



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**

(MATERIAL DO ALUNO)

José Miranda da Rocha

Deise Miranda Vianna

Sidnei Percia da Penha

Material instrucional associado à dissertação de Mestrado de José Miranda da Rocha, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2019

Sumário

1.Introdução.....	3
2 Material do Aluno.....	4
2.1 A “criação” da luz.....	4
2.2 Características elétricas de diferentes tipos de lâmpadas	8
2.3 Acendendo uma lâmpada.....	9
2.4 Semicondutores	11
2.4.1 Dopagem.....	14
2.4.2 O diodo	18
2.4.3 LED	25
2.4.4 Lâmpadas LED	32
2.5 Fotometria.....	34
2.6 Programa Brasileiro de Etiquetagem	42

1. Introdução

Neste material didático, destinado aos estudantes de ensino médio, apresentamos uma sequência didática investigativa na qual o LED é introduzido durante o curso regular das aulas de eletrodinâmica. Além disso, conceitos fotométricos são apresentados para que os estudantes possam comparar, de forma experimental, a eficiência de diferentes tipos de lâmpadas.

2. Material do Aluno

2.1 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 1 - 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 2 - 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 3: 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.

2.2 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 4 a 8 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 4 : elemento 1



Figura 5 : elemento 2



Figura 6 : elemento 3



Figura 7 : elemento 4



Figura 8 : elemento 5

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

2.3 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 9 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 9 - 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?

2.4 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 10.

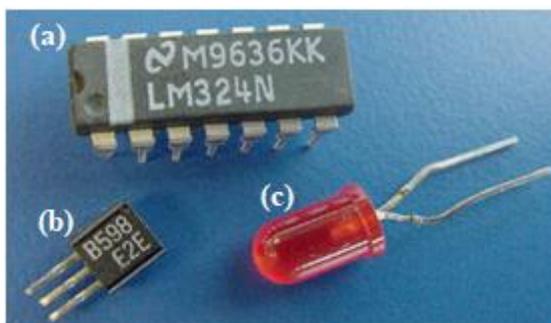


Figura 10 - Dispositivos semicondutores. (a) circuito integrado, (b) transistor, (c) LED.
Fonte: Super Bright LEDs (2018).

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

Atividade 5:

A tabela 1 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 1 - 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 11.

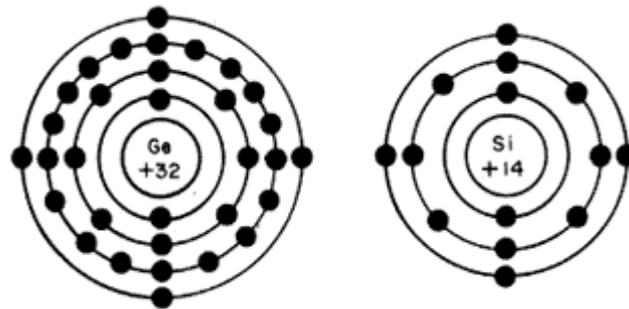


Figura 11 - Distribuição dos elétrons no átomo de germânio e silício
Fonte: Alchemist engenharia (2006)

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 12 traz uma representação bidimensional da estrutura cristalina do silício.

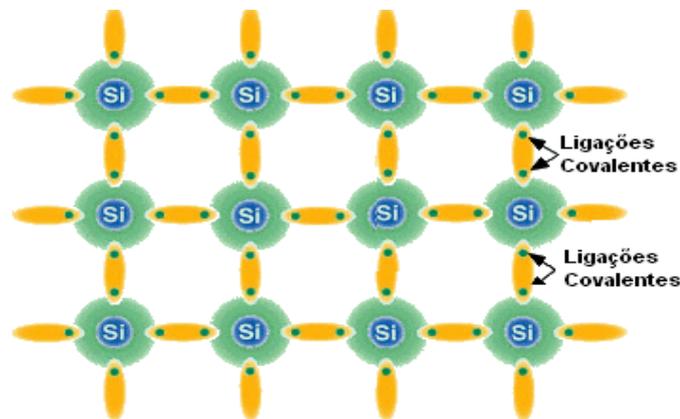


Figura 12 - Estrutura cristalina do silício.
Fonte: Eletrônica PT (2018).

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 13: quando os elétrons se movem, nos seus lugares, ficam buracos.

