

# Resistência elétrica



## MEC/FENAME/PREMEN

PEF — PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA, constituído de quatro conjuntos destinados ao Ensino de 2.º Grau, foi planejado e elaborado pela equipe técnica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), mediante convênios com a FENAME e o PREMEN.

### Coordenação

Ernst Wolfgang Hamburger  
Giorgio Moscati

### Mecânica

Antonia Rodrigues  
Antonio Geraldo Violin  
Diomar da Rocha Santos Bittencourt  
Hideya Nakano  
Luiz Muryllo Mantovani  
Paulo Alves de Lima  
Plínio Ugo Meneghini dos Santos

### Eletricidade

Eliseu Gabriel de Pieri  
José de Pinho Alves Filho  
Judite Fernandes de Almeida

### Eletromagnetismo

Jesuína Lopes de Almeida Pacca  
João Evangelista Steiner

### Programação Visual

Carlos Egidio Alonso  
Ettore Michele di San Fili Bottini

### Fotografias e Reproduções

José Augusto Machado Calil  
Washington Mazzola Racy

### Secretaria e Datilografia

Carlos Eduardo Franco de Siqueira  
Janete Vieira Garcia Novo

### Linguagem

Claudio Renato Weber Abramo  
Maria Nair Moreira Rebello

### Construção de Protótipos

José Ferreira  
Voanerges do Espírito Santo Brites

### Conjunto Experimental

Plínio Ugo Meneghini dos Santos

Colaboram o pessoal da Secretaria, Oficina Gráfica, Administração, Oficina Mecânica e Oficina Eletrônica do IFUSP.

IFUSP: Caixa Postal 20 516, São Paulo — SP

# CAPA

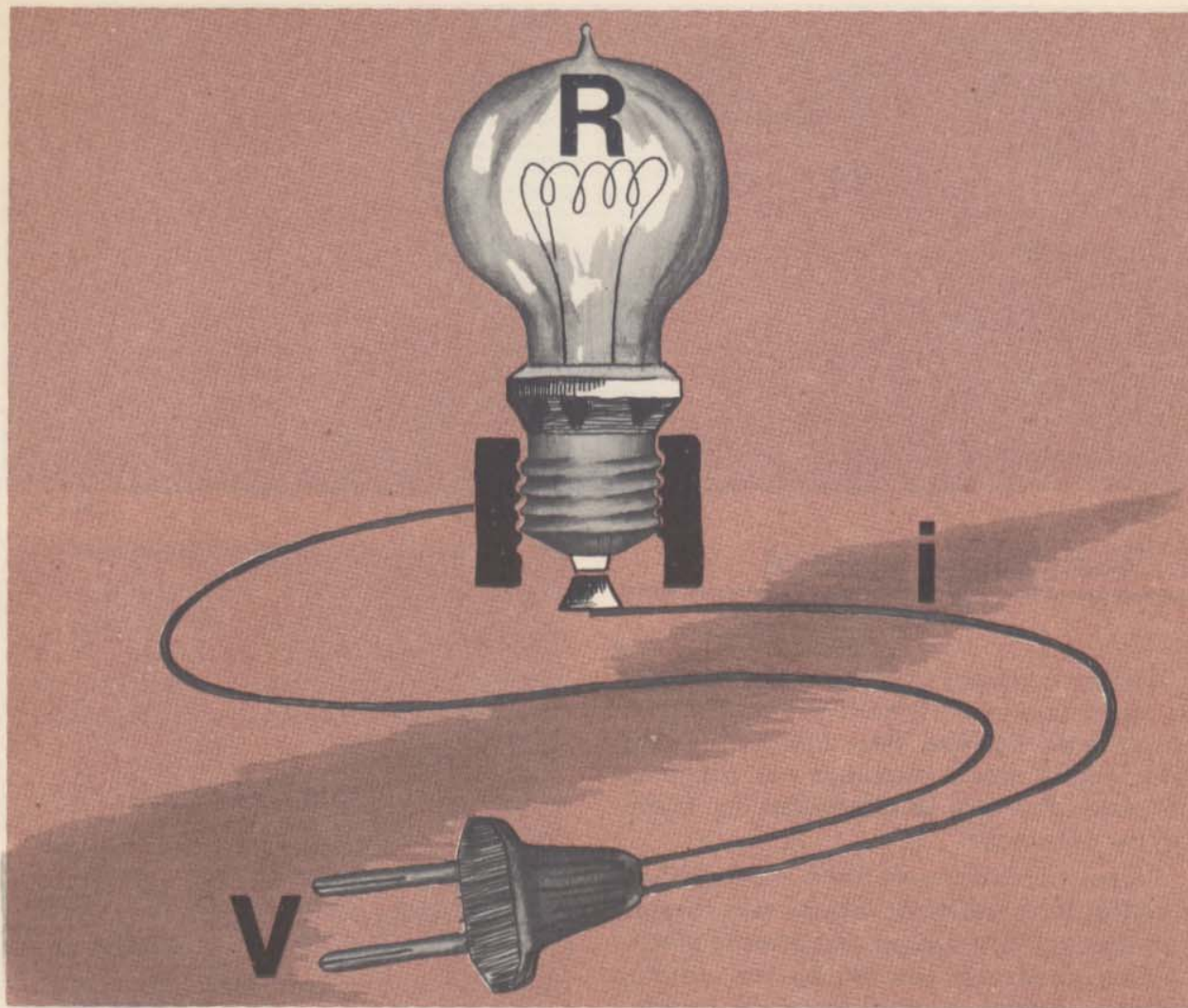
folha	jornal	espuma
mica	cobre	pano
papelão	alumínio	madeira

Os diversos materiais se distinguem por características próprias, tais como cor, textura, cheiro, tamanho, etc. Algumas dessas características são "medidas" diretamente por nossos sentidos (visão, olfato, tato, audição, paladar); no entanto, os materiais possuem certas particularidades que só podem ser conhecidas através de aparelhos de medidas. A resistência elétrica é uma dessas características e é medida pelo ohmímetro; ela tem a particularidade de depender das condições às quais está sujeito o material (temperatura, luz, tensão, etc.).

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 5 — Resistência elétrica

1. Resistência elétrica . . . . .	5—2
2. Condutores ôhmicos e não-ôhmicos . . . . .	5—6
3. Unidade de resistência elétrica . . . . .	5—10
4. Medida da resistência elétrica . . . . .	5—10
5. Resistência interna dos medidores de corrente . . . . .	5—11
6. Resistores utilizados industrialmente . . . . .	5—13
7. Exercícios de aplicação . . . . .	5—14
<b>Leitura Suplementar</b>	
Computadores . . . . .	5—19



## Resistência elétrica

Neste capítulo, você fará algumas experiências em que verificará o comportamento de diferentes objetos quando submetidos a diferenças de potencial. Isto será evidenciado pelas correntes que irão percorrer tais objetos.

No desenvolvimento do capítulo procura-se uma relação entre as tensões aplicadas e as correntes que passam — a resistência elétrica.

Os trabalhos pioneiros que sugeriram um comportamento regular dos metais quanto à relação tensão e corrente foram

realizados por George Simon Ohm (1787-1854), cientista alemão, filho de um seralheiro. À unidade de resistência elétrica dá-se o nome **ohm**, em sua homenagem. Aparelhos que medem essa grandeza são chamados **ohmímetros**. Nos trabalhos deste capítulo você utilizará um destes instrumentos.

Finalmente, trataremos de resistores industriais e seu código de cores, que é usado para informar as características do resistor.

I	II		III			IV
OBJETO	A lâmpada acende ?		O brilho da lâmpada é ?			i (mA)
	SIM	NÃO	muito intenso	pouco intenso	nenhum	
madeira						
grafite ( $\pm 10$ cm)						
resistor de $68\Omega$						
fio de ligação						

tabela 1

## 1. Resistência elétrica

Todos os corpos oferecem, normalmente, maior ou menor dificuldade à passagem da corrente elétrica. Esta dificuldade está relacionada com a estrutura microscópica do material e com as dimensões do objeto em consideração.

Neste capítulo você fará experiências simples, para verificar alguns dos fatores que determinam o valor da corrente elétrica que passa por um fio ou um objeto, quando ligados a uma fonte de tensão. Inicialmente você vai precisar de quatro pilhas de 1,5 V, uma lâmpada de 2,6 V (50 mA) e dos objetos relacionados na tabela 1. Ligue as pilhas e a lâmpada de acordo com a figura 1.

Encoste entre si os terminais A e B. Caso a lâmpada não acenda com bastante brilho, verifique se há problemas no circuito. (Por exemplo: maus contatos, pilhas gastas ou lâmpada queimada.)

Separe os terminais A e B e ligue-os sucessivamente às extremidades dos objetos citados na tabela 1. Marque na coluna II, se a lâmpada acendeu ou não para cada objeto intercalado e, observando a maior ou menor intensidade no brilho da lâmpada, escreva na coluna III o brilho correspondente a cada objeto (nenhum, pouco brilho, muito brilho). A coluna IV será preenchida depois.

5-2

- Q1** — a) Quais dos objetos relacionados na tabela 1 se comportaram como condutores, ou seja, permitiram a passagem de corrente elétrica suficiente para provocar algum brilho na lâmpada?
- b) Quais os que se comportaram como isolantes?

Você vai medir a corrente elétrica que percorre o circuito para cada um dos objetos colocados entre A e B, com exceção do fio condutor (o amperímetro pode ser danificado). Ligue o medidor de corrente ao circuito, conforme exemplos das figuras 2 e 3, retirando a lâmpada do circuito. Para cada objeto intercalado, inicie as medidas sempre pela escala mais alta de corrente do medidor e a seguir, se necessário, mude de escala até encontrar a mais adequada para a medida em questão.

Escreva, na coluna IV, os valores da corrente que você mediu para cada objeto intercalado.

