

## Trabalho prático 4 – Funcionamento de um LED

### Objetivos

- Estudo do funcionamento de um LED
- Determinação da constante de Planck
- Determinação do comprimento de onda da emissão desconhecida de um LED

### Introdução

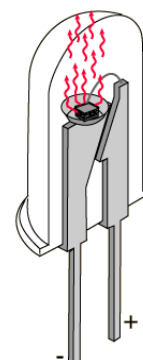
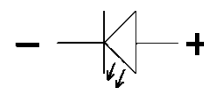
Um LED (Light-Emitting Diode) é um tipo de díodo semiconductor que, quando atravessado por corrente elétrica, num determinado sentido, emite luz não-coerente numa faixa espectral estreita. A luz assim emitida designa-se eletroluminescência e a sua cor depende da composição do material semiconductor utilizado no fabrico do LED.

Os semicondutores são materiais que têm propriedades de condutividade elétrica intermédias entre os metais e os isoladores. Tais propriedades podem ser dramaticamente alteradas por incorporação de átomos-impureza – **dopagem** – que diferem no número de eletrões de valência dos átomos que vão substituir.

Para compreender o princípio de funcionamento de um LED, vejamos alguns conceitos básicos sobre a estrutura eletrónica de um material semiconductor. Num semiconductor, as interações entre os eletrões de valência de todos os átomos levam à formação de bandas de energia: **a banda de valência** (BV) – ocupada pelos eletrões que participam na ligação química – e **a banda de condução** (BC). Estas bandas de energia estão separadas, há um hiato (“gap” em Inglês) energético entre elas; a largura dessa separação designa-se **energia de hiato** ( $E_g$ ). Quando um eletrão da BV recebe energia necessária para vencer o **hiato energético**, transita para a banda de condução e está livre para participar, por exemplo, na condução elétrica do material.



Cátodo                      Ânodo



Um LED é um dispositivo baseado na junção de um semiconductor com duas regiões que diferem no tipo de dopagem. Dopando uma região com átomos cujo número de eletrões de valência é superior ao do átomo que vão substituir, o material nessa região fica com excesso de eletrões uma vez que nem todos participam na ligação química – a **região fica dopada tipo n**. A uma dada temperatura,  $T$ , esses eletrões ocupam estados de energia da BC. Se a outra região, do mesmo material, for dopada com impurezas cujo número de eletrões de valência é inferior ao do átomo que vão substituir, a ligação química fica incompleta e existem estados de energia da BV que não são ocupados (lacunas) - **região de tipo p**. As lacunas têm associada uma carga positiva. Quando estas duas regiões são colocadas em contacto, os eletrões da região n tendem a difundir-se (migrar) para a região p, deixando atrás de si iões positivos; as lacunas migram para a região n, deixando atrás de si iões negativos.

No entanto, próximo da interface das duas regiões, o processo de equilíbrio mais eficiente é a recombinação eletrão-lacuna, em que um eletrão da BC perde energia e ocupa o lugar de uma lacuna na BV. Assim, os eletrões e as lacunas que migraram, ao encontrarem-se junto à fronteira, aniquilam-se libertando energia. O resultado disto é a criação, na fronteira entre as regiões p e n, de uma chamada **zona de depleção**, onde não existem portadores de carga móveis, constituída por uma camada de iões carregados positivamente no lado n e uma camada de iões carregados negativamente no lado p.