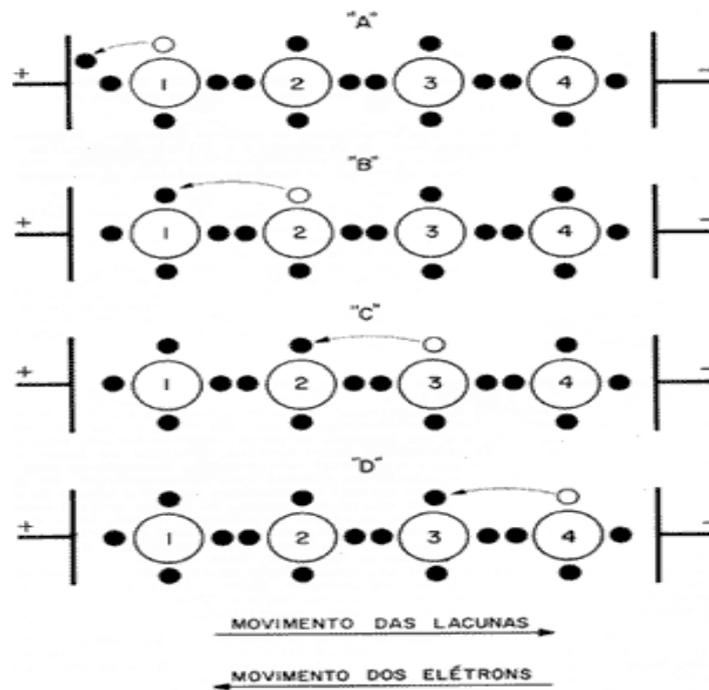


Figura 13 - Movimento de lacunas e elétrons em materiais semicondutores.
Fonte: Alchemist Engenharia (2006).

2.4.1 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 14.

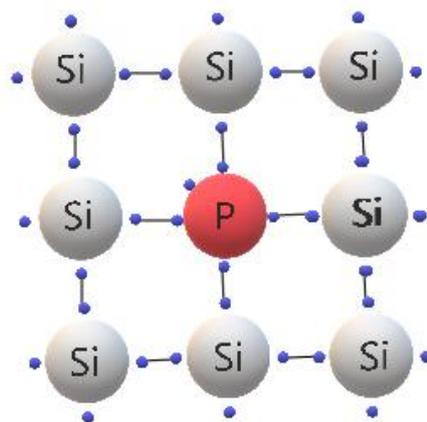


Figura 14 - Átomo de fósforo na estrutura cristalina de silício.

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 15:

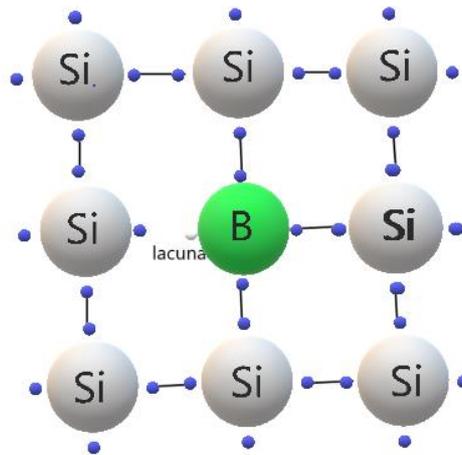


Figura 15 - Átomo de boro na estrutura cristalina do silício.

Fonte: Autoria própria.

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

2.4.1.1 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 16: 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.

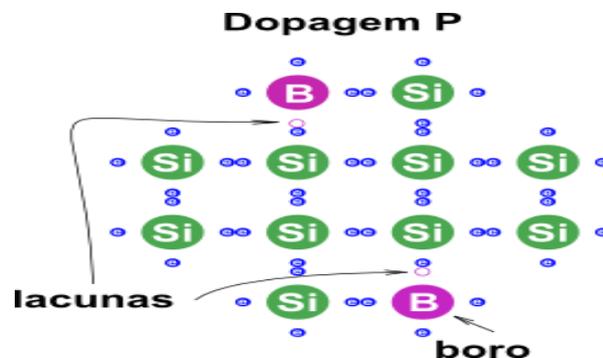


Figura 16 - Dopagem tipo P.
Fonte: Elétron Pi (2017).

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 17: 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.

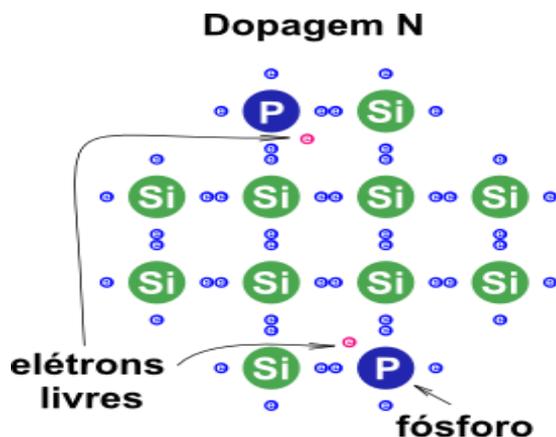


Figura 17 - Dopagem do tipo N.
Fonte: Elétron Pi (2017).

