantemente emitido, os valores de tensão elétrica típica e máxima para o funcionamento do LED e o valor de sua corrente elétrica.

Tabela 5 - Algumas informações presentes no datasheet do LED vermelho.

Características elétricas e óticas a 20 °C				
Parâmetro	Valor típico	Valor máximo	Unidade	Condições de teste
Voltagem	1,85	2,5	V	i = 20 mA
Comprimento de onda predominante	640		nm	i=20 mA
Largura do espectro luminoso emitido	20		nm	i=20 mA

Fonte: Adafruit (2018)

Após a terceira atividade, sugere-se que seja explicado o funcionamento de uma lâmpada incandescente, cujo texto de apoio encontra-se no material do aluno.

B.1.4 Atividade 4

Na quarta atividade, os estudantes devem montar um circuito elétrico: primeiramente, para acender uma lâmpada incandescente pingo d'água; e, posteriormente, um LED. Nesta atividade, temos por objetivo que os alunos aprendam a montar um circuito elétrico para acender uma lâmpada e identifiquem que o LED e a lâmpada incandescente emitem luz por processos diferentes.

Para o desenvolvimento da quarta atividade, precisamos dos seguintes materiais por grupo: duas pilhas, suporte de pilhas, fios com garra de jacaré, lâmpada incandescente pingo d'água e LED.

Veja a ilustração dos materiais necessários para esta atividade na figura 108.

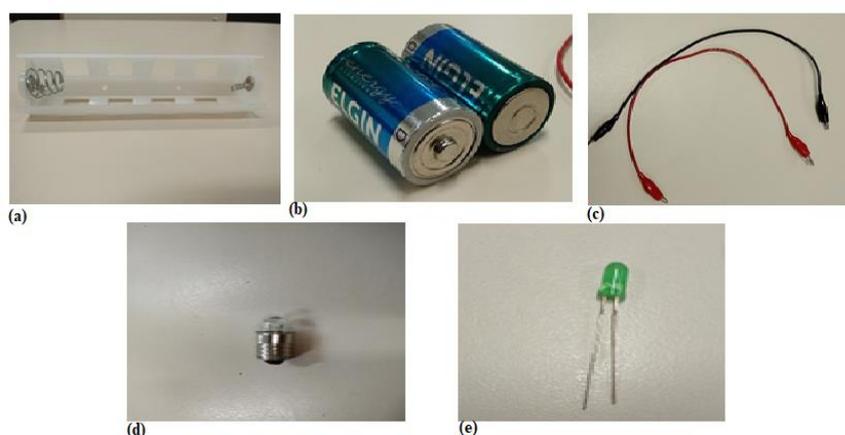


Figura 108 - Materiais necessários para a quarta atividade: (a) suporte para pilhas, (b) pilhas, (c) fios com garra de jacaré, (d) lâmpada incandescente pingo d'água, (e) LED.

Fonte: Autoria própria.

Recomenda-se que o professor distribua o material aos estudantes e, num primeiro momento, peça que esquematizem o circuito para poder fazer uma lâmpada acender utilizando os materiais disponíveis. Veja o comando presente no material do aluno.

Nesta atividade, vocês devem montar um circuito elétrico simples para acender uma lâmpada pingo d'água e um LED.

a) Inicialmente, planejem sua ação fazendo um desenho (esquema) de como pretendem ligar os fios, a pilha e a lâmpada.

A etapa de planejamento é importante para que os alunos possam pensar na montagem do circuito elétrico e o docente possa orientá-los nas possíveis dúvidas no processo de idealização do circuito elétrico. Após isto, pede-se que os grupos construam o circuito planejado e coloquem os dois dispositivos presentes na atividade para emitir luz. Conforme podemos ver no item (b), também presente no material do aluno.

b) Monte o circuito elétrico planejado e faça acender, em momentos distintos, a lâmpada pingando d'água e o LED.

A ligação da lâmpada incandescente pingando d'água é simples. Por seu filamento ser feito de um material condutor, não apresenta uma forma de polarização “correta”. Porém, o LED é um elemento que só emite luz quando é diretamente polarizado. Como os estudantes não possuem esta informação no momento da atividade, é provável que alguns o polarizem de forma inversa e achem que alguma ligação foi feita de modo incorreto ou que o LED esteja queimado. Neste caso, o professor pode pedir ao grupo que verifique se todos os fios estão conectados corretamente; persistindo o problema pode orientá-los a inverterem os fios ligados ao LED e pedir que verifiquem se ele passa a emitir luz nesta configuração.

Alguns grupos irão polarizar o LED diretamente e o fato dele ter uma polarização específica para a emissão de luz não aparecerá neste momento para eles. No último tópico da atividade, busca-se justamente evidenciar que o LED somente emite luz quando diretamente polarizado de forma experimental para os grupos que ainda não tenham percebido. Veja o comando desta parte da atividade presente no material do aluno.

c) Invertam a polaridade da pilha para verificar se isso exerce alguma influência no acendimento da lâmpada pingando d'água e do LED. Qual foi o resultado obtido?

Nesta parte da atividade, verifica-se que a lâmpada incandescente pingando d'água, conforme já tínhamos apresentado, emite luz independente da polaridade da bateria a qual esteja conectada, já que o importante é que tenhamos corrente elétrica circulando pelo seu filamento. Mesmo que as ligações dos fios sejam invertidas, ela continua funcionando normalmente. Já o LED só acende numa das formas de polarização possível. O docente

pode questionar aos grupos o porquê da diferença de comportamento destes dois dispositivos e esclarecer que será necessário o estudo dos materiais semicondutores para o entendimento do funcionamento do LED.

B.1.5 Atividade 5

A atividade 5 marca o início do estudo sobre os materiais semicondutores. No início da aula, recomenda-se que o professor pergunte aos estudantes o que seria um material semicondutor, dando “voz” aos estudantes.

Após isto, apresente os materiais semicondutores como aqueles que têm o coeficiente de resistividade intermediário entre os bons e maus condutores de eletricidade. Em seguida, sugere-se que seja apresentada uma tabela (presente no apêndice A), que tem uma lista de materiais e seus respectivos coeficientes de resistividade. Com base na definição apresentada, os estudantes devem classifica-los como condutor, semicondutor ou isolante elétrico.

Tabela 6 – Resistividade de diversos materiais

Material	Resistividade ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Classificação
Prata	$1,6 \cdot 10^{-6}$	
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-6}$	
Ouro	$2,3 \cdot 10^{-6}$	
Alumínio	$2,8 \cdot 10^{-6}$	
Tungstênio	$5,6 \cdot 10^{-6}$	
Ferro	$10 \cdot 10^{-6}$	
Platina	$11 \cdot 10^{-6}$	
Germânio	47	
Silício	$21 \cdot 10^4$	
Vidro	10^{12} a 10^{13}	
Mica	$9 \cdot 10^{16}$	
Quartzo	$78 \cdot 10^{18}$	

Nesta atividade, esperamos que os grupos classifiquem o germânio e o silício como materiais semicondutores, justamente por ter um valor de coeficiente de resistividade entre os materiais que eles já conheciam como bons ou maus condutores de eletricidade.

Após a quinta atividade, sugerimos que seja seguida a sequência de tópicos presentes no material do aluno:

- Distribuição dos elétrons do silício e do germânio em camadas.

- Formação da estrutura cristalina de um material semiconductor.
- Movimento de elétrons e lacunas no semiconductor quando submetido a uma diferença de potencial.