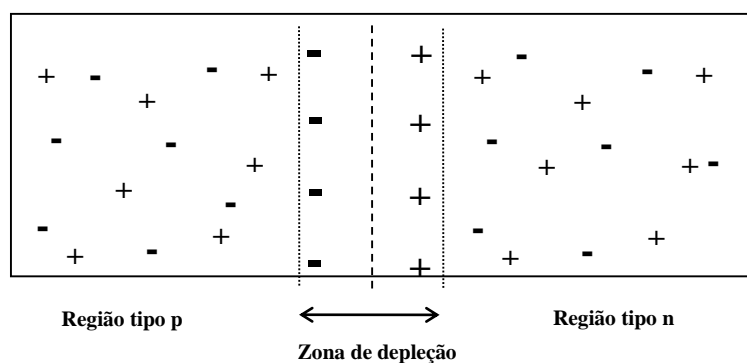


Figura 1

Após a formação da zona de depleção torna-se muito difícil aos portadores de carga difundirem-se porque encontram uma barreira de potencial elétrico - **potencial de contacto**  $\phi$  - que se opõe ao seu movimento. Do ponto de vista da estrutura de bandas, isto equivale a dizer que um electrão da BC do lado p terá uma energia mais elevada do que um electrão

da BC do lado n, como se representa esquematicamente na Fig. 2 (a).

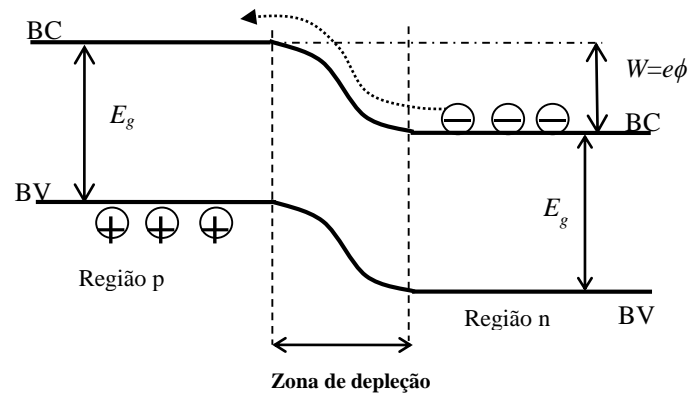


Fig 2 (a) Junção p-n .

Quando um potencial elétrico  $V$  é aplicado à junção p-n, com a polaridade **negativa** do lado n e a **positiva** do lado p, diminui-se a barreira de potencial  $\phi$  e a corrente que atravessa a junção aumenta com o valor da tensão aplicada.

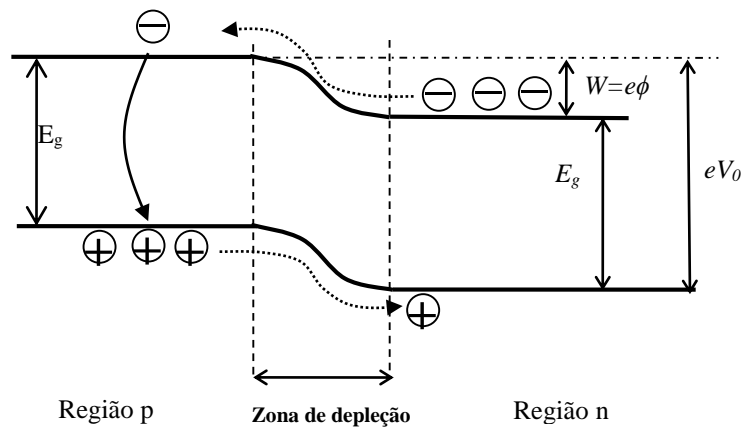


Fig 2 (b) Junção p-n sob ação de um potencial elétrico  $V$  exterior, de sinal contrário ao potencial de contacto  $\phi$  .

Verifica-se que existe um potencial  $V_0$ , a partir do qual o LED emite luz. O que significa que um elétron da BC do lado n atravessa a junção para a BC do lado p, recombina-se radiativamente com a lacuna da BV, libertando um fóton de energia  $hf$ . Em geral, esta energia corresponde à energia de hiato do semiconductor,  $E_g$ .

