

ESTIMATIVAS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E DE LUMINOSIDADE DE LEDsAUTO-BRILHO

Felipe Sabbi Flores^a, Giovani Zanella^a, Norberto Luiz Meneghel Junior^a, Andréa Ucker Timm^a,
Vinícius Cappellano de Franco^{b*}

a) Centro Universitário da Serra Gaúcha – FSG

b) Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos

Informações de Submissão

* Autor correspondente (Orientador)
Vinícius Cappellano de Franco, endereço:
Universidade do Vale do Rio dos Sinos –
Avenida Unisinos, 950 – São Leopoldo – RS -
CEP: 93022-750

Palavras-chave:

LED. Luminosidade. Consumo de energia
elétrica.

Resumo

Neste artigo será apresentado uma grande evolução da indústria de eletroeletrônicos, os diodos emissores de luz, mais conhecidos como LEDs (light-emitting diode). Será explicado o que acontece no interior de um diodo para que o mesmo possa emitir luz e, quais as características destes diodos emissores de luz que os fazem ser cada vez mais utilizados em aparelhos eletroeletrônicos, como por exemplo: televisores, luminárias, entre outros.

1 INTRODUÇÃO

A base dos dispositivos eletrônicos são os materiais semicondutores. As características destes materiais são modificadas pela adição de átomos específicos de impureza ao material semicondutor relativamente puro, processo esse chamado de dopagem. Todo e qualquer material semicondutor submetido a este processo é chamado de material extrínseco (ELETRONPI, 2015).

Um material semicondutor é composto por dois materiais extrínsecos, um material do tipo *n* e outro do tipo *p*. Nas junções *p-n* semicondutoras, parte da energia é liberada na forma de calor e outra parte na forma de luz. Este é o princípio básico utilizado nos diodos emissores de luz (LED). Atualmente o LED vem sendo utilizado em diversos aparelhos eletrônicos, pois além de apresentar diversas opções de cores, ele ainda oferece importantes características, como por exemplo, o baixo consumo de energia (PORTNOI, 2015).

Neste artigo será apresentado uma grande evolução da indústria de eletroeletrônicos, os diodos emissores de luz, mais conhecidos como LEDs (*Light-EmittingDiode*). Será explicado o que acontece no interior de um diodo para que o mesmo possa emitir luz e, quais as características destes diodos emissores de luz que o fazem cada vez mais utilizados em aparelhos eletroeletrônicos, como por exemplo: televisores, luminárias, entre outros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Semicondutores

A maioria dos semicondutores encontrados no mercado são construídos quimicamente em laboratório. Isto é feito utilizando como base um material que possua uma estrutura conhecida e que seja abundante na natureza. A partir de uma técnica conhecida como dopagem, o material é transformado em material semicondutor para aplicações específicas. Esse material utilizado como base poderá ser germânio (Ge) ou silício (Si). Atualmente, o material mais usado para formar a base do material semicondutor é o silício, especialmente por ser abundante na natureza, pois é retirado da areia (PORTNOI, 2015; NEGRI, 2015).

Tanto o germânio quanto o silício possuem quatro elétrons livres em sua camada de valência, permitindo assim com que os átomos se liguem uns aos outros formando estruturas cristalinas, conforme Figura 1. Com isso, conseguem formar até quatro ligações do tipo covalente, ou seja, o átomo precisará se unir a mais quatro elétrons para ficar em equilíbrio (ELETRONPI, 2015; APOSTILA, 2015).

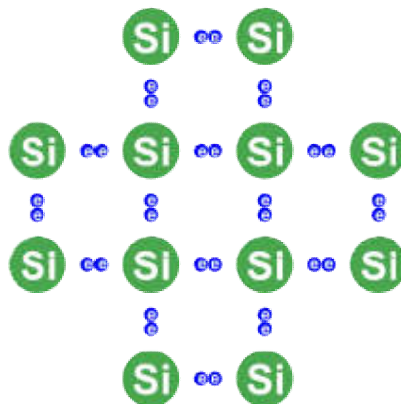


Figura 1: Estrutura cristalina do silício. Fonte:ELETRONPI(2015).

Através de um processo denominado dopagem, átomos da estrutura cristalina do silício são trocados por átomos de algum elemento químico que tenha cinco elétrons na camada de valência (fósforo, antimônio, arsênio) e haverá um elétron sobrando para cada átomo de impureza inserida, conforme Figura 2. Estes elétrons sobrando são denominados impurezas doadoras e o material químico formado é chamado material tipo *N* (ELETRONPI, 2015; BOYLESTAD e NASHELSKI, 2013).

