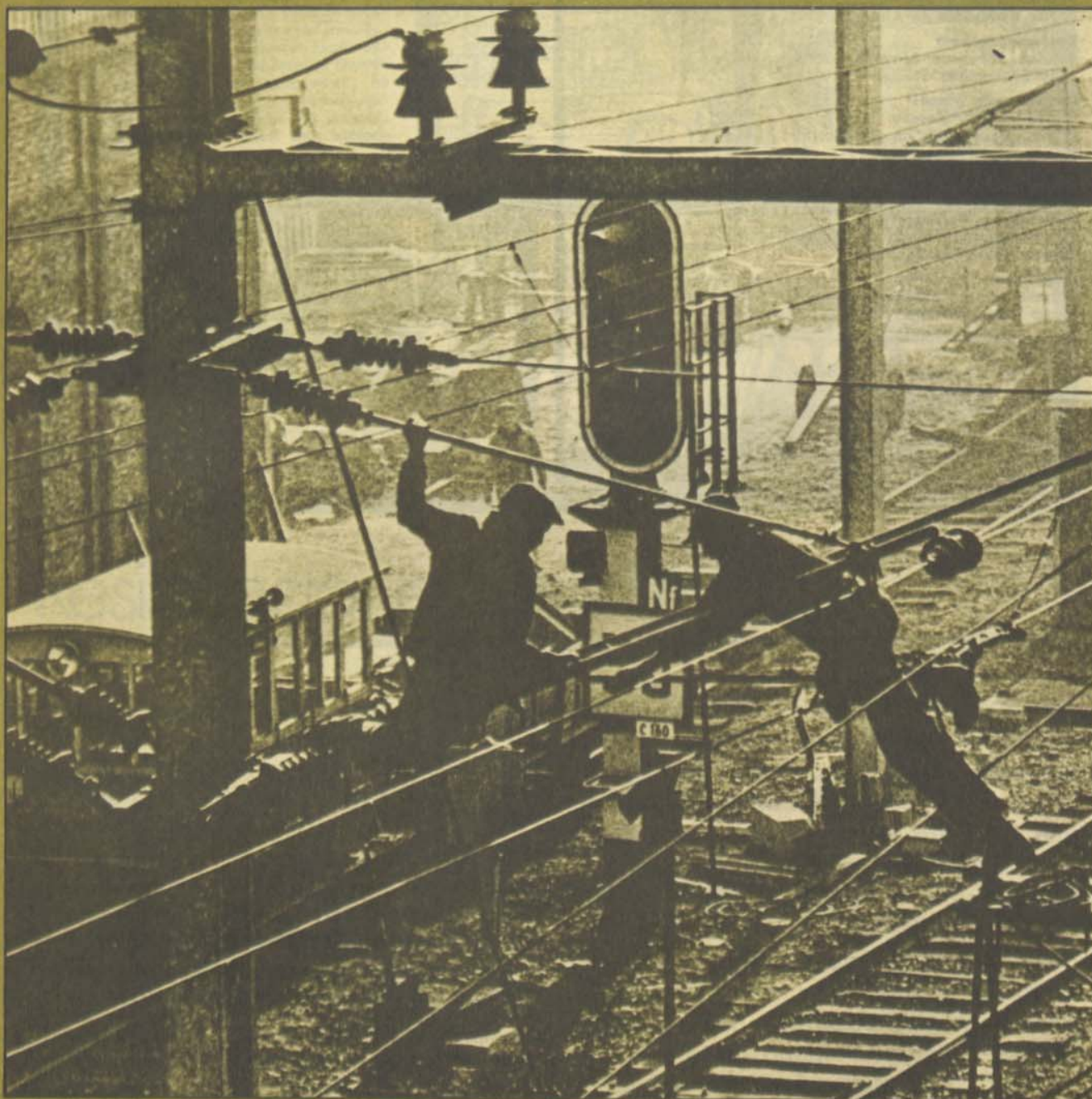


Resistência e resistividade



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

Eleticidade

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

Eletromagnetismo

Jesuina 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 Espirito 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

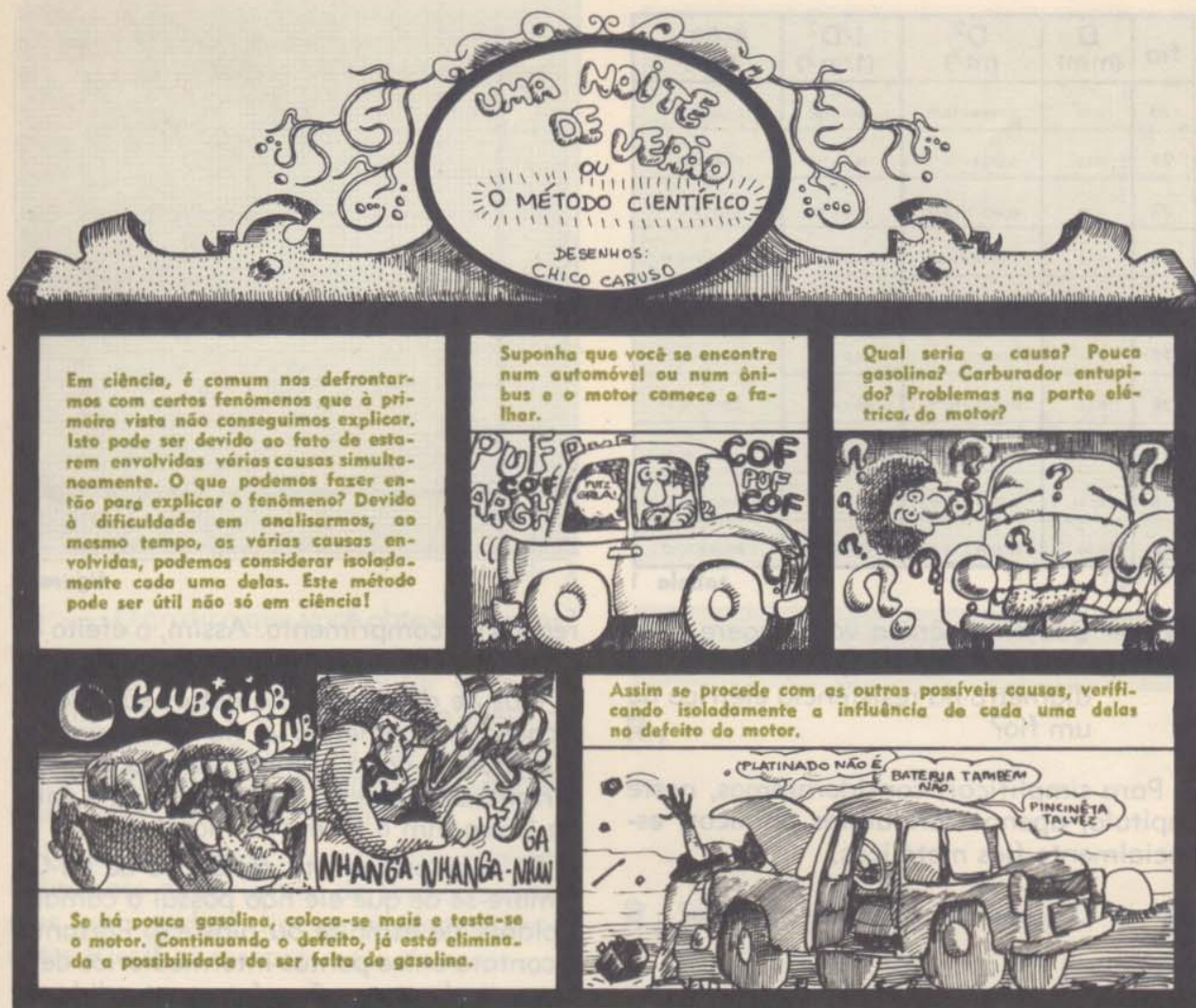
CAPA

Ferrovieiros reparando
uma linha de alta tensão
em uma estação ferro-
viária.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 6 — Resistência e resistividade

1. Variação da resistência com o diâmetro do fio	6—2
2. Variação da resistência com o comprimento do fio	6—4
3. Medidas com fios de cobre	6—6
4. Resistividade	6—8
5. Resistividade e estrutura da matéria	6—12
6. Exercícios de aplicação	6—14



Em ciência, é comum nos depararmos com certos fenômenos que à primeira vista não conseguimos explicar. Isto pode ser devido ao fato de estarem envolvidas várias causas simultaneamente. O que podemos fazer então para explicar o fenômeno? Devido à dificuldade em analisarmos, ao mesmo tempo, as várias causas envolvidas, podemos considerar isoladamente cada uma delas. Este método pode ser útil não só em ciência!

Suponha que você se encontre num automóvel ou num ônibus e o motor começa a falhar.



Qual seria a causa? Pouca gasolina? Carburador entupido? Problemas na parte elétrica do motor?



Se há pouca gasolina, coloca-se mais e testa-se o motor. Continuando o defeito, já está eliminada a possibilidade de ser falta de gasolina.

