

**CECIMIG/UFMG - Curso de Atualização de Professores de Física da SEEMG**  
**Eixo Temático: Eletricidade e Magnetismo**  
**Tópico de Conteúdo nº 5: Potência e Efeito Joule**  
**Professor: Glênnon Dutra**  
**glenon.bh@terra.com.br**

**Leitura nº 1: Orientações Pedagógicas Para o CBC de Física - Potência e Efeito Joule**

Porque ensinar

A noção de potência elétrica é outro conceito fundamental da eletricidade. Possui um caráter prático, pois é através dela que compreendemos os gastos de energia nos dispositivos elétricos. O uso do conceito de potência elétrica nos permite calcular o consumo de energia elétrica em nossa casa ou conferir se o gasto de energia está dentro do previsto. Pela potência elétrica podemos compreender como funcionam os dispositivos que transformam energia elétrica em energia térmica, como os chuveiros, torradeiras, aquecedores ou fornos elétricos. Como devemos proceder eletricamente para que tais dispositivos aqueçam mais ou menos?

Condições prévias para ensinar

*Nesse momento do curso onde já foram trabalhados vários conceitos elétricos talvez seja importante fazer um resumo desses tópicos. Sugerimos que você construa uma tabela com os alunos contendo as grandezas trabalhadas, as respectivas unidades e a relação entre as grandezas.*

Grandeza		Unidade		Relação entre as grandezas
Nome	Letra	Nome	Letra	
Carga	Q ou q	Coulomb mili Coulomb micro Coulomb	C mC $\mu$ C	$Q = n \cdot e$ $n = n^\circ \text{ elétrons}$ $e = \text{carga do el.}$
Força	F	Newton	N	$F = k Q.q / d^2$
Distância	d	metro	m	
Corrente elétrica	i	Ampère	A	$V = R.i$
Diferença de potencial	ddp ou V	Volt	V	
Resistência elétrica	R	Ohm	$\Omega$	
Resistividade	$\rho$	Ohm x metro	$\Omega .m$	$R = \rho. \ell / A$
Potência	P	Watt	W	$P = E / t$ $P = V.i$ $P = R. i^2$ $P = V^2 / R$
Energia	E	Joule	J	
Energia	E	quilowatthora	KWh	$1 \text{ KWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$
Energia	E	caloria	cal	$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$

O que ensinar

Pelo o que está fixado no CBC, neste tópico pretende-se que o aluno compreenda e saiba explicar porque alguns resistores ficam aquecidos quando uma carga elétrica passa através deles. Pretende-se também que o estudante compreenda a relação entre as

especificações fornecidas pelos fabricantes de lâmpadas, sua iluminação efetiva e o consumo de energia de tais dispositivos; saiba resolver problemas simples utilizando a relação quantitativa entre potência, diferença de potencial e corrente elétrica.

### Como ensinar

*I. Abordagem teórica:* O cálculo do gasto de energia elétrica numa residência é feito nesse tópico. É conveniente pedir aos alunos que tragam de casa a conta de energia elétrica para então verificar que a unidade usada para avaliar o consumo de energia é o kWh. Deve-se verificar o preço do kWh para as diversas residências, pois em algumas áreas urbanas ou rurais o preço pode ser diferenciado. Incentivar os alunos a fazerem uma pesquisa pela Internet ou visitando a companhia de energia elétrica local para se obter tais informações. Verificar também o histórico do gasto de energia ao longo do ano e discutir se existe mês em que se gasta mais energia do que em outro e por que. Como a unidade de energia da conta envolve o conceito de potência, mostrar a definição dessa grandeza. E que a energia pode ser calculada multiplicando-se a potência do aparelho utilizado pelo tempo de uso do mesmo. Pedir também aos alunos que verifiquem em suas casas quais os aparelhos eletrodomésticos que utilizam fazendo uma listagem contendo o nome do aparelho, sua potência elétrica e o número deles (p.ex.: 6 lâmpadas de 100W, 4 lâmpadas de 60W, 1 TV de \_\_\_ W, etc.). De posse desses dados, tentar fazer uma avaliação do gasto de energia imaginando quanto tempo cada dispositivo é utilizado por dia e depois multiplicar por 30 dias para avaliar o consumo mensal. Uma outra atividade interessante é pedir aos alunos que observem o funcionamento do “relógio de luz”, verificando que ele possui um disco que gira. Os estudantes devem observar que a velocidade de giro do disco é tanto maior quanto maior for o número de aparelhos ligados na casa ou que quando o chuveiro ou o ferro elétrico está ligado ele gira com maior velocidade.