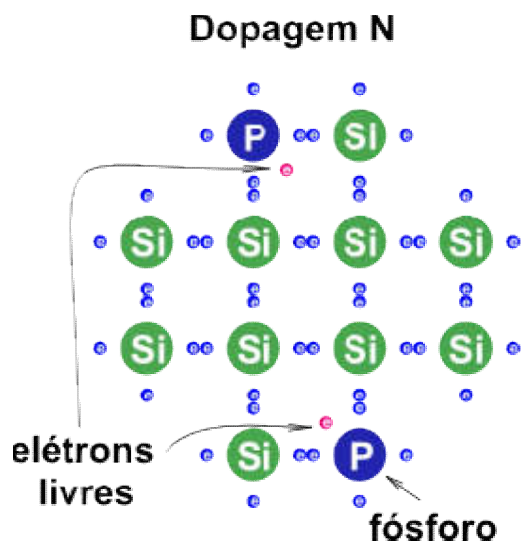


Figura 2: Estrutura cristalina do silício com impurezas de fósforo. Fonte: ELETRONPI(2015).

Também através do processo de dopagem, átomos de silício, de outra estrutura cristalina, são trocados por átomos de algum elemento químico que tenha três elétrons na camada de valência (boro, índio, gálio) e haverá um elétron faltando para cada impureza inserida, ilustração na Figura 3. Estes átomos faltando também são denominados como impurezas aceitadoras e o material químico formado neste processo é chamado material tipo *P* (ELETRONPI, 2015; BOYLESTAD e NASHELSKI, 2013).

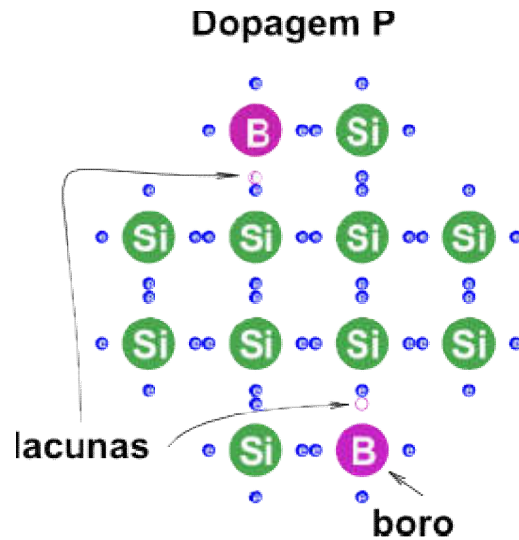


Figura 3: Estrutura cristalina do silício com impurezas do boro. Fonte: ELETRONPI (2015).

2.2 Diodo emissor de luz (LED)

O diodo é um componente semiconductor constituído por uma junção $p-n$, que como visto anteriormente, no semiconductor tipo p existe buracos (falta de elétrons – cargas positivas), já no semiconductor tipo n existem impurezas com excesso de elétrons, por isso são denominados como semicondutores tipo p e tipo n devido à convenção dos sinais das cargas elétricas positivas e negativas, respectivamente (CAPUANO e MARINO, 2007; APOSTILA, 2015).

Na junção ocorre uma difusão de buracos do semiconductor tipo p para o tipo n e uma difusão de elétrons do semiconductor tipo n para o tipo p , conforme Figura 4 (MALVINO, 2007; CAPUANO e MARINO, 2007).

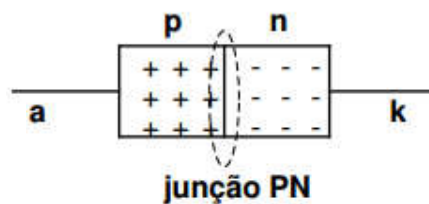


Figura 4: Representação das camadas P e N do diodo, terminais Anodo e Catodo. Fonte: MALVINO(2007).

De acordo com a Figura 4 pode-se perceber dois terminais, onde a (Anodo) é ligado ao material tipo p e k (Catodo) é ligado ao material tipo n . Diante desta observação fica claro que o diodo é um dispositivo de dois terminais, que pode ser polarizado de duas maneiras:

- Polarização Reversa – Aplicação de tensão negativa anodo-catodo, ou seja, o diodo não conduz corrente, se comporta como um circuito aberto (BOYLESTAD e NASHELSKI, 2013; MALVINO, 2007).
- Polarização Direta – Aplicação de uma tensão positiva anodo-catodo, ou seja, o diodo entra em condução. Desta forma, a corrente fluirá de anodo para catodo (BOYLESTAD e NASHELSKI, 2013; MALVINO, 2007).