Assim se procede com as outras possíveis causas, verificando isoladamente a influência de cada uma delas no defeito do motor.



Resistência e resistividade

Neste capítulo você realizará experiências para chegar a uma simples lei da Física que relaciona as dimensões e o material de fios condutores com suas resistências elétricas.

Você procederá, em um problema simples, de maneira semelhante à de um cientista quando investiga novas leis da natureza. Assim, você ficará conhecendo alguns métodos utilizados na ciência.

Você sabe que a energia elétrica que chega até nossas casas, às fábricas, etc., é conduzida por fios feitos de materiais bons condutores. Mesmo assim, os fios se aque-

cem e há perda de energia. Por isso, nem toda energia elétrica gerada é efetivamente utilizada pelos consumidores. Essa perda é devida à resistência dos fios.

Será que fios de mesmo material, mas de diferentes dimensões, têm a mesma resistência elétrica? Qual a influência do diâmetro do fio na resistência elétrica dele? Qual a influência do comprimento? Essas perguntas você poderá responder após realizar algumas experiências. Leia a história em quadrinhos acima e tente responder à questão seguinte.

fio	D (mm)	D ² (m ²)	1/D ² (1/m ²)	área (m ²)
30	0,25	0,0625 × 10 ⁻⁶	16,0 × 10 ⁶	0,049 × 10 ⁻⁶
31	0,23	0,0529 × 10 ⁻⁶	18,9 × 10 ⁶	0,042 × 10 ⁻⁶
32	0,20	0,040 × 10 ⁻⁶	25,0 × 10 ⁶	0,031 × 10 ⁻⁶
33	0,18	0,0324 × 10 ⁻⁶	30,8 × 10 ⁶	0,025 × 10 ⁻⁶
34	0,16	0,0256 × 10 ⁻⁶	39,0 × 10 ⁶	0,020 × 10 ⁻⁶
35	0,14	0,0196 × 10 ⁻⁶	54,0 × 10 ⁶	0,015 × 10 ⁻⁶
36	0,13	0,0169 × 10 ⁻⁶	59,1 × 10 ⁶	0,013 × 10 ⁻⁶
37	0,11	0,0121 × 10 ⁻⁶	82,6 × 10 ⁶	0,009 × 10 ⁻⁶
38	0,104	0,0108 × 10 ⁻⁶	92,6 × 10 ⁶	0,007 × 10 ⁻⁶
40	0,08	0,0064 × 10 ⁻⁶	156,3 × 10 ⁶	0,005 × 10 ⁻⁶

tabela 1

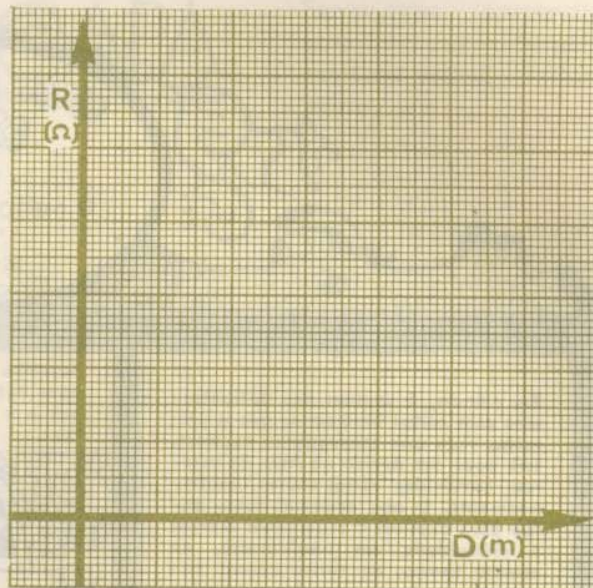


figura 1

Q1 — Que experiência você sugere para verificar apenas a influência do diâmetro na resistência elétrica de um fio?

Para simplificar, consideraremos, neste capítulo, apenas condutores ôhmicos, especialmente fios metálicos.

Q2 — O que é um condutor ôhmico?

1. Variação da resistência com o diâmetro do fio

Você vai fazer uma experiência em que procurará verificar a influência do diâmetro de um fio no valor da sua resistência elétrica.

Você poderá utilizar fios de níquel-cromo (Ni-Cr) de diferentes diâmetros, mas de mesmo comprimento.

Q3 — Por que convém usar fios de mesmo comprimento nesta experiência?

Se os fios forem de mesmo material e de comprimentos iguais, as diferenças que forem encontradas, nos valores das resistências, não podem ser atribuídas a dife-

renças no comprimento. Assim, o efeito do diâmetro é mais claramente evidenciado.

Fios de diferentes diâmetros são identificados no comércio e na indústria por números. A cada número corresponde determinado diâmetro (a tabela 1 dá o valor de D em mm e D² em m² na τ).

Se você estiver utilizando fio de Ni-Cr, lembre-se de que ele não possui a camada isolante de esmalte ou plástico. Portanto, o contato entre pontos intermediários deve ser evitado para não afetar a medida da resistência.

Meça a resistência de cinco fios. Se você tiver dúvidas quanto à utilização do medidor, consulte o Guia. Lembre-se de verificar inicialmente se, unindo os terminais, o medidor indica zero ohm.

Registre na tabela 2 os valores que você encontrou, pela ordem crescente dos diâmetros.

Q4 — Como varia a resistência dos fios, quando se consideram fios de diferentes diâmetros?

Vamos procurar uma relação quantitativa entre a resistência R e o diâmetro D, isto é, vamos estudar de que forma R varia em função de D.

Com os dados que você registrou na tabela 2, construa na figura 1 o gráfico R × D.

nº do fio	D (m)	R (Ω)	$1/D^2$

tabela 2

Q5 — O gráfico que você obteve é linear?

Esta maneira de representar a dependência entre R e D nos dá uma idéia de como R varia com D, mas não sugere claramente a equação matemática que relaciona essas duas grandezas.

Se conseguirmos transformar convenientemente as variáveis, de forma a obtermos um gráfico linear, a dependência entre R e D se tornará mais clara.

Vamos fazer um outro gráfico, a partir dos valores obtidos na tabela 1.

Complete a tabela 2, copiando da tabela 1 os valores correspondentes de $1/D^2$, isto é, do inverso do quadrado do diâmetro. Construa o gráfico $R \times 1/D^2$ na figura 2.

Q6 — Que tipo de curva você obteve?

O gráfico $R \times 1/D^2$ deve ter dado uma reta que passa pela origem. Isto significa que R é proporcional a $1/D^2$.

Para representar que uma grandeza é diretamente proporcional a outra, costuma-se utilizar o símbolo \propto . Assim, para escrever simbolicamente que a resistência é diretamente proporcional ao inverso do quadrado do diâmetro do fio, escreve-se:

$$R \propto \frac{1}{D^2}$$



figura 2

RESPOSTAS

R₁ -

R₂ -

R₃ -

R₄ -

R₅ -

R₆ -

A área da seção do fio (figura 3) pode ser calculada, lembrando que a área do círculo é dada por $A = \pi \cdot r^2$, onde r é o raio do círculo e π (letra grega **pi**) é uma constante que vale aproximadamente 3,14. Sabemos que o raio é metade do diâmetro; então, no caso de seção do fio, temos que sua área é

$$A = \pi \cdot (D/2)^2, \text{ ou seja: } A = D^2 \cdot \pi/4;$$

$A = \pi/4 \cdot D^2$. Podemos dizer, portanto, que a área A é diretamente proporcional ao quadrado do diâmetro do fio, ou seja, $A \propto D^2$.

Q7 — Sendo $R \propto 1/D^2$ e $A \propto D^2$, qual é a relação entre a resistência elétrica (R) do fio e a área (A) de sua seção? Dê a resposta simbolicamente e em palavras.

Q8 — Fios condutores de mesmo material e de mesmo comprimento são percorridos por correntes elétricas iguais. A diferença de potencial entre os extremos dos fios será menor para os fios mais grossos ou para os fios mais finos?

Você talvez já tenha observado os fios usados para transportar corrente elétrica de um local a outro, por exemplo, linhas de alta tensão, fios de distribuição de corrente nas casas, nos automóveis, etc. Alguns desses fios têm diâmetros grandes, para diminuir a resistência elétrica, diminuindo assim a perda de energia elétrica.

Q9 — Qual o motivo de não se utilizar em linhas de transmissão ou em instalações residenciais fios mais grossos, o que diminuiria ainda mais as perdas de energia elétrica?

Sabemos agora que a resistência elétrica R , de fios condutores, é inversamente proporcional à área da seção desses fios, ou seja: $R \propto 1/A$.

Falta verificar se o comprimento do fio influi em sua resistência elétrica.