- Q2** — De acordo com estes valores de corrente relacionados na tabela 1, quais os objetos que você classificaria como condutores? E como isolantes?
- Q3** — Este resultado está de acordo com a classificação que você fez na Q1?

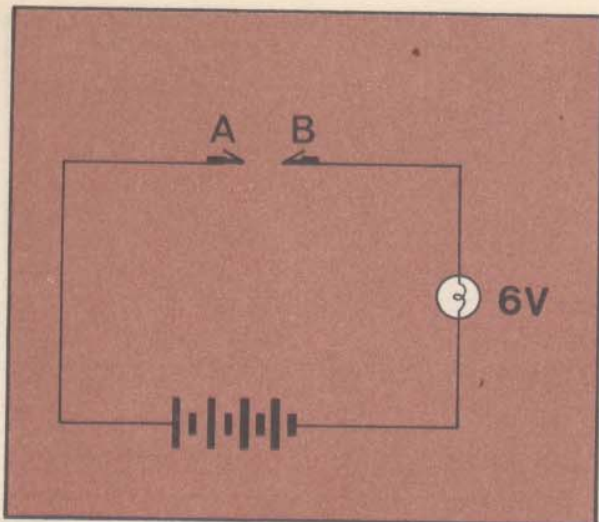


figura 1

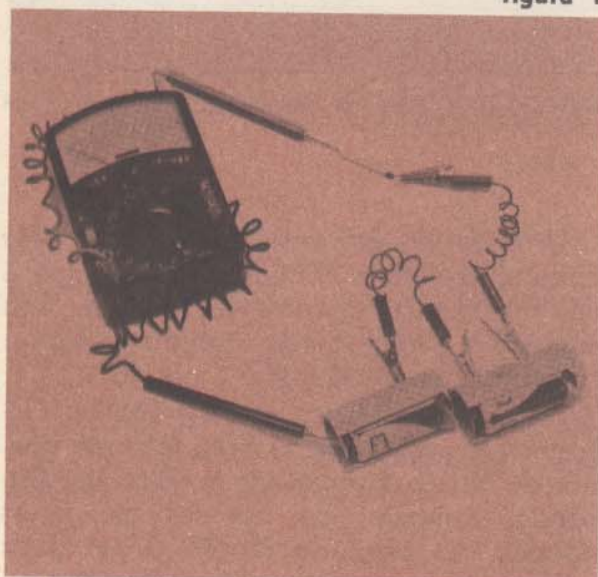


figura 2

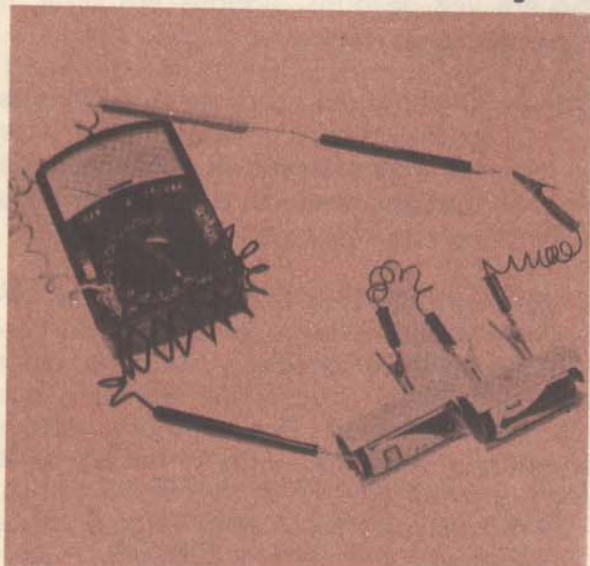


figura 3

## RESPOSTAS

$R_1$  -

$R_2$  -

$R_3$  -

I <b>OBJETO</b>	II A lâmpada acende?		III O brilho da lâmpada é:			IV i(mA)
	SIM	NÃO	muito brilho	pouco brilho	nenhum	

Você poderá utilizar esta tabela caso queira fazer em casa experiências semelhantes às da tabela 1, utilizando outros objetos, como, por exemplo, sabão, chave, água com açúcar, etc.

Observe agora como um todo a tabela 1 que você preencheu. Note que alguns dos objetos intercalados no circuito permitiram que a lâmpada acendesse, pois a corrente era maior. Os outros não permitiram passagem de uma corrente suficiente para a lâmpada acender. Entretanto, passou corrente por eles, só que muito pouca. A caracterização de um material, como isolante ou não, depende da sensibilidade da medida que você efetuar. Na resposta à **Q1**, você pode ter classificado algum objeto como isolante, porque a lâmpada não acendeu, porém, em outra situação, ele poderia ser considerado condutor.

**Q4** — Relacione os objetos usados nas ligações entre os terminais A e B (tabela 1), na ordem aproximadamente crescente de facilidade de passagem de corrente elétrica. Assim, coloque em primeiro lugar o objeto que conduza menos corrente elétrica.

**Q5** — Você deve ter observado que a mesma tensão foi aplicada ao circuito, para todos os objetos intercalados. A corrente que passou por eles foi a mesma?

O valor da corrente que passou pelo circuito reflete a dificuldade com que o objeto conduz a corrente elétrica. Sob condições semelhantes, quanto menor a corrente, pior condutor é o objeto.

A corrente elétrica que circula no circuito que você montou não depende apenas do objeto intercalado no circuito. Depende, também, do número de pilhas ligadas, ou seja, da tensão. Você pode facilmente verificar que, usando uma pilha em vez de duas, ligadas em série, a corrente será menor.

**Q6** — O valor da corrente é suficiente para indicar convenientemente se um certo objeto dificulta mais ou dificulta menos a passagem da corrente do que outro objeto?

Para caracterizar bem o objeto em relação à dificuldade da passagem da corrente é necessário saber, além do valor dessa corrente, o valor da tensão a que ele foi submetido. Por exemplo, vamos supor que você liga uma pilha em série com um objeto A e obtém, digamos, 100 mA de corrente. A seguir liga 3 pilhas a um objeto B e obtém 200 mA. A corrente que passou em B foi maior, mas

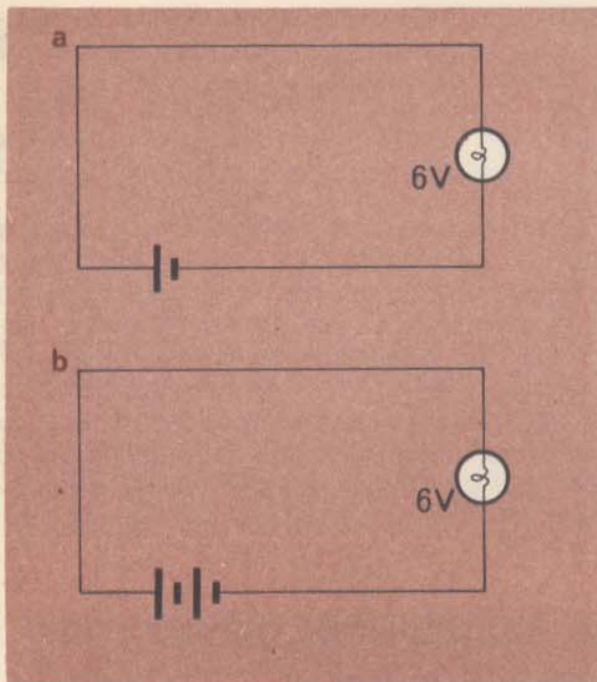


figura 4

Você pode afirmar que B dificulta menos a passagem da corrente? Certamente que não! Uma grandeza que indica isto de maneira mais adequada, para um corpo qualquer, é a razão entre a tensão (V) aplicada e a corrente (i) que o percorre. Esta razão é denominada **resistência elétrica do objeto, quando submetido à tensão V**, e é representada por:

$$R_v = \frac{V}{i}$$

Considere a figura 4. Quando os terminais estão ligados entre si, a tensão a que fica submetida a lâmpada é de 1,5 volt (1 pilha).

- Q7** — Meça a corrente que circula na lâmpada, quando ligada a uma pilha, e escreva o valor encontrado.
- Q8** — Determine a resistência da lâmpada ( $R_{1,5 \text{ volt}}$ ), quando a tensão é de 1,5 volt. (Dê a resposta em volt/ampère.)
- Q9** — Meça agora a corrente, quando duas pilhas em série estão ligadas à lâmpada (figura 4b). Qual a corrente, em ampères, que circula pela lâmpada?

## RESPOSTAS

R<sub>4</sub> -

R<sub>5</sub> -

R<sub>6</sub> -

R<sub>7</sub> -

R<sub>8</sub> -

R<sub>9</sub> -

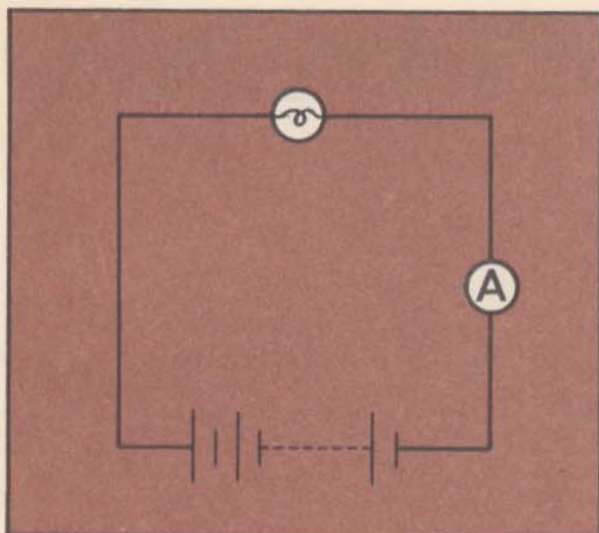


figura 5

lâmpada de 6V			
V(V)	i(mA)	i(A)	$\frac{V(V)}{i(A)}$

tabela 2

- R1 — a) Grafita, fio de ligação.  
b) Madeira, resistor de  $68\Omega$ .
- R2 — Condutores: grafita, fio de ligação e resistor. Isolante: madeira.
- R3 — Não. O resistor apresentou passagem de corrente, mas não permitiu à lâmpada acender.
- R4 — a) madeira                      b) resistor de  $68\Omega$   
c) grafita                              d) fio de ligação
- R5 — Não.
- R6 — Não, é necessário levar também em consideração a tensão aplicada.
- R7 — Valor aproximado de 0,150A.
- R8 —  $R_{1,5v} = \frac{1,5V}{0,150A} = 10 \frac{\text{volt}}{\text{ampère}}$
- R9 — Valor aproximado de 0,215A.