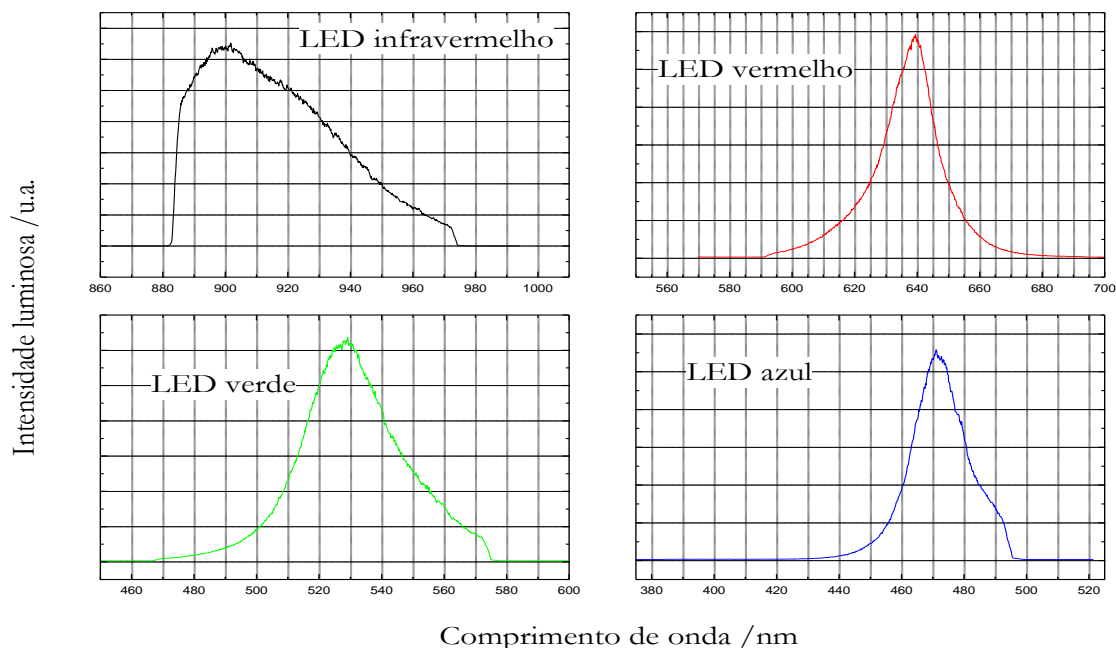
$$E_g = hf = eV_0 - W \quad \text{Eq. 1}$$

Onde  $h=6,6260688 \times 10^{-34}$  J.s é a constante de Planck,  $f$  a frequência da radiação emitida,

$|e|=1,602176 \times 10^{-19}$  C é a carga do eletrão e  $W$  o trabalho necessário para os portadores de carga vencerem o potencial da junção p-n, na ausência de campo aplicado. Uma vez que a  $E_g$  é característica do semiconductor utilizado, se tivermos LED's com  $E_g$  diferentes, cada um deles necessita de uma tensão  $V_0$  diferente para que ocorra emissão de luz. Presumindo que  $W$  é idêntico em todos LED's (que é o caso dos utilizados neste trabalho) é então possível determinar experimentalmente a constante de Plank, baseados na relação  $V_0=V_0(\lambda)$ .

## Preparação do trabalho

- a) Neste trabalho vamos utilizar vários LED's que emitem luz em diferentes comprimentos de onda. A emissão espectral de quatro deles é representada nos gráficos seguintes:



Baseado nos gráficos anteriores determine qual é o comprimento de onda característico da emissão de cada um dos LED's representados e estime o erro dessa determinação.

Verifique ainda na literatura qual a gama de valores de comprimentos de onda característicos de uma emissão de cor laranja.

