

PRÁTICA III

Dipolos ôhmicos e não ôhmicos

1 Objetivos

- Contextualizar e aplicar a Lei de Ohm.
- Caracterizar e determinar o comportamento entre I e V para dipolos ôhmicos e não ôhmicos a partir da medição da tensão e corrente em um circuito em série diodo-resistor.
- Familiarizar-se com o diodo emissor de luz (LED).

2 Fundamentação Teórica

Nessa seção são apresentados os conceitos e definições fundamentais a respeito dos dispositivos que obedecem a lei de Ohm, isto é, possuem um comportamento linear para a relação $I \times V$ e os que possuem um comportamento não linear, chamados de não ôhmicos.

2.1 Dispositivos ôhmicos e não ôhmicos

A primeira lei de Ohm diz que a resistência de um material é:

$$R = \frac{V}{I}$$

logo;

$$V = RI \quad (1)$$

Em que V é a d.d.p (diferença de potencial), R a resistência do condutor e I a corrente [1,2].

Quando um dispositivo possui sua resistência a corrente constante ($R = cte$), esse obedece exatamente a Equação 1 e diz-se que é um condutor ôhmico.

Quando a resistência de um dispositivo não é constante diz-se que o condutor é não ôhmico, ou não linear, Figura 1.

Dispositivos que serão utilizados na realização do experimento são chamados de Dipolos. Mas o que vem a ser um dipolo?

Qualquer elemento de um circuito elétrico que possui dois terminais, um positivo e um negativo, no qual existe uma diferença de potencial, é chamado de dipolo (ou bipolo). A Figura 2 ilustra um elemento dipolar.

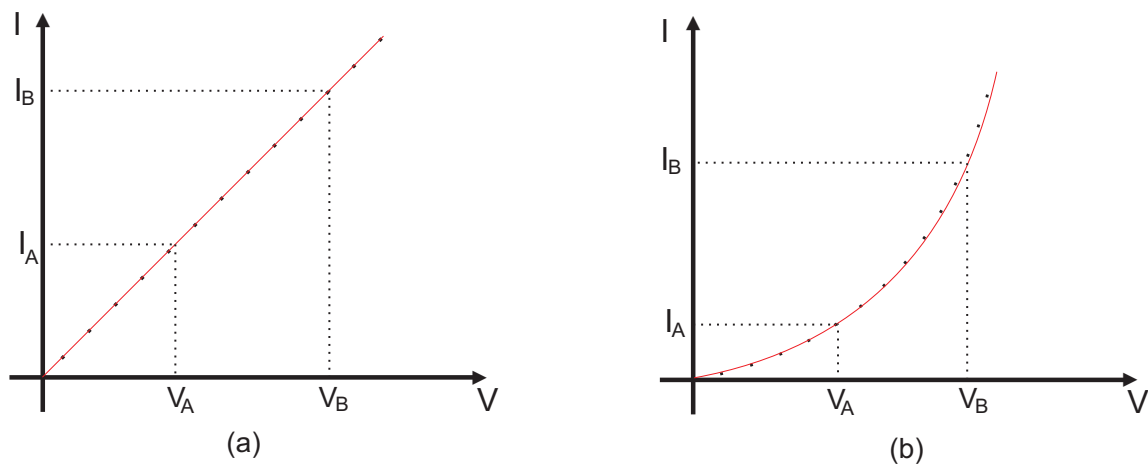


Figura 1: (a) Comportamento entre a corrente e a d.d.p para um dispositivo com resistência constante e (b) resistência variável indicando um comportamento não ôhmico.

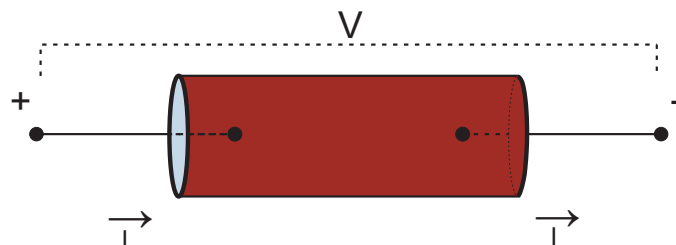


Figura 2: Representação pictórica para um dispositivo bipolar encontrando em circuitos eletrônicos.

Exemplos de dispositivos com o reapresentado na imagem anterior são: Os Resistores e os Diodos semicondutores.