Q10 — Determine a resistência da lâmpada ( $R_{3 \text{ volt}}$ ) quando a tensão é de 3 volts.

Q11 — Você encontrou valores iguais para  $R_{1,5 \text{ volt}}$  e  $R_{3 \text{ volt}}$ ? Qual é maior?

Será que todos os objetos se comportam como a lâmpada, em que a resistência cresce com a tensão aplicada? Haverá casos em que a resistência do objeto decresce ou independe da tensão aplicada? Será possível explicar este comportamento a partir do conhecimento da estrutura da matéria? Boa parte do resto deste curso tem por objetivo responder a estas perguntas.

## 2. Condutores ôhmicos e não-ôhmicos

Qualquer que seja o objeto, sua resistência elétrica  $R_v$  é calculada pela razão  $V/i$ .

Nesta seção, você verificará se a relação  $V/i$ , ou seja, a resistência elétrica de certos corpos, varia ou não quando se muda o valor da tensão aplicada.

Inicialmente, vamos utilizar no circuito uma lâmpada de 6 V (50 mA).

Ligue a lâmpada de 6 V em série com uma pilha de 1,5 V e meça a corrente que passa no circuito (figura 5). Escreva na tabela 2 a tensão aplicada e o valor da corrente encontrada. Repita este mesmo procedimento, ligando pilhas em série ao circuito, até um total de 5 pilhas, colocando os resultados na tabela 2 (não é necessário medir essa diferença de potencial  $V$ , pois você já tem idéia de como ela varia, quando alteramos o número de pilhas em série).

Para cada par de valores  $V$  e  $i$  correspondentes, calcule a razão  $V/i$ . Escreva os resultados na última coluna da tabela 2.

Substitua, no circuito, a lâmpada por um resistor de fio de cobre (figura 6).

Submeta o resistor de fio de cobre às mesmas diferenças de potencial e meça as respectivas correntes. Escreva os resul-



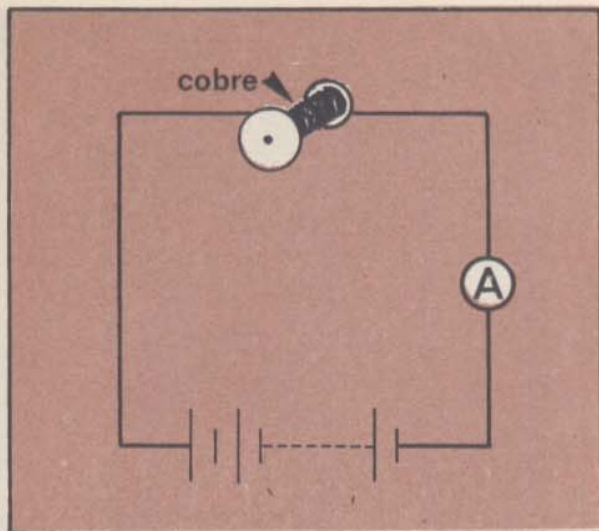


figura 6

resistor de fio de cobre			
V(V)	i(mA)	i(A)	$\frac{V(V)}{i(A)}$

tabela 3

tados na tabela 3. Calcule também os valores da razão  $V/i$  para este fio, anotando os resultados.

- Q12** — A razão  $V/i$  para a lâmpada (tabela 2) varia com o aumento do número de pilhas ou é aproximadamente constante?
- Q13** — E para o fio de cobre? A razão  $V/i$  varia com o aumento do número de pilhas ou é aproximadamente constante?
- Q14** — Calcule o valor médio de  $V/i$  para o fio de cobre.

## RESPOSTAS

$R_{10}$  -

$R_{11}$  -

$R_{12}$  -

$R_{13}$  -

$R_{14}$  -

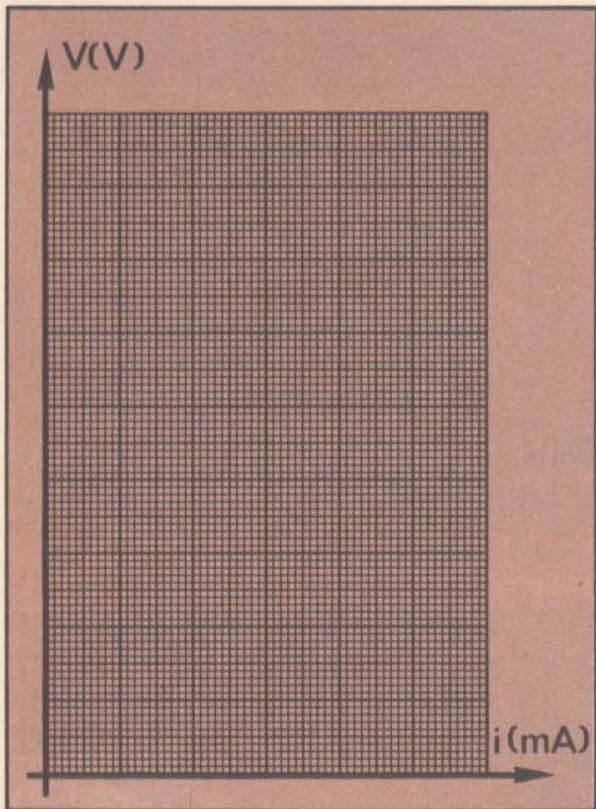


figura 7

Construa os gráficos da tensão em função da corrente ( $V \times i$ ), nas figuras 7 e 8, para o fio de cobre e para a lâmpada, lembrando que ambos devem passar pela origem, pois, quando  $V = 0$ ,  $i = 0$ .

**Q15** — Os dois gráficos que você construiu são do mesmo tipo?

No caso do fio de cobre, você deve ter verificado que os pontos do gráfico estão aproximadamente alinhados segundo uma reta que passa próxima a todos os pontos. (Esta experiência foi realizada anteriormente em condições semelhantes, levando sempre a resultados deste tipo.) Você deve traçar uma reta média por estes pontos, incluindo também a origem.

**Observação:** O fato de alguns pontos não estarem sobre a reta pode ser atribuído a desvios experimentais que sempre estão presentes nas medidas feitas (mesmo as mais precisas), bem como a aproximações. Uma das aproximações consideradas é a de que todas as pilhas usadas encontram-se nas mesmas condições (mesma tensão).

5-8

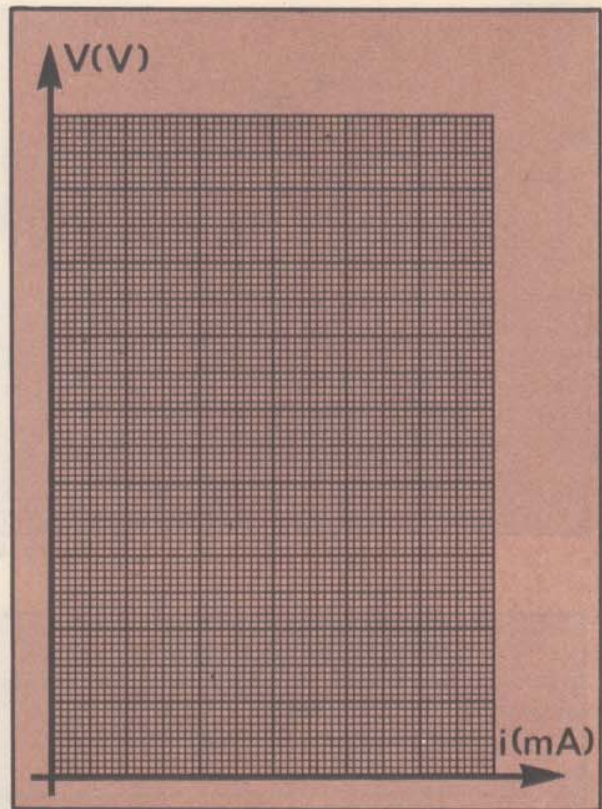


figura 8

O gráfico construído para a lâmpada também deve passar pela origem ( $V = 0$ ,  $i = 0$ ). Neste caso, porém, você não deve ter obtido uma reta.

Observando os gráficos obtidos, deve notar que o comportamento do fio de cobre é diferente do comportamento da lâmpada, à medida que aumentamos a tensão, até 7,5 V. A resistência do fio de cobre pode ser considerada constante dentro deste intervalo de tensão que você aplicou, enquanto a resistência da lâmpada, não.

Quando num condutor a corrente  $i$  é proporcional à tensão aplicada,  $V$  (como no caso do fio de cobre), a razão  $V/i = R_v$  é **constante**. Os condutores que satisfazem a essa lei simples, conhecida por **Lei de Ohm**, são chamados de **condutores lineares ou ôhmicos**. Para estes condutores, podemos esquecer o índice  $v$  de  $R_v$  e representar o valor da resistência apenas por  $R$ .