Seria interessante analisar as três equações que relacionam potência, resistência, corrente e voltagem:  $P = V \cdot i$ ,  $P = R \cdot i^2$  e  $P = V^2 / R$  do ponto de vista da proporcionalidade entre as grandezas.

Por exemplo, através da equação  $P = R \cdot i^2$ , quando  $i$  é constante,  $P$  é diretamente proporcional a  $R$ . Além disso, é importante imaginar uma situação concreta onde isso aconteça, como por exemplo: por que o fio condutor de cobre de um chuveiro não se aquece, enquanto a resistência do chuveiro fica incandescente, já que eles estão ligados no mesmo ramo do circuito da casa? Nesse caso a corrente que atravessa os dois é a mesma e o condutor que tiver menor resistência (no caso, o fio de cobre) dissipará menor potência, isto é, aquecerá menos.

Um outro exemplo pode ser analisado, através da equação  $P = V^2 / R$ . Quando  $V$  for constante,  $P$  é inversamente proporcional a  $R$ . Isso se dá, p. ex. também num chuveiro quando mudamos a “chave” de morno para quente. Na posição quente, a resistência do chuveiro é menor e, portanto gera maior potência, aquecendo mais a água.

Outro exemplo ainda para ser analisado, através da equação  $P = V^2 / R$  é a situação de uma lâmpada de 100 W – 220 V que, usada inicialmente na rede elétrica de 220 V, passa a ser conectada em 110 V. Como a resistência permanece constante nas duas situações, a potência é diretamente proporcional ao quadrado de  $V$ . No caso de se usar a lâmpada em 110 V, metade da voltagem original, sua potência passa a ser quatro vezes menor, isto é, 25 W.

*II. Abordagem fenomenológica:* Um experimento fácil de ser realizado é usar um aquecedor elétrico para aquecimento de água. Conhecendo sua potência, colocado numa vasilha de isopor com uma certa massa de água pode-se medir o tempo que ele ficará ligado e com um termômetro medir as temperaturas inicial e final. Usando a equação  $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = P \cdot \Delta t$ ,

pode-se determinar a resistência do ebulidor quente ou a corrente que o atravessa e depois conferir com um ohmímetro ou amperímetro.

*III. Abordagem tecnológica:* Uma atividade interessante é desmontar um chuveiro elétrico e verificar o seu funcionamento, tanto na parte hidráulica, quanto na parte elétrica. Verificar os contatos da resistência quando se posiciona o chuveiro para água morna ou quente. Existem chuveiros que existem três posições diferentes de contato com a resistência. Seria importante separar a resistência e ligá-la na rede elétrica verificando a sua incandescência – aqui devemos tomar o cuidado de ligá-la rapidamente – caso contrário ela pode se romper pelo excesso de aquecimento. Pode-se também colocar a resistência num béquer com água para que os alunos vejam a incandescência no momento que for ligada à rede elétrica.

Outras atividades práticas podem ser feitas desmontando um ferro elétrico, uma torradeira ou um secador de cabelo e verificando seu funcionamento interno do ponto de vista da dissipação de potência elétrica nas resistências.