2.2 Resistor

Um resistor, muitas vezes chamado de resistência, é um dispositivo encontrado em circuitos elétricos que oferecem resistência a corrente elétrica.

A finalidade de um resistor pode ser simplesmente converter energia dos portadores de carga em energia térmica através do efeito Joule ou servir como um limitador de corrente [1,2].

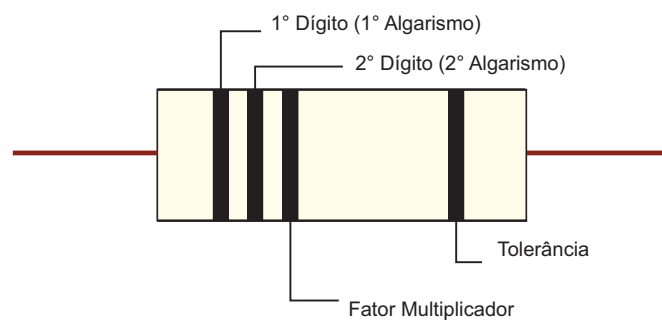


Figura 3: Esquema de um resistor. Representação para as faixas indicadoras para a determinação da resistência do dispositivo.

Para se determinar a resistência nominal de um resistor, observa-se as faixas indicadoras (coloridas) no dispositivo e a partir dos valores tabelados (ver Tabela 1) determina-se sua resistência.

Tabela 1: Cores das faixas indicadoras. Valores para o primeiro e segundo dígitos. Valor para o multiplicados e a tolerância permitida.

Cores	Nomes	1° Anel 1° Dígito	2° Anel 2° Dígito	3° Anel Multiplicador	4° Anel Tolerância
	Prata	-	-	0,01	±10%
	Ouro	-	-	0,1	±5%
	Preto	0	0	1	-
	Marrom	1	1	10^1	±1%
	Vermelho	2	2	10^2	±2%
	Laranja	3	3	10^3	-
	Amarelo	4	4	10^4	-
	Verde	5	5	10^5	-
	Azul	6	6	10^6	-
	Violeta	7	7	10^7	-
	Cinza	8	8	10^8	-
	Branco	9	9	10^9	-
-	Incolor	-	-	-	±20%

A faixa incolor representa na realidade a ausência de cor e possui uma tolerância muito alta.

Resistores podem ainda conter cinco faixas, no qual as três primeiras indicariam os três algarismos significativos, implicando em uma maior precisão.

Para entender como determinar a resistência nominal de um dispositivo resistor considere por exemplo que o resistor apresente as seguintes especificações:

- 1° faixa de cor preta
- 2° faixa na cor marrom
- A terceira na cor vermelha
- A quarta na cor ouro

Desse modo, a resistência será $R = (1 \times 10^2 \pm 5\%) \Omega$, ou seja, 100 ohms mais ±5% de tolerância.

2.3 Diodo emissor de luz (LED)

Os diodos são dispositivos com dois polos, assim como os resistores. Entretanto, conduzem corrente preferencialmente em um único sentido, “bloqueando” a corrente quando no sentido oposto. Esse comportamento é chamado de retificação e pode ser utilizado para a conversão de corrente alternada em corrente contínua [3-5].

Existem ainda outras aplicações para os diodos, como por exemplo: Regular tensão (diodos zener), sintonia eletrônica em receptores de rádio e TV (varicaps), geração de rádio frequência (diodos túnel) e produção de luz (LEDs).

O dispositivo relevante para a prática experimental é o emissor de luz, consequentemente, o assunto tratado nessa seção se concentrará na abordagem dos conceitos fundamentais para a compreensão deste dispositivo.

Os LEDs são diodos semicondutores que podem ser constituídos a partir de elementos como o silício ou germânio, em que, existe um processo de dopagem (adição de impurezas) de tal maneira a aumentar a condutividade desses dispositivos.

2.3.1 Junção PN e Dopagem.

Foi dito no parágrafo anterior que a partir de determinados elementos e de um processo de adição de impurezas/dopagem, isto é, da mistura de um elemento semiconductor com outro composto, pode se construir um diodo-semiconductor.

Pode-se dividir os materiais em pelo menos três classes em relação a condutividade: Os condutores, os semicondutores e os isolantes.