6-4

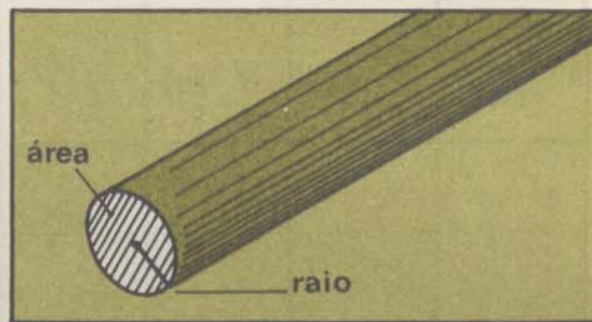


figura 3

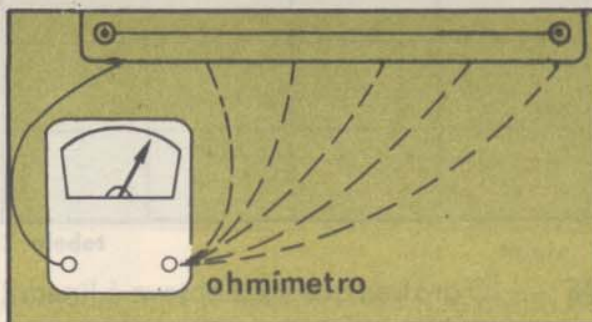


figura 4

2. Variação da resistência com o comprimento do fio

Na seção anterior, verificamos como a resistência do fio depende do diâmetro. Para isso, medimos a resistência de vários fios, de diferentes diâmetros, mas de mesmo comprimento.

Q10 — Que experiência você sugere para verificar como o comprimento influi na resistência elétrica do fio?

Meça a resistência do fio de Ni-Cr n.º 38 ou do n.º 40. Anote o resultado na tabela 3. A seguir, marque na placa as distâncias 3 cm; 6 cm; 9 cm; 12 cm e 15 cm (0,03 m; 0,06 m; 0,09 m; 0,12 m e 0,15 m), conforme a figura 4.

Q11 — Compare os resultados das medidas e assinale as afirmações corretas.

- Quanto maior o comprimento de um fio, maior é sua resistência.
- A resistência elétrica de um fio é diretamente proporcional ao seu comprimento.

l (m)	R (Ω)
0,15	
0,12	
0,09	
0,06	
0,03	

tabela 3

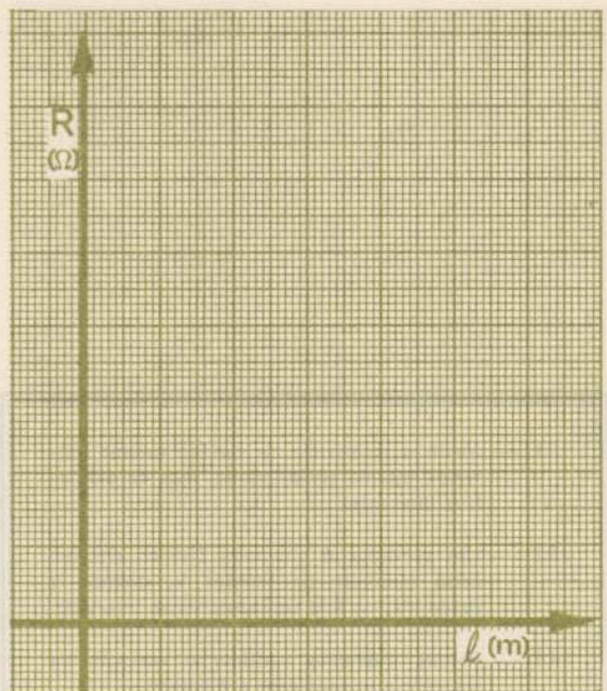


figura 5

Com os valores que você obteve (tabela 3), construa um gráfico da resistência R em função do comprimento l na figura 5.

Q12 — Que tipo de gráfico você obteve?

Q13 — Escreva a relação entre R e l .

Você acaba de confirmar, por meio do gráfico, que a resistência elétrica de um fio varia linearmente com seu comprimento.

As experiências que você fez confirmam que a resistência elétrica R do fio:

- 1.º) é inversamente proporcional à área da sua seção: $R \propto 1/A$;
- 2.º) é diretamente proporcional ao comprimento do fio: $R \propto l$.

Existe uma propriedade das proporções, que diz:

"Se uma grandeza é proporcional a duas outras, ela será proporcional ao produto destas."*

* Exemplo: O peso P de um saco de batatas é proporcional ao número N de batatas que estão nele, ou seja, $P \propto N$. No entanto, o peso P é também proporcional ao peso p de cada batata, ou seja, $P \propto p$. Então, o peso de saco de batatas é proporcional ao número de batatas vezes o peso de cada batata. Assim, sendo $P \propto N$ e $P \propto p$, então $P \propto N \cdot p$.

RESPOSTAS

R₇ -

R₈ -

R₉ -

R₁₀ -

R₁₂ -

R₁₃ -

R1 — Medir a resistência de fios do mesmo material, mesmo comprimento, mas de diâmetros diferentes.

R2 — Um condutor é chamado ôhmico em um certo intervalo de tensões V , quando a razão $V/i = R$ é constante nesse intervalo.

R3 — Porque queremos verificar a variação da resistência **apenas com o diâmetro**.

R4 — Para um mesmo comprimento, quanto **maior** o diâmetro do fio, **menor** será sua resistência elétrica.

R5 — Não.

R6 — Uma reta.

R7 — A resistência elétrica do fio é **inversamente** proporcional à área da seção do mesmo fio, ou, ainda, poderíamos dizer: a resistência elétrica é diretamente proporcional ao inverso da área da seção do fio: $R \propto 1/A$.

R8 — $R \propto 1/D^2$, portanto, o fio mais grosso terá R menor. $V = Ri$; portanto, o fio mais grosso terá V menor.

R9 — Motivos econômicos. O metal dos fios, geralmente o cobre, é muito caro. Um fio grosso contém muito mais cobre do que um fino. O custo do cobre adicional seria mais elevado que o custo motivado pelas perdas elétricas.

R10 — Imaginamos que sua sugestão foi do tipo: "medir as resistências de fios de diferentes comprimentos mas com o **mesmo diâmetro**".

R11 — As duas afirmações estão corretas.

R12 — Uma reta que passa pela origem.

R13 — A resistência elétrica de um fio é diretamente proporcional ao seu comprimento: $R \propto \ell$.

Q14 — Com base na propriedade anterior, escreva a relação entre a resistência elétrica de um fio, a área da seção e o comprimento.

A relação $R \propto \ell/A$ também pode ser escrita em forma de equação. Então é introduzida uma constante de proporcionalidade K , ou seja,

$$R = K \cdot \frac{\ell}{A}$$

K é uma constante que não depende de ℓ nem de A .

Q15 — Suponha que você não tenha ohmímetro e deve escolher, entre vários fios de Ni-Cr de diâmetros e comprimentos diversos, o fio de maior resistência. Como você procederia?

Q16 — Três fios de Ni-Cr têm as dimensões abaixo:

fio A: $\ell = 1,0 \text{ m}$ $A = 0,10 \text{ mm}^2$

fio B: $\ell = 3,0 \text{ m}$ $A = 0,20 \text{ mm}^2$

fio C: $\ell = 2,0 \text{ m}$ $A = 0,05 \text{ mm}^2$

a) Qual é o de maior resistência?

b) Qual é o de menor resistência?

Você fez medidas apenas com fios de Ni-Cr.

Será que para fios de outro material, também R é proporcional a ℓ/A ($R \propto \ell/A$)?

Para responder a esta pergunta, você poderá realizar experiências semelhantes às que acabou de fazer com fios de Ni-Cr, mas deverá utilizar fios de outro material, por exemplo, cobre.

3. Medidas com fios de cobre

Vamos verificar se a lei obtida para fios de Ni-Cr é válida também para fios de outro material.

Para esta experiência você precisará de dois fios de cobre de mesmo comprimento e de diâmetros diferentes, por exemplo: 6

nº do fio	D (mm)	$1/D^2$ (m ⁻²)	R (Ω)

tabela 4

metros de fio n.º 37 e 6 metros de fio n.º 33. Será necessário também um ohmímetro. Se você tiver tempo e material, faça as medidas para **cinco** fios de diâmetros diferentes, por exemplo, números 31, 35, 36, além dos 37 e 33.

Observação: Estes fios de cobre têm, em geral, uma capa isolante de esmalte. Para você poder fazer as medidas de resistência é necessário remover esse esmalte. Isso poderá ser feito com uma lixa ou palha de aço fina, tomando o cuidado de não quebrar o fio.

Meça a resistência elétrica dos fios de cobre de mesmo comprimento, mas de diferentes **diâmetros**. Escreva os resultados na tabela 4.

Se você fez medidas em 5 fios de diâmetros diferentes, faça o gráfico $R \times 1/D^2$ da figura 6. Que tipo de gráfico obteve?

Q17 — Com essas medidas, o que você concluiu sobre a relação que existe entre a resistência de um fio de cobre e a área de sua seção? Escreva a relação matemática.