Existe uma grande variedade de diodos, cada um desenvolvido para um tipo específico de aplicação. Porém, um destes diodos vem ganhando certo destaque no cenário mundial. Trata-se do diodo emissor de luz (LED), que tem seu funcionamento similar aos outros diodos, porém com um diferencial: quando ligado em polarização direta, ele conduz corrente e emite luz (APOSTILA, 2015). Para que este LED entre em funcionamento é necessário aplicar a ele uma tensão superior a 0,6V, essa tensão é denominada “tensão de joelho”. É a partir desta tensão que o diodo começa a conduzir corrente, sendo assim quando o diodo estiver em funcionamento, ligado em série, ele apresentará uma queda de tensão de 0,6V neste circuito (HOLLMANN, 2011).

2.3 Produção de Luz em LEDs

A palavra LED é a sigla de *Light Emitting Diode* (diodo emissor de luz). Esses elementos são capazes de produzir luz a partir da movimentação de elétrons, uma corrente, aplicada em um material semicondutor. A conversão de eletricidade diretamente em luz é chamada de *eletroluminescência* (HOLLMANN, 2011).

Nos átomos os elétrons estão dispostos em órbitas, sendo que os elétrons da última camada, ou seja, mais distantes do núcleo são os que possuem maior energia, por consequência os que estão mais próximos do núcleo possuem menos energia. Para que um elétron mude para uma órbita de maior ou de menor energia é necessário fornecer a ele uma energia. Essa energia é liberada na forma de fótons. Os fótons de maior energia são aqueles no qual existe uma grande diferença de energia entre as órbitas, que por consequência gerará um fóton de maior frequência, pois a luz comporta-se com uma onda (NOVOA e TOMIOKA, 2017).

Nos LEDs esse fenômeno ocorre com a combinação das lacunas e elétrons livre, onde os elétrons sofrem uma “queda” para uma órbita abaixo da banda de valência. A energia neste processo é liberada na forma de fótons (Figura 5). A intensidade da luz gerada neste processo é diretamente proporcional à quantidade de fótons liberados (TOFFOLI, 2015; CAVALHEIRO, 2015).

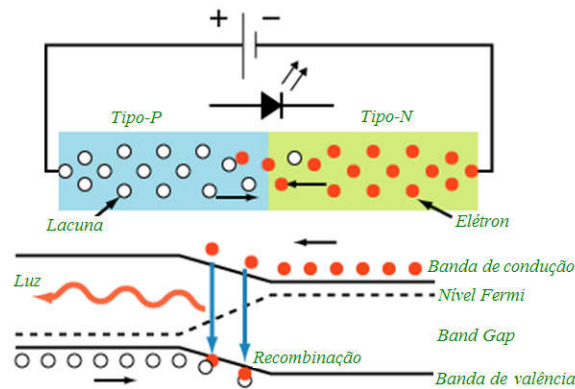


Figura 5: Esquemática da geração de um fóton. Fonte:NOVOA e TOMIOKA(2017).

Na produção do LED o valor de energia liberado nas “quedas” de elétrons irá determinar se a luz emitida pelo diodo será visível ou não. Caso a “queda” produza um valor energético baixo, por consequência, os fótons liberados apresentarão uma frequência baixa, operando na faixa infravermelho do espectro, sendo imperceptível a olho nu (NOVOA e TOMIOKA, 2017). Para que o fóton seja visível é necessário que ele apresente um comprimento de onda que fique dentro da faixa indicado na Figura 6 (INSTITUTO NEWTON, 2015).

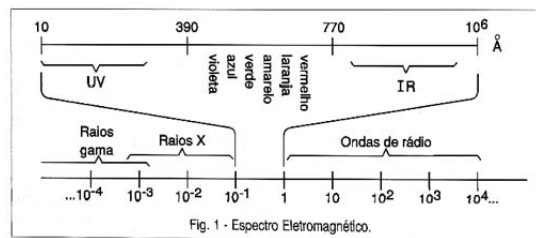


Figura 6: Faixa de comprimento de onda perceptível a olho nu. Fonte:INSTITUTO NEWTON(2015).