Os condutores em que a relação  $V/i = R_v$  **não é constante**, como no caso da lâmpada, são chamados de **não-ôhmicos ou não-lineares**.

tabela A		tabela B		tabela C	
V (V)	i (mA)	V (V)	i (mA)	V (V)	i (mA)
0	0	0	0	0	0
-1,0	0,4	1,0	0,2	0,2	0,5
3,0	1,3	2,6	0,5	0,6	1,0
4,0	1,7	4,8	0,8	2,8	2,1
4,6	2,0	7,0	0,9	6,0	2,75
6,4	2,8	8,4	1,0	9,0	2,9

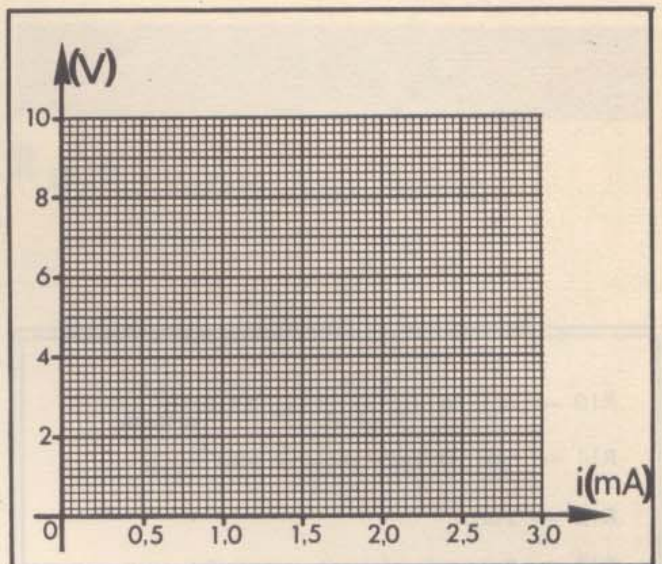


figura 9

**Q16** — As tabelas A, B e C apresentam as tensões aplicadas a três diferentes condutores, A, B e C, e às respectivas correntes que passam por eles. Construa os gráficos  $V \times i$  para cada um dos condutores na figura 9 e identifique quais são ôhmicos e quais são não-ôhmicos.

O gráfico  $V \times i$  para a condutor ôhmico da **Q16** é linear dentro do intervalo de medidas que fizemos. Você pode, a partir do gráfico, determinar a resistência elétrica desse condutor. Para isso, basta calcular a constante de proporcionalidade da reta obtida. (Veja como isso pode ser feito no exemplo da figura 10.)

**Q17** — Determine a partir do gráfico do condutor ôhmico (figura 9) o valor da constante de proporcionalidade entre  $V$  e  $i$  ( $V/i$ ).

Calcule as razões  $V/i$  para o fio de cobre e escreva na coluna 4 da tabela 3.

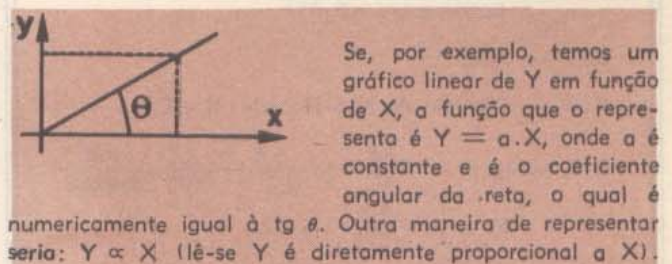


figura 10

## RESPOSTAS

**R<sub>15</sub>** -

**R<sub>16</sub>** -

**R<sub>17</sub>** -

$$R_{10} - R_{s,ov} = \frac{3,0V}{0,215A} \approx 14 \frac{\text{volt}}{\text{ampère}}$$

R11 — Não. O Valor maior é para  $R_3$  volt.

R12 — Varia.

R13 — É aproximadamente constante.

R14 — Aproximadamente  $28,3\Omega$  (para 15 m de fio de cobre n.º 37).

R15 — Não.

R16 — Ôhmico: A. Não-ôhmicos: B e C.

$$R_{17} - \text{tg } \alpha = \frac{AB}{AC} = \frac{5,8 - 2,5}{0,2 - 0,05} \frac{\text{volt}}{\text{ampère}}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{3,3}{0,15} = 22\Omega$$

Mas:  $\text{tg } \alpha = \text{coeficiente angular}$ .

Logo: Valor  $\text{tg } \alpha = R = 22\Omega$ .

### 3. Unidade de resistência elétrica

Se a corrente elétrica  $i$  é medida em ampère (A) e a tensão (V) é medida em volt (V), a resistência  $R$  será dada em volt (V)/ampère (A).

A unidade volt/ampère recebe o nome de **ohm**, representada pela letra grega maiúscula ômega ( $\Omega$ ). Dessa forma:

$$\frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ampère}} = 1 \text{ ohm } (\Omega)$$

Das definições de volt e ampère, podemos representar 1 ohm como:

$$1\Omega = \frac{1J/1C}{1C/1s} = \frac{1J}{1C} \times \frac{1s}{1C} = \frac{1J \cdot s}{1C^2}$$

**Q18** — Qual o valor da resistência, em ohm, da lâmpada que você usou quando foi aplicada a tensão de 1,5 V? E quando aplicou 3,0 V? (**Q8** à **Q10**.)

MATERIAL	R ( $\Omega$ )
madeira	
grafit	
resistor	
fio de ligação	

tabela 4

### 4. Medida da resistência elétrica

A resistência elétrica de um objeto é medida com um aparelho chamado **ohmímetro**. Este aparelho é encontrado, comercialmente, como parte de um multímetro (multitester).

O ohmímetro usa uma medida indireta de  $V$  e  $i$  para medir a resistência elétrica. Uma pilha, dentro do medidor, aplica uma certa tensão ao objeto, e a passagem da corrente é tal que faz mover o ponteiro; no mostrador o valor indicado já é o quociente  $V/i$ .

Procure no Guia do multímetro como medir resistência (no final do capítulo 9).

Meça as resistências dos objetos que você utilizou no início deste capítulo: fio de ligação, grafita, etc. Escreva os valores na tabela 4.

**Q19** — Os valores encontrados na medida confirmaram sua resposta à **Q4**?

Faça também a medida da resistência do resistor de fio de cobre utilizado na seção 2.

**Q20** — Que valor você encontrou para a resistência do fio de cobre?

**Q21** — Este valor é igual ou aproximadamente igual à razão  $V/i$  que você determinou na tabela 3?

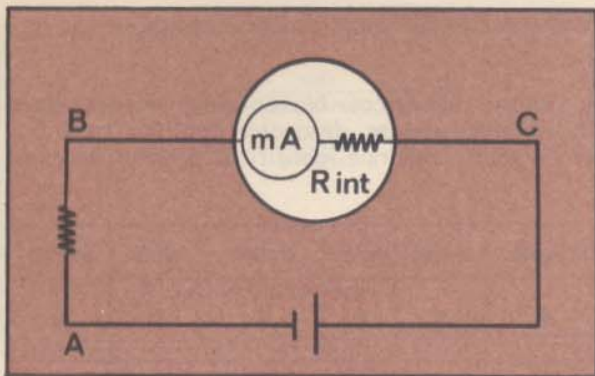


figura 11

## 5. Resistência interna dos medidores de corrente

Você provavelmente encontrou valores diferentes para a resistência do fio de cobre, quando a determinou pela relação  $V/i$ , medindo a tensão e a corrente (Q14) e, posteriormente, medindo-a diretamente com o ohmímetro (Q20).

Essa diferença é devida, principalmente, a uma perturbação que o amperímetro causa quando ligado ao circuito para efetuar a medida da corrente. Um amperímetro possui uma certa resistência, chamada **resistência interna**.

No circuito indicado na figura 11, existe uma diferença de potencial entre os terminais do medidor (pontos B e C). A resistência interna é a razão entre essa diferença de potencial e a corrente  $i$  que passa no circuito.

$$R_{int} = \frac{V_{BC}}{i}$$

O amperímetro é ligado em série ao circuito, para medir a corrente que atravessa o resistor. Nessa ligação você deve considerar que, além da resistência ligada entre A e B, existe mais uma resistência: a resistência interna do amperímetro, que, ao ser ligado ao circuito, alterou a corrente, perturbando a medida.

Os amperímetros devem possuir resistência interna de valor bem pequeno, para não alterar muito o valor da corrente que se quer medir. Isto significa que, retirando ou intercalando o medidor entre os pontos B e C, a corrente que flui pelo circuito não deve ser modificada apreciavelmente.

## RESPOSTAS

R<sub>18</sub> -

R<sub>19</sub> -

R<sub>20</sub> -

R<sub>21</sub> -

Alguns resistores não trazem impressos os seus valores numéricos. No entanto, muitas vezes existem em seu corpo algumas faixas coloridas. Estas faixas representam, de acordo com sua cor e posição, o **valor nominal do resistor**. O código de cores com o qual podemos identificar o valor nominal de um resistor é o seguinte:

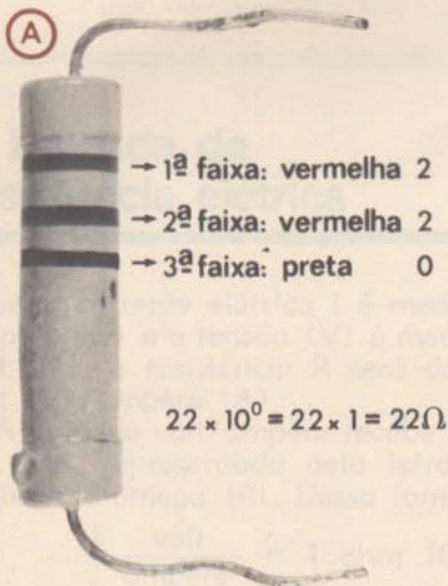
A cor	preta	marrom	vermelha	laranja	amarela	verde	azul	violeta	cinza	branca
vale o algarismo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

As faixas são lidas sempre da extremidade para o centro do resistor. Siga com atenção os itens.

