

## Introdução a Circuitos de Corrente Contínua

Nesta prática vamos nos familiarizar com os componentes e instrumentos que serão utilizados durante o curso. Também faremos a verificação experimental da Lei de Ohm e discutiremos alguns casos em que ela não é obedecida. Para tal, faremos uso da placa de montagem, fonte de tensão, resistores, lâmpada incandescente, diodo e instrumentos de medida como voltímetro, amperímetro e ohmímetro.

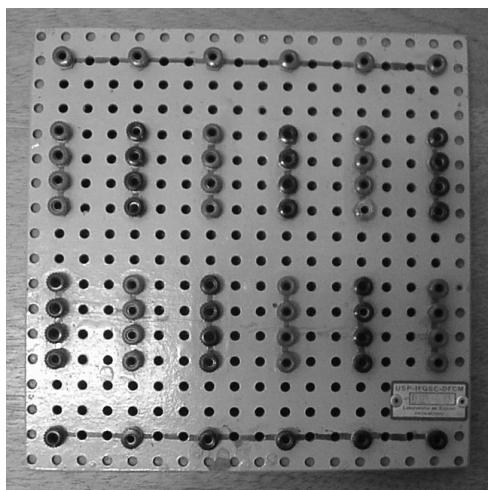
**Quando for trocar a função de um multímetro, desconecte os fios, gire o botão e só então reconecte ao circuito. Lembre-se de que as entradas para medir voltagens e resistências são diferentes das entradas para medir corrente.**

**Sempre que surgir uma dúvida quanto à utilização de um instrumento ou componente, o aluno deverá consultar o professor para esclarecimentos.**

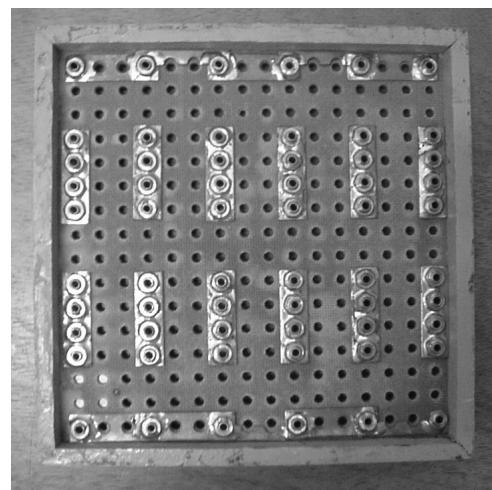
### I. Componentes e Equipamentos

O material necessário para execução de cada prática estará disponível na bancada. A seguir discutiremos as características daqueles que são comuns a todas as práticas do curso. Instrumentos e materiais específicos de uma determinada prática serão descritos em detalhes durante a realização da mesma.

#### a) Placa de Montagem



Frente



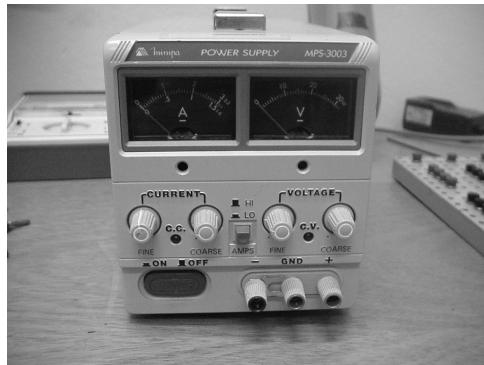
Verso

**Figura 1 – Placa de montagem de circuitos. O verso da placa mostra as conexões.**

A principal função da placa de montagem é permitir a fixação e interligação dos componentes. Esta placa é constituída por conectores (conhecidos como conectores “bananas fêmeas”), que podem ou não estar interligados eletricamente entre si. Cada conjunto de 4 conectores lado a lado está conectado entre si, e os conectores isolados de cada lado da placa também são conectados. Para verificar a existência de tais conexões observe o lado oposto da placa. Recomenda-se que, sempre que se montar um circuito, conferir atentamente todas as ligações antes de conectá-lo a fonte de alimentação.

### b) *Fontes de Tensão Contínua*

Na maioria dos experimentos serão utilizadas fontes de tensão contínua para a alimentação dos circuitos. Elas poderão ser pilhas convencionais (1,5 ou 9V) ou uma fonte especial, que transforma a tensão alternada da rede (110 ou 220V, 60Hz) em tensão contínua, que pode ser variada entre 0 e 30 V. Essas fontes possuem três conectores, [+], [-] e [terra]. O conector [terra] está ligado à carcaça do equipamento, e os demais [+] e [-] são usados para alimentar o circuito.