B.1.6 Atividade 6

A sexta atividade é dedicada ao estudo do processo de dopagem em semicondutores. Para que os estudantes tenham condições de participar das discussões sobre o tema, é importante que sejam dadas algumas informações na apresentação da atividade, para que eles possam pensar sobre a influência que o elemento dopante exerce na condutividade da estrutura cristalina do semiconductor.

A atividade foi dividida em duas partes. Na primeira, discute-se a dopagem do tipo N e na segunda do tipo P. Para isso, inicialmente, é apresentada uma situação na qual átomos de fósforo são introduzidos na estrutura cristalina do silício. Em seguida, pode-se destacar para os estudantes que, nesta configuração, um dos elétrons da camada de valência do elemento dopante estará fracamente ligado ao núcleo, porque somente quatro elétrons da camada de valência do fósforo realizam ligações covalentes com os elétrons dos átomos de silício. Após esta apresentação, os grupos devem responder a seguinte questão presente no material do aluno:

Você acha que a inserção dos átomos de fósforo na estrutura cristalina do silício altera sua condutividade? Se sim, por quê?

Na segunda parte da atividade, discute-se a dopagem do tipo P. Para ilustrar, no material do aluno, é representada a inserção de um átomo de boro na estrutura cristalina do silício. O professor deve deixar claro aos estudantes que, para cada elemento de boro introduzido, haverá a falta de um elétron para completar as ligações covalentes na estrutura cristalina do silício, já que o boro é um elemento trivalente e somente realizará três ligações covalentes. Em seguida, pede-se que respondam a seguinte questão:

Você acha que a inserção dos átomos de boro na estrutura cristalina do silício altera sua condutividade? Se sim, por quê?

Essa atividade permitirá que os estudantes levantem hipóteses sobre as possíveis mudanças de comportamento elétrico que a dopagem ocasiona nos materiais semicondutores. A partir das respostas dos alunos, o professor pode, de forma dialógica, explicar o porquê de átomos da família IIIA e VA alterarem a condutividade da estrutura cristalina do semicondutor no qual foi inserido.

B.1.7 Atividade 7

A sétima atividade é voltada para o início do estudo dos diodos. Com base na discussão da atividade, desejamos abordar o movimento de elétrons e lacunas no momento da junção PN e a formação da barreira de potencial no diodo.

Inicialmente, apresenta-se o diodo como um dispositivo eletrônico formado a partir da junção de um semicondutor do tipo P com outro do tipo N. Em seguida, mostra-se uma imagem da junção PN, evidenciando uma parte que tem “elétrons faltando” e a outra “excesso de elétrons”. Assim, é feita a seguinte pergunta para que os alunos possam, em grupo, responder:

O que acontece ao juntarmos um semicondutor dopado do tipo N com um do tipo P? Você acha que poderá ocorrer algum movimento de cargas elétricas entre estes dois semicondutores? Caso sim, represente-o.

Com essa pergunta, esperamos que seja abordado que há um movimento de elétrons da região N para a P e de lacunas da região P para a região N. Caso os estudantes apresentem dificuldades em apresentar suas ideias sobre a questão proposta, o professor pode ressaltar que há elétrons fracamente ligados em um dos lados do semicondutor e, no outro, há falta de elétrons para completar uma ligação covalente. Com isso, pode-se fazer a seguinte pergunta: “Poderia ocorrer um fluxo de elétrons fracamente ligados da região N para ocupar as lacunas da região P?”.

Após a discussão sobre o movimento de cargas na junção PN, sugerimos que seja abordada a formação da barreira de potencial. Esta abordagem pode ser feita com base no dialogismo; para isso deve-se fazer perguntas para estimular os discentes a pensarem um pouco mais sobre o movimento de elétrons e lacunas na junção PN, fazendo perguntas como: “Este movimento de cargas irá parar em algum momento?” ou “Todos os elétrons livres da região N irão migrar para a P?”. Estas questões têm o intuito de fazer os alunos

refletirem sobre o tema e participarem da aula dando sua colaboração na construção do conhecimento.

B.1.8 Atividade 8

Na oitava atividade, buscamos discutir a condução de corrente elétrica no diodo. No início da atividade o professor deve apresentar a diferença entre a polarização direta e a reversa. Veja na figura 109 a representação das duas maneiras de polarizar um diodo.

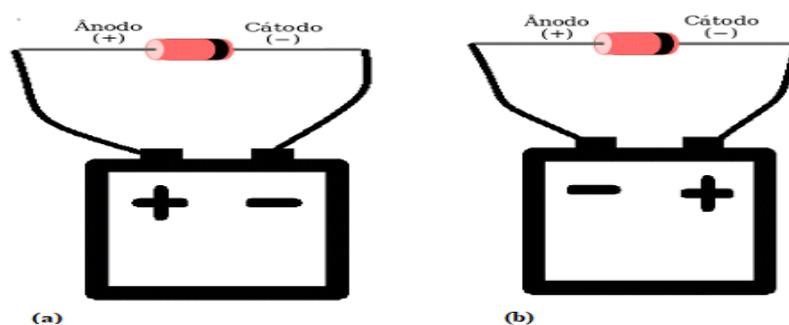


Figura 109 - Diodo polarizado: (a) diretamente polarizado e (b) inversamente polarizado.
Fonte: Autoria própria.

No início da atividade, os estudantes devem discutir sobre a possibilidade de ocorrer condução de corrente elétrica em cada uma das formas de polarização. Veja a pergunta presente no material do aluno:

Você acha que, em algum destes casos, poderá ocorrer condução de corrente elétrica? Procure justificar sua resposta com os conhecimentos que você já possui.

Os estudantes devem, em grupo, responder a esta questão e depois apresentar suas conclusões ao professor e aos colegas da classe. Nesta etapa, o docente deve estimular os alunos a participar da aula e justificar suas respostas, fazendo perguntas como: “O que vocês acham que irá acontecer nessa situação?”. Quando os estudantes apresentarem suas respostas, pode-se perguntar: “Qual seria a explicação para isso?”. Com esta abordagem, os alunos poderão levantar suas hipóteses e justificativas para a sua resposta em relação à condução de corrente elétrica no diodo.

Nesta etapa, o docente deve retomar o conceito de barreira de potencial na junção PN e pedir aos discentes que tentem responder à questão pensando neste conceito e se haveria modificação na sua extensão para cada um dos casos de polarização.

Num segundo momento da atividade, é pedido que os estudantes planejem um arranjo experimental para verificar as suas hipóteses ao montarem um circuito elétrico com um diodo. Em seguida, pede-se que os alunos construam o circuito planejado, realizando as ligações elétricas para polarizar o diodo e medindo se há ou não passagem de corrente elétrica para as duas formas de polarização apresentadas. Para isto, os alunos devem utilizar os seguintes materiais: uma fonte de tensão variável¹¹, um diodo de silício, fios com garra de jacaré e dois multímetros. Os alunos devem variar o valor da voltagem aplicada e verificar se há ou não condução de corrente elétrica para o tipo de polarização feita e o valor da d.d.p aplicada no diodo.