A variação do comprimento da onda de luz origina as diferentes cores, conforme a Figura 7.

	Cor	Comprimento de onda [nm]	Voltagem [V]	Material Semicondutor
	Infravermelho	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.9$	<i>GaAs, AlGaAs</i>
	Vermelho	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	<i>AlGaAs, GaAsP, AlGaInP, GaP</i>
	Laranja	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	<i>GaAsP, AlGaInP, GaP</i>
	Amarelo	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	<i>GaAsP, AlGaInP, GaP</i>
	Verde	$500 < \lambda < 570$	$2.18 < \Delta V < 4.0$	<i>InGaN, GaN, GaP, AlGaInP, AlGaP</i>
	Azul	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	<i>ZnSe, InGaN, SiC</i>
	Roxo	Múltiplos tipos	$2.48 < \Delta V < 3.7$	<i>LED azul com fósforo vermelho</i>
	Violeta	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta V < 4.0$	<i>InGaN</i>
	UV	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta V < 4.4$	<i>AlN, AlGaIn, AlGaInN (<210nm)</i>
	Branco	Espectro aberto	$\Delta V = 3.5$	<i>LEDs azul/UV com fósforo amarelo</i>

Figura 7: Variação do comprimento de onda e da tensão para cada cor. Fonte:NOVOA e TOMIOKA(2017).

O funcionamento do LED pode ser comprometido diante vários fatores dentre eles está dissipação de calor. A dissipação de calor é responsável por uma diminuição de 10% da saída de luz, para cada dez graus Celsius, nos LED vermelhos, para o verde essa porcentagem é de 5% e para o azul é de apenas 2% (NOVOA e TOMIOKA, 2017).

3 METODOLOGIA

Com a intenção de realizar o comparativo de energia elétrica e de luminosidade entre os LEDs amarelo, vermelho, verde e azul, foram realizados alguns testes em laboratório, conforme citado nas próximas etapas.

Para a realização dos testes foram necessários os seguintes materiais para a construção dos circuitos eletrônicos:

- Proto-board: uma placa necessária para a organização e implantação do circuito;
- Bateria 9 volts: fonte de energia para alimentação do circuito;
- Resistor: foi utilizado um resistor de 2.200Ω , necessário para limitar a tensão que alimenta o diodo emissor de luz;
- LEDs: foram utilizados os de auto-brilho nas cores amarelo, vermelho, verde e azul.

Com os circuitos eletrônicos em funcionamento foi necessário utilizar um luxímetro para medir a luminosidade de cada LED. Este aparelho realiza as leituras de medições com o auxílio de uma fotocélula acoplada a ele, conforme Figura 8. Nos testes realizados esta fotocélula ficou aproximadamente a 3cm de distância acima dos LEDs. Este aparelho trabalha com uma precisão de $\pm 5\%$ e apresenta uma resolução de 0,1 para medições na faixa de 10 ~ 200 lux e de 1 para medições ente 200 ~ 2000 lux. Além do luxímetro, utilizou-se também uma caixa preta sobre os circuitos com a intenção de diminuir ao máximo a interferência de iluminações externas nesta fotocélula.



Figura 8. Ilustração dos circuitos eletrônicos e luxímetro.

Nos experimentos utilizou-se o multímetro a fim de obter os valores de corrente e tensão que atuavam sobre os diodos emissores de luz. Com estes valores em mãos, as seguintes equações foram necessárias para o cálculo estimado da potência e do consumo de energia elétrica dos LEDs(CAPUANO e MARINO, 2007):

$$P = V.I \quad (01)$$

Onde:

P = potência em Watts (W);

V = tensão em Volts (V);

I = corrente em Ampères (A).

$$E_E = P. \Delta t \quad (02)$$

Onde:

E_E = energia elétrica em quilowatt-hora (kWh) ou Joule (J);

P = potência em Watts (W) ;

Δt = variação do tempo em horas (h) ou segundos (s).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os valores de luminosidade obtidos nos experimentos realizados, são cinco medidas para cada cor de LED e também suas respectivas médias aritméticas.

Tabela 1. Valores das medidas de luminosidade.