**Figura 2 – Fonte de tensão DC.**

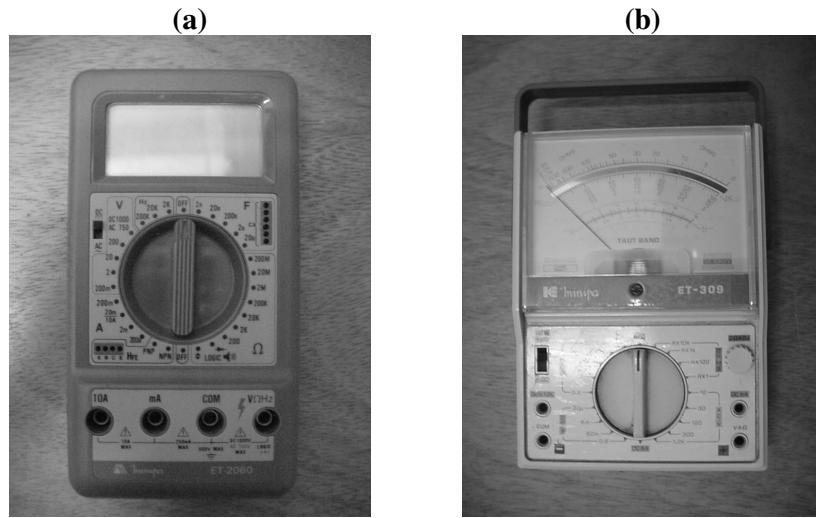
A fonte que será utilizada é o modelo MPS-3003 da Minipa, mostrada na figura 2. Ela contém dois mostradores digitais, de corrente e de tensão. No lado esquerdo, dois cursores (um para ajuste grosso e outro para ajuste fino) permitem limitar a corrente máxima que a fonte pode fornecer. Do lado esquerdo, dois cursores controlam a tensão que a fonte fornece entre os conectores [+] e [-]. Para simplicidade da montagem (e conferência) recomenda-se que se usem fios vermelhos ligados ao terminal [+] e fios pretos ao terminal [-]. Para utilizar esse tipo de fonte recomenda-se o seguinte procedimento: i) com a fonte desligada zerar todos os cursores; ii) conectar os cabos para alimentação do circuito nas saídas da fonte (terminais [+] e [-]); iii) ligar a fonte;

iv) girar o cursor de ajuste de corrente (grosso)  $\frac{1}{4}$  do curso máximo; v) ajustar a tensão desejada utilizando os cursores de ajuste de tensão.

**c) Multímetros**

São instrumentos de múltiplas funções e servem para medir grandezas elétricas como tensão, corrente e resistência. O multímetro apresenta, normalmente, quatro terminais de entrada e uma chave seletora de função, que o permite operar como voltímetro, amperímetro ou ohmímetro. Como voltímetro e amperímetro pode-se escolher ainda os modos de operação em regime de corrente contínua (DC) ou de corrente alternada (AC). A seleção de AC ou DC costuma ser feita em um botão deslizante, separado da chave seletora. No entanto, é possível que essas configurações variem de acordo com o fabricante do instrumento, sendo então muito importante consultar o manual do instrumento antes de usá-lo.

A figura 3 mostra um multímetro digital e um analógico dos modelos que serão utilizados no curso. O digital é um modelo ET-2060, e o analógico é um modelo ET-309, ambos da Minipa.



**Figura 3 – (a) Multímetro digital. (b) Multímetro analógico**

O procedimento mais seguro, quando se vai medir tensão ou corrente, é escolher uma escala de máxima tensão ou corrente, ligar o equipamento no circuito e só aí, se for possível, aumentar a sensibilidade, escolhendo escalas de mais baixa tensão ou corrente. O amperímetro deve ser conectado em série com o ramo do circuito que se deseja medir

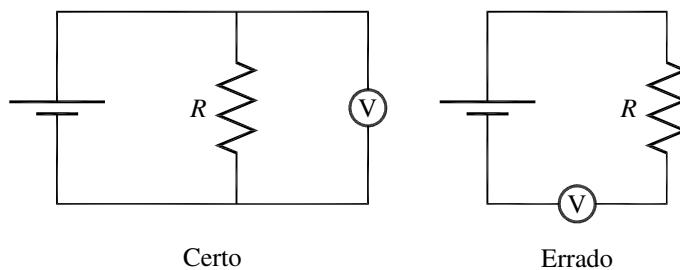
a corrente. Nunca conecte um amperímetro em paralelo com qualquer fonte de tensão ou corrente.