LED	$\lambda \pm \Delta\lambda$ /nm
Azul	$\pm$
Verde	$\pm$
Vermelho	$\pm$
Infravermelho	$\pm$
Laranja	$\pm$

- b) Baseado na Eq. (1) deduza a relação  $V_0 = V_0(\lambda)$  que relaciona a tensão com o comprimento de onda  $\lambda$  da luz emitida.
- c) Transforme a expressão obtida na alínea b) numa expressão do tipo  $y = mx + b$  indicando que grandezas serão utilizadas para os eixos das abcissas ( $x$ ) e ordenadas ( $y$ ), declive e ordenada na origem.
- d) Baseado nas expressões obtidas em c) deduza as equações que lhe permitem obter o valor mais provável da constante de Planck e o respetivo erro,  $h \pm \Delta h$ .

## Procedimento experimental

### Material necessário

Fonte de tensão de 9V/500mA; fonte de tensão variável; voltímetro; amperímetro; 5 cabos banana-banana; suporte com vários LED's.

### Realização Experimental



Figura 3

- e) Antes de efetuar qualquer ligação, garanta que coloca o **voltímetro na escala de 20 V**, o **amperímetro na escala de 2 mA** (ambos no modo de corrente contínua) e que o variador de tensão está no zero e desligado do transformador.
- f) Efetue a montagem experimental de acordo com a figura 3. Realize uma experiência de teste para verificar se as ligações estão corretas (atenção às polaridades dos LED's).

- g) Obtenha 3 medidas experimentais da tensão  $V_0$  em cada um dos 5 LED's. Esta tensão é aquela para a qual começa a haver condução no circuito. Registe na Tabela I o comprimento de onda da cor observada, de acordo com o resultado da alínea a), bem como as respetivas tensões medidas.

## Análise e discussão dos resultados

- h) Determine, para cada LED, o valor mais provável da tensão procurada e o seu erro  $\bar{V}_0 \pm \Delta \bar{V}_0$ . Registe os valores na Tabela I.
- i) Aplique a linearização encontrada na alínea c) aos seus dados experimentais obtidos para os LED's de  $\lambda$  conhecido e preencha a Tabela I. Faça a respetiva representação gráfica no Excel.
- j) Determine os parâmetros da reta média, pelo método dos MDQ. Escreva a equação da reta na forma  $y = (m \pm \Delta m)x + (b \pm \Delta b)$ .
- k) Determine, a partir dos parâmetros da reta, o valor da constante de Planck  $h \pm \Delta h$  e do comprimento de onda do LED cor de laranja,  $\lambda_{\text{lar}} \pm \Delta \lambda_{\text{lar}}$ .
- l) Calcule a precisão de ambos os resultados obtidos na alínea anterior.
- m) Verifique se a determinação de  $h \pm \Delta h$  pode ser considerada exata.
- n) Verifique se a determinação do comprimento de onda da luz laranja emitida pelo LED, está dentro dos valores que esperava, obtidos na alínea a).
- o) Discuta qual é a influência da ordenada na origem, da reta média determinada em j), na precisão e exatidão da determinação de  $h \pm \Delta h$ .
- p) Comente os resultados obtidos.

## Bibliografia

R.A. Serway, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 2000, Saunders College Publishing.

The Physics of Semiconductor Devices (Wiley, New York, 1969)

The Physics of Solids (Oxford, New York, 2000)

R. Morehouse, Am. J. Phys. 66, 12 (1998)

L. Nieves *et al*, The Physics Teacher, 35 (1937)

## Folha a entregar ao docente

Tabela I

<i>Cor observada</i>	$\lambda \pm \Delta \lambda$ /nm	$V_0 \pm$ ____ / ____	$\bar{V}_0$ / ____	$\Delta \bar{V}_0$ / ____	$X \equiv$ ____ / ____	$Y \equiv$ ____ / ____
Azul						
Verde						
Laranja	Desconhecido					
Vermelho						
Infravermelho						

$m$	$\Delta m$	$b$	$\Delta b$	$r^2$	$h$	$\Delta h$
/ ____	/ ____	/ ____	/ ____		/ ____	/ ____

Turma: \_\_\_\_\_ Grupo \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Alunos presentes: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_