Após esse experimento, recomendamos que o professor explique, de forma dialógica, o movimento de elétrons e lacunas, ocorridos devido às formas distintas de polarização. Para isto, deve mostrar que, para a polarização reversa, haverá aumento da barreira de potencial e, para a direta, ocorrerá uma diminuição desse valor. Com isto, haverá condução de corrente elétrica a partir do momento que a voltagem aplicada for superior ao valor da barreira de potencial do diodo. Em seguida, recomendamos a exibição do vídeo “Coleção Técnica Interativa – Eletrônica – semicondutores¹²”, que mostra o processo industrial de fabricação dos diodos. Veja na figura 110.



Figura 110 - Print screen do vídeo Coleção Técnica Interativa – Eletrônica – semicondutores.

Fonte: Autoria própria.

Para encerrar a atividade, o professor pode falar aos estudantes que o LED é um diodo capaz de emitir luz e todas as propriedades estudadas para os diodos são válidas

¹¹ No apêndice C, apresentamos um modelo simples de tensão variável que pode ser construído pelos estudantes utilizando materiais de baixo custo.

¹² Disponível em www.youtube.com/watch?v=HmvppRT9nm4. Data de acesso 02/03/2018.

para o LED. Com isso, pode-se explicar o porquê do LED somente emitir luz quando diretamente polarizado, com base na discussão feita na oitava atividade.

B.1.9 Atividade 9

Na nona atividade, temos o objetivo de medir o valor da voltagem necessária para LEDs de diferentes cores começarem a emitir luz e discutir o porquê da diferença entre os valores encontrados. Para esta atividade, precisaremos dos seguintes materiais: fonte de tensão variável, fios com garra de jacaré e quatro diodos emissores de luz de cores distintas (vermelho, amarelo, verde e azul).

No início das atividades, os estudantes devem planejar o circuito elétrico a ser montado para a medição da diferença de potencial aplicada sobre o LED. Em seguida, devem montar o circuito planejado com a fonte de tensão variável e colocar o voltímetro em paralelo com o LED. Nesta experiência, os estudantes devem variar o valor da voltagem lentamente até que o LED comece a emitir luz. Quando isto acontecer, os alunos devem medir o valor da diferença de potencial aplicada. O resultado esperado é que os estudantes meçam valores diferentes de voltagem dependendo da frequência da cor emitida.

Na última parte da atividade, os grupos devem levantar hipóteses para explicar o porquê de terem encontrado diferentes valores de voltagem para LEDs de cores distintas durante o experimento. Neste momento da atividade, o docente tem o papel de mediar a interação entre os estudantes e pode, de forma dialógica, explicar que essa diferença está associada à constituição de cada um dos LEDs e à quantidade de elementos dopantes inseridos para a emissão de luz na frequência emitida por ele. Os resultados experimentais da atividade permitem mostrar que o valor da voltagem necessária para emissão de luz no LED é diretamente proporcional à frequência da cor emitida. Após a atividade, recomendamos que o professor explique o funcionamento do LED, retomando os conhecimentos sobre o átomo de Bohr. Em seguida, deve ser explicado o funcionamento das lâmpadas LED como feito no Material do Aluno.

B.1.10 Atividade 10

A décima atividade tem por objetivo comparar a eficiência energética de um LED de alto brilho com a de uma lâmpada incandescente pingo d'água. Para isto, os estudantes devem receber os seguintes materiais: duas pilhas, suporte para pilhas, fios com garra de jacaré, suporte de celular, um LED de alto brilho e uma lâmpada incandescente pingo d'água, como ilustrado na figura 111.

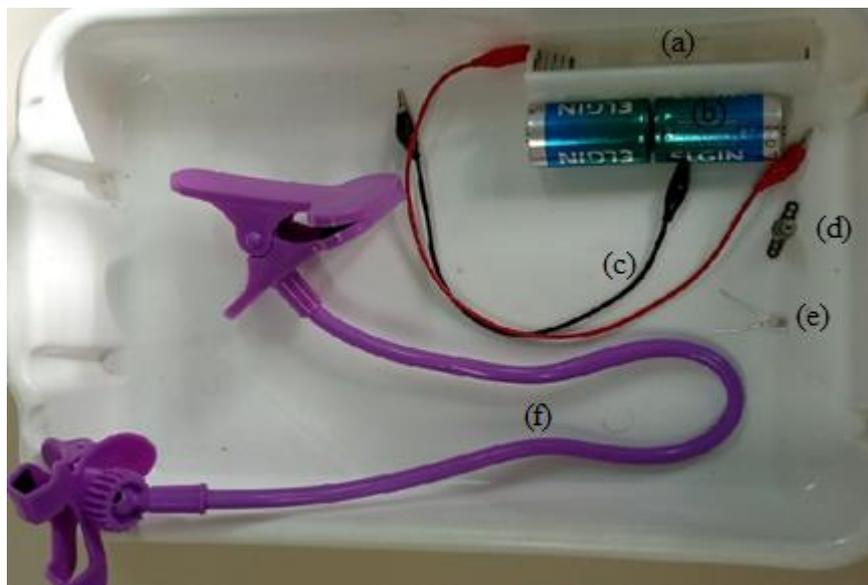


Figura 111 - Materiais necessários para a décima atividade. Em (a) suporte de pilhas; (b) pilhas; (c) fios com garra de jacaré; (d) lâmpada incandescente pingo d'água; (e) LED de alto brilho; (f) suporte de celular.

Fonte: Autoria própria.

De início, os estudantes devem pensar nas grandezas físicas que devem ser medidas para a comparação da eficiência energética destes dois dispositivos. Para isto, devem comparar a razão entre a quantidade de luz emitida e a potência elétrica.

A potência elétrica é calculada após os estudantes medirem os valores da voltagem aplicada e da corrente elétrica que passa pelos dispositivos. Para a medição da iluminância, utilizaremos o celular na função de luxímetro. O dispositivo já estará marcando o valor da iluminação ambiente antes do início do experimento, então, ao ligar a lâmpada, deve-se descontar o valor exibido anteriormente para sabermos qual foi o aumento na iluminação produzido pela lâmpada. O suporte de celular é importante para que se possa fixar a posição do celular durante a tomada de dados, porque a iluminância medida depende da distância entre a fonte de luz e o sensor de luminosidade.

B.1.11 Atividade 11

Na décima primeira atividade, os estudantes vão comparar a eficiência energética de três diferentes tipos de lâmpadas: incandescente, fluorescente e LED. Assim, precisam comparar a razão entre a quantidade de luz emitida e a potência elétrica das lâmpadas.

Para isto, é necessário de um alicate amperímetro para medir o valor da corrente elétrica alternada e um multímetro para a medição da voltagem alternada. A figura 112 ilustra como devemos usar o alicate amperímetro para medição da corrente alternada. O aparelho deve ser colocado de modo a “envolver” o fio, porque ele mede o campo magnético gerado pela corrente elétrica. Uma dificuldade desta atividade consiste em medir a corrente alternada, já que os tradicionais multímetros não possuem amperímetro para corrente alternada. Neste contexto, o alicate amperímetro aparece como uma sugestão simples para a medição de corrente elétrica alternada.



Figura 112 - Medição de corrente alternada utilizando o alicate amperímetro.
Fonte: INSTRUSUL (2018).

O cálculo da potência elétrica pode ser feito pelo produto da corrente elétrica e da diferença de potencial medida. Caso o docente não possua estes aparelhos de medida, a atividade pode ser feita utilizando a potência nominal das lâmpadas. Para medirmos a iluminância, podemos usar o luxímetro ou o celular na função de luxímetro. No nosso caso, optamos pelo uso do smartphone.