Quando usado como ohmímetro, a medida não deve ser realizada com a fonte de tensão ligada. Também não pode haver nenhum outro caminho entre os dois terminais do ohmímetro além daquele que se deseja medir a resistência. Deve-se cuidar para que os dedos não toquem os terminais durante a medida, pois a condução elétrica através da pele pode alterar a medida de resistências de valores altos ( $\sim 100 \text{ K}\Omega$ ).

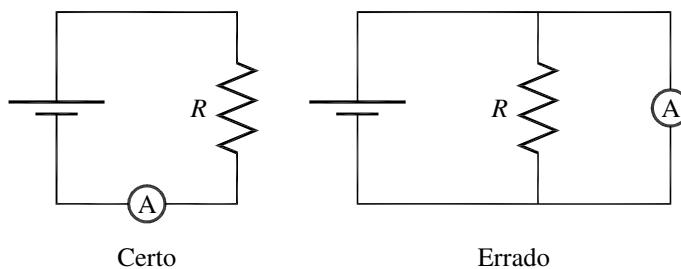
O multímetro digital tem quatro entradas. Uma delas, chamada de COM, é uma entrada comum as todas as funções do instrumento, e, portanto, sempre é usada. Em circuitos de corrente contínua, ela é o pólo negativo dos voltímetros, amperímetros. Outra entrada é chamada de  $V\Omega$ , e é usada como pólo positivo quando o multímetro é operado como voltímetro. Por fim, temos duas entradas positivas para a operação como amperímetro, uma para medir correntes da ordem de mA e outra para correntes de até 10 A ou 20 A.

O multímetro analógico possui um controle chamado  $\Omega\text{ADJ}$ , que serve para zerar a escala do ohmímetro. Antes de qualquer medida de resistência, é preciso ligar os dois terminais em curto e girar o controle de ajuste até posicionar o ponteiro na posição zero da escala (que corresponde à deflexão máxima).

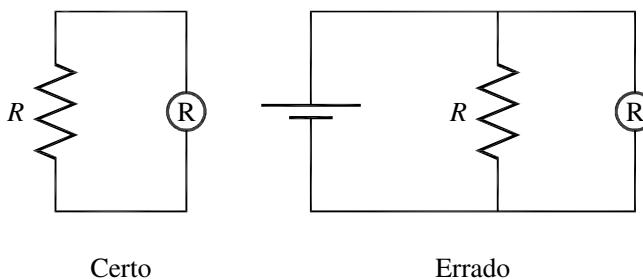
As figuras 4, 5 e 6 mostram exemplos de voltímetros, amperímetros e ohmímetros conectados de modo correto ou incorreto nos circuitos :



**Figura 4 –Exemplos de um voltímetro conectado corretamente e incorretamente em um circuito.**



**Figura 5 –Exemplos de um amperímetro conectado corretamente e incorretamente em um circuito.**



**Figura 6 –Exemplos de um ohmímetro conectado corretamente e incorretamente em um circuito.**

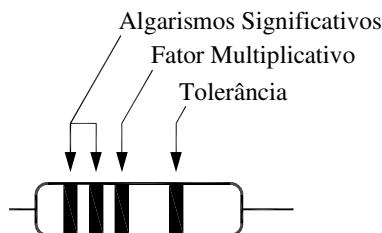
#### d) Resistores

De maneira geral, podemos dizer que um resistor é um elemento de circuito elétrico que produz uma oposição à passagem da corrente elétrica. Os resistores ôhmicos são aqueles cuja resistência elétrica independe da diferença de potencial aplicada entre os terminais. Existem resistores ôhmicos comerciais com diversos valores e poder de dissipação. A figura 7 mostra três modelos de resistores, cuja principal diferença está na potência que eles podem dissipar. As especificações disponibilizadas pelos fabricantes para essas características são usualmente denominados valores nominais.