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 $2,5 \times 10^3 \Omega \cdot m$, o silício tipo N possui resistividade $8,7 \times 10^{-4} \Omega \cdot m$ (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 $10^{-8} \Omega \cdot m$), o mesmo não acontece com o silício dopado, que passa a ser considerado também um bom condutor de eletricidade. A tabela 2 ilustra como a resistividade da estrutura cristalina do silício muda significativamente quando impurezas são introduzidas.

Tabela 2 - Resistividade do silício puro e dopado.

Material	Resistividade (Ohm. m) a 20 °C
Silício puro	$2,5 \cdot 10^3$
Silício tipo N ¹	$8,7 \cdot 10^{-4}$
Silício tipo P ²	$2,8 \cdot 10^{-3}$

Fonte: Autoria própria³.

2.4.2 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 18.



Figura 18 - Diodos de silício

Fonte: Baú da Eletrônica (2018)

¹ Para a introdução de 10^{23} átomos de fósforo para cada m^3 da estrutura cristalina do silício.

² Para a introdução de 10^{23} átomos de alumínio para cada m^3 da estrutura cristalina do silício.

³ 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.

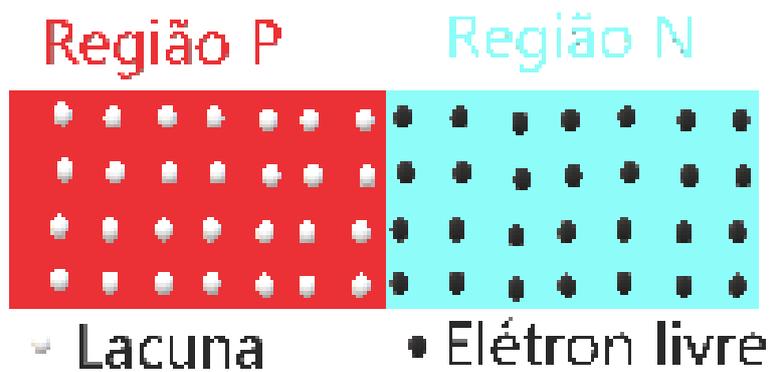
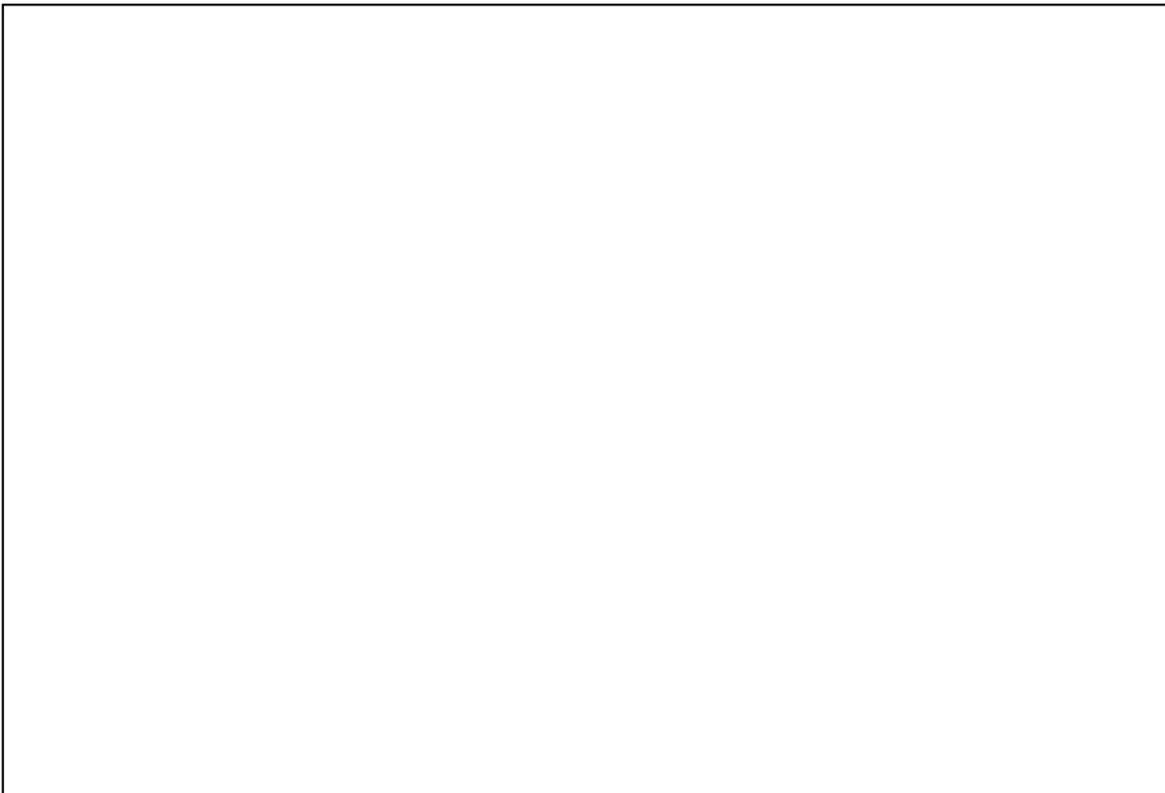