Um semiconductor é um dispositivo que conduz melhor corrente que um isolante e pior que um condutor. Para entender esse processo considere a figura abaixo:

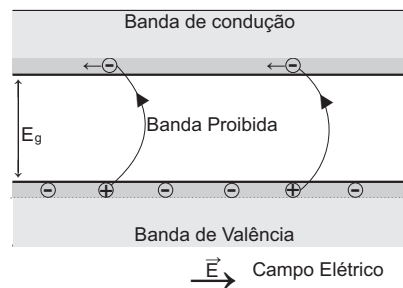


Figura 4: Movimento dos elétrons e dos buracos na banda de valência de um semiconductor.

Materiais condutores, semicondutores e isolantes irão diferir pela largura da banda proibida, representada pelo nível de energia necessária E_g para o elétron “saltar” da banda de valência para a banda de condução. Um condutor apresenta a banda de condução parcialmente preenchida o que facilita na condução, enquanto que um isolante possui um banda proibida larga e a banda de condução vazia. Os semicondutores possuem a mesma estrutura de um isolante, entretanto com uma banda proibida mais estreita [3].

Para se compreender como a adição de impurezas em um composto semiconductor irá alterar a condutividade, pode-se de maneira simplificada recorrer a seguinte análise: Quando a um composto como o germânio é adicionada impurezas, isto é, outro composto (arsênio por exemplo). Quando ocorre a adição, quatro dos cinco elétrons de valência do arsênio, que ocupa um lugar do átomo de germânio, irão formarão ligações covalentes com os átomos vizinhos, enquanto que o quinto um elétron irá ficar fracamente ligado, com um nível de energia menor e correspondente a um nível isolado no interior da banda proibida, logo abaixo da banda de condução. Esse nível é chamado de doador, Figura 5 [3,5].

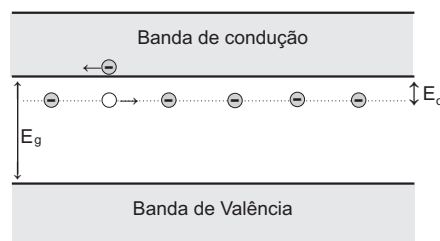


Figura 5: Semiconductor tipo n , no qual representa-se os níveis de valência, em um nível de energia dentro da banda proibida, dada pela E_d energia do doador.

Um semiconductor do tipo p teria os níveis aceitadores, equivalente aos níveis doadores como representado na Figura 6.

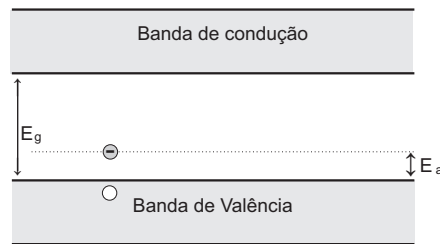


Figura 6: Semicondutor tipo p , no qual representa-se os níveis aceitadores, em um nível de energia dentro da banda proibida, dada pela E_a energia do aceitador.

A partir dos exemplos anteriores representados através das Figuras 5 e 6, foram apresentados dois tipos de semicondutores, os do tipo p do tipo n e a partir desses dois tipos de semicondutores pode-se analisar o que ocorre com uma junção do tipo $p - n$.

Em muitos dispositivos semicondutores, o princípio básico no controle da condutividade é a concentração de impurezas ser diferente de uma região a outra no semicondutor.

Um junção tipo $p-n$ pode ser construída pela deposição de um material tipo p sobre a superfície de um tipo n . A fronteira entre os dois tipos é conhecida por junção $p-n$ [3-5].

Quando se conecta um junção como essa a um circuito e provoca-se uma variação na tensão ao longo da junção a corrente que irá surgir no dispositivo terá o comportamento representado pela Figura 7.