- A primeira faixa, mais próxima da extremidade, representa o primeiro algarismo do valor da resistência. Este algarismo é o que está associado à cor correspondente no quadro acima.
- A segunda faixa representa o segundo algarismo da mesma maneira que o item anterior.
- A terceira faixa representa a potência de 10 pela qual deve ser multiplicado o número formado pelos dois algarismos já identificados.
- Alguns resistores apresentam somente 3 faixas. Outros, porém, apresentam ainda uma quarta faixa. Esta faixa indica a imprecisão na fabricação da resistência. Esta imprecisão é dada em percentagem **sobre o valor nominal** do resistor. A convenção é a seguinte:

- sem a 4.<sup>a</sup> faixa — 20% de imprecisão
- com a 4.<sup>a</sup> faixa prateada — 10% de imprecisão
- com a 4.<sup>a</sup> faixa dourada — 5% de imprecisão

Vamos a um exemplo. Consideremos o resistor **A** (acompanhe com o código).



Isto não quer dizer que o resistor deva ter **exatamente**  $22 \Omega$ . Observe que o resistor não tem a 4.<sup>a</sup> faixa, portanto, a imprecisão é de  $\pm 20\%$ . Mas 20% de  $22 \Omega$  é  $4,4 \Omega$ . O fabricante garante apenas que a resistência está situada no intervalo entre  $17,6 \Omega$  ( $22 - 4,4 = 17,6$ ) e  $26,4 \Omega$  ( $22 + 4,4 = 26,4$ ).

Consideremos agora o resistor B.

O fabricante especifica uma imprecisão de  $\pm 5\%$  ( $2000 \Omega$ ). Assim, este resistor pode ter qualquer valor compreendido entre  $38000 \Omega$  e  $42000 \Omega$ . Esta imprecisão percentual no valor do resistor fornecida pelo fabricante é denominada **tolerância** no valor da resistência.

$$R_{18} - R_{3,5V} = 10 \frac{\text{volt}}{\text{ampère}} = 10\Omega$$

$$R_{8,0V} = 14 \frac{\text{volt}}{\text{ampère}} = 14\Omega$$

R19 — Síml.

R20 — 27Ω.

R21 — Aproximadamente igual.

## 6. Resistores utilizados industrialmente

Os rádios, televisores e outros aparelhos elétricos utilizam, em grande escala, elementos cuja principal característica é ter uma resistência bem definida. Estes elementos, chamados **resistores**, não são, em geral, construídos com fio metálico. Muitas vezes são feitos de porcelana e carbono com uma capa isolante e dois terminais metálicos. O valor da resistência vem impresso ou indicado por várias faixas coloridas (figura 12). Existe um código para determinar o valor da resistência a partir dessas faixas.

Vamos apresentar este código de cores que você deve ler com atenção. A seguir, você vai determinar a resistência de alguns resistores, usando o código, e comparar com o valor obtido pela medida com o ohmímetro.

**Q22** — Determine pelo código de cores a resistência dos seguintes resistores mostrados na figura 12.

Confirme o valor encontrado medindo

$$R_1 = \quad ; R_2 = \quad ; R_3 = \quad$$

**Q23** — Considerando a tolerância dada pelo fabricante, esses valores coincidem com os determinados pelo código?

Nos próximos capítulos, você estudará resistores cuja resistência varia quando aquecidos ou iluminados.

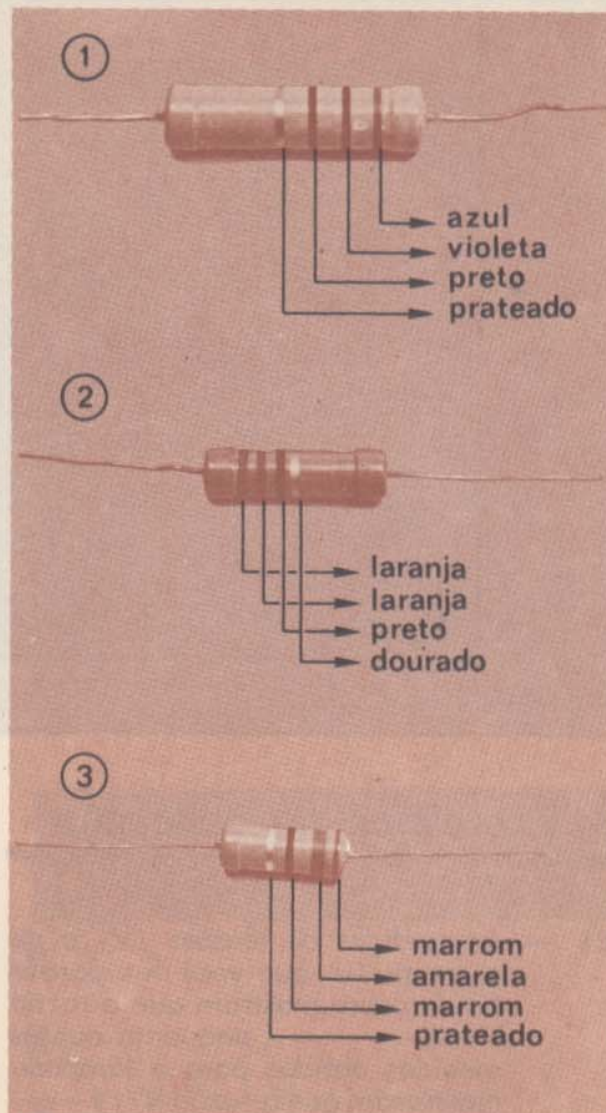


figura 12

## RESPOSTAS

**R<sub>22</sub>** -

**R<sub>23</sub>** -

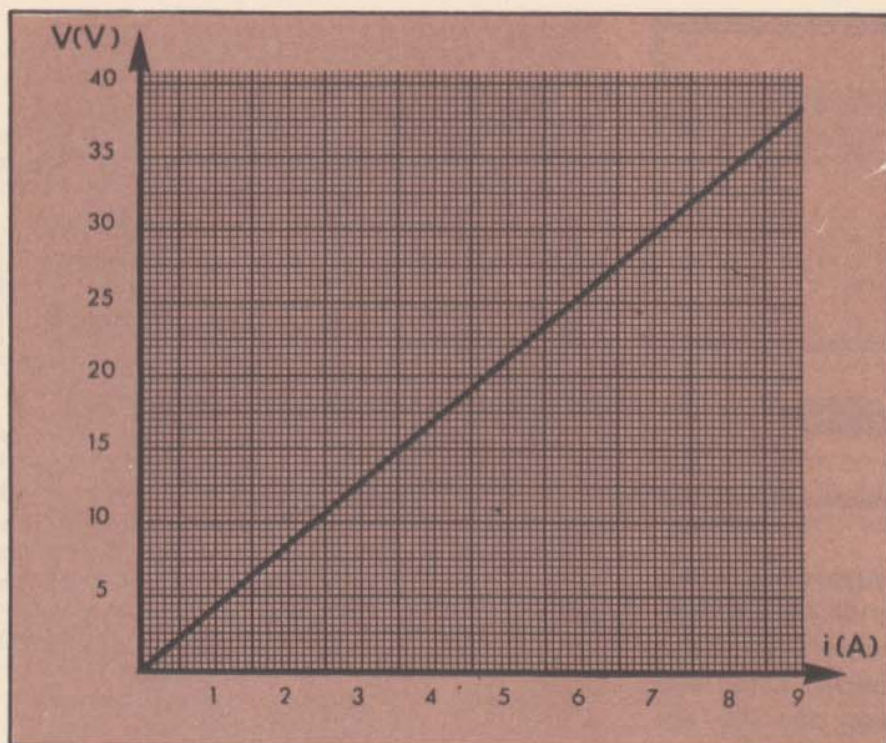


figura 13

Tensão (V)	Corrente (A)
2,5	
5,0	
12,0	
	5,5
	6,0
	7,5
44,0	

tabela 5

## 7. Exercícios de aplicação

- E1** — As medidas de tensões (V) e de corrente (i) que você fez para o fio de cobre mostram que a razão  $V/i$  é \_\_\_\_\_, enquanto que as medidas obtidas para a lâmpada mostraram que a razão  $V/i$  é \_\_\_\_\_.
- E2** — Uma constante de proporcionalidade obtida do gráfico tensão versus corrente ( $V \times i$ ) para um condutor ôhmico é chamada de \_\_\_\_\_.
- E3** — Em qualquer gráfico  $V \times i$  para condutores comuns (fios condutores), a reta obtida no gráfico passa pela origem? Justifique. E o caso da lâmpada?
- E4** — Como podemos saber se um resistor é ôhmico ou não-ôhmico para um determinado intervalo de tensões aplicadas?
- E5** — Suponha que você mediu vários pares de valores de corrente e tensão para um condutor ôhmico. Os valores obtidos, quando representados em um gráfico  $V \times i$ , estão todos exatamente alinhados sobre uma reta? Justifique.
- E6** — Todos os resistores têm razão  $V/i$  constante? Cite exemplos, onde  $V/i$  é constante e casos onde não é constante quando se varia a tensão.
- E7** — O valor da resistência interna de um amperímetro deve ser muito \_\_\_\_\_ comparada com a resistência do circuito, para não alterar muito o valor da \_\_\_\_\_ que se quer medir.
- E8** — Considere dois condutores, um ôhmico (A) e outro não-ôhmico (B). Sabe-se que cada um deles é percorrido por uma corrente de 0,1 A quando se aplica 10 V às suas extremidades.
- Quais os valores das resistências dos condutores A e B quando se aplica a tensão de 10 V?
  - Você sabe dizer quais os valores das resistências dos condutores quando se aplica a tensão de 5 V?



TABELA EXPERIMENTAL		TABELA	
V (V)	i (A)	V (V)	i (A)
1,0	$50 \times 10^{-2}$	0,5	
2,5	$120 \times 10^{-2}$	1,0	
3,5	$165 \times 10^{-2}$	2,0	
4,5	$220 \times 10^{-2}$	3,0	
5,5	$270 \times 10^{-2}$	4,0	
6,5	$315 \times 10^{-2}$	5,0	
7,5	$368 \times 10^{-2}$	6,0	

tabela 6

E9 — O gráfico da figura 13 representa a tensão **versus** corrente para um resistor.