Figura 19 - Contato inicial na junção PN.

Fonte: Autoria própria.



2.4.2.1 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 20 ilustra a representação de um diodo.

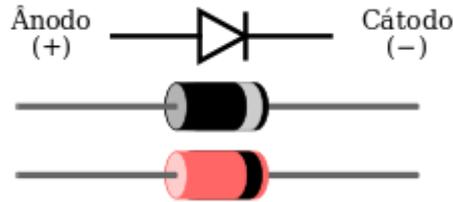


Figura 20 - Representação do diodo.
Fonte: Wikipédia (2011).

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 21.

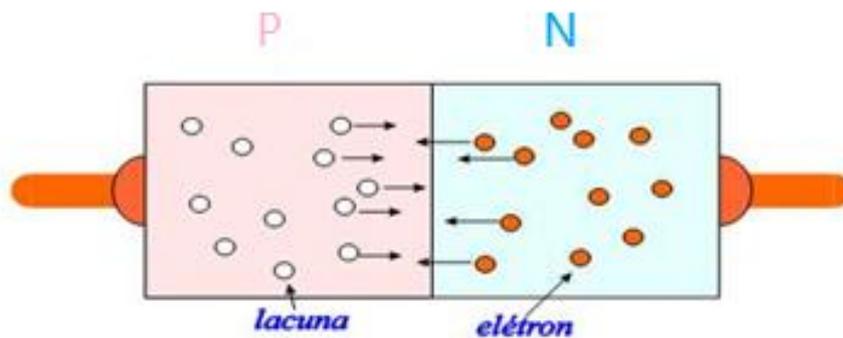


Figura 21 - Movimento de elétrons e lacunas no momento da junção PN.
Fonte: Wiki IFSC (2016).

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 22, ilustra a ionização sofrida pelo semiconductor após realizarmos a junção PN.

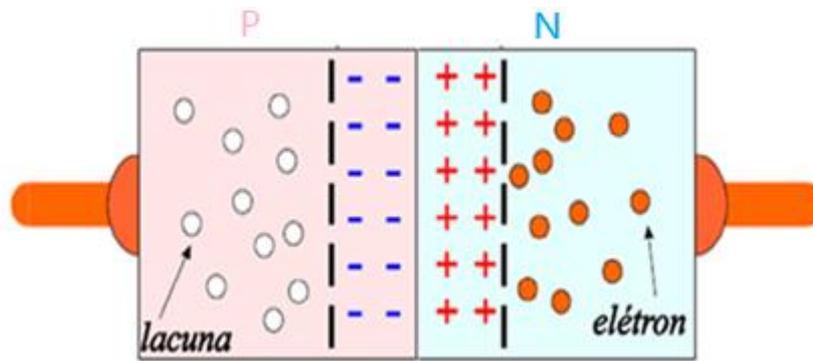


Figura 22 - Barreira de potencial no diodo.
Fonte: Wiki IFSC (2016).

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 23, 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.

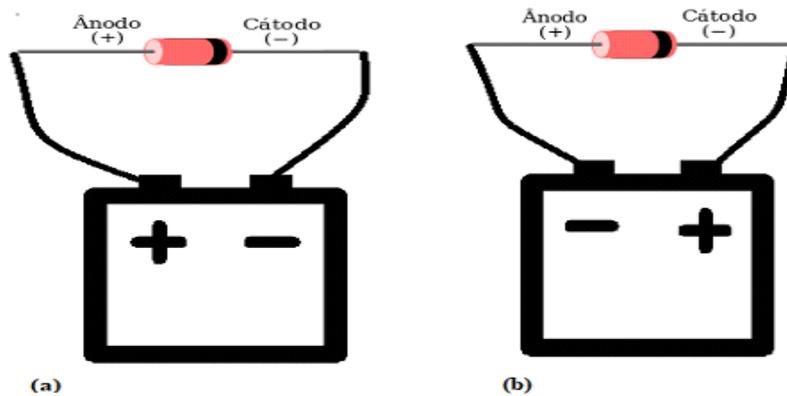


Figura 23 - Diodos polarizados de duas formas distintas.