**Figura 7 – Exemplo de três modelos de resistores. Em ordem, da esquerda para a direita, quanto à potência que podem dissipar.**

O valor nominal de alguns resistores comerciais é marcado com barras coloridas, de acordo com um código ilustrado na tabela 1. A leitura é feita tomando-se o componente de forma que a faixa mais próxima de um de seus terminais fique à sua esquerda (essa é a primeira faixa). A figura 8 mostra a ordem das faixas, e a tabela 1 mostra o código de cores.



**Figura 8 – Código para leitura do valor nominal da resistência de um resistor.**

As duas primeiras faixas representam os dois algarismos significativos do valor da resistência. A terceira faixa dá o fator multiplicativo, em potência de dez. Por exemplo, se as duas primeiras faixas forem, respectivamente, vermelho (2) e violeta (7), lê-se 27. Se a terceira faixa for amarela (4), o fator multiplicativo é  $10^4$ . Multiplica-se, então, 27 por 10000 e obtém-se o valor nominal da resistência de 270000  $\Omega$ , ou 270 k $\Omega$ . A quarta faixa corresponde à precisão com que o fabricante garante o valor nominal, chamada tolerância. Outra indicação é o tamanho físico do resistor, que, para resistores fabricados utilizando o mesmo processo e material, determina a máxima potência que ele pode dissipar sem alterar suas características. No curso usualmente utilizaremos resistores capazes de dissipar potências de 1/8, 1/4, 1/2, 1 e 5 W (Watt).

**Tabela 1 – Código de cores de resistores.**

Cor	1º Faixa	2º Faixa	3º Faixa	4º Faixa
Preto	-	0	x1	-
Marrom	1	1	x10	1%
Vermelho	2	2	x10 <sup>2</sup>	2%
Laranja	3	3	x10 <sup>3</sup>	-
Amarelo	4	4	x10 <sup>4</sup>	-
Verde	5	5	x10 <sup>5</sup>	-
Azul	6	6	x10 <sup>6</sup>	-
Violeta	7	7	-	-
Cinza	8	8	-	-
Branco	9	9	-	-
Ouro	-	-	-	5%
Prata	-	-	-	10%

### e) Reostatos e Potenciômetros

Reostatos ou potenciômetros são resistores cujo valor da resistência pode ser ajustado externamente. Um potenciômetro típico está mostrado na figura 9, assim como o seu símbolo elétrico. Eles apresentam três terminais, sendo que dois deles estão ligados às extremidades de um resistor fixo. O terceiro terminal pode deslizar ao longo do resistor fixo. A resistência entre esse terminal e qualquer um dos outros dois é determinada pela posição do conector móvel, que pode ser alterada girando (ou transladando em alguns tipos de potenciômetros) um cursor. O valor indicado no potenciômetro corresponde à resistência entre os terminais fixos, que também é a maior resistência que pode ser ajustada entre um terminal fixo e um móvel.

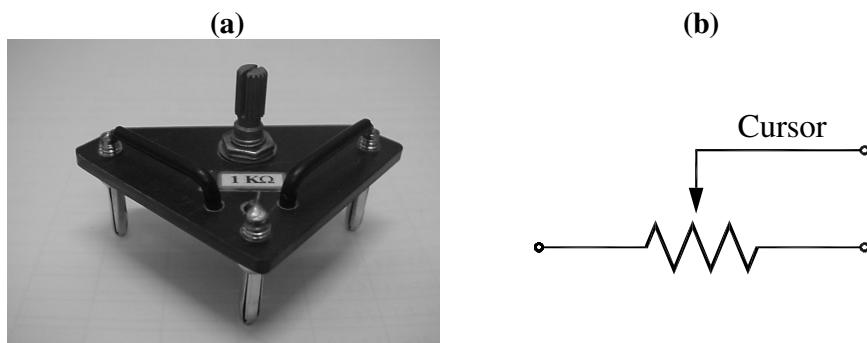


Figura 9 – (a) Exemplo de potenciômetro. (b) Símbolo elétrico do potenciômetro.

### f) Diodos

O diodo é um elemento de circuito que só deixa passar corrente em um único sentido.. O diodo que será usado no laboratório tem um dos seus terminais marcado com uma faixa branca; esse terminal é o cátodo. A corrente só pode fluir do ânodo para o cátodo.