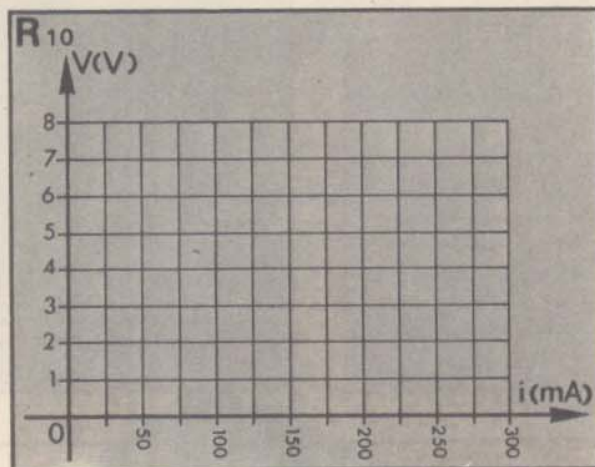
- Utilize o gráfico para completar a tabela 5 de tensão e corrente.
- Obtenha, a partir do gráfico, o valor da resistência. Compare com os valores obtidos através da tabela.

E10 — A tabela 6 mostra resultados experimentais de medidas de corrente elétrica para diferentes tensões aplicadas em um resistor. Entretanto, o experimentador quer construir uma tabela para valores que não foi possível obter experimentalmente.

- Ajude o experimentador a concluir a tabela.
- Levante o gráfico  $V \times i$  com os dados da tabela construída.
- Qual o valor da resistência do resistor em questão? Determine através do coeficiente angular no gráfico.

R22 —  $67\Omega$ ;  $33\Omega$ ;  $140\Omega$ .

R23 — Sim.



## RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R<sub>3</sub> -

R<sub>4</sub> -

R<sub>5</sub> -

R<sub>6</sub> -

R<sub>7</sub> -

R<sub>8</sub> - a)

b)

R<sub>9</sub> - a)

R<sub>10</sub> - a)

b)

V	A
5	$0,35 \times 10^{-1}$
10	$0,70 \times 10^{-1}$
15	$1,05 \times 10^{-1}$
19	$1,4 \times 10^{-1}$
23	$1,8 \times 10^{-1}$
30	$2,7 \times 10^{-1}$
38	$3,9 \times 10^{-1}$
45	$5,5 \times 10^{-1}$
48	$7,0 \times 10^{-1}$
51	$9,0 \times 10^{-1}$

tabela 7

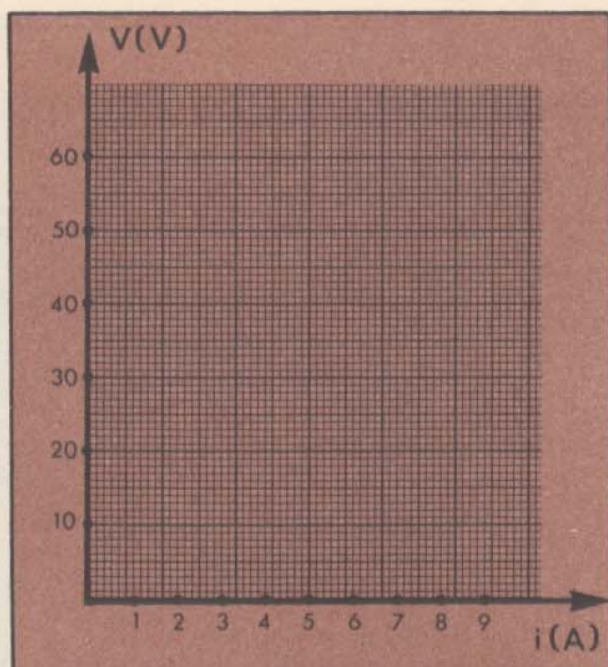


figura 14

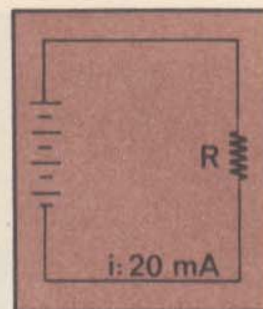


figura 16

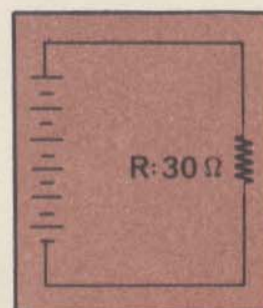


figura 17

cores das faixas				cálculo	valor	tolerância	
1ª	2ª	3ª	4ª			%	valores extremos
laranja	marrom	preta	prateada	$31 \times 10^0$	31 Ω	10	27,9 Ω - 34,1 Ω
violeta	preta	marrom	—				
azul	cinza	laranja	—				
verde	amarela	marrom	dourada				
branca	branca	preta	prateada				
vermelha	preta	amarela	dourada				

figura 15

**E11** — Construa o gráfico  $V \times i$  (figura 14) com os dados da tabela 7.

- Existe algum intervalo em que o resistor se comporta como um resistor linear? Qual é este intervalo? Como você pode verificar a linearidade sem construir o gráfico?
- Para a tensão de 18 V, qual o valor da resistência?
- Para a corrente de  $6,5 \times 10^{-1} \text{ A}$ , qual a tensão aplicada e qual o valor da resistência?

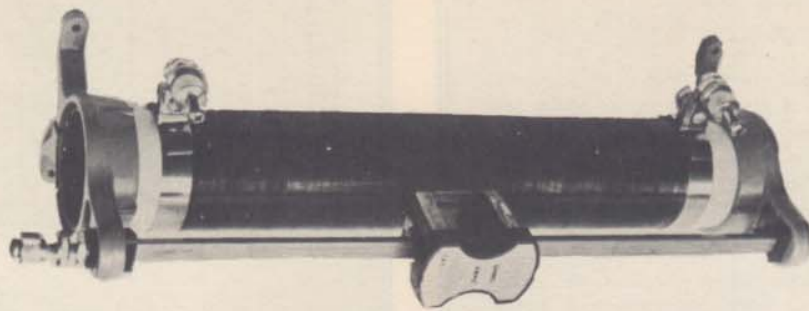
**E12** — Com auxílio do Código de Cores, para identificar resistência, complete o quadro da figura 15, identificando as resistências propostas, seguindo o exemplo da primeira linha.

**E13** — Dado o circuito da figura 16, calcule o valor da resistência R. O circuito utiliza como fonte 4 pilhas de 1,5 V em série.

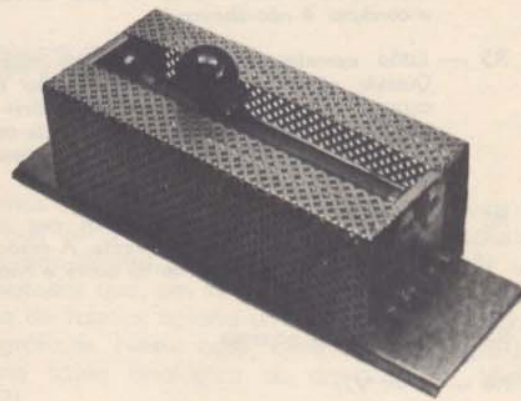
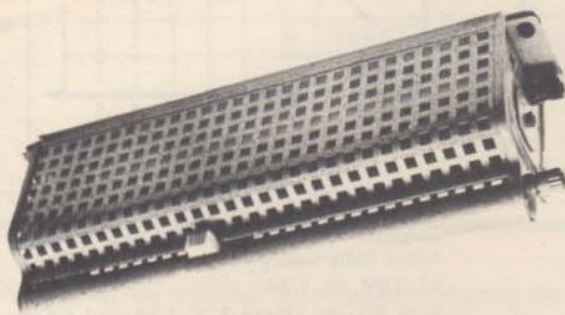
**E14** — No circuito da figura 17, qual a corrente que percorre a resistência de  $30 \Omega$ ? A fonte consta de 6 pilhas de 1,5 V em série.

**E15** — A corrente que passa pelo resistor de um aquecedor elétrico é 6 A, quando ligado à tensão de 110 V. Determine o valor de sua resistência.

**E16** — Um fogão elétrico tem resistência de  $10 \Omega$  e a corrente especificada para seu funcionamento é de 11 A. Qual a tensão que deve ser aplicada ao fogão?



**Reostatos ou resistores variáveis** — Esses tipos de resistores são intercalados em circuitos elétricos, para regular a tensão aplicada. Os três reostatos aqui mostrados são do tipo **cursor**. O cursor é um dos terminais da resistência que pode se deslocar ao longo do fio enrolado em espiral. Quanto maior for o deslocamento do cursor em relação à entrada da corrente, maior será a resistência intercalada ao circuito.



## RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R<sub>11</sub> -

R<sub>13</sub> -

R<sub>14</sub> -

R<sub>15</sub> -

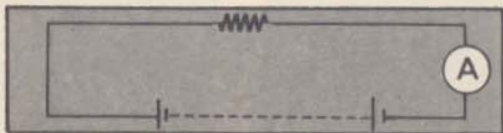
R<sub>16</sub> -

R1 — Constante — variável.

R2 — Resistência elétrica.

R3 — Sim. Em todo gráfico  $V \times i$ , para condutores ôhmicos ou não, a curva passa pela origem, pois quando  $V = 0$  a corrente também é nula. A curva ou reta obtida de um gráfico  $V \times i$  para resistores ôhmicos ou não-ôhmicos é denominada **curva característica**.

R4 — Devemos fazer várias medidas da intensidade de corrente, variando-se a tensão em circuito como o esquema abaixo. Com



os dados, constrói-se um gráfico  $V \times i$ . Se o gráfico for uma reta, o condutor é ôhmico, caso contrário, se for uma curva, o condutor é não-ôhmico.

R5 — Estão **aproximadamente** sobre uma reta. Quando efetuamos medidas de tensão e corrente sempre há pequenos desvios devidos a erros experimentais, de modo que os pontos não se alinham sobre uma mesma reta.