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.

2.4.2.2 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 24, e o diodo não permitirá a passagem da corrente elétrica.

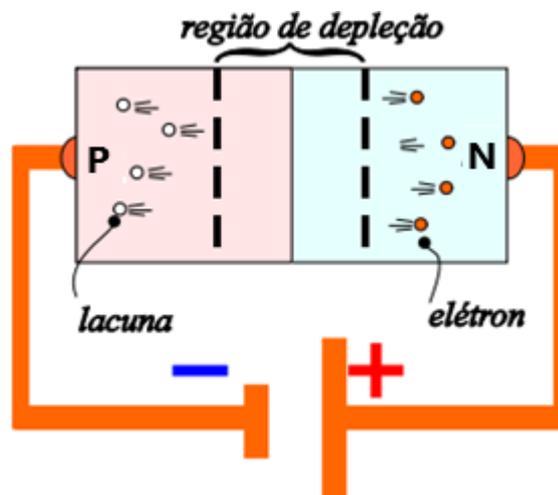


Figura 24 – Junção PN inversamente polarizada.
Fonte: Wiki IFSC (2016).

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 A.25.

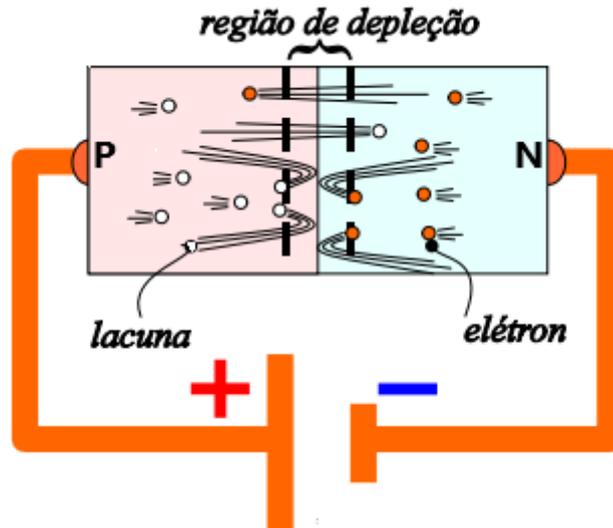


Figura 25 - Diodo diretamente polarizado com tensão elétrica inferior à voltagem da barreira de potencial.

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 A.26 ilustra este processo.

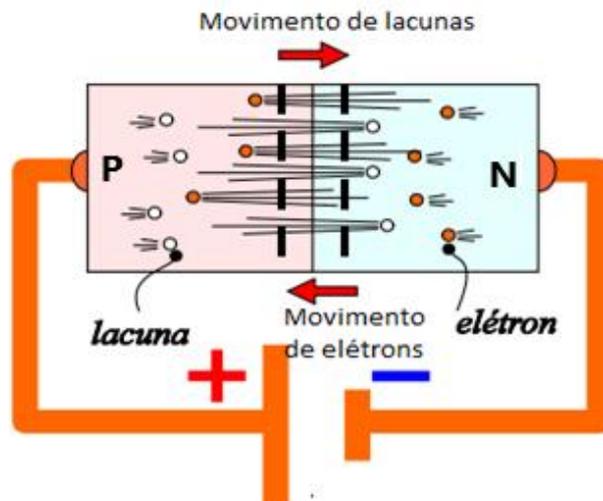


Figura 26 - Diodo diretamente polarizado com tensão elétrica superior à voltagem da barreira de potencial.

Fonte: Wiki IFSC (2016).

2.4.3 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 A.27 mostra a representação do LED.

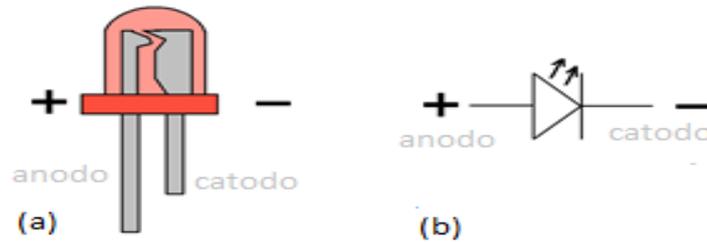


Figura 27 - (a) LED vermelho, (B) representação do LED.
Fonte: Build Electronic Circuits (2014).