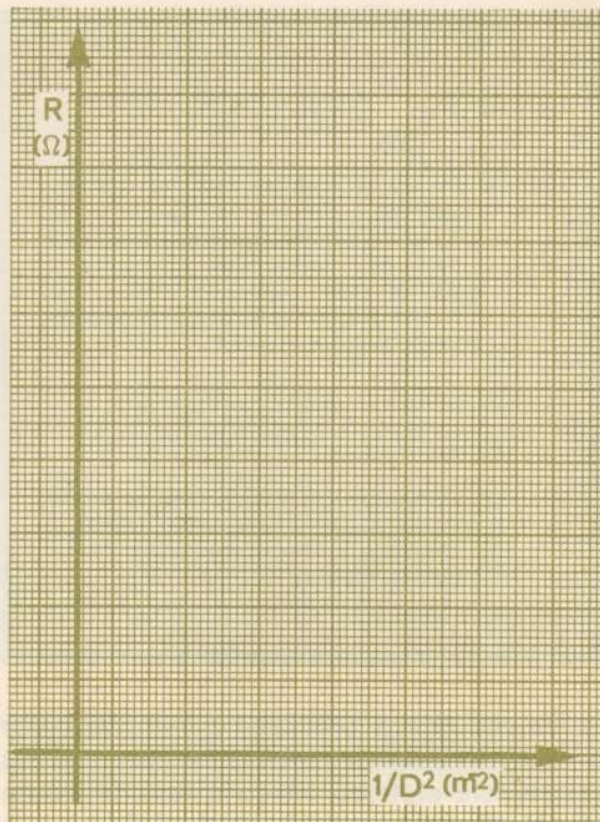


figura 6

RESPOSTAS

R₁₄ -

R₁₅ -

R₁₆ -

R₁₇ -

$$R_{14} \text{ — } R \propto \frac{\ell}{A} \text{ ou } R \propto \frac{1}{A}$$

R15 — Mediria os comprimentos e os diâmetros dos fios e calcularia as diversas razões ℓ/A . O fio que apresentasse o maior valor para aquela razão corresponderia ao de maior resistência elétrica, pois $R = K \cdot \ell/A$, sendo K constante para fios de determinado material.

R16 — a) Maior resistência elétrica: fio C
b) Menor resistência elétrica: fio A

R17 — Quanto maior a área da seção de um fio de cobre, menor a resistência elétrica. A resistência é inversamente proporcional à área da seção do fio: $R \propto 1/A$.

nº do fio	ℓ (m)	R (Ω)

tabela 5

Vamos agora procurar a relação entre o **comprimento** de um fio de cobre e sua resistência elétrica. Meça a resistência de um fio de cobre n.º 37, de 6 m. Se houver condições, meça a resistência de pedaços menores deste fio, a saber: 5 m, 4 m, 3 m, 2 m e 1 m. Se não, meça pelo menos a resistência de 3 m. Escreva os resultados na tabela 5.

Q18 — O que você conclui sobre a relação entre a resistência de um fio de cobre e seu comprimento? Escreva a relação matemática.

Q19 — Escreva a relação entre a resistência elétrica de um fio de cobre e suas dimensões (ℓ e A).

Chegamos à mesma conclusão da variação de R com as dimensões do fio para dois materiais diferentes. É razoável esperar, então, que outros fios metálicos obedeçam à mesma lei, ou seja, $R = K \cdot \ell/A$. Experiências feitas com fios de vários materiais diferentes confirmam esta expectativa.

A questão agora é sabermos se a constante de proporcionalidade K tem o mesmo valor para o cobre, para o níquel-cromo e para outros materiais. Na próxima seção

6-8

veremos isso, e estudaremos o significado físico dessa constante.

Q20 — Um fio de prata de comprimento $\ell = 100$ metros e diâmetro $d = 1$ mm tem resistência $2,0 \Omega$.

Descubra quais serão as resistências dos seguintes fios de prata:

- a) $d = 1$ mm, $\ell = 400$ m
- b) $d = 1$ mm, $\ell = 33,3$ m
- c) $d = 4$ mm, $\ell = 100$ m
- d) $d = 0,20$ mm, $\ell = 100$ m
- e) $d = 4$ mm, $\ell = 500$ m

4. Resistividade

A constante de proporcionalidade entre R e ℓ/A é chamada de **resistividade elétrica** e costuma ser representada pela letra grega ρ (lê-se: **rho**). Assim, para fios condutores metálicos, temos: $R = \rho \ell/A$.

Vamos determinar em que unidade se mede a resistividade ρ , a partir das unidades de R, ℓ e A.

R (Ω) ohm
 ℓ (m) metros

fio	d (mm)	d ² (m ²)	1/d ² (m ⁻²)	A (m ²)
10	2,59	6,7081 × 10 ⁻⁶	0,15 × 10 ⁶	5,27 × 10 ⁻⁶
12	2,05	4,2025 × 10 ⁻⁶	0,24 × 10 ⁶	3,30 × 10 ⁻⁶
14	1,63	2,6569 × 10 ⁻⁶	0,38 × 10 ⁶	2,09 × 10 ⁻⁶
16	1,29	1,6641 × 10 ⁻⁶	0,60 × 10 ⁶	1,30 × 10 ⁻⁶
18	1,02	1,0204 × 10 ⁻⁶	0,98 × 10 ⁶	0,818 × 10 ⁻⁶
20	0,81	0,6561 × 10 ⁻⁶	1,52 × 10 ⁶	0,515 × 10 ⁻⁶
22	0,64	0,4096 × 10 ⁻⁶	2,44 × 10 ⁶	0,322 × 10 ⁻⁶
24	0,51	0,2601 × 10 ⁻⁶	3,84 × 10 ⁶	0,204 × 10 ⁻⁶
26	0,40	0,1600 × 10 ⁻⁶	6,25 × 10 ⁶	0,126 × 10 ⁻⁶
28	0,32	0,1024 × 10 ⁻⁶	9,77 × 10 ⁶	0,080 × 10 ⁻⁶

A (m²) metros quadrados

Da equação anterior, temos:

$$\rho = \frac{R}{l/A} = \frac{R \cdot A}{l}$$

$$\rho = \frac{R(\Omega) \cdot A(\text{m}^2)}{l(\text{m})} \text{ ou } \rho = \frac{R \cdot A}{l} (\Omega \cdot \text{m})$$

A unidade da resistividade ρ é $\Omega \cdot \text{m}$, ohms vezes metros. Às vezes são usadas outras unidades como ($\Omega \cdot \text{cm}$), ($\Omega \cdot \text{mm}$), etc.

Você vai determinar o valor da resistividade ρ para os fios de cobre e de níquel-cromo, a partir das medidas que fez, referentes à variação das resistências com as dimensões dos fios.

Calcule o valor de ρ para dois quaisquer dos fios de Ni-Cr. Utilize os dados da tabela 2. Escreva o valor encontrado.

1.º) fio de Ni-Cr

n.º: D:

l = R:

ρ =

2.º) fio de Ni-Cr

n.º: D:

l = R:

ρ =

Q21 — Estes valores podem ser considerados iguais? ρ depende das dimensões do fio escolhido?

RESPOSTAS

R₁₈ -

R₁₉ -

R₂₀ -

R₂₁ -

R18 — A resistência elétrica de um fio de cobre é diretamente proporcional ao seu comprimento: $R \propto \ell$.

R19 — Você verificou separadamente que R é proporcional a $1/A$ e a ℓ . Segue-se que $R \propto \ell/A$, ou $R = K\ell/A$, onde K é uma constante.

R20 — a) $4 \times 2,0 = 8\Omega$
b) $0,33 \times 2,0 = 0,66\Omega$
c) $0,125\Omega$
d) 50Ω
e) $0,625\Omega$

R21 — Sim./ Não.

material	ρ ($\Omega \cdot m$)
alumínio	$2,8 \times 10^{-8}$
cobre	$1,7 \times 10^{-8}$
ferro	$1,0 \times 10^{-7}$
prata	$1,6 \times 10^{-8}$
tungstênio	$5,6 \times 10^{-8}$
latão	$0,08 \times 10^{-6}$
zinco	$0,06 \times 10^{-6}$
níquel-cromo	$1,1 \times 10^{-6}$

tabela 6

Proceda da mesma maneira com dois fios quaisquer de cobre. Utilize os dados da tabela 4. Escreva o valor encontrado.

1.º fio de Cu

n° :
 ℓ =
 ρ =

2.º fio de Cu

n° :
 ℓ =
 ρ =

Q22 — A resistividade do Ni-Cr é igual à do cobre?

Q23 — Complete a frase abaixo:
"A resistividade de um fio metálico _____ das dimensões, mas _____ do material de que é feito o fio."
(depende; não depende)

Q24 — Complete a frase seguinte:
"A resistividade do Ni-Cr é cerca de _____ vezes _____ que a do cobre."

Q25 — Dados dois fios de mesmo diâmetro e mesmo comprimento, um de cobre e outro de Ni-Cr, qual terá menor resistência?

Q26 — Qual dos materiais é melhor condutor: o cobre ou o níquel-cromo? Por quê?