### Como avaliar

A avaliação da aprendizagem em física pode ser feita de várias formas. Nos livros textos já existem sugestões de diversas questões abertas ou de múltipla escolha que podem ser utilizadas. Existe um banco de itens de teste de múltipla escolha neste mesmo site do CRV que pode ser bastante utilizado. Tais questões podem ser utilizadas durante as aulas onde os alunos individualmente ou em grupos podem discutir a sua solução.

Outra verificação da aprendizagem pode ser feita fazendo com que os alunos construam experimentos simples mostrando o aquecimento de resistores de fio, como por exemplo, verificar para quais voltagens ou correntes, fios de diversos diâmetros começam a ficar incandescentes.

Os estudantes podem apresentar trabalhos relativos à produção de energia elétrica no Brasil juntamente com a disciplina Geografia, verificando quantos kWh cada usina produz. Verificar os tipos de usinas elétricas que existem no Brasil e seu impacto ambiental e por que são construídas em tais locais.

Outro trabalho que pode ser proposto se refere ao gasto de energia de empresas e indústrias e também o quanto se economiza em energia nos períodos do horário de verão.

Pesquisar sobre a energia contida numa descarga atmosférica também constitui um tema interessante para se buscar na Internet ou nas companhias de energia elétrica, pensando numa maneira de armazená-la para uso posterior.

### **Referências:**

- Os eletrodomésticos – Projeto Escola e Cidadania – Editora do Brasil.
- “Desmonte e Explique” - Caderno Catarinense de Ensino de Física - abril/1988 - Vol.5, nº 1 (pg.23 a pg.27). *Exemplo de como pode ser apresentado o funcionamento interno de um aparelho eletrodoméstico.*
- Sites sobre produção de energia elétrica: [www.cemig.com.br](http://www.cemig.com.br)

## Atividade I - Discussões iniciais: Aparelhos Elétricos Existentes em Nossa Casa:

Observe as informações contidas nas tabelas a seguir e que foram obtidas a partir de manuais ou de “chapinhas” de alguns eletrodomésticos ou dos *sites* de seus fabricantes:

Tabela 1: Chuveiro Lorenzetti

TIPO	<b>Chuveiro</b>
MARCA	Lorenzetti
MODELO	Maxi Ducha Plus
TENSÃO NOMINAL	220 V
POTÊNCIA NOMINAL	4400 W
<b>CONSUMO DE ENERGIA</b> em kWh	
ÁGUA 38° C, DURAÇÃO 8 min. 1 PESSOA	
<b>MENSAL MÍNIMO</b> ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA 10,0°C VAZÃO 4,0 l/min.	<b>MENSAL MÁXIMO</b> ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA 19,0°C VAZÃO 3,0 l/min.
<b>12,9</b>	<b>19,0</b>
NORMA UTILIZADA: CONSUMO DE ENERGIA MB-3426	
IMPORTANTE: ANTES DE INSTALAR E USAR O APARELHO LEIA O MANUAL DE INSTRUÇÕES	
PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA	
	

Tabela 2: Lavadora de Roupas Eletrolux LE 08A	
Tensão	114 a 140V
Corrente	11 A
Potência Máxima	1540W

Tabela 3: Ventilador Eletrolux - Modelo: Easy Line 30	
Tensão	127 ou 220V
Potência	45W



Tabela 4: Ferro de Passar Roupas Wallita Comfort RI 1117	
Tensão	127 ou 220V
Potência	1200 - 1440W

Tabela 5: Refrigerador Eletrolux DC34	
Tensão	127 / 220V
Consumo	49,7kWh/mês

Tabela 6: Lâmpadas Incandescentes GE

Código	FLUXO LUMINOSO 100H	Tensão	Potência	Bulbo
<a href="#">143992</a>	610 Lumens	127V	60W	A19
<a href="#">144262</a>	1150 Lumens	127V	100W	A19
<a href="#">35192</a>	610 Lumens	230V	60W	A19
<a href="#">35181</a>	1150 Lumens	230V	100W	A21



Tabela 7: Lâmpadas Fluorescentes GE

Código	FLUXO LUMINOSO 100H	Tensão	Potência	Bulbo
24560	1750 Lumens	240V	24W	HLX
24559	1750 Lumens	130V	26W	HLX



Questões para discussão:

1) Qual o significado físico das seguintes grandezas especificadas nas tabelas acima?