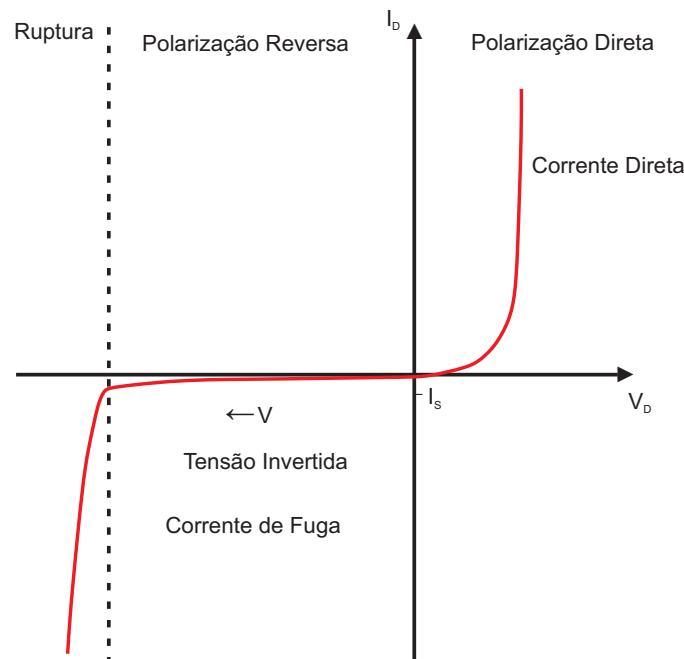


Figura 7: Representação para a corrente em função da tensão quando o diodo é polarizado direta ou de maneira reversa.

A corrente pode, para um modelo simples, ser obtida a partir da relação:

$$I = I_S \left(e^{eV/kT} - 1 \right)$$

em que k é a constante de Boltzmann, T a temperatura absoluta, I_S a corrente reversa, $V = V_p - V_n$ é a diferença de potencial na junção e e é o valor para a carga.

A junção $p - n$ é a região fronteira ao se combinar um semiconductor do tipo p com um tipo n pode ser representada como na Figura 8.

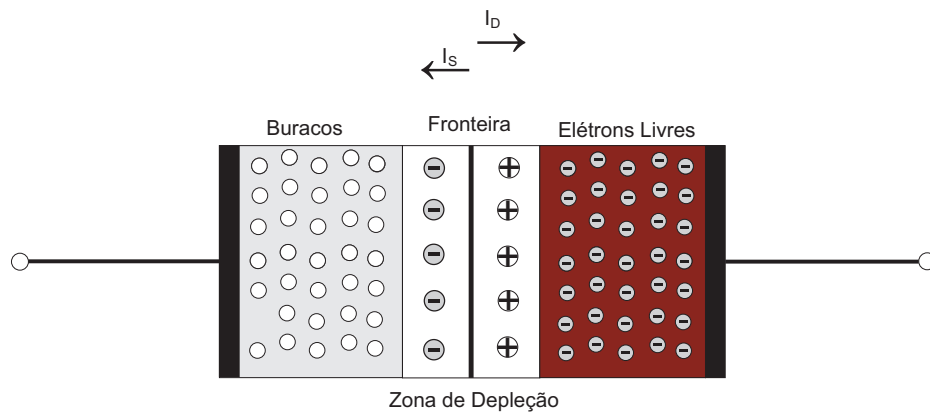


Figura 8: Junção $p - n$ com a região de fronteira denominada zona de depleção.

De maneira bem simplificada, quando um diodo é polarizado diretamente, ou seja, o terminal positivo é conectado ao ânodo (região tipo p) e o negativo ao tipo n a barreira formada pela junção diminui permitindo a passagem de corrente elétrica I_D (Figura 8). Quando polariza-se reversamente, o diodo, a corrente I_S (corrente de saturação) assumirá valores praticamente desprezíveis, como ilustra a Figura 7.

No experimento a ser realizado o diodo a ser utilizado deverá ser polarizado de maneira direta. Desse modo, vejamos agora como pode-se descrever um diodo emissor de luz.

O diodo emissor de luz, quando submetido a uma tensão direta, terá muitos dos buracos arrastados da região p para a fronteira da junção. Os elétrons na junção irão se recombinar (ocupar os buracos) implicando que nesse processo um elétron pode emitir uma energia aproximadamente igual a largura da banda proibida. O processo de emissão de energia pode ser visto pelo fóton emitido, isto é, haverá a emissão de luz [3].

A Figura 9 apresenta esquematicamente um diodo emissor de luz.