Observe que, também para os fios de cobre, a resistividade não depende das dimensões do fio; os valores obtidos são praticamente os mesmos para todos os valores de ℓ e de A . Podemos concluir, então, que **a resistividade elétrica não depende das dimensões do fio, mas é uma característica do material de que ele é feito.**

A tabela 6 mostra os valores da resistividade de vários materiais. Estes valores foram obtidos em laboratórios especializados, para materiais muito puros e sempre nas mesmas condições ambientes (temperatura, pressão, iluminação, etc.) para todos os materiais (você verá mais adiante que a resistividade dos materiais pode depender dessas condições).

Q27 — Compare os valores de ρ do cobre e do níquel-cromo, que você obteve experimentalmente, com os valores da tabela 6. São aproximadamente iguais?

Q28 — Qual dos materiais citados na tabela 6 é melhor condutor?

RESPOSTAS

R_{22} -

R_{25} -

R_{26} -

R_{27} -

R_{28} -

R_{29} -

R_{30} -

Você pode calcular o valor da resistividade ρ para o cobre e para o níquel-cromo, também por meio de gráficos. A relação $R = \rho l / A$ é uma função linear. No gráfico de R em função de l/A ($R \times l/A$), o valor de ρ é o coeficiente angular da reta.

Q29 — Utilizando os valores de resistividade apresentados na tabela 6, calcule a resistência de um fio de alumínio de 100 m de comprimento e de 0,4 mm de diâmetro.

Q30 — Considerando novamente os dados da tabela 6, calcule a resistência de um fio de ferro e de um fio de Ni-Cr com as mesmas dimensões do fio da questão anterior.

Nas seções anteriores você verificou que a resistência elétrica de um fio é determinada pelas suas dimensões geométricas e por uma propriedade do material do fio, a resistividade.

A resistividade é diferente para diferentes materiais, como mostra a tabela 6. Ela depende da estrutura atômica e cristalina de cada material. É o que você estudará na próxima seção.

R22 — Não.

R23 — Não depende; depende.

R24 — Sessenta; maior.

R25 — O fio de cobre.

R26 — O cobre, pois tem resistividade menor que o Ni-Cr.

R27 — Sim. Você deve ter obtido valores que devem diferir dos da tabela de cerca de 10%.

R28 — Aquele que tem menor resistividade, ou seja, a prata.

R29 — $R \cong 22\Omega$.

R30 — $R_{\text{ferro}} \cong 80\Omega$
 $R_{\text{Ni-Cr}} \cong 870\Omega$

5. Resistividade e estrutura da matéria

Se você tivesse um potente microscópio que permitisse ver os átomos, e observasse um pedaço de metal sólido, por exemplo, o cobre, observaria que os átomos de cobre têm posições regulares uns em relação aos outros: é o que chamamos de **crystal** ou **rede cristalina** (figura 7).

A condução da corrente elétrica nos metais se deve ao movimento dos elétrons livres dentro do cristal, sob ação de um campo elétrico:

Para um determinado valor de campo elétrico neste condutor, devemos esperar que a intensidade da corrente seja tanto maior quanto maior for o número de elétrons e quanto menos perturbado for o movimento dos elétrons por choques com os átomos do cristal. Em outras palavras, a resistência e a resistividade do condutor vão depender do número de elétrons livres existentes e da facilidade com que esses elétrons se movem no cristal.

6-12

Q31 — O cobre tem aproximadamente um elétron livre por átomo, ao passo que no bismuto há somente cerca de um elétron livre para cada dois átomos. Baseado somente nesta informação, você acharia que o bismuto é melhor condutor que o cobre, isto é, tem menor resistividade?

Q32 — O movimento dos elétrons no metal A se dá com menos colisões do que no metal B. Qual dos metais deveria ter menor resistividade?

Os elétrons livres, como vimos no capítulo 1, são aqueles que deixam de pertencer a um átomo individualmente e se movimentam livremente pelo cristal como um todo. O número de elétrons livres num metal depende, assim, de como os elétrons se arranjam nos átomos e de como estão dispostos os átomos no cristal. Por exemplo, para um dado átomo, haverá mais elétrons livres se a distância entre os átomos do cristal for menor. Realmente, observa-se uma pequena diminuição da resistividade, quando um cristal é subme-

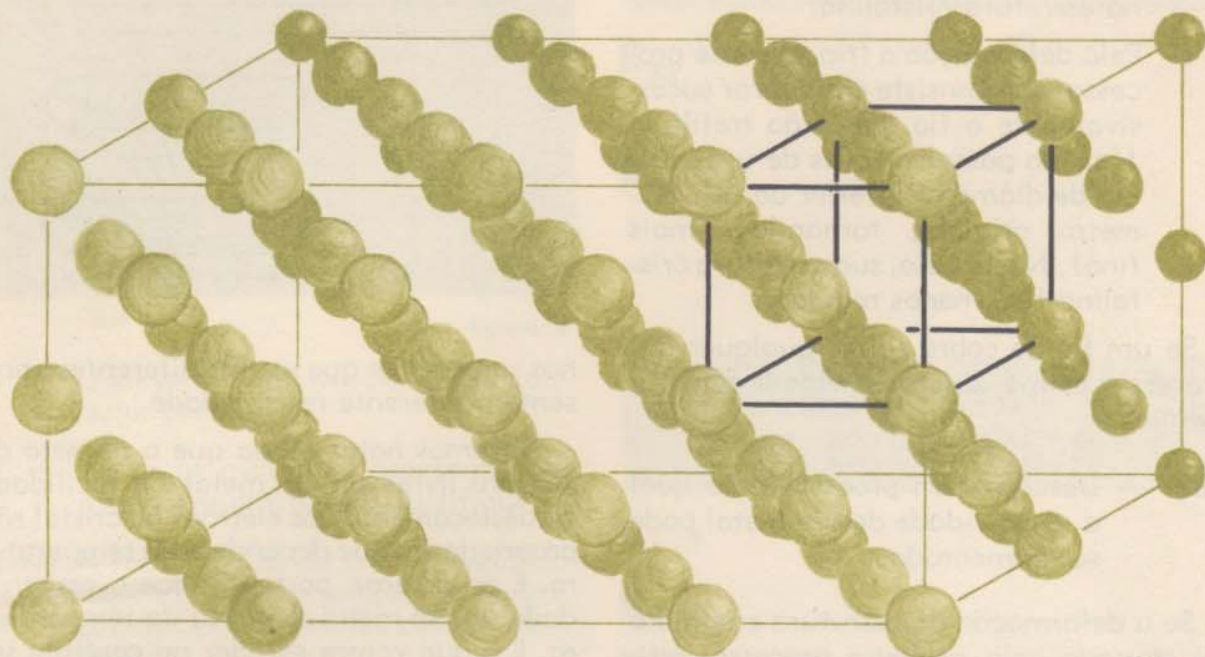


figura 7

tido a grandes pressões (o que faz os átomos se aproximarem uns dos outros).

O movimento dos elétrons é perturbado pelos choques com os átomos da estrutura cristalina. Quanto mais regular for essa estrutura, tanto menos perturbado será o movimento. Este fato pode ser verificado quando se mede a resistividade de metais em que os átomos estão distribuídos de maneira mais regular ou menos regular. Como se pode alterar a organização dos átomos em um metal, por exemplo o cobre?

Descreveremos três maneiras de diminuir a regularidade com que os átomos estão organizados no cristal:

- a) Pela introdução de impurezas. Se, por exemplo, tivermos um pequeno número de átomos de ferro no cobre, estes átomos deformatarão a rede cristalina nas proximidades dos pontos onde se localizam;
- b) Pela irradiação com partículas, tais como prótons, nêutrons, elétrons de alta energia, etc. Se um fio de cobre for irradiado, as partículas incidentes colidirão com os átomos do cristal e farão com que alguns desses átomos saiam de sua posição regu-

RESPOSTAS

R₃₁ -

R₃₂ -

lar no cristal e fiquem fora de lugar, produzindo assim irregularidades na estrutura cristalina;

- c) Pela deformação a frio. Por este processo, que consiste em dobrar sucessivamente o fio ou então trefilá-lo (fazê-lo passar através de um orifício de diâmetro inferior ao seu diâmetro original, tornando-o mais fino). Neste caso, sua estrutura cristalina fica menos regular.

Se um fio de cobre sofrer qualquer dos processos acima, sua resistividade fica aumentada.

- Q33** — Descreva um processo pelo qual a resistividade de um metal pode ser aumentada.

Se a deformação da estrutura cristalina foi causada pelo primeiro processo, retirando as impurezas de ferro, isto é, fazendo uma purificação do metal, reduziremos novamente sua resistividade.

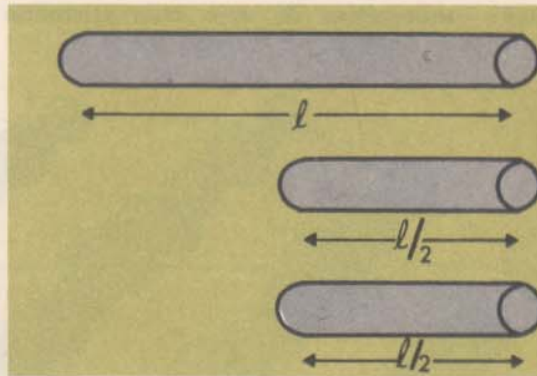
Se a deformação foi causada por radiações ou deformações a frio, podemos aumentar a regularidade da estrutura, aquecendo o metal e depois deixando-o esfriar lentamente, de forma que se recristalize regularmente. Este processo é chamado de **recozimento** e é parte do processo de fabricação de fios condutores de cobre.