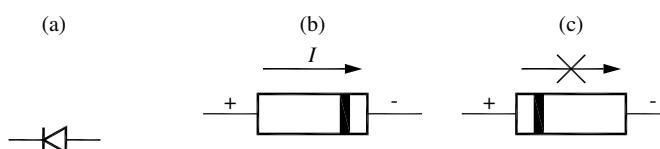


Figura 10 – (a) Fotografia e símbolo elétrico de um diodo semicondutor. (b) Díodo polarizado diretamente, conduzindo corrente. (c) Díodo polarizado reversamente; nesse caso, a corrente não pode fluir.

Quando o potencial no cátodo é mais baixo que o do ânodo, é dito que o diodo está polarizado *diretamente*, e pode conduzir. Caso contrário, o diodo está polarizado *reversamente*. Em uma abordagem mais precisa, a relação entre tensão e corrente em um diodo é dada por:

$$I = I_o \cdot (e^{V/V_o} - 1) \quad (2)$$

O parâmetro  $I_o$  é usualmente da ordem de nA.  $V_0$  é a tensão que determina o limiar de condução, ou seja, a tensão mínima para que os portadores de carga superem uma barreira de potencial intrínseca do material que constitui o diodo e estabeleçam a corrente. Para o silício essa barreira é de aproximadamente 0,7 V enquanto que para o germânio ela é de 0,3 V. Nas situações de interesse, a corrente é muito maior que  $I_o$ , o que significa que a exponencial do segundo membro é muito maior do que a unidade. Assim, podemos simplificar a equação anterior para:

$$I = I_o \cdot e^{V/V_o} \quad (3)$$

## II. Resistores e Correntes Elétricas

Uma das consequências básicas das leis da eletrostática é que o valor do potencial elétrico é o mesmo em todos os pontos de um condutor. Em outras palavras, não há diferença de potencial entre dois pontos quaisquer de um metal. Isto é característico da situação de equilíbrio em que as cargas se encontram. Entretanto, na presença de um campo elétrico surge uma força sobre essas cargas, colocando-as em movimento. Uma análise preliminar nos leva a imaginar que, sob a influência desta força, a velocidade das cargas aumente indefinidamente. Na verdade, isso não ocorre, pois os íons que compõem o material impõem resistência ao movimento ordenado dessas cargas, o que é caracterizado macroscopicamente pela resistência elétrica do material,  $R$ .

Existe um modelo simples, denominado *modelo de Drude*, que permite relacionar grandezas macroscópicas, como corrente elétrica, tensão e resistência, com propriedades microscópicas, como velocidade de migração das cargas, densidade

específica dos átomos, etc. Esse modelo será discutido em detalhes em outra oportunidade. Uma consequência direta da aplicação do modelo é a relação entre a corrente elétrica que atravessa certo material, sua resistência elétrica e a tensão aplicada, que é dada por:

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

Essa expressão é a conhecida forma macroscópica da lei de Ohm, e será verificada experimentalmente nesta prática. No caso de resistores ôhmicos o valor da resistência  $R$  é independente de  $V$  e de  $I$ . No entanto, como veremos nos experimentos a seguir, existem muitos tipos de resistores que não obedecem à lei de Ohm; são os chamados resistores não ôhmicos.

## Experimentos

### 1. Medidas com ohmímetro

- a) Sobre sua bancada existem 8 resistores de valores distintos. Anote as cores e use o código para determinar o valor nominal dessas resistências. Note que alguns resistores são identificados pelo valor da resistência já impressa no resistor. No entanto, devido a dificuldade que alguns fabricantes possuem em imprimir a letra  $\Omega$ , convencionou-se a utilização da letra R, K, M para indicar Ohms, kiloOhms e MegaOhms, respectivamente. Assim, resistores onde estão impresso 10R, 47K, 47M tem valores de resistência  $10\Omega$ ,  $47k\Omega$ ,  $47M\Omega$ . No caso de valores não inteiros a letra substitui a vírgula, ou seja, resistores onde estão impressos 4R7, 4K7, e 4M7, correspondem a resistências de  $4,7 \Omega$ ,  $4,7 k\Omega$  e  $4,7 M\Omega$ .
- b) Fixe os resistores na placa de circuitos e meça os valores das resistências com o ohmímetro. Compare os valores obtidos e verifique se a medida está dentro do intervalo de tolerância fornecido pelo fabricante.
- c) Pegue o potenciômetro e fixe-o na placa, com o ohmímetro ligado entre o terminal móvel e um terminal fixo. Gire o cursor do potenciômetro totalmente para um lado e meça a resistência. Gire totalmente para o outro lado e meça a resistência novamente. Esses são os valores extremos de resistência que podem ser obtidos. Gire o cursor para uma posição arbitrária e meça a resistência. Como varia a resistência à medida que o botão é girado?