R6 — Não, pois existem resistores em que a razão  $V/i$  não é **sempre** constante. A razão  $V/i$  é constante para o fio de cobre e não é para a lâmpada.

R7 — Pequena — corrente.

R8 —  $R = V/i$

a)  $R_A = R_B = 10V/0,1A = 100\Omega$

b) Só podemos determinar a resistência do condutor A, pois B não é ôhmico.

$R_A = 5V/0,05A = 100\Omega$

$R_B = 5V/i$ . Como não conhecemos a curva  $V \times i$  para o condutor B, não podemos determinar a corrente correspondente à tensão de 5V.

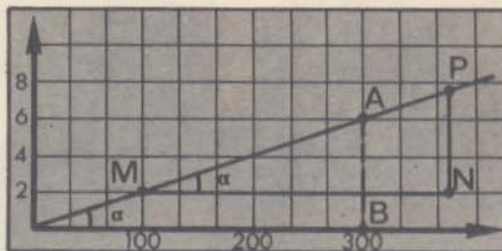
R9 — a)

V	2,5	5,0	12,0	24,0	28,0	32,5	44,0
A	0,7	1,2	2,8	5,5	6,0	7,5	9,7

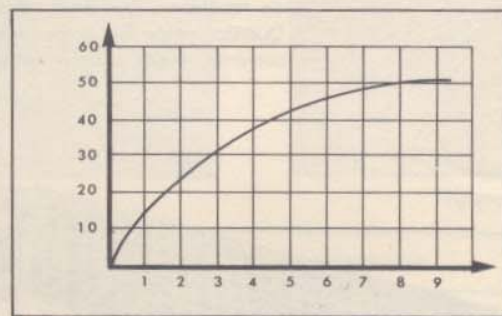
b)  $T_g = R = 15V/3,5A \approx 40,3\Omega$

V	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$A \times 10^{-2}$	25	50	100	150	200	250	300

R10 — a) A tabela nos informa do valor da corrente que deveríamos obter para uma certa tensão. No entanto, não leva em conta desvios experimentais, é uma tabela teórica.



c)  $R = \text{tg } \alpha = \frac{\overline{AB}}{\overline{MB}} = \frac{\overline{PN}}{\overline{MN}} = 0,02\Omega$



R11 — a) Sim, entre 0V — 18V o resistor se comporta linearmente, pois a relação  $V/i$  é constante. Depois de 18V esta relação não é mais constante.

b)  $18V \rightarrow 1,2A$

$R = V/i = 18V/1,2 \times 10^{-1} = 1500\Omega$

c)  $6,5 \times 10^{-1}A \rightarrow 46V$

$R = V/i = 46V/6,5 \times 10^{-1} = 70\Omega$

R12 —

$70 \times 10^3$	700 $\Omega$	20	560 $\Omega$ — 840 $\Omega$
$68 \times 10^3$	68 000 $\Omega$	20	54 400 $\Omega$ — 81 600 $\Omega$
$64 \times 10^3$	640 $\Omega$	5	513 $\Omega$ — 567 $\Omega$
$99 \times 10^3$	99 $\Omega$	10	89,9 $\Omega$ — 108,9 $\Omega$
$20 \times 10^3$	20 000 $\Omega$	5	190 000 $\Omega$ — 21 000 $\Omega$

R13 — Tensão = 4 pilhas  $\times 1,5V = 6,0V$

$R = \frac{V}{i} = \frac{6,0V}{0,02mA} = \frac{6,0V}{20A}$

$R = 300\Omega$

R14 — Tensão = 6 pilhas  $\times 1,5V = 9,0V$

$R = V/i \rightarrow i = V/R$

$i = \frac{9,0V}{30\Omega} = 0,30A$

R15 —  $R = V/i = 110V/6A = 18,3\Omega$

R16 —  $R = V/i \rightarrow V = Ri$

$V = 10\Omega \times 11A$

$V = 110V$



figura 18

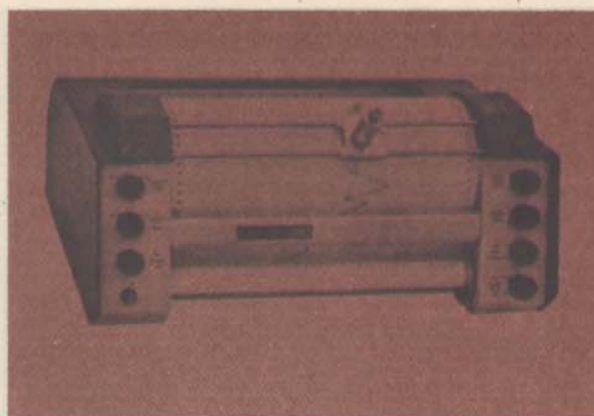


figura 19

## Leitura Suplementar

### Computadores

Máquinas de calcular e computadores são dispositivos capazes de efetuar "cálculos" de diversos graus de complexidade.

Numa máquina de calcular típica existe um processo pelo qual um operador "informa" à máquina que tipo de cálculo deseja executar e quais os números com que deve operar. A máquina, após o processamento, isto é, a execução das operações, "informa" ao operador o resultado da operação.

A interação homem—máquina pode-se dar por vários processos. Do homem para a máquina pode-se usar um teclado, uma fita, um cartão perfurado ou um dispositivo de discagem (como num telefone). Da máquina para o homem, pode-se usar a impressão em papel (é o que faz uma máquina de escrever elétrica), um mostrador luminoso ou um tubo de raios catódicos semelhante a um tubo de televisão (figura 18).

Num computador, os cálculos executados podem ser muito complexos, envolvendo decisões lógicas, como, por exemplo, alterar o próprio procedimento do cálculo, dependendo dos resultados obtidos e resolvendo, de forma automática, equações complexas.

As situações acima descritas envolvem cálculos **digitais**, isto é, cálculos em que os dados de entrada e saída estão na forma de **números**. Existem entretanto situações em que os dados de entrada e/ou saída não estão na forma de núme-

ros, mas são representados por uma grandeza física que varia continuamente. Como exemplo de saída **não-digital**, podemos citar o caso de um computador que, em vez de fornecer os dados na forma de tabela, aciona uma máquina que constrói gráficos. Neste caso, dizemos que o gráfico é uma saída **analógica** do computador (figura 19).

Um exemplo de entrada analógica e saída digital é um sistema usado em muitos supermercados para marcar o preço de produtos de peso variável, como queijos, frangos, tomates, etc. Para isso, o computador é formado por uma balança automática, um calculador e um impressor.

Antes de iniciar o processo, o operador, por meio de um teclado, "informa" à máquina o preço de um quilograma de produto. Ao se colocar o produto no prato da balança, o sistema efetua uma multiplicação imprimindo o resultado em uma etiqueta a ser colocada no objeto para a venda. Você pode agora concluir que num posto de gasolina a "bomba de gasolina" inclui um "computador **analógico digital**".

A tecnologia moderna utiliza um grande número de computadores **analógico-analógico**, isto é, com entrada e saída analógicas, para controlar processos. Alguns são puramente mecânicos e de funcionamento simples e foram inventados muito antes de aparecer o termo **computador**. Outros são eletrônicos, complexos e usam os avanços mais sofisticados da tecnologia moderna. Um exemplo de um computador **analógico-analógico** simples é a bóia das caixas-d'água. Estes dispositivos têm um **sinal de entrada**, que é o nível da

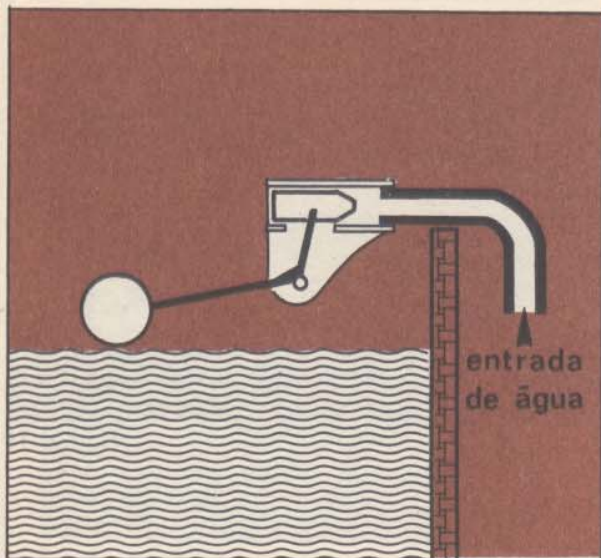


figura 20

água na caixa, e um  **sinal de saída**, que abre ou fecha a entrada da água. Tanto mais cheia a caixa, menos água entra, até que, quando a água atinge um certo nível, a válvula de entrada da caixa é fechada (figura 20).

Um computador **análogo-analógico** complexo é, por exemplo, o sistema de aterrissagem automática de aviões em aeroportos modernos que permite a aterrissagem de um avião em condições de visibilidade zero (campo coberto por neblina). Os sinais de entrada para o computador são informações referentes à posição, velocidade e orientação do avião em relação ao aeroporto. Os sinais de saída do computador acionam os controles do avião. Sistemas semelhantes a este foram usados nos módulos lunares para a alunissagem.

Até aqui tratamos da entrada e saída de um sistema de cálculo. Internamente ao computador, as informações podem ser processadas **analogicamente** ou **digitalmente**. Se o computador é digital e a entrada e a saída são analógicas, existem dispositivos que convertem informações analógicas em digitais (CAD — conversor analógico digital) e outros que convertem informações digitais em analógicas (CDA — conversor digital analógico). Outras combinações de entrada e saída e processamento envolvem conversões adequadas. Num **processamento digital** todas as informações são processadas no computador na forma digital. Assim, nos passos intermediários do cálculo, as informações são transferidas e armazenadas na forma digital, isto é, haverá números sendo transmitidos e armazenados em sistemas de engrenagem ou por processos eletrônicos em que os números são convenientemente codificados.