- Q34** — Como se pode diminuir a resistividade de um fio de cobre que sofra deformações a frio?

Pelo que foi descrito acima, podemos entender que a resistividade depende da estrutura atômica, isto é, da posição dos átomos dentro do cristal, das impurezas e irregularidades existentes na rede cristalina e das forças que os átomos exercem sobre os elétrons, dentro do metal.

É de esperar que diferentes metais e diferentes ligas se apresentem diferentes no número de elétrons livres e nas perturbações que a rede cristalina exercerá sobre o movimento dos elétrons. Desta forma não

6-14



nos surpreende que metais diferentes apresentem diferente resistividade.

Devemos notar ainda que o número de elétrons livres em um metal e a facilidade de deslocamento dos elétrons no cristal são propriedades que dependem da temperatura. É de esperar, portanto, que a resistividade de um metal dependa da temperatura. É o que vamos estudar no capítulo seguinte.

6. Exercícios de aplicação

- E1** — De que características de um fio metálico depende a sua resistência elétrica?
- E2** — A resistência elétrica de um fio metálico é diretamente proporcional ao seu _____ e _____ proporcional ao quadrado de seu diâmetro.
- E3** — Qual a influência do comprimento de um condutor na sua resistência? E do seu diâmetro na sua resistência?
- E4** — Para um fio condutor de certo comprimento e de certo diâmetro, quanto maior for a resistividade do material, tanto _____ será a resistência do fio.
- E5** — A frase "este fio é feito de material bom condutor" indica uma resistividade grande ou pequena?

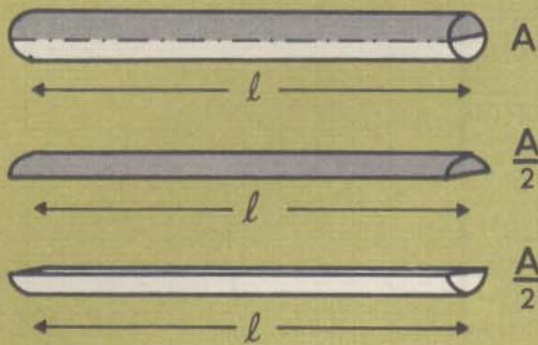


figura 8

- E6** — Qual seria a resistência de um condutor perfeito?
- E7** — Todos os materiais apresentam a mesma resistividade? Justifique.
- E8** — A resistividade de um fio metálico depende das dimensões geométricas do fio (diâmetro e comprimento)?
- E9** — A resistividade é propriedade característica de um fio ou do material de que é feito o fio?
- E10** — Um resistor de fio de Ni-Cr tem resistência de 60Ω e comprimento de 2 metros. Qual é o diâmetro desse fio? $\rho_{\text{Ni-Cr}} = 1,1 \times 10^{-10}\Omega\cdot\text{m}$.
- E11** — Um fio metálico tem resistência R , resistividade ρ e comprimento l .
- O fio é cortado em dois pedaços de comprimento $l/2$. Qual é a resistência e qual a resistividade dos dois pedaços (figura 8-a)?
 - O fio é cortado longitudinalmente em dois pedaços iguais (figura 8-b). Qual é a resistência e qual a resistividade de cada pedaço?
- E12** — Um condutor de volume V tem resistência R . Você saberia dizer como varia sua resistência, se o volume é duplicado?
- E13** — Como você poderia verificar se a luz que ilumina um fio influi na sua resistência?

RESPOSTAS

R_{33} -

R_{34} -

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R_1 -

R_3 -

R_5 -

R_6 -

R_7 -

R_8 -

R_9 -

R_{10} -

R_{11} -

R_{12} -

R_{13} -

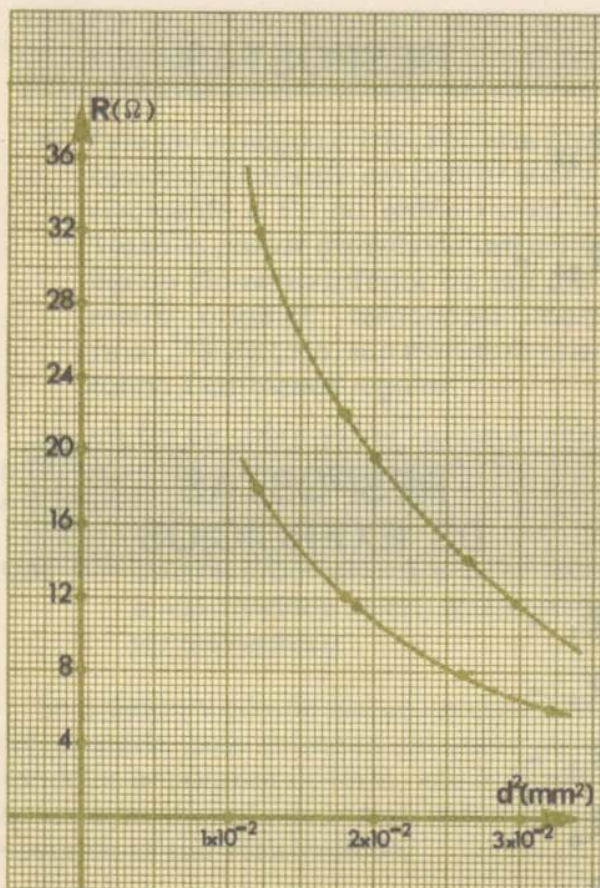


figura 9

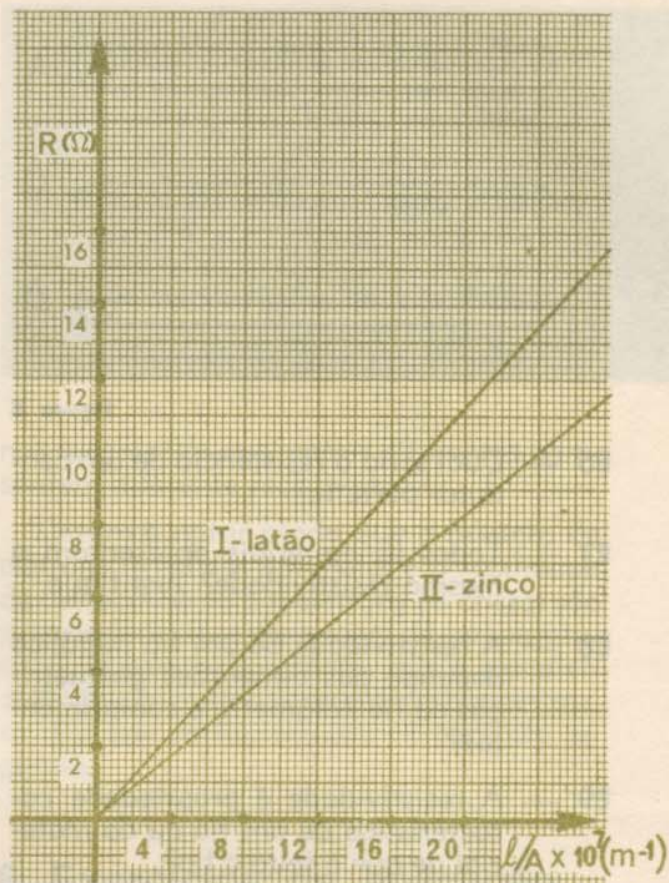


figura 10

E14 — Temos vários fios, todos com 10,0 m de comprimento, de vários diâmetros e de dois materiais I e II. O gráfico (figura 9) dá a resistência R desses fios como função do quadrado do diâmetro d para cada um dos materiais I e II.

- Pela simples inspeção deste gráfico, você é capaz de dizer qual dos dois materiais tem maior resistividade?
- Qual a resistência de um fio de I, com diâmetro de $0,15 \text{ mm}$? E um fio de II, com o mesmo diâmetro?
- Qual o diâmetro de um fio de I, com resistência de 12Ω ? E um fio de II, de mesma resistência?
- Determine a resistividade de cada material: I e II.
- Qual é o material I? E o II? (Consulte a tabela na página 6-10.)

f) As curvas da figura estão de acordo com a equação $R = \rho l/A$?

E15 — O gráfico $R \times l/A$ (figura 10) serve para fios condutores de zinco e latão e comprimento de 15 m. Que diâmetro deve ter um fio desses materiais, para que sua resistência seja de $5,0 \Omega$?

E16 — O gráfico $R \times l$ da figura 11 foi construído para fios de mesmo diâmetro ($D = 0,4 \text{ mm}$), para três materiais diferentes.

- A partir do gráfico, qual dos três materiais (I, II ou III) apresenta maior resistividade? Justifique.
- Determine a resistividade dos três materiais.