- a) Tensão
- b) Potência
- c) Energia
- d) Corrente
- e) Fluxo luminoso
- f) Consumo

2) Quais as transformações de energia presentes em cada um dos aparelhos?

- a) Chuveiro
- b) Lavadora
- c) Ventilador
- d) Ferro
- e) Refrigerador
- f) Lâmpada Incandescente
- g) Lâmpada Fluorescente

3) Há alguma transformação de energia comum a todos eles?

4) O que diferenciam lâmpadas incandescentes das lâmpadas fluorescentes?

5) Por que lâmpadas fluorescentes, apesar de consumirem menos energia elétrica, são capazes de iluminar tão bem quanto lâmpadas incandescentes?

---

### **Atividade II - Análise de uma conta de luz**

A turma deve ser dividida em 5 grupos.

A partir das sugestões oferecidas pelas orientações pedagógicas (leitura nº1), das informações contidas na atividade I e da conta de luz fornecida na página a seguir, cada grupo tem 20 minutos para preparar uma atividade de análise de conta de luz que pode ser ministrada em uma sala de aula normal de ensino médio.

Ao final dos 20 minutos, cada grupo deve apresentar seu produto para os outros grupos.



Cemig Distribuição S.A.  
 CNPJ 06.981.100/0001-16  
 Inc. Estadual 052.322-136.0987  
 Av. Barbacena, 1250 - 17 Andar - Aq A1  
 CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG - Brasil

Fale com a Cemig: 0800 310 196  
 atendimento@cemig.com.br  
 www.cemig.com.br

GLENON DUTRA  
 RUA

Referente a Dezembro/2005

Identificador  
 6114965-4

BELO HORIZONTE

MG

CPF

Datas de Leitura		
Anterior	Atual	Próximo Mês
11/11	14/12	13/01

Datas da Nota Fiscal	
Emissão	Apresentação
19/12	23/12

Classificação: RESIDENCIAL BIFÁSICO

Nº do medidor: AEA019048335

Nota Fiscal - Conta de Energia Elétrica - Série B nº 038254552

01/01

(Leitura Atual: 6.739 - Leitura Anterior: 6.544) X Constante: 1 = Consumo kWh: 195

Serviços prestados pela CEMIG

Cálculo do Valor do Fornecimento: 195 kWh X R\$ 0,603118

Total do fornecimento

117,61

Contribuição para o Custeio da Iluminação Pública

8,16

Encargo de Capacidade Emergencial: 195 kWh X R\$ 0,0049999

0,97

VALOR PASEP: R\$1,23

VALOR COFINS: R\$5,68

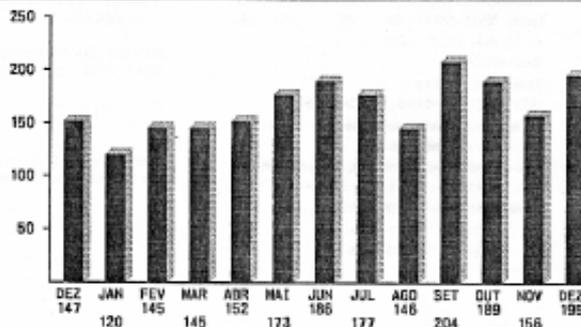
Reservado ao Fisco

2E69.A2C4.3B00.AFDF.3633.D837.4C2C.1C3D

ICMS	Base de Cálculo	Alíquota	Valor	Vencimento	Valor a pagar
	118,58	30%	35,57	17/01/2006	R\$*****126,74