Para podermos comparar qual das lâmpadas é mais eficiente, deve-se calcular a razão entre a iluminância medida e a potência elétrica calculada. Ressaltamos que as lâmpadas devem estar posicionadas a uma mesma distância do luxímetro. Para isto, recomendamos que seja usado um suporte para a fixação da posição do celular.

Para finalizar a sequência didática, recomendamos que sejam discutidos os resultados encontrados na atividade, lembrando o processo de emissão de luz feito por

cada um dos tipos de lâmpadas. Com a proibição das lâmpadas incandescentes, sugerimos que o professor possa substituí-las por lâmpadas halógenas para o desenvolvimento desta atividade.

B.2 Usando tablets e smartphones como luxímetro.

Os tablets e smartphones possuem uma gama de sensores como: de movimento, geomagnético, acelerômetro, de proximidade etc. Esses sensores permitem que tais dispositivos sejam utilizados em diferentes experimentos de Física como aparelhos de medidas¹³. No nosso caso, utilizaremos smartphones como luxímetro para a medição da iluminância das lâmpadas. Para isto, é necessário que o aparelho possua um sensor de proximidade. Para a realização das atividades 10 e 11 (presentes no Material do Aluno), o professor deve pedir que um dos integrantes de cada grupo baixe o aplicativo de “luxímetro” no seu celular. Eles podem ser obtidos gratuitamente na PlayStore para dispositivos que possuem o sistema Android e, na Apple Store, para os usuários do Iphone. Dentre os aplicativos gratuitos disponíveis, utilizamos o aplicativo “Lux Light Metter”, da *Doggo Apps*, porque foi o que melhor permitiu a calibração das medidas de iluminância realizadas pelo celular utilizando um luxímetro. Veja alguns dos aplicativos que podem ser baixados gratuitamente na figura 113.

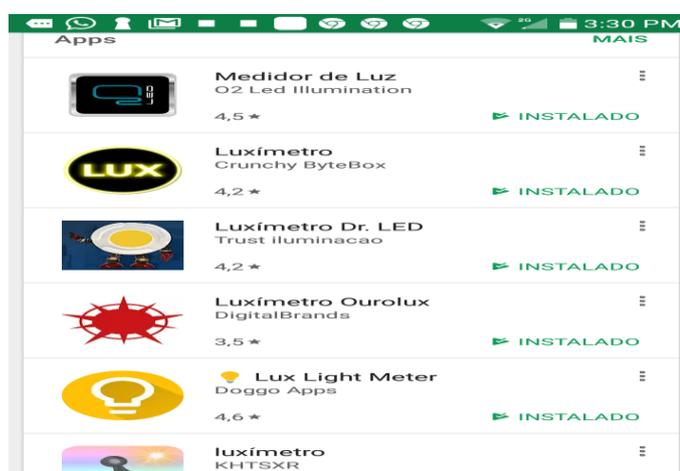


Figura 113 - Alguns dos aplicativos de luxímetro disponíveis na Play Store em 10/10/2018.
Fonte: Autoria própria.

¹³ Para conhecer mais aplicações sobre o uso de tablets e smartphones no ensino de Física, recomendamos a leitura da dissertação “Experimentos de Física com Tablets e Smartphones”, de Vieira (2013).

Se desejarmos ter medidas mais precisas, é necessário realizar uma calibração do valor marcado pelo celular com o do luxímetro. Para isto, é necessário coloca-los próximos e, num mesmo plano de trabalho, ajustar a marcação de iluminância feita pelo celular mexendo a barra abaixo do botão captura, de modo que marque o mesmo valor que o luxímetro, como ilustrado na figura 114.



Figura 114 - Celular funcionando como luxímetro.
Fonte: Ourolux (2018).

Apêndice C

Roteiro para construção de uma fonte de tensão variável que gere até 3 V.

Para algumas atividades do estudo dos diodos e LEDs presentes no Material do Aluno (apêndice A), precisamos de uma fonte de tensão variável que gere até 3V. Neste apêndice, apresentaremos uma modelo simples de fonte de tensão variável que pode ser construída com materiais de baixo custo, como esquematizado na figura 115.

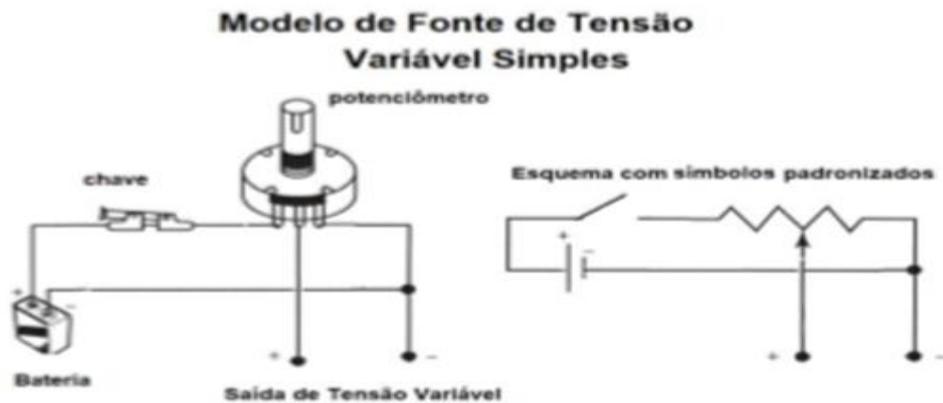


Figura 115 - Modelo de fonte de tensão variável.

Para a construção da fonte de tensão variável, necessitamos dos seguintes materiais: duas pilhas, suporte para pilhas, um potenciômetro de 10 K Ω , uma protoboard e jumpers.

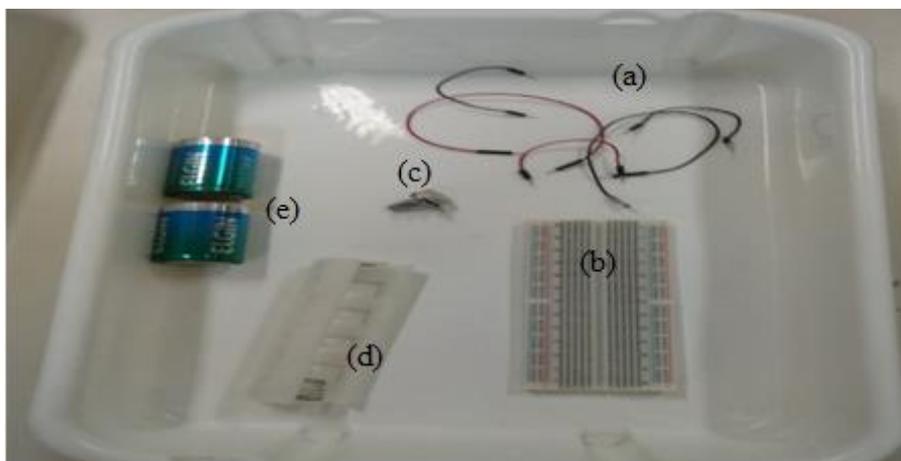


Figura 116 - Materiais necessários para a montagem da fonte de tensão variável. Em (a) jumpers; (b) protoboard; (c) potenciômetro; (d) suporte de pilhas; (e) pilhas.