Cor/ LED	Amarelo	Vermelho	Verde	Azul
1ª medida(lux)	88,9 ± 4,4	138,2 ± 6,9	534 ± 26	1140 ± 57
2ª medida(lux)	89,3 ± 4,4	138,6 ± 6,9	530 ± 26	1137 ± 56
3ª medida(lux)	86,2 ± 4,3	138,6 ± 6,9	528 ± 26	1139 ± 56
4ª medida(lux)	85,4 ± 4,2	138,4 ± 6,9	527 ± 26	1142 ± 57
5ª medida(lux)	85,2 ± 4,2	138,0 ± 6,9	527 ± 26	1140 ± 57
Média(lux)	87,0 ± 4,3	138,3 ± 6,9	529 ± 26	1139 ± 56

A Tabela 2 exhibe as medidas de tensão e corrente elétrica, além de demonstrar os valores de potência e o consumo de energia elétrica, calculados através das equações. Os LEDs ficaram ligados pelo período de uma hora.

Tabela 2. Resultados de medidas obtidas.

	Tensão no LED (V)	Corrente no LED (mA)	Potência do LED (mW)	Consumo de energia do LED(J)	Consumo de energia do LED(kWh)
Amarelo	1,89	4,00	7,56	27,22	$7,56 \times 10^{-6}$
Vermelho	1,86	3,85	7,16	25,78	$7,16 \times 10^{-6}$
Verde	2,76	3,15	8,69	31,28	$8,69 \times 10^{-6}$
Azul	2,80	3,38	9,46	34,06	$9,46 \times 10^{-6}$

Para a elaboração da Tabela 3 foram utilizados os valores de consumo em Joule (J) e luminosidade (lux), apresentados anteriormente. Realizando assim um comparativo entre o consumo de energia e luminosidade entre as diferentes cores de LEDs.

Tabela 3. Comparativo luminosidade/consumo de energia elétrica.

LEDs	Consumo(J)	Luminosidade(lux)
Amarelo	27,22	$87,0 \pm 4,3$
Vermelho	25,78	$138,3 \pm 6,9$
Verde	31,28	529 ± 26
Azul	34,06	1139 ± 56

Através dos resultados obtidos, tem-se a conclusão nos gráficos apresentados abaixo. No gráfico (a), pode-se perceber nitidamente que o LED de cor azul é o que mais consome energia, quando em funcionamento durante 1 h, e também o que emite maior luminosidade quando comparado com os demais LEDs analisados. Porém, uma segunda análise, complementar à primeira, faz-se necessária. Esta, ilustrada no gráfico (b), indica que, apesar do LED de cor azul ser o que mais consome energia e o que emite maior intensidade luminosa, apresenta o menor valor para a relação energia consumida / luminosidade emitida quando comparada com os valores obtidos para os LEDs de cor amarela, vermelha e verde. Este resultado indica claramente que os LEDs

amarelos, vermelhos e verdes tendem a consumir mais energia gerando menos luminosidade, enquanto que os LEDs de cor azul, tendem, de fato, a consumir mais energia, mas produzindo uma luminosidade também maior, gerando, assim, uma otimização na relação consumo de energia/luminosidade.