Num processamento analógico, as informações são transmitidas e armazenadas na forma de alguma grandeza física que toma valores variáveis, proporcionais ao valor das grandezas que representam. Assim, um número, uma força, um deslocamento ou uma velocidade podem es-

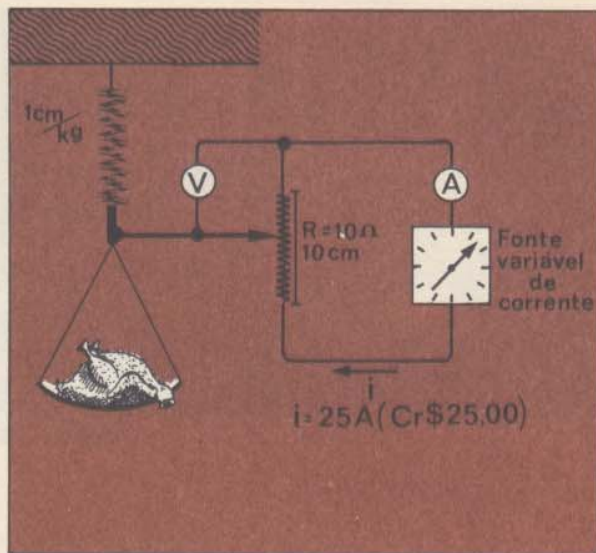


figura 21

tar representados num computador analógico por uma tensão ou uma corrente.

Vejamos, a título de exemplo e usando conhecimentos que você já adquiriu no curso, como poderia ser construído um calculador analógico que calculasse o preço de venda de produtos ( $P$ ), conhecendo o custo por quilograma ( $C$ ). O problema envolve uma multiplicação de  $C$  pela massa  $M$  do produto, assim:  $P = CM$ .

Entre os fenômenos elétricos que estudou, você deve lembrar que corrente, tensão e resistência num resistor estão relacionados da seguinte forma:  $V = Ri$ , isto é, a tensão no resistor é igual ao produto da corrente que percorre pelo valor da resistência.

Será possível fazer uma analogia entre a relação  $V = Ri$  do fenômeno elétrico com a relação  $P = CM$  do problema que se quer resolver?

Se for possível variar o valor da resistência de forma que seja proporcional à massa e o valor da corrente de forma que seja proporcional ao custo por quilograma, a tensão no resistor será proporcional ao produto — (massa)  $\times$  (custo por quilograma) — e, portanto, proporcional ao preço de venda. Isto é, fazemos corresponder  $P$  a  $V$ ,  $C$  a  $i$  e  $M$  a  $R$ .

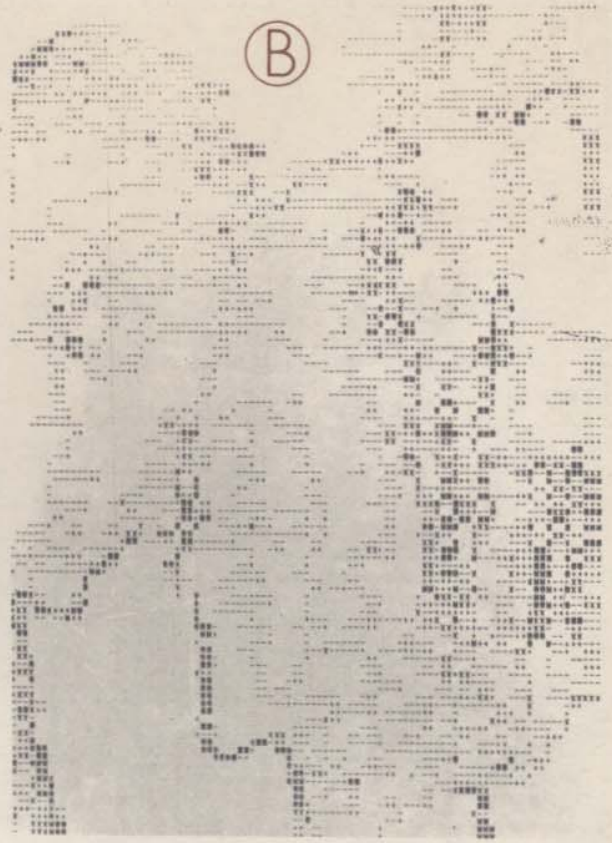
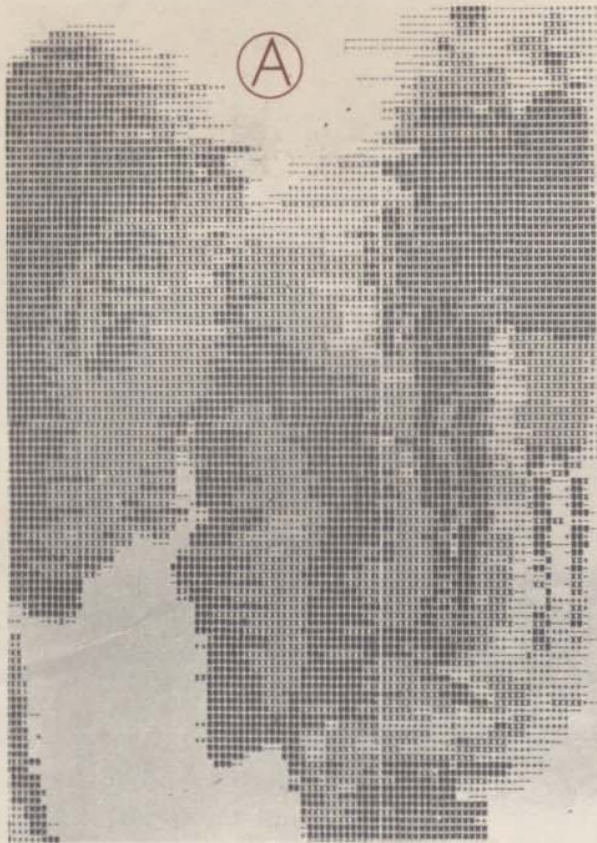
Como podemos variar o valor de um resistor de forma que seja proporcional a uma massa?

Podemos associar um resistor variável a uma balança de mola. Uma forma de fazer esta associação seria usar como resistor um fio com dos contatos deslizantes. Se a posição do contato depender do peso no prato da balança (figura 21), o problema estará resolvido.

Como podemos variar a corrente pelo resistor?

É possível construir fontes que geram uma corrente cujo valor é ajustável manualmente. No caso do sistema da figura 21, a corrente é medida por um amperímetro.

Consideremos um caso numérico. Suponhamos que o resistor de fio tenha um comprimento total



Exemplo de uso de computador no processamento de imagens. Cada ponto foi representado internamente ao computador por um número de 0 a 7 representando uma intensidade mais clara ou mais escura. Assim, a imagem A foi formada na impressora de um computador por caracteres mais pretos ou menos pretos, de acordo com as regiões mais escuras ou mais claras da figura original. Na imagem B, as regiões brancas correspondem a áreas de intensidade constante, e as regiões escuras correspondem a mudanças

de intensidade da imagem A (quanto maior for a diferença de intensidade entre duas áreas vizinhas, mais escura será a região). A imagem A nos transmite uma mensagem visual a partir de uma representação de claro e escuro, ao passo que a B nos transmite uma mensagem visual semelhante a partir de uma representação por linhas.

Esse trabalho foi realizado no computador IBM 360 do Instituto de Física da USP por Giorgio Moscati (físico) e Waldemar Cordeiro (artista plástico), em 1968.

de 10 cm e tenha uma resistência de  $10\Omega$ . Verifica-se experimentalmente que a resistência elétrica de um fio metálico é proporcional ao seu comprimento. Suponhamos que a mola da balança se alonga de 1 cm para cada quilograma colocado no prato. Suponhamos ainda que o custo do material colocado na balança seja de Cr\$ 25,00 por quilograma. É fácil ver que, se a corrente for fixada em 25 ampères (valor numericamente igual ao custo por quilograma), a tensão em volts indicada pelo voltímetro será numericamente igual ao preço de venda do produto (em cruzeiros), pois  $V = iR$ . Assim, se a massa for de 3,5 kg, a mola se alongará de 3,5 cm e o voltímetro medirá a tensão de um trecho de 3,5 cm do fio, que terá  $3,5\Omega$  de resistência. A leitura do voltímetro será  $V = iR = 25 \text{ ampères} \times 3,5\Omega = 87,5 \text{ volts}$ . O preço de venda será Cr\$ 87,50.

Neste exemplo, o operador gera um  **sinal de entrada**  ajustando a corrente  $i$  num valor que corresponde ao custo por quilograma. A colocação

do frango no prato da balança ajusta o valor da resistência  $R$  de forma que tenha tantos ohms quantos quilogramas tiver o frango (outro sinal de entrada). A passagem da corrente pelo resistor fará com que a tensão  $V = Ri$  tome numericamente o valor do preço da venda.

O voltímetro é o elemento de acoplamento entre o computador e o operador, permitindo que o resultado do cálculo, na forma de tensão (sinal de saída), possa ser compreendido pelo operador.

Este processo ilustra como uma lei física pode ser usada como princípio de funcionamento de um calculador analógico. No entanto, para tarefas mais simples há em geral processos menos sofisticados que este (as balanças de açougue fazem este cálculo tendo simplesmente várias escalas de custo para vários preços por quilograma).

Na indústria usam-se procedimentos semelhantes ao acima descrito que efetuam cálculos analógicos para controlar processos industriais.

Esta obra foi impressa pelo  
AGGS — Indústrias Gráficas S.A.  
Rua Luís Câmara, 535 — Olaria — Rio de Janeiro — RJ.  
para a  
FENAME — Fundação Nacional de Material Escolar  
Rua Miguel Ângelo, 96 — Maria da Graça — Rio de Janeiro — RJ  
República Federativa do Brasil