O potenciômetro é composto de um material resistivo, três terminais e um cursor. Ao conectarmos um ohmímetro aos terminais extremos de um potenciômetro, teremos a indicação de sua resistência total. Entretanto, se ligarmos um fio ao terminal central e o outro num dos terminais das pontas, teremos uma resistência variável ao girarmos o varredor. Veja a figura 117.

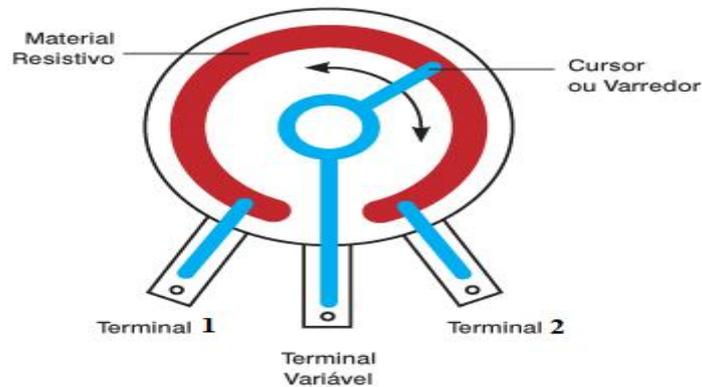


Figura 117 - Representação do potenciômetro.
Fonte: Baú da Eletrônica (2018).

Na figura 118, vemos a montagem realizada na protoboard por um grupo de estudantes durante a aplicação de nossa sequência didática.

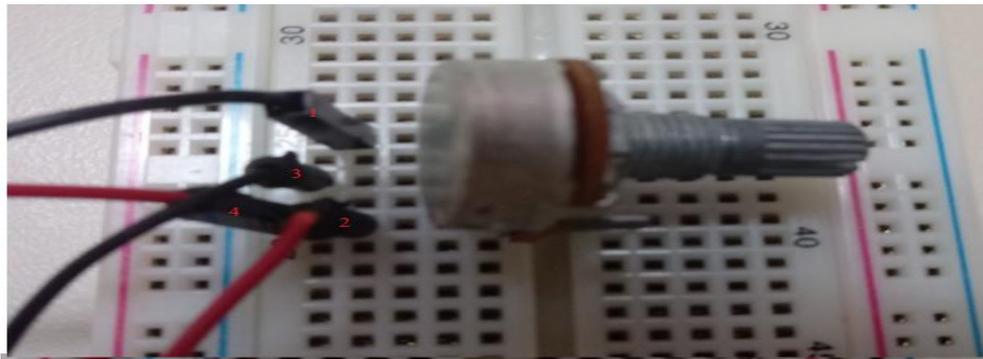


Figura 118 - Fonte de tensão variável na protoboard.
Fonte: Autoria própria.

Os fios 1 e 2 funcionaram como alimentação do potenciômetro. O fio 1 foi conectado ao polo negativo da bateria e o fio 2, ao terminal positivo. Já o fio 3 foi conectado no terminal central e, o fio 4, na mesma linha de conexão do potencial positivo da bateria. Desta forma, os fios 3 e 4 fornecem a tensão variável ao girarmos o cursor do potenciômetro.

Apêndice D

A evolução das ideias do átomo de Rutherford ao conceito dos níveis de energia permitidos para os elétrons.

No modelo atômico de Rutherford, os elétrons estão em órbitas circulares em torno do núcleo, assim como os planetas estão em torno do Sol.

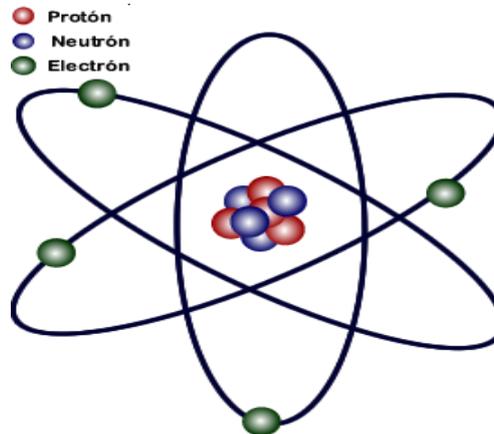


Figura 119 - Representação do modelo do átomo de Rutherford.

Fonte: Wikimedia commons (2017).

Para este modelo, o átomo de hidrogênio seria representado por um único elétron de carga $-e$ que se move ao redor do núcleo de carga positiva $+e$. Considerando uma órbita circular de raio r , para facilitar nossas análises, o elétron de massa m estaria submetido a uma força centrípeta (F_c), resultado da atração coulombiana (F_e) entre as cargas do núcleo $+e$ e do elétron $-e$:

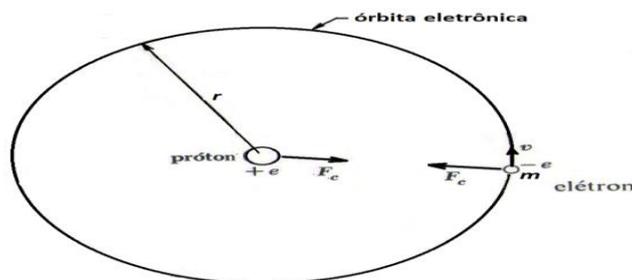


Figura 120 – Elétron do átomo de hidrogênio em órbita circular.

Fonte: Beiser (1969).

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad (D.1)$$

$$F e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} \quad (\text{D.2})$$

Igualando (D.1) com (D.2), podemos obter a equação (D.3) para a velocidade do elétron.

$$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi m \epsilon_0 r}} \quad (\text{D.3})$$

A energia total \mathbf{E} do elétron no átomo de hidrogênio pode ser determinada pela soma da sua energia cinética \mathbf{E}_c com sua energia potencial \mathbf{V} .

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \quad (\text{D.4})$$

$$V = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (\text{D.5})$$

Logo o valor da energia total \mathbf{E} associada ao elétron será:

$$E = \frac{mv^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (\text{D.6})$$

Substituindo (D.3) em (D.6) obtemos a seguinte equação:

$$E = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (\text{D.7})$$

Ou ainda:

$$E = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad (\text{D.8})$$

Se substituirmos os valores conhecidos para o átomo de hidrogênio na equação acima encontramos o valor 13,6 eV, que é compatível com os valores experimentais obtidos para a energia de ligação entre o elétron e o próton em um átomo de hidrogênio (BEISER, 1969).

Apesar da comprovação do resultado acima ter sido obtido pela aplicação direta da mecânica newtoniana e da força coulombiana, que são pilares da física clássica, ela não está de acordo com a teoria eletromagnética. Assim este modelo apresenta um problema: os elétrons, em órbitas circulares, estariam acelerados e por isso, de acordo

com a teoria eletromagnética clássica, deveriam emitir radiação eletromagnética. Com isso, os elétrons perderiam energia, e realizariam uma trajetória espiral colapsando no núcleo.

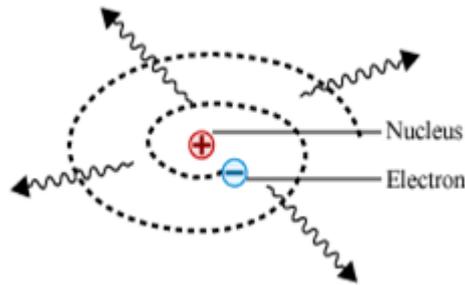


Figura 121 - Elétron em movimento espiral em torno do núcleo.
Fonte: STOA USP (2013).