**Resultados das medidas de resistência utilizando um Ohmímetro.**

Valor nominal	Tolerância	Leitura do Ohmímetro analógico	Desvio	Leitura do Ohmímetro digital	Desvio

**Resultados das medidas das características de um potenciômetro.**

Valor Nominal	Resistência máxima	Resistência mínima	Cursor na posição arbitrária

**2. Medidas com voltímetro**

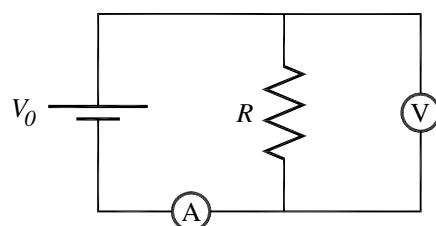
- a) Ajuste o voltímetro digital para uma escala superior a 30 V. Conecte-o à fonte de tensão variável e meça os valores para diversas posições do botão de tensão. Verifique se o valor indicado pelo mostrador da fonte de tensão confere com o valor lido no voltímetro. Repita o procedimento para o voltímetro analógico.

**Resultados das medidas de tensão.**

Leitura da fonte	Leitura do voltímetro digital	Leitura do voltímetro analógico
Escala de Medida:		Escala de Medida:

**3. Curva tensão versus corrente (VxI) de um resistor**

Os componentes eletrônicos são geralmente caracterizados por suas curva VxI. Para obter a curva VxI de um componente, devemos montar um circuito como o da figura 11. Um amperímetro ligado em série com o componente, mede a corrente que o atravessa, e um voltímetro ligado em paralelo com o componente mede a tensão em seus terminais. Assim é possível se obter uma curva que relaciona a tensão e a corrente a que está submetido o componente a ser caracterizado.


**Figura 11 – Circuito utilizado na obtenção da curva VxI de um resistor**

- a) Monte o circuito da figura 7 com  $R = 1 \text{ k}\Omega$ . Use o voltímetro na escala de 20 V e o amperímetro na escala de 20 mA.
- b) Varie a tensão da fonte no intervalo de 0 V a 10 V para obter diversos valores de corrente e tensão, e plote os pontos em um gráfico. A partir do gráfico, determine a resistência e compare com o valor medido com o ohmímetro.

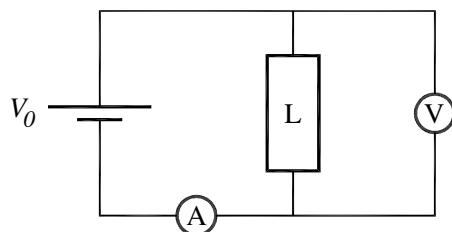
**Obs:** antes de ligar a fonte, coloque o cursor de limitação de corrente em meio curso e o cursor de tensão em zero. Ligue a fonte somente quando todo o circuito estiver conectado, e então aumente gradativamente a tensão.

**Resultados das medidas de tensão e corrente para obtenção da curva  $VxI$  de um resistor.**

Corrente	Tensão	Corrente	Tensão

#### 4. Curva $VxI$ de uma lâmpada incandescente

- a) Monte o circuito da figura 12, onde L representa uma lâmpada incandescente. Siga o mesmo procedimento anterior. Os pontos que você deve coletar devem cobrir toda a faixa de 0 a 10 V. Não aplique mais de 10 V sobre a lâmpada, pois isso pode queimá-la. Faça o gráfico de  $VxI$ , e discuta o resultado obtido. A lâmpada é um dispositivo ôhmico? Discuta o formato do gráfico.