E17 — Uma bobina construída com determinado fio tem resistência de 136Ω . Um pedaço de dois metros

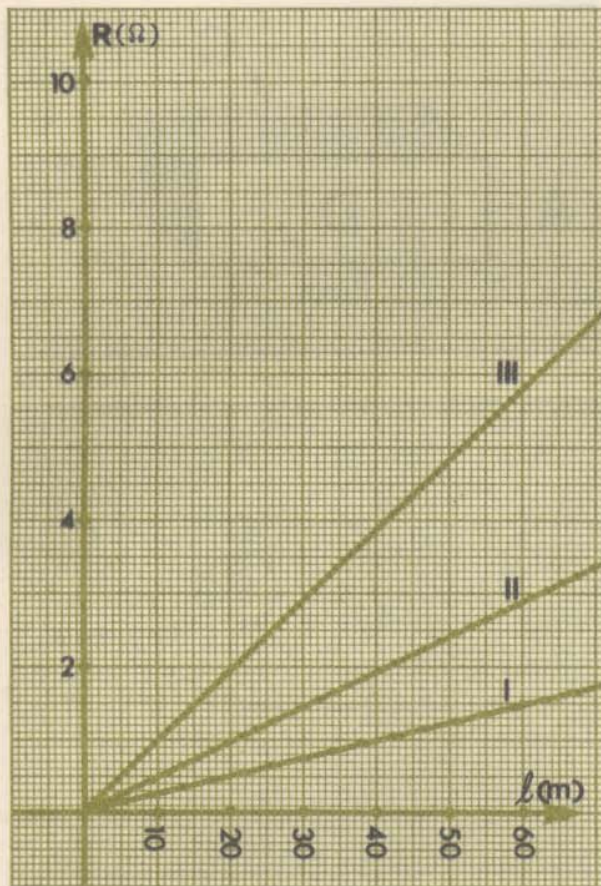


figura 11

do mesmo fio tem resistência de $1,5 \Omega$. Qual o comprimento do fio da bobina?

E18 — Qual é a resistência de um fio telegráfico de 60 km, sabendo-se que o fio é de cobre, tem 2 mm de diâmetro e resistividade $1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$?

E19 — Uma linha telegráfica de 100 km de extensão foi construída utilizando-se fio de cobre. Em uma estação telegráfica, liga-se o fio a uma pilha de 18 V e, em outra estação, o fio é ligado a uma bobina de resistência desprezível.

a) Queremos saber qual deve ser o diâmetro do fio utilizado nesta linha que permita a passagem de uma corrente de 0,5 A na bobina.

b) Se a linha tivesse 200 km de extensão, qual seria a corrente que passaria na bobina?

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R₁₄ -



R₁₅ -

R₁₆ -

R₁₇ -

R₁₈ -

R₁₉ -

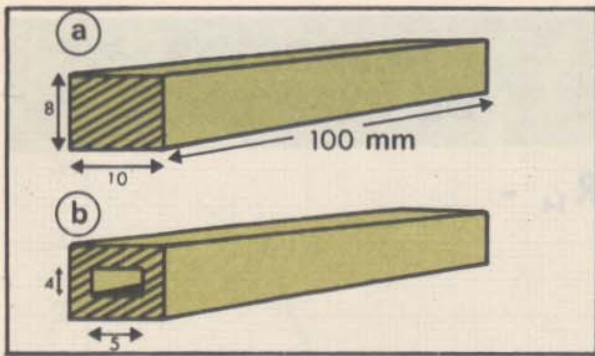


figura 12

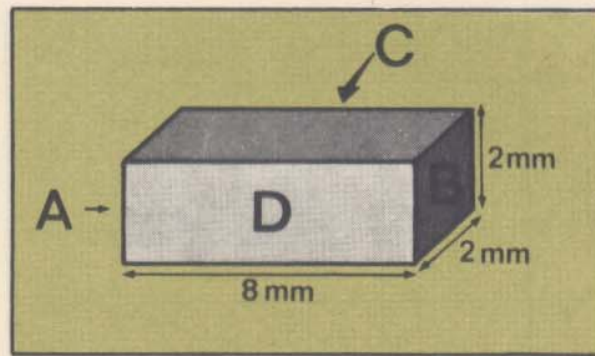


figura 13

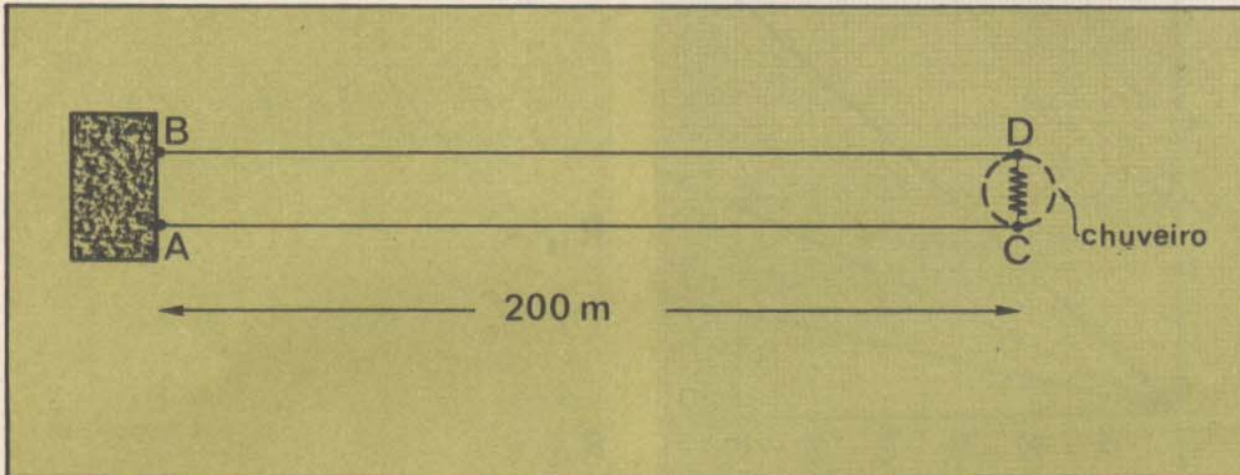


figura 14

E20 — Em bobinas de eletroímãs, frequentemente se utilizam fios de seção reta retangular, para melhor aproveitamento do espaço. Às vezes esses fios são ocos, a fim de permitir passagem de água para resfriamento: o cobre é simultaneamente fio elétrico e cano de refrigeração (figura 12).

- Um fio de cobre de uma bobina tem comprimento de ... 100 m e seção **retangular** de $10 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$. Qual a resistência do fio?
- Outra bobina tem fio de cobre de mesmas dimensões externas mas oco, com um furo de seção $5 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$. Qual a resistência de 100 m deste fio?

E21 — Um bloco metálico retangular de Ni-Cr tem dimensões $8 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ (figura 13).

- Se aplicarmos uma tensão de 18 V entre suas faces menores (A e B), qual o valor do campo elétrico? Qual o valor da resistência e da corrente elétrica?
- Se a tensão de 18 V é aplicada entre as faces maiores (C e D), qual o valor do campo elétrico entre essas faces? Qual o valor da resistência e da corrente?
- Os valores encontrados nos itens a e b são iguais? Caso sejam diferentes, por que existe diferença?
- A resistividade do bloco se alterou quando aplicamos tensão em faces diferentes?

E22 — Em um sítio, o chuveiro está a 200 m da entrada de energia elétrica. Na entrada, a tensão é de 220 V ($V_A - V_B = 220 \text{ V}$). Os fios de ligação são de cobre,

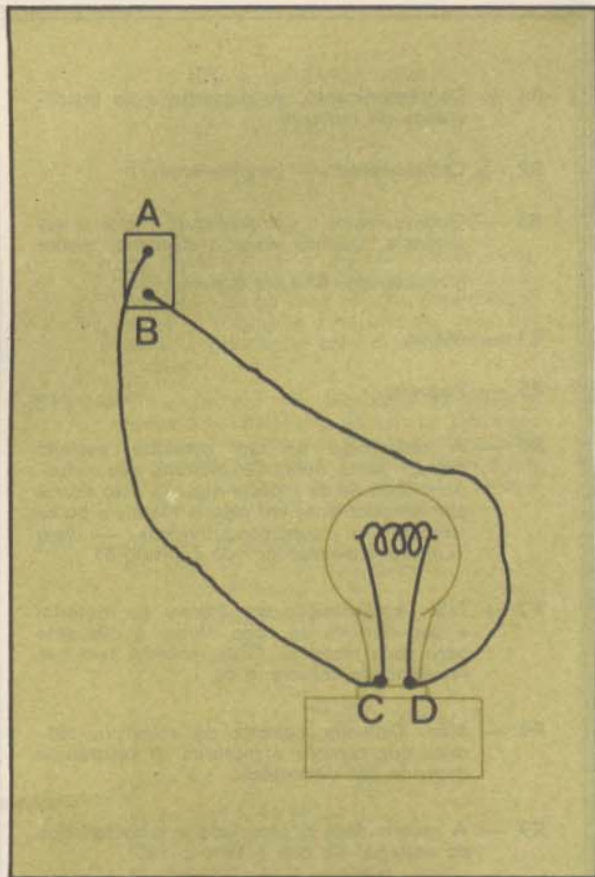


figura 15

n.º 16. A corrente que passa pelo chuveiro é de 10 A (figura 14).