O modelo proposto por Bohr

Assim como outros fenômenos, aparentemente, paradoxais tais como o efeito fotoelétrico e a difração de elétrons, encontraram uma explicação em termos de conceitos quânticos, caberia nos perguntar se isso também pode ser verdade para o átomo (BEISER, 1969).

Se analisarmos o comportamento ondulatório de um elétron em órbita ao redor do núcleo de hidrogênio, teremos que o comprimento de onda de Broglie do referido elétron é dado por:

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (\text{D.9})$$

Substituindo (D.3) em (D.9), teremos então que:

$$\lambda = \frac{h}{e} \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 r}{m}} \quad (\text{D.10})$$

Substituindo na equação (D.10) os valores do elétron da órbita do hidrogênio obtemos um valor de $33 \times 10^{-11} \text{m}$. Este valor é exatamente o mesmo do comprimento da órbita deste elétron, ou seja, $2 \pi r = 33 \times 10^{-11} \text{m}$. Ou seja o comprimento da órbita do elétron no átomo de hidrogênio corresponde a uma onda completa do elétron, como podemos observar na figura 122:

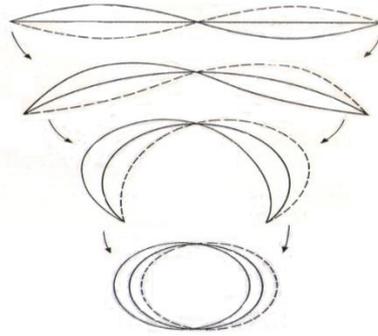


Figura 122 - A órbita de um elétron de um átomo de hidrogênio corresponde a uma onda completa de de Broglie.

Fonte: Beiser (1969).

O fato do comprimento da órbita do elétron no átomo de hidrogênio ser o próprio comprimento de onda do elétron propiciou a ideia chave para construir a teoria do átomo. Se considerarmos as possíveis vibrações de uma espira circular verificaremos que seus comprimentos de onda sempre se ajustam à circunferência da espira em um número inteiro de vezes.

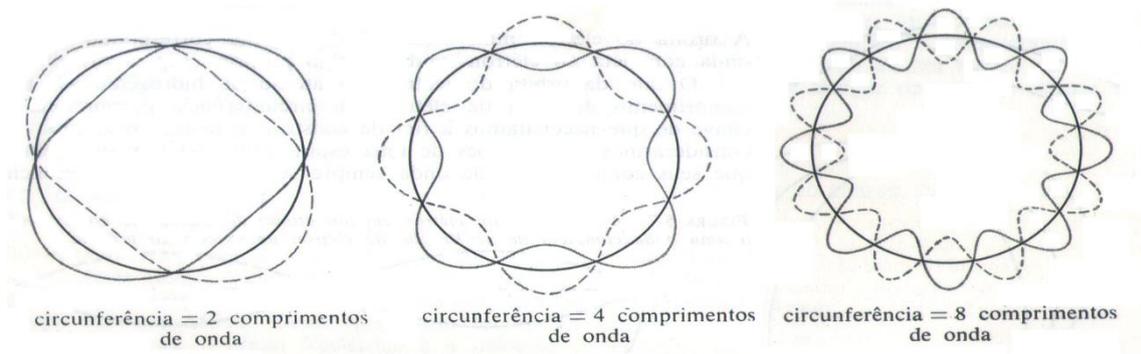


Figura 123 - Possíveis vibrações de uma espira rígida.

Fonte: Beiser (1969).

Assim, considerando-se o comprimento das ondas dos elétrons no átomo de hidrogênio, análogo às vibrações de uma espira pode-se postular que o elétron pode orbitar em torno de um núcleo sem irradiar energia desde que sua órbita contenha um número inteiro do comprimento de onda de de Broglie, ou seja:

$$n\lambda = 2\pi r_n \quad (D.11)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

Onde r_n designa o raio da órbita que contém n comprimentos de onda. O inteiro n é denominado “número quântico orbital”. Substituindo (D.10) em (D.11) teremos:

$$2\pi r_n = \frac{nh}{e} \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 r}{m}} \quad (\text{D.12})$$

Logo, os possíveis valores das órbitas estáveis dos elétrons são dados por:

$$r_n = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2} \quad (\text{D.13})$$

Deste modo, para cada uma dessas órbitas permitidas o elétron terá uma energia total E_n dada em termos do raio de sua órbita r_n . Assim, os níveis de energia que o elétron pode ocupar no átomo de hidrogênio serão dados por:

$$E_n = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n} \quad (\text{D.14})$$

Substituindo (D.13) em (D.14) ficamos com:

$$E_n = -\frac{m e^2}{8\pi\epsilon_0 h^2} \frac{1}{n^2} \quad (\text{D.15})$$

Reescrevendo a equação (D.15) utilizando $\hbar = h / 2\pi$ e sendo Z o número atômico do átomo ficaremos com :

$$E = -\frac{m Z^2 e^4}{(4\epsilon_0 \pi)^2 2 \hbar^2} \frac{1}{n^2} \quad (\text{D.16})$$

Sendo m a massa do elétron, Z o número atômico, e a carga do elétron, ϵ_0 permissividade elétrica, \hbar a constante de Planck dividida por 2π e n o número quântico principal. O valor de n igual a 1 representa o nível energético de menor energia, ou seja, na órbita mais próxima ao núcleo. Como representado na figura 125, para cada órbita teremos um nível de energia diferente.

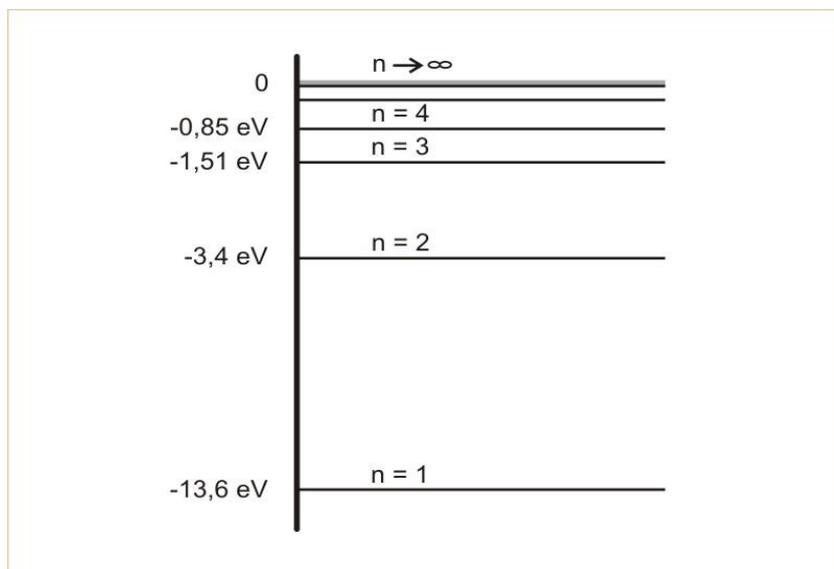


Figura 124 - Níveis de energia do átomo de hidrogênio.
Fonte: EISBERG & RESNICK (1994).