**Figura 12 – Circuito para traçar uma curva  $VxI$  de uma lâmpada.**

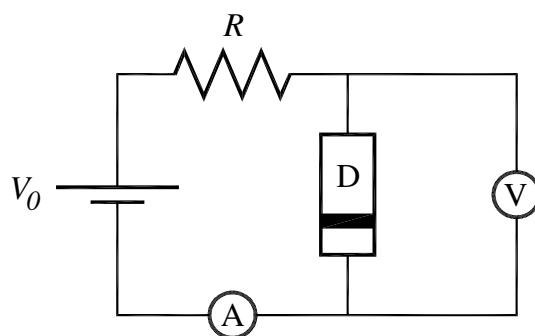
Discuta o comportamento da curva obtida, evidenciado a diferença entre a situação de baixa e alta corrente. Faça um gráfico em escala di-logarítmica e descubra a função que relaciona a tensão e corrente na lâmpada. Justifique fisicamente o porquê da escolha do tipo de função. Por que o comportamento observado acontece com as lâmpadas, e não acontece com os resistores que trabalham dentro do limite de potência especificado pelo fabricante?

**Resultados das medidas de tensão e corrente para obtenção da curva VxI de uma Lâmpada.**

Corrente	Tensão	Corrente	Tensão

### 5. Curva IxV de um diodo

- a) Monte o circuito como o da figura 13, usando  $R = 100 \Omega$ . Esse resistor serve para limitar a corrente que passa pelo circuito. Preste atenção na polaridade do diodo; a marca na figura indica a marca branca que existe no diodo. Varie a tensão da fonte no intervalo de 0 V a 10 V, e meça a corrente e a tensão sobre o diodo. Lembre-se que, devido à presença do resistor, a tensão da fonte não é igual à tensão sobre o diodo. Faça de 10 a 15 medidas.



**Figura 13 – Circuito para traçar uma curva VxI de um diodo (polarizado diretamente). A faixa escura representa a marca branca presente no diodo.**

- b) Nessa análise, é mais usual se fazer um gráfico de  $I_x V$ , colocando a corrente no eixo vertical e a tensão no eixo horizontal. Faça um gráfico em papel monolog e discuta o resultado obtido, buscando determinar os parâmetros que caracterizam o diodo ( $I_o$  e  $V_o$ ).
- c) Inverta o diodo de modo que ele fique polarizado reversamente e faça mais 5 medidas variando a tensão da fonte de 0 V a 10 V. Plete esses pontos em papel milimetrado. Esse resultado é consistente com a equação (2)? Explique o resultado obtido.

**Resultados das medidas de tensão e corrente para obtenção da curva  $I_x V$  de um diodo polarizado diretamente.**

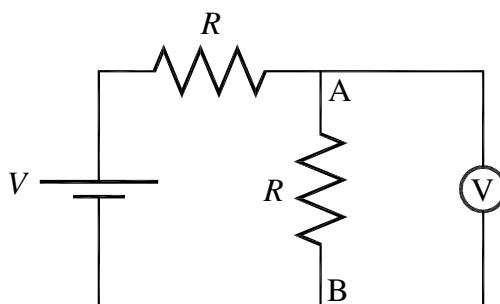
Corrente	Tensão	Corrente	Tensão
$I_o =$		$V_o =$	

**Resultados das medidas de tensão e corrente para obtenção da curva  $I_x V$  de um diodo polarizado reversamente.**

Corrente	Tensão	Corrente	Tensão

## 6. Efeito da resistência interna de um voltímetro na medida de tensão.

- a) No circuito da figura está mostrado um circuito denominado divisor de tensão. Justifique esse nome e explique o funcionamento do mesmo utilizando as equações adequadas em seu relatório. Monte o divisor de tensão mostrado na figura 14 utilizando  $R = 1 \text{ k}\Omega$ . Calcule a tensão esperada entre os terminais A e B, para uma tensão de alimentação de 1 V.



**Figura 14 – Circuito divisor de tensão utilizado para observar o efeito da resistência interna do voltímetro nas medidas de tensão**

- b) Verifique o valor da resistência interna nominal do voltímetro analógico nas escalas de 0,6 e 15 V (valor indicado como  $\text{k}\Omega/\text{V}$  impresso no voltímetro). Meça também a resistência interna nas escalas 0,6 e 15 V utilizando o multímetro digital e compare com os valores nominais.
- c) Ajuste a saída da fonte para 1 V. Meça a tensão entre os pontos A e B usando o voltímetro analógico nas escalas de 0,6 e 15 V, e o voltímetro digital.
- d) Para o mesmo circuito da figura 14, calcule a tensão esperada entre os terminais A e B se  $R = 100 \text{ k}\Omega$ . Repita as medidas do item c usando  $R = 100 \text{ k}\Omega$ . Compare as medidas realizadas com os dois valores de  $R$  e justifique as diferenças observadas.
- e) Utilizando as informações das tabelas abaixo, faça uma análise qualitativa dos resultados obtidos, justificando os comportamentos observados.