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 28.



Figura 28 - 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?

2.4.3.1 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 29.

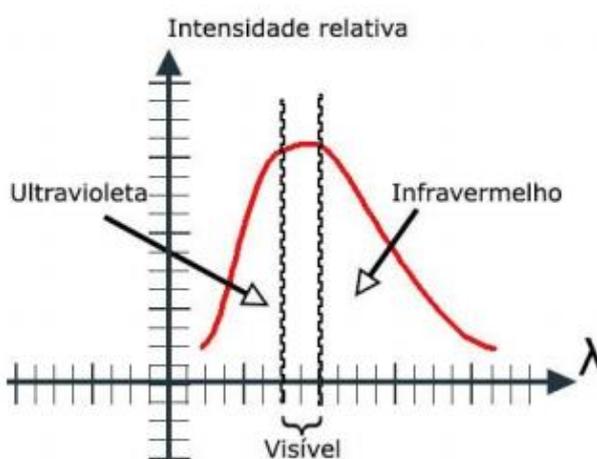


Figura 29 - Espectro emitido por uma lâmpada incandescente.
Fonte: Iar Unicamp (2018).

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 A.30 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.

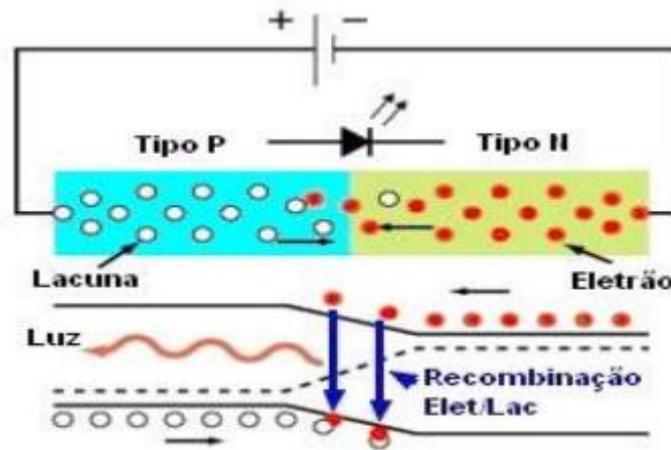


Figura 30 - Emissão de luz pela junção PN.
Fonte: Eletrônica Geral (2018).

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. A tabela A.3 ilustra alguns dos materiais semicondutores que podem compor o LED de acordo com a cor emitida.

Quadro 1 - 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 própria⁴.

⁴ 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 31.

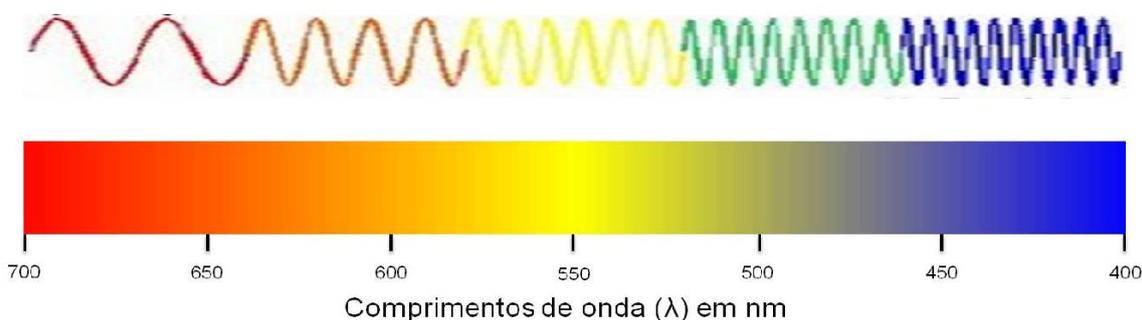


Figura 31 - Comprimento de onda para diferentes cores do espectro eletromagnético visível.

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

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 32) 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.

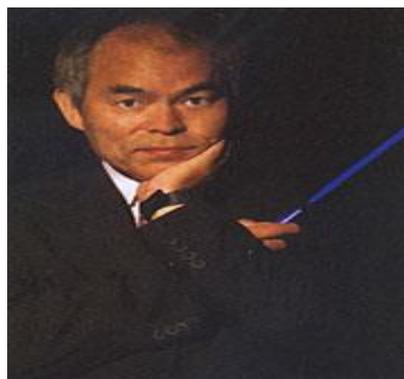


Figura 32 - Shuji Nakamura.