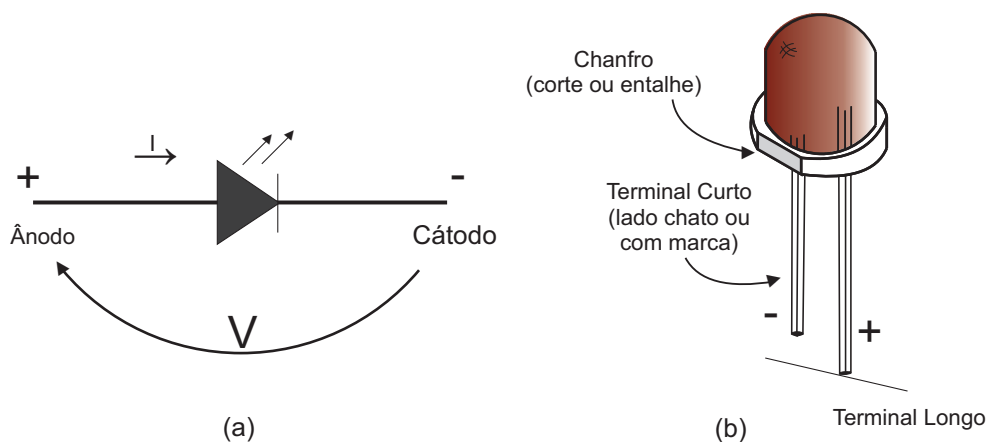


Figura 9: (a) Representação simbólica para um LED, apresentando o cátodo e o ânodo. (b) Ilustração para um LED indicando como se identifica o terminal negativo e positivo do dispositivo.

3 Procedimentos Experimentais

Para analisar o comportamento da corrente e tensão para dispositivos lineares e não lineares pode-se construir um circuito com os seguintes dispositivos:

- ✓ Um resistor regulador, ou seja, o resistor terá um papel de controle para a tensão que chega ao diodo.
- ✓ Um diodo emissor de luz.
- ✓ Dois multímetros, um como voltímetro e o segundo com amperímetro.
- ✓ Uma fonte geradora de tensão.

3.1 Procedimentos prévios

Para a realização do procedimento experimental, monte um circuito diodo-resistor em série como ilustrado na Figura 10.

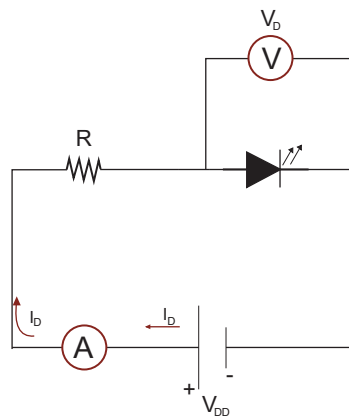


Figura 10: Esquema do circuito a ser montado para a realização experimental.

Para o circuito pode-se analisar o comportamento da corrente e tensão para ambos os dispositivos e desse modo construir as curvas referentes a cada um dos componentes de maneira sobreposta como mostra a Figura 11.

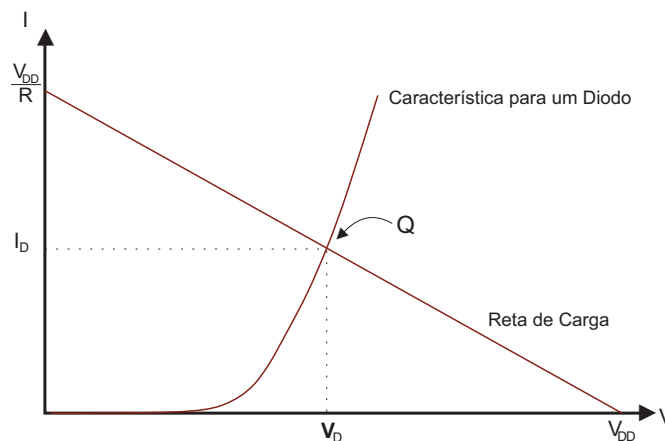


Figura 11: Gráfico para a tensão em função da corrente no qual V_D e I_D podem ser determinados pela intersecção das curvas no ponto Q denominado ponto de operação.

Para o circuito representado pela Figura 10, a lei de Kirchhoff para tensões fornece:

$$V_{DD} = RI_D + V_D \quad (2)$$

em que V_{DD} é a diferença de potencial gerada pela fonte, I_D é a corrente direta e V_D é a diferença de potencial nos terminais do LED devido a polarização direta.

Sabendo que os componentes do circuito possuem as seguintes especificações:

- ✓ LED de alto brilho azul de 5 mm: $I_{D\text{máx}} = 20 \text{ mA}$ e $1,6 \text{ V} \leq V_D \leq 3,3 \text{ V}$.
- ✓ Resistor limitador - Determinar o valor nominal da resistência usando a Tabela 1 e preencha a lacuna: $R = \text{_____ } \Omega$.

Antes de realizar as medições calcule a partir da Equação o valor máximo para V_{DD} , Equação 2, e adotando uma margem de segurança encontre o valor seguro de tal maneira a se operar o circuito sem correr o risco de danificar qualquer componente. Para isso utilize a Tabela 2.