Resistência interna do voltímetro, escala de 0,6 V: \_\_\_\_\_

Resistência interna do voltímetro, escala de 15 V: \_\_\_\_\_

**Resultados das medidas de tensão do circuito da figura 14 com  $R = 1 \text{ k}\Omega$ .**

Escala do voltímetro analógico	Leitura direta com voltímetro analógico	Leitura com voltímetro digital
0,6 V		
15 V		

**Resultados das medidas de tensão do circuito da figura 14 com  $R = 1 \text{ k}\Omega$ .**

Escala do voltímetro analógico	Leitura direta com voltímetro analógico	Leitura com voltímetro digital
0,6 V		
15 V		

## Apêndice – Valores dos resistores comerciais

Os resistores comerciais são disponíveis em valores que a princípio parecem estranhos. Porque 4,7 e não 5? Por que 2,2 e não 2? Porque não usar uma seqüência com números inteiros (como é comum em outras áreas) em vez da seqüência 1, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2, 10?

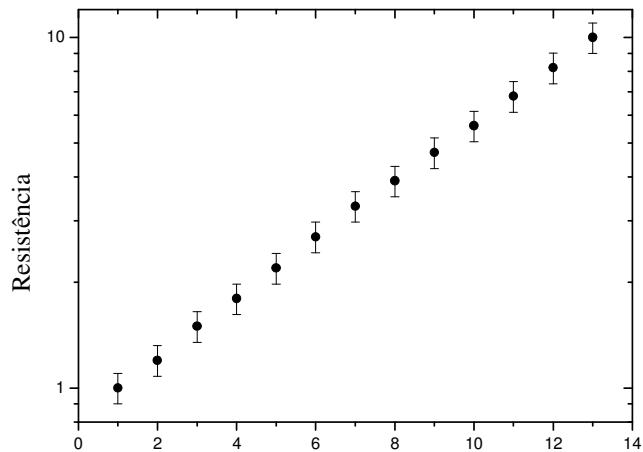
A resposta está nos dois objetivos que foram estabelecidos na hora de determinar os valores dos resistores comerciais: que a quantidade de valores disponíveis seja a maior possível, e que um resistor de valor nominal maior tenha necessariamente um valor real também maior.

O primeiro objetivo serve para facilitar o trabalho dos projetistas de circuito. O segundo objetivo garante que, quando se substitui um resistor por outro de maior resistência, haja realmente um aumento de resistência, o que pode parecer óbvio mas não é, devido a tolerância. Por exemplo, um resistor de  $50\ \Omega$  e tolerância 10% pode ter resistência de  $53\ \Omega$ , enquanto um resistor de  $55\ \Omega$  e tolerância 10% pode ter resistência de  $52\ \Omega$ . Assim, o projetista que troca o de  $50\ \Omega$  pelo de  $55\ \Omega$  acha que aumentou a resistência, mas na verdade fez o oposto.

Normalmente os resistores comerciais têm tolerância de 10%, mas também existem tolerâncias de 5% e até 1%. Foi baseado na tolerância de 10% que a escala foi criada. Essa escala começa em 1, e o valor seguinte é o mais baixo tal que as barras de erro não se sobreponham. Como as barras de erro são expressas em porcentagens, a escala que resulta desse processo é logarítmica. O intervalo de 1 a 10 fica dividido em 12 partes, de uma forma muito parecida com a escala musical ocidental (com uma diferença: na escala musical, uma oitava é dividida em 12 tons, enquanto na escala de resistores uma década é dividida em 12 intervalos). Os valores dos resistores são dados por  $10^{i/12}$ , com  $i$  variando de 0 a 12. Por questão de conveniência, foram arredondados para a primeira casa decimal, originando a escala 1, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2, 10.

A figura 15 mostra os valores dos resistores. Repare que, por causa do eixo vertical logarítmico, todas as barras de erro têm o mesmo comprimento e os valores são igualmente espaçados. O limite superior de uma resistência é igual ao limite inferior

para a resistência seguinte; isso garante ao mesmo tempo que não haja sobreposição de valores e que a diversidade de valores seja a maior possível.



**Figura 15 – valores dos resistores disponíveis comercialmente (com tolerância de 10 %)**