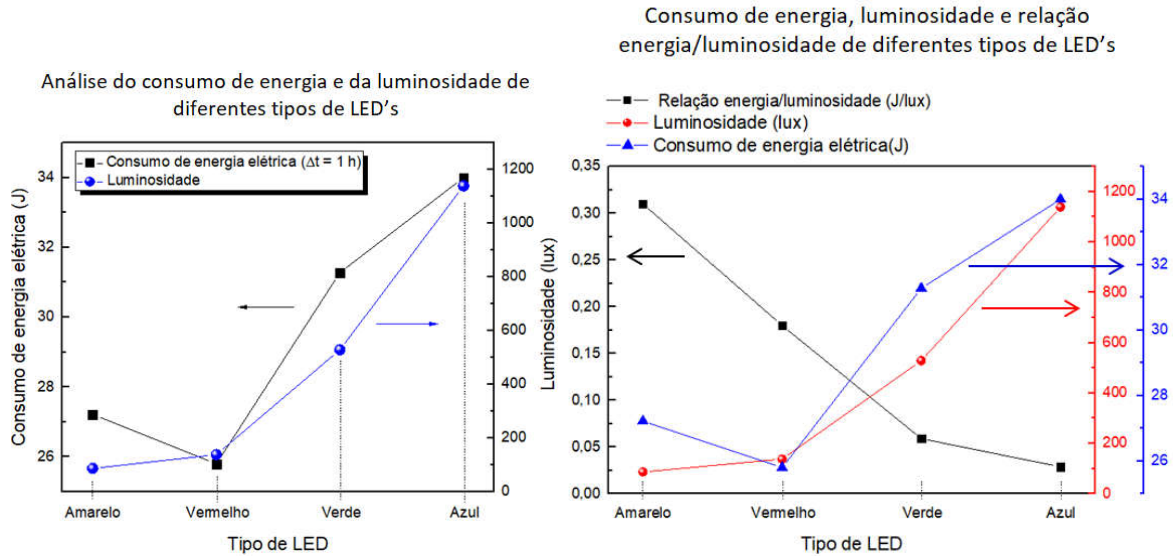


Figura 9: (a) Análise do consumo de energia e da luminosidade de diferentes tipos de LED's e (b) Consumo de energia, luminosidade e relação energia/luminosidade de diferentes tipos de LED's. Fonte: Autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo realizou-se uma breve apresentação sobre os semicondutores, os seus processos de dopagem e também sua importância para o funcionamento dos diodos emissores de luz, LEDs. Produzido com o intuito de apresentar um comparativo teórico/prático entre as cores de LED auto-brilho amarelo, vermelho, verde e azul. Neste trabalho percebe-se que além dos altos níveis de luminosidade, os diodos emissores de luz ainda possuem um baixo consumo de energia elétrica, o que explica o porquê de seu grande destaque no cenário mundial. Com estas características este material passa a ser uma ótima opção para a indústria eletroeletrônica.

6 REFERÊNCIAS

ELETRONPI. **O Semicondutor**. Disponível em: <http://www.eletronpi.com.br/curso_eletronica_basica_024_semicondutor.aspx>. Acesso em 09 maio 2015.

PORTNOI, M. **Memórias semicondutoras: tipo, aplicação e tecnologias.** Disponível em: <<http://www.eecis.udel.edu/~portnoi/academic/academic-files/memorias.html>> . Acesso em 09 maio 2015.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKI, L. **Dispositivos eletrônicos.** 11. ed. São Paulo: Pearson Education, 2013.

MALVINO, A. B., D. j. **Eletrônica.** 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2007.

NEGRI, L. **Semicondutores.** Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/semicondutores/>>. Acesso em 09 maio 2015.

CAPUANO, F. G.; MARINO, M. A. M. **Laboratório de eletricidade e eletrônica.** 24. ed. São Paulo: Érica, 2007.

EBAH. **Fundamentos da eletrônica Diodos.** Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/abaaaavmeaj/fundamentos-eletronica-diodos?part=2>>. Acesso em 09 maio 2015.

APOSTILA PARA A DISCIPLINA ELETRÔNICA GERAL. Disponível em: <http://www.corradi.junior.nom.br/eletronica_geral.pdf>. Acesso em 09 maio 2015.

TOFFOLI, L. **Efeito Foto elétrico.** Disponível em: <[HTTP://WWW.INFOESCOLA.COM/FISICA/EFEITO-FOTOELETRICO/](http://WWW.INFOESCOLA.COM/FISICA/EFEITO-FOTOELETRICO/)>. Acesso em 23 maio 2015.

CAVALHEIRO, C. A. **Fóton.** Disponível em: <[HTTP://WWW.INFOESCOLA.COM/FISICA/FOTON/](http://WWW.INFOESCOLA.COM/FISICA/FOTON/)>. Acesso em 23 maio 2015.

MARTELETO, D. C. **Avaliação do diodo emissor de luz (LED) para iluminação de interiores.** 2011 Projeto de graduação Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. **A cor dos LEDs.** Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/1000-a-cor-dos-leds-art142>>. Acesso em 23 maio 2015.

INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA. **Fonte Luminosa e Fotodetectores.** Disponível em: <http://tele.sj.ifsc.edu.br/~saul/sistemas%20opticos/SIO_8_fotodetectores%20e%20fotoreceptores-2014.pdf> Acesso em 23 maio 2015.

HOLLMANN, G. *et. al.* **Introdução à eletrônica: conceitos e aplicações.** Lajeado: Univates, 2001.

NOVOA, L. M. de; TOMIOKA, J. **Estudo da estrutura do White Light Emitting Diode – White LED.** Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC, São Paulo.

SILVA, M. F. F.da. **Esclarecendo o significado de “cor” em física.** Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num1/v08n01a06.pdf>>. Acesso em 23 maio 2015.