- Qual a resistência de cada fio de cobre, da entrada até o chuveiro?
- Qual a diferença de potencial entre os pontos A e C na figura 14, quando o chuveiro está ligado?
- Qual a diferença de potencial entre os pontos DB na figura, quando o chuveiro está ligado?
- Qual será a diferença de potencial entre C e D? Note que $(V_A - V_B) = 220 \text{ V}$ e que $(V_C - V_D) = (V_A - V_B) - (V_A - V_C) - (V_D - V_B)$.
- Que fio deveria ser utilizado em vez do n.º 16 para que a diferença de potencial no chuveiro $(V_C - V_D)$ fosse pelo menos 200 V?

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R₂₀ -

R₂₁ -

R₂₂ -

R₂₃ -

E23 — Uma lâmpada está ligada a uma tomada de 110 V ($V_A - V_B = 110$ V), por dois fios de cobre n.º 20 de 2 m de comprimento (figura 15). A corrente que flui pela lâmpada é 1,0 A.

- Qual a resistência de cada fio de cobre?
- Qual a diferença de potencial aplicada à lâmpada (pontos C e D da figura 15)?

R1 — Do comprimento, do diâmetro e da resistividade do material.

R2 — Comprimento — inversamente.

R3 — Quanto maior o comprimento, maior a resistência. Quanto maior o diâmetro, menor a resistência. $R \propto l$ e $R \propto \frac{1}{D^2}$.

R4 — Maior.

R5 — Pequena.

R6 — A resistência de um condutor perfeito (ideal) seria **nula**. Os elétrons **não** sofreriam choques de espécie alguma. Isto ocorre aproximadamente em alguns metais a baixa temperatura (supercondutividade — veja "Leitura Suplementar" do capítulo 8).

R7 — Não. A disposição dos átomos no material e dos elétrons de cada átomo é diferente para cada material. Cada material tem sua resistividade característica.

R8 — Não. Depende somente da estrutura atômica que compõe o material. A resistência depende das dimensões.

R9 — A resistividade é propriedade característica do material de que é feito o fio.

R10 — $R = \rho \frac{l}{A}$; $D = \frac{4 \rho l}{\pi R}$
 $D = 0,35 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,35 \text{ mm}$
 (fio n.º 45)

R11 — a) $R = \rho \frac{l}{A}$; $l' = l/2$, então

$$R' = \rho \frac{l'}{A} = \rho \frac{l}{2A}$$

$R' = \frac{R}{2}$, a resistividade continua a mesma.

b) $R = \rho \frac{l}{A}$; $A'' = A/2$.

$$R'' = \rho \frac{l}{A'} = \rho \frac{2l}{A}; R'' =$$

$= 2 \left(\frac{\rho l}{A} \right)$, a resistência aumentou (dobrou), mas a resistividade não se alterou.

R12 — Para um volume V , o condutor tem comprimento l e área A , onde $V = l \times A$.

Sua resistência será $R = \rho \frac{l}{A}$.

Podemos duplicar o volume:

a) duplicando o comprimento $l' = 2l$
 $V' = l' \times A = 2lA$.

$$R' = \rho \frac{l'}{A} = \rho \frac{2l}{A} = 2R$$

R31 — Não, o cobre deveria ter menor resistividade e ser melhor condutor.

R32 — O metal A. Entretanto, a resistividade vai depender também do número de elétrons.

R33 — Veja texto antes da questão.

R34 — Veja texto acima da questão.

$R' = 2R$, a resistência dobra.

b) duplicando a área $A' = 2A$

$V'' = \lambda A' = 2\lambda A$

$$R'' = \rho \frac{\lambda}{2A} = \frac{1}{2} \left(\rho \frac{\lambda}{A} \right)$$

$$R'' = \frac{R}{2}$$

A resistência é a metade. Observamos, pelos resultados nos dois casos particulares, que não há uma relação determinada entre o volume e a resistência, mas sim entre a resistência com o comprimento e a área.

R13 — Colocaria um fio sob uma lâmpada e mediria a resistência no escuro (lâmpada apagada) e iluminando com intensidades luminosas diferentes. Também deveria iluminar o fio com luz de diferentes cores e medir a resistência em cada caso.

R14 — a) Sim. O material I.

b) $= 0,15 \rightarrow D^2 = 0,022 =$

$= 22 \times 10^{-3} \text{mm}^2$

$R_I = 16,4\Omega$ e $R_{II} = 9,6\Omega$

c) $R = 12\Omega$

$D_I^2 = 2,8 \times 10^{-3} \text{mm}^2 \rightarrow D_I =$

$= 1,67 \times 10^{-3} \text{mm}$

$D_{II}^2 = 1,75 \times 10^{-3} \text{mm}^2 \rightarrow D_{II} =$

$= 1,32 \times 10^{-3} \text{mm}$

$$d) \rho = \frac{RA}{\lambda} = \frac{R \pi D^2}{4\lambda}$$

$\rho_I = 2,8 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

$\rho_{II} = 1,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

e) Material I \rightarrow alumínio

Material II \rightarrow latão

f) Sim.

R15 — I — latão. No gráfico temos:

para $R = 5\Omega$, $\frac{\lambda}{A} = 6,4 \times 10^7 \text{m}^{-1}$

como $\lambda = 15\text{m}$, temos: $\frac{15}{A} = 6,4 \times 10^7$.

Fazendo os cálculos obtemos

$D_I = 5,3 \times 10^{-3} \text{m}$ ou $D_I = 5,3\text{mm}$.

II — zinco. Temos:

para $R = 5\Omega$, $\frac{\lambda}{A} = 9,6 \times 10^7 \text{m}^{-1}$

Fazendo os cálculos obtemos

$D_{II} = 4,4 \times 10^{-3} \text{m}$ ou $D_{II} = 4,4\text{mm}$.

R16 — a) A inclinação das retas mostra que

$\rho_{III} > \rho_{II} > \rho_I$

b) $\rho_{III} = 1,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

$\rho_{II} = 0,6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

$\rho_I = 0,3 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

R17 — $\lambda = 102\text{m}$.

R18 — $R \cong 325\Omega$.

R19 — a) $R = \frac{v}{i} = \frac{18\text{V}}{0,5\text{A}} = 36\Omega$

$$D = \frac{4\rho\lambda}{\pi R} = 0,77 \times 10^{-2} \text{m}$$

b) $\lambda' = 2\lambda$

$R' = 2R = 72\Omega$

$$i = \frac{V}{R'} = \frac{18\text{V}}{72\Omega} = 0,25\text{A}$$

R20 — a) $\lambda = 100\text{m}$ e $A = 80 \times 10^{-6} \text{m}^2$

$R = 0,021\Omega$

b) $A' = A - a = 80\text{mm}^2 - 20\text{mm}^2 =$

$= 60\text{mm}^2$

$R' = 0,028\Omega$

R21 — $E = \frac{18\text{V}}{8 \times 10^{-3}} = 2,25 \times 10^3 \text{V/m}$

$R = 2,2 \times 10^{-3}\Omega$

$i = 8,2 \times 10^3 \text{A}$

b) $V = Ed_{CD}$

$E = 9 \times 10^3 \text{V/m}$; $R = 1,3 \times 10^{-4}\Omega$;

$i = 14 \times 10^3 \text{A}$

c) Não. Apesar do material ser o mesmo, o comprimento λ e a área de seção A são diferentes.

d) Não, a resistividade depende só do material.

R22 — a) $R = \rho \frac{\lambda}{A} = 2,6\Omega$

b) $V_A - V_C = R_i = 26\text{V}$

c) A mesma que $V_A - V_C$, pois o fio é o mesmo e tem igual comprimento, ou seja, 26V.

d) $V_C - V_D = 220\text{V} - 26\text{V} - 26\text{V} =$

$= 168\text{V}$

e) $V_C - V_B = 200\text{V}$ implica que

$(V_D - V_B) + (V_A - V_C) = 20\text{V}$. Mas como

$V_D - V_B = V_A - V_C \rightarrow V_A - V_C =$

$= V_D - V_B = 10\text{V}$

$$R_{AC} = \frac{10\text{V}}{10\text{A}} = 1\Omega$$

$$R_{AC} = \rho \frac{\lambda}{A} \rightarrow D = 20 \times 10^{-4} \text{m}$$

(fio n.º 32)

R23 — a) $R = \rho \frac{\lambda}{A} = 6,7 \times 10^{-2}\Omega$

b) $V_C - V_D = (V_A - V_B) -$

$-(V_A - V_C) - (V_D - V_B)$

$V_C - V_D = 110\text{V} - 6,5 \times 10^{-2}\text{V} -$

$- 6,5 \times 10^{-2} = 109,87\text{V}$.

Esta obra foi impressa pela
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