Tabela 2: Valores para a diferença máxima e segura considerando-se a faixa de segurança.

V_{DD} Máxima	Faixa de segurança	V_{DD} Seguro
	10%	

O próximo procedimento é registrar o fundo de escala para o multímetro utilizado. Para isso, considere a tabela abaixo, a qual disponibiliza para dois aparelhos uma faixa, resolução e precisão:

Tabela 3: Faixas, resolução e precisão para dois aparelhos multímetros que estão disponíveis no laboratório.

Instrumento	Faixa	Resolução (D)	Precisão (ϵ_c)
Minipa ET 1110	200 mA	100 μA	$\pm (0.5\% + 3D)$
ICEL-MD 6110	20 V	10 mV	$\pm (1.5\% + 2D)$

Caso exista a necessidade de utilizar-se outra faixa, consulte o manual do equipamento fornecido pelo fabricante para determinar o fundo de escala.

3.2 Tomada de dados

Para a tomada de dados:

CUIDADO: NÃO ULTRAPASSE OS VALORES LIMITES PARA A V_{DD} , V_D E CORRENTE I_D .

Com os devidos cuidados realize os seguintes passos para realizar as medições:

1. Antes de ligar a fonte, gire o potenciômetro de ajuste de voltagem para esse fique na posição zero, $V_{DD} = 0$.
2. Posicione as chaves seletoras dos multímetros nas escalas fornecidas na Tabela 3.
3. Ligue a fonte.
4. Gire o potenciômetro lentamente até que o LED acenda. Para isso observe atentamente o LED até que ele comece a emitir luz.
5. Levando-se em consideração a margem de segurança realize 10 medidas em intervalos iguais para V_{DD} , I_D e V_D girando o potenciômetro do menor valor para V_{DD} até o valor máximo seguro e preenchendo a Tabela 4 com as medidas coletadas.

Tabela 4: Dados experimentais

N	V_{DD} (V)	I_D (mA) < 20 mA	V_D (V) < 3,3V
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

4 Análise de dados

1. Desprezando as incertezas das voltagens, realize uma regressão linear do tipo:

$$y = a + bx$$

para $I_D \times (V_{DD} - V_D)$.

2. Determine os valores para os parâmetros a , b , as incertezas de a , de b e o coeficiente de correlação R^2 entre $I_D \times (V_{DD} - V_D)$.
3. Realize um registro gráfico utilizando um software como SciDavis, Origin, Excel, ou qualquer outro de sua preferência, exibindo os pontos experimentais com barras de erros sobrepostos ao gráfico da regressão linear, item 1.
4. Efetue um teste de χ^2 para testar a hipótese de linearidade do ajuste com significância de 5%. Compare o valor obtido com o valor de χ crítico.
5. Novamente desprezando as incertezas das voltagens, realize também uma regressão linear do mesmo tipo que apresentado no item 1 para $I_D \times V_D$.

6. Repita para a regressão envolvendo $I_D \times V_D$ os itens 2, 3 e 4.
7. Construa um tabela apresentando os valores para a potência dissipada do LED (mW) que pode ser obtido a partir da expressão:

$$P_D = V_D I_D$$

5 Conclusão

1. Explique o motivo de se realizar as regressões lineares para $I_D \times (V_{DD} - V_D)$ e $I_D \times V_D$. A partir dos gráficos obtidos, diga quais informações podem ser extraídas da análise gráfica.
2. Com base nos cálculos e análises gráficas, pode-se dizer que o resistor é um dipolo Ôhmico? E o LED, é um dispositivo não linear? Justifique sua resposta.
3. A partir dos cálculos realizados no item 7 da seção anterior, tentes explicar fisicamente as variações de brilho observadas no LED para os vários valores de V_{DD} obtidos experimentalmente?

Referências

- [1] Sears, Francis; Zemansky, Mark W.; Young, Hugh D. Física 3 ? Eletromagnetismo, 12a Edição, Livros Técnicos e Científicos, 2009
- [2] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2002. V3.
- [3] Sears, Francis; Zemansky, Mark W.; Young, Hugh D. Física 4 ? ótica e Física Moderna, 12a Edição, Livros Técnicos e Científicos, 2009
- [4] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2002. V4.
- [5] TIPLER, Paul Allen; LIEWELLYN, Ralph A. Física Moderna. 5a. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2010.