Referências bibliográficas

- ALCHEMIST ENGENHARIA. **Semicondutores**. Disponível em: <www.geocities.ws/afonsobejr/semicondutores.html>. Acesso em: 19 fev. 2018.
- ADAFRUIT. **The LED Datasheet**. 2018. Disponível em: <learn.adafruit.com/all-about-leds/the-led-datasheet>. Acesso em: 20 fev. 2018.
- ALVES, A. G. **Materiais semicondutores: uma abordagem para o ensino médio**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal de Lavras, 2017.
- ALVES, A. M. **Uma Abordagem Para o Ensino de Dispositivos LED no Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal Grande Dourados, 2017.
- ALVES, E. G.; FORTINI, A. S. Usando um LED como fonte de energia. **A Física na Escola**, São Paulo, v. 9, n.1, p. 26-28, mai. 2008.
- ARAÚJO, M. V. **Iluminação e Fotometria: teoria e aplicação**. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO. **Uso de lâmpadas Led deve crescer 30% em 2015**. Disponível em:<www.abilux.com.br/portal/abilux-na-midia/10>. Acesso em: 02 fev. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. **NBR 5461: Iluminação**. Rio de Janeiro, 1990.
- AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por Investigação: problematizando as atividades em sala de aula. *In*: CARVALHO, A. M. P. (Org). **Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p. 19-33.
- BACHELARD, G. **A Formação do Espírito Científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1997.
- BARRETO, B.; XAVIER, C. **Física aula por aula**. 3ª. ed. São Paulo: FTD, v.3, 2016.
- BASES SOBRE A TEORIA DA COR APLICADA AOS SISTEMAS DIGITAIS. **Bases sobre a teoria da cor aplicada aos sistemas digitais**. 2013. Disponível em: www.aiesml.blogspot.com/>. Acesso em: 01 fev. 2018.

BASSALO, J. M. F. O prêmio Nobel de Física de 2014. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.32, n.2, p. 351-368, fev. 2015.

BAÚ DA ELETRÔNICA. **Diodo**. 2018. Disponível em: <<http://www.baudaeletronica.com.br/componenteseletronicos/diodo>>. Acesso em: 03 jan. 2018.

BEISER, A. **Conceitos de Física Moderna**. São Paulo: Editora Polígono, 1969.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 9-30, dez. 2002.

BONJORNO, R. *et al.* **Física**. 3ª. ed. São Paulo: FTD, v. 3, 2016.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 6ª. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil LTDA, 1999.

BRASIL, **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Lei nº 9394 de 20 de dezembro de 1996. <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/03/leis/L9394.htm>> Acesso em 19 jan. 2017.

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

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+)**. Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

BRASIL. Portaria Interministerial n. 1.007, de dezembro de 2010. **Portaria MME/MCT/MDIC n. 1.007/2010**, Poder Executivo, Brasília, DF, 31 dez. 2010.

BUILD ELECTRONIC CIRCUITS. **What Is An LED (Light-Emitting Diode)?** 2014. Disponível em: <www.build-electronic-circuits.com/what-is-an-led>. Acesso em: 01 fev. 2018.

CARMONA, A. G. **Física de Semicondutores en la Educación Científica Secundaria Educación**. Vigo: Educación Editora, 2008.

CARRON, W; GUIMARÃES, O; PIQUEIRA, J, R. **Física**. 2ª. ed. São Paulo: Ática, v. 3, 2016.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2017. p. 1-20.

CIÊNCIA HOJE. **Shuji Nakamura**: O novo Edison (Entrevista). 2006. Disponível em: <www.cienciahoje.org.br/artigo/entrevista-shujinakamura-o-novo-edison/>. Acesso em: 10 fev. 2018.

COMPATIBILIDADE ELECTROMAGNÉTICA. 2017. **Substituição da Lâmpada Incandescente**. Disponível em: <<http://cemterras.blogspot.com/2017/03/led-iluminacao-de-substituicao-da.html>>. Acesso em: 14 mar. 2018.

CRUZ, V. S.; SOARES, V. Experimental determination of the Boltzmann constant from current-voltage characteristic of a diode. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 1-6, mar. 2015.

DR.LUX. Fluxo luminoso. 2018. Disponível em: <[www.drlux.com.br/fluxo luminoso](http://www.drlux.com.br/fluxo_luminoso)>. Acesso em: 23 mar.2018.

EISBERG, R.; RESNIC, R. **Física Quântica**: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas. Rio de Janeiro. Editora Campus, 1994.

ELETRÔNICA GERAL. **Diodo Emissor de Luz**. Disponível em: <www.eletronicassim.blogspot.com/p/led-diodoemissor-de-luz-inicialmente-o.html>. Acesso em: 20 mar. 2018.

ELETRÔNICA PT. **Semicondutores**. Disponível em: <www.electronica-pt.com/semicondutores>. Acesso em: 20 fev. 2018.

ELÉTRON PI. **O Semicondutor**. Disponível em: < <http://www.eletronpi.com.br/ce-024-semicondutor.aspx>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

ENERGY LABS. **Segurança com Lasers**. Disponível em: <http://www.energylabs.com.br/el/documento/Seguranca_com_Lasers_1>. Acesso em: 5 mar. 2018.

FILHO, A. G.; TOSCANO, C. **Física, Interação e Tecnologia**. 2ª. ed. São Paulo: Leya, v.3, 2016.

FREITAS, F. C.; OLIVEIRA, A. J. O uso de vídeos curtos para ensinar tópicos de semicondutores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 3, p.1-7, set. 2015.

FUKE. L.F.; KAZUITO, Y. **Física para o Ensino Médio**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Saraiva, v. 3, 2016.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**. 3ª. ed. São Paulo: Ática, v. 3, 2016.

GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B.; HELOU, D. **Física**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Saraiva, v. 3, 2016.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: óptica e física moderna**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, v. 4, 2009.

IAR UNICAMP. **Laboratório de Iluminação**. 2018. Disponível em: <www.iar.unicamp.br/lab/luz>. Acesso em: 2 mar. 2018.

INMETRO (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA). **Programa Brasileiro de Etiquetação**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2017. Disponível em: <www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php>. Acesso em 10 jan 2018.

INSTRUSUL. **Como usar o alicate amperímetro**. Disponível em :< blog.instrusul.com.br/comousaralicatampermetro>. Acesso em 5 mar.2018.

KRULIK, S.; RUDNICK, K. **Problem Solving in School Mathematics**: national council of teachers of mathematics (year 800k). Virgínia: Reston, 1980.

KITTEL, C. **Introdução à Física do Estado Sólido**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B.; GUIMARÃES, C. **Física: Contexto & Aplicações**. 2ª. ed. São Paulo: Scipione, v. 3, 2016.

MORTIMER, E. F. Uma Agenda para Pesquisa em Educação em Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, v.2, n.1, p. 25-36, fev. 2002a.

_____; SANTOS, W. L. P. Uma Análise de Pressupostos Teóricos da Abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no Contexto da Educação Brasileira. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p.110-132, dez. 2002b.

OLIVEIRA, V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Resolução de Problemas Abertos no Ensino de Física: uma revisão da literatura. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 39, n. 3, e3402, p.1-17, 2017.

OCDE (ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO). **Measuring student knowledge and skills: The PISA 2000 assessment of reading, mathematical and scientific literacy**. Paris: OCDE, 2000. Disponível em: <<http://www.oecd.org/education/school/programmeforinternationalstudentassessmentpisa/33692793.pdf>>. Acesso em 10 mar. 2018

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. 2000.

OUROLUX. **Luxímetro**. 2018. Disponível em: <<http://www.ourolux.com.br/luximetro>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

PENHA, S. P. **A Física e a Sociedade na TV**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), 2006.