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 33.

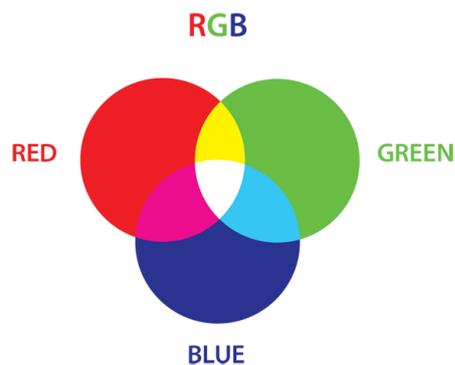


Figura 33 - Sistema RGB.
Fonte: Wikipédia (2018).

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 34.

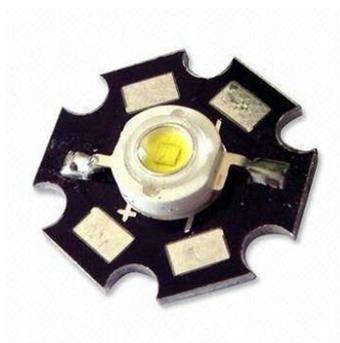


Figura 34 - LED de potência.
Fonte: Portal do LED (2018).

2.4.4 Lâmpadas LED

As lâmpadas LED são compostas por uma associação de LEDs, conforme podemos ver na figura 35.



Figura 35 - 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 LEDs⁵. A figura 36 mostra alguns componentes presentes na Lâmpada LED.



Figura 36 - Partes da lâmpada LED.

Fonte: Pro Inova (2018).

⁵ 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 37 ilustra um dissipador de calor feito de alumínio.

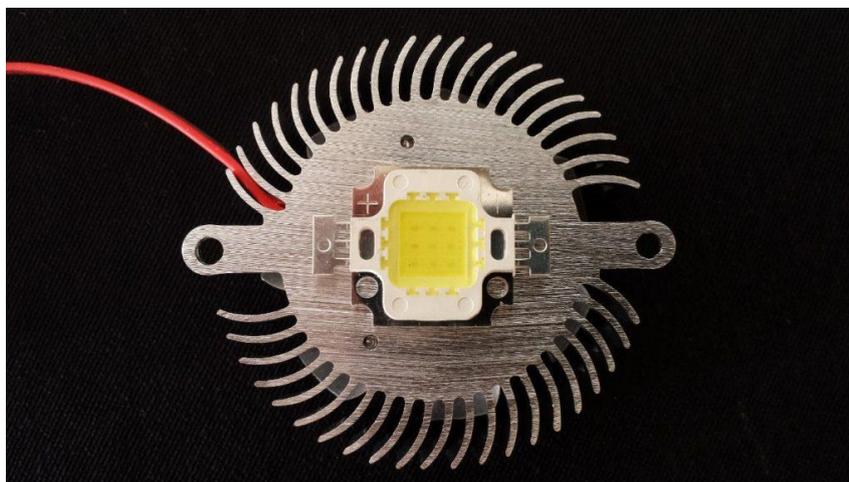


Figura 37 - Dissipador de calor da lâmpada LED.

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*⁶ (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.

2.5 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 38 que representa a propagação de luz de uma fonte pontual S num meio transparente, homogêneo e isotrópico.

⁶ 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.

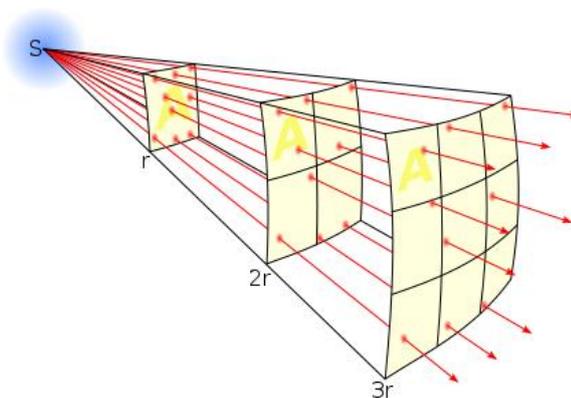


Figura 38 – Representação da propagação da luz de uma fonte pontual.
Fonte: Wikimedia Commons (2008).