Histórico do Consumo de Energia Elétrica

Mês/Ano	Consumo kWh	Média kWh/Dia	Faturas em Atraso
DEZ/2005	195	6	
NOV/2005	156	5	
OUT/2005	189	6	
SET/2005	204	6	
AGO/2005	146	5	
JUL/2005	177	6	
JUN/2005	186	6	
MAI/2005	173	6	
ABR/2005	152	5	
MAR/2005	145	5	
FEV/2005	145	5	
JAN/2005	120	4	
DEZ/2004	147	0	



\* Valor da tarifa vigente conforme Resolução Aneel nº 87, de 06/04/2005.  
 CUIDADOS PARA SE EVITAR QUEIMA DE APARELHOS ELETRONICOS EM CASO DE TEMPESTADES COM DESCARGAS ATMOSFERICAS:  
 - SEMPRE QUE POSSIVEL, DESCONNECTE DAS TOMADAS OS APARELHOS ELETRONICOS COMO TELEVISAO, SOM, COMPUTADOR, ETC;  
 - EVITE LIGAR APARELHOS E MOTORES ELETRICOS.



Número da Conta	Número para Baixa	Vencimento	Total a Pagar	Dezembro/2005
88014 - 09 - 25 - 2174 5	6114965 83 39	17/01/2006	R\$*****126,74	

83620000001-3 26740138780-3 14092521748-5 30000000011-1



## **Leitura nº 2: ENERGIA**

Apesar de seus importantes sucessos, como as equações sobre a propagação do calor ou o princípio de Carnot sobre o rendimento-limite dos motores térmicos, a teoria do calórico foi abandonada em meados do século XIX. Essa teoria, que identificava o calor a uma substância material, enfrentava diversas dificuldades. Não explicava de maneira clara, por exemplo, o fenômeno bem conhecido de criação de calor por atrito. Alguns supunham que, uma vez que toda matéria sempre contém determinada quantidade de calórico, o atrito provocava a formação de pequenos estilhaços de matéria, permitindo ao calórico libertar-se e provocar assim um aumento de temperatura. Nesse caso, quanto mais numerosos fossem os estilhaços, mais intenso deveria ser o calórico desprendido. Ora, em 1798, quando fabricava canhões na Baviera, o conde Rumford observou o fenômeno inverso: constatou que, quando se perfura aço com uma broca estreita, produzindo muitos estilhaços, a elevação de temperatura é menor do que quando se utiliza uma broca grossa, produzindo menos estilhaços. Essas observações levaram Rumford a rejeitar a teoria do calórico.

O abandono da teoria do calórico esteve ligado também ao surgimento de um novo conceito, o de energia. O desenvolvimento desse conceito, originário da "força viva" de Leibniz (energia mecânica), resultou de trabalhos conduzidos independentemente em diversos campos e por vários pesquisadores.

### O Calor e a Mecânica

A unidade de energia utilizada atualmente leva o nome de um desses pesquisadores, James Prescott Joule, fabricante de cerveja e cientista amador, que foi o primeiro a efetuar medidas precisas sobre a criação de calor por atrito. Para isso, ele concebeu em 1843 um dispositivo arranjado de tal forma que a queda de um peso fazia girar, por meio de polias, uma roda de palhetas imersa em um fluido. O atrito devido à rotação das palhetas gerava um aumento da temperatura do fluido. Joule mostrou então que o produto do peso pela altura da queda - isto é, a "força viva" liberada por ocasião da queda - é proporcional à quantidade de calor associada ao aumento de temperatura do fluido. Joule concluiu assim pela existência de um "equivalente mecânico do calor" isto é, de uma grandeza constante que fixa a relação entre a "força viva" despendida por atrito e a quantidade de calor produzida. Uma vez que a "força viva" liberada pela queda do peso corresponde a um trabalho mecânico, disto decorre que o equivalente mecânico do calor se identifica com a constante de proporcionalidade que liga uma quantidade de trabalho mecânico a uma quantidade de calor. Essa constante é independente das particularidades da experiência, como por exemplo do tipo de fluido utilizado.