PENHA, S.P.; CARVALHO, A. M. P. A inserção de aspectos sociais da ciência e da tecnologia no Ensino de Ciências: identificação de convergências internacionais. *In: VIII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS (VIII ENPEC)*, 2011, Campinas. Anais do VII ENPEC.

PIMENTEL, R. A. J. **Realização Radiométrica de Candela Através do Método e Autocalibração de Fotodiodos de Silício**. Dissertação (Mestrado em Física). Universidade Federal Fluminense, 1993.

PINHEIRO, N. A. M. **Educação crítico-reflexiva para um ensino médio científico tecnológico**: a contribuição do enfoque CTS para o ensino e aprendizagem do conhecimento matemático. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica)- Universidade Federal de São Catarina, Florianópolis, 2005.

PINHEIRO, L. C. S. et al. Uso de diodos emissores de luz (LED) de potência em laboratório de Óptica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, p.60- 67, abr. 2014.

POGIBIN, A.; PIETROCOLA, M.; ANDRADE, R. D. **Física em Contextos**. 1ª. ed. São Paulo: Editora do Brasil, v. 3, 2016.

PORTAL DO LED. **Eficiência em iluminação**. 2018. Disponível em: <www.portaldoled.com.br/lampada-led-potencia-naoindica>. Acesso em: 20 abr. 2018.

PRO INOVA. **Como funciona uma lâmpada LED?** 2018. Disponível em: <www.proinova.com/proinova/como-funciona-umalampada>. Acesso em: 02 abr. 2018.

RÁDIO IGAPORÃ. **Lâmpadas incandescentes vão sumir do mercado Brasileiro**. 2018. Disponível em: <<http://radios.centermidia.com/igapora/page/64/>>. Acesso em 01 mar. 2018.

REZENDE, S. **Materiais e Dispositivos Eletrônicos**. 4ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2015.

ROBERTS, D. A. What Counts as Science Education? *In: FENSHAM, P., J. (Org.). Development and Dilemmas in Science Education*. Barcombe: The Falmer Press, 1991, p. 27-55.

RODRIGUES, E. **Metodologia de Ensino de Semicondutores no Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal de Goiás, 2015.

ROEHRIG, S. A. G.; CAMARGO, S. A educação com enfoque CTS no quadro das tendências de pesquisa em ensino de ciências: algumas reflexões sobre o contexto brasileiro atual. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 6, n. 2, p. 117-131, mai-ago, 2013.

ROLÊ CIENTÍFICO. **Corrente elétrica**. 2016. Disponível em: <<https://rolecientifico.blogspot.com/p/3.html>>. Acesso em: 01 fev. 2018.

SANT'ANNA, B. et al. **Conexões com a Física**. 3ª. ed. São Paulo: Moderna, v. 3, 2016.

SANTOS, W. P.; MORTIMER, E. F. Uma Análise de Pressupostos Teóricos da Abordagem CT-S (Ciência - Tecnologia - Sociedade) no Contexto da Educação Brasileira. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 2, n. 2, dez. 2002.

SANTOS, W. L. P. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 36, p. 474-492, set. /dez. 2007.

SANTOS, T. S. et al. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas LED e convencionais. **Eng Sanit Ambient** Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 595-602, out 2015.

SANTO, S. C. E. **Dispositivo eletrônico semicondutor LED: Uma abordagem baseada em uma unidade potencialmente significativa**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do ABC, 2017.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.16, n.1, p. 59-77, set. 2011.

_____. Alfabetização Científica e Documentos Oficiais Brasileiros: um diálogo na reestruturação do ensino da Física. *In*: Carvalho, A. M. P. et al. (Org). **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

_____. Alfabetização Científica, Ensino por Investigação e Argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, n. spe, p. 49-67, nov. 2015.

_____; CARVALHO, A. M. P. Almejando a Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.13, n. 3, p. 333-352, jul. 2008.

SILVEIRA, M. V.; BARTHEM, R. B. Disco de Newton com LEDs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 4, e4502, p.1-9, mai. 2016.

_____. Ensino da visão cromática através de aparato com LED's coloridos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 3, e3502, p.1-6, abr. 2016.

SOUZA, A.S.; CARVALHO, P.S. Lei do inverso do quadrado da distância: uma abordagem econômica utilizando o retroprojektor. **Gazeta da Física**, v. 37, n. 1, p. 23-26, abr. 2014.

STOA USP. **Terra em colisão com o Sol! E agora, José?** 2013. Disponível em : <www.social.stoa.usp.br/brunobatista/blog/terra-em-rota-de-colisao-com-o-sol-e-agora-jose>. Acesso em: 02 mar. 2018.

SUPER BRIGHT LEDS. **Super Bright Leds**. 2016. Disponível em: <www.superbrightleds.com>. Acesso em: 02 mar. 2018.

THINK GEOENERGY. **Tired of being in the dark, Africa focuses on renewable energy to power the continent**. 2016. Disponível em: <www.thinkgeoenergy.com/tired-of-being-in-the-dark-africa-focuses-on-renewable-energy-to-power-the-continent/>. Acesso em: 02 jan. 2018.

TORRES, C. M. *et al.* **Física: ciência e tecnologia**. 4^a. ed. São Paulo: Moderna, v. 3, 2016.

VÁLIO, A. B. M. *et al.* **Ser protagonista**. 3^a. ed. São Paulo: Saraiva, v. 3, 2016.

VIEIRA, L. P.; LARA V. O. M.; AMARAL, D. F. Demonstração da lei do inverso do quadrado com o auxílio de um tablet/smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, 3505, p. 1-3, mês. 2013.

_____. **Experimento de Física com Tablets e Smartphones**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física.). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

WIKI IFSC. Disponível em: <www.wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/>. Acesso em: 20 fev. 2018.

WIKIMEDIA COMMONS. **Atomo de Rutherford com neutrones**. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atomo_de_Rutherford_con_neutrones.png>. Acesso em: 02 mar. 2018

_____. **Iliminância**. 2008. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Iluminancia.jpg>>. Acesso em: 02 mar. 2018.

_____. **Inverse Square Law**. 2018. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3816716>>. Acesso em: 04 mar. 2018.

WIKIPÉDIA. **Diodo pinout pt**. 2011. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Diode_pinout_pt.svg>. Acesso em: 12 mar. 2018.

_____. **Light emitting diode**. 2018. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode>. Acesso em: 11 mar. 2018.

_____. **Interior da esfera**. 2009. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Esfera_integradora#/media/File:Luminance_Chamber.jp>
. Acesso em: 10 mar. 2018.

_____. **RGB**. Disponível em: <pt.wikipedia.org/wiki/RGB>. Acesso em: 10 mai.
2018.

YELLOW FISH. **Bomba Com Chafariz Para Lagos Aleas Ah-6f 8500 L/h 110v**.
2018. Disponível em: <<http://www.yellowfishaquarios.com.br/bomba-com-chafariz-para-lagos-aleas-ah-6f-8500-l-h-110v-pr-403-400240.htm>>. Acesso em: 8 mar. 2018.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV: ótica e física moderna**. 12^a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

YOUTUBE. **Coleção Técnica Interativa: Eletrônica - Semicondutores**. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=HmvppRT9nm4>. Acesso em: 10 jan. 2018.

YOUTUBE. **A Brilliant idea : Nick Holonyak, Jr. And the LED**. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=HmvppRT9nm4>. Acesso em: 10 jan. 2018.