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 39:

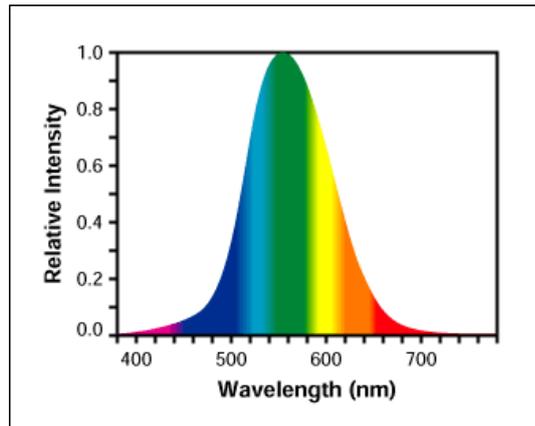


Figura 39 - Curva de sensibilidade do olho humano aos diferentes comprimentos de onda.
Fonte: Energy Labs (2018).

Olhando para a figura 39, 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 40.



Figura 40 - 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 41 o espectro eletromagnético emitido por uma lâmpada incandescente e uma LED.

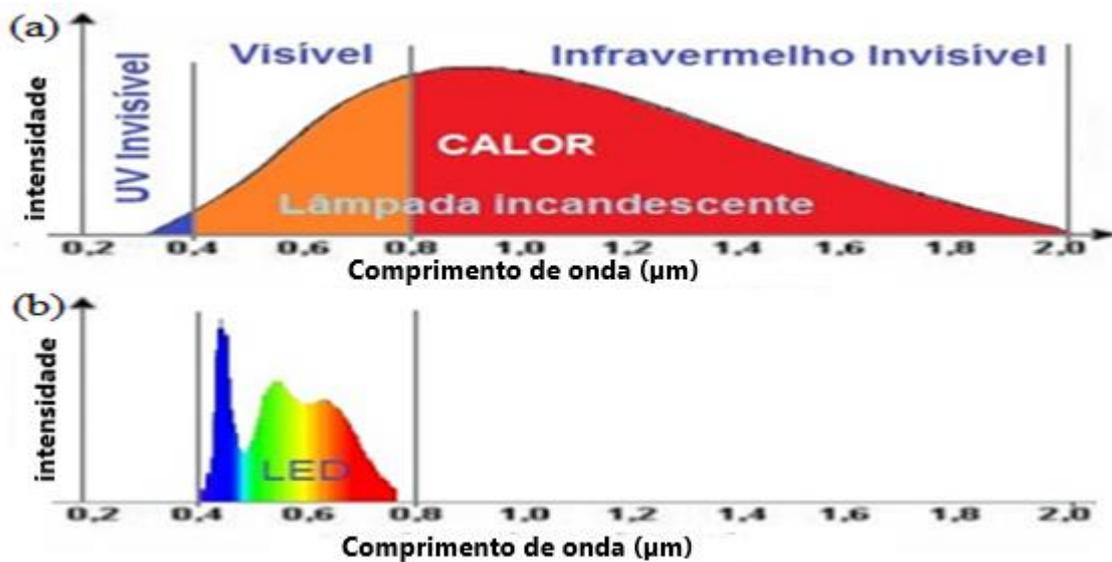


Figura 41 - Espectro eletromagnético emitido por dois diferentes tipos de lâmpadas. Em (a) incandescente; (b) LED.

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 42 apresentamos uma representação do fluxo luminoso de uma lâmpada.



Figura 42 - 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 43. 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 43: 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 44.

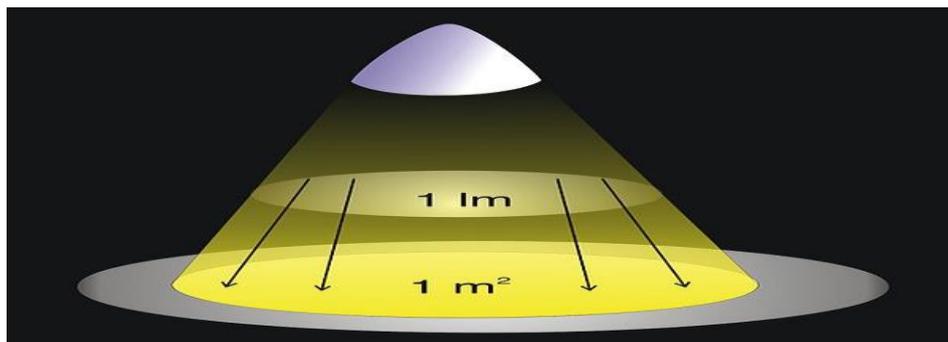


Figura 44: Distribuição do fluxo luminoso de um lúmen numa área de 1m^2 .
Fonte: Wikimedia Commons (2008).

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 45: 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 46, 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 46 – 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.

2.6 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 47.



Figura 47 - 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.