No sistema de unidades atualmente em uso, o equivalente mecânico do calor é igual a 4,2 joules (unidades de trabalho mecânico) por caloria o que está próximo do valor obtido por Joule quando de suas experiências. A existência de tal equivalente mecânico do calor sugere que o calor e a "força viva" mecânica são na verdade uma mesma grandeza física, o valor 4,2 fixando a relação entre as unidades convencionais que servem para medir essa grandeza em circunstâncias diferentes. O calor não é, portanto, uma entidade física em si, e, se ele não passa de uma forma de trabalho mecânico, não poderia ser uma substância ou um fluido. Em 1840, Joule já havia mostrado que o calor criado em um circuito elétrico é proporcional ao quadrado da intensidade da corrente que atravessa o circuito. Logo, existia também um "equivalente elétrico do calor", do que Joule deduziu que os fenômenos elétricos também são uma manifestação da "força viva".

De início, os trabalhos de Joule provocaram um certo ceticismo e dois artigos que ele submeteu ao jornal da Royal Society of Sciences, em Londres, foram recusados. Objetaram-lhe, em especial, que suas experiências não eram suficientemente precisas para permitir conclusões tão gerais. A importância de seus trabalhos foi reconhecida, contudo, alguns anos mais tarde, depois que outros pesquisadores chegaram a conclusões semelhantes.

Um desses pesquisadores foi Julius Robert Mayer, um médico que servia em um navio holandês que navegava no oceano Pacífico. Durante o verão de 1840, em uma escala na ilha de Java, na Indonésia, Mayer observou que o sangue das veias dos marinheiros europeus estava de um vermelho particularmente vivo. Como sabemos, este é um sinal de forte presença de oxigênio. Mayer então explicou esse fenômeno comparando o corpo humano a um motor térmico. De fato, os músculos do corpo humano fornecem um trabalho mecânico e emitem calor. Como a diferença de temperatura entre o corpo e o ar ambiente é mais fraca nos trópicos que na Europa, o fluxo de calor liberado pelo corpo no ar é reduzido. Isso significa que uma menor produção de calor é suficiente para manter o corpo a uma temperatura constante. O corpo desacelera então seu ritmo de atividade e requer menor quantidade de oxigênio para realizar a combustão química dos alimentos. Assim, o sangue das células musculares que retoma pelas veias rumo ao coração fica mais carregado de oxigênio, o que explica sua cor vermelho vivo.

A interpretação que Mayer deu de suas observações sobre a cor do sangue venoso está de acordo com um fato muito conhecido, isto é, que um clima quente diminui o apetite. Existe portanto uma relação entre a quantidade de alimento absorvida por um organismo e a quantidade de calor que ele produz. Mayer postulou então que essa relação se exprime matematicamente por uma proporção, ou seja, que a cada caloria produzida pelo corpo corresponde uma quantidade bem definida de alimento. Podemos chamar essa quantidade de alimento "equivalente químico do calor"; é essa equivalência que os nutricionistas utilizam em nossos dias quando falam de "valor calórico de um alimento".

Como Joule, Mayer acreditava na equivalência entre o trabalho mecânico e o calor, e considerava que o cálculo do calor produzido pelo corpo devia incluir o calor de atrito resultante do trabalho mecânico da atividade muscular. Uma vez que diversos equivalentes de calor são absorvidos e despendidos pelo corpo, Mayer concluiu que o corpo não produz um calor superior àquele que absorve por via alimentar, e portanto que o calor total despendido pelo corpo sob forma de equivalentes diversos - emissão de calor para o ar ambiente, trabalho mecânico, processo de formação ou de acumulação de gorduras - é igual à quantidade de equivalente químico de calor absorvida sob forma de alimento. De maneira análoga, postulou que o equivalente químico de alimento que aparece nas células verdes de uma planta é igual ao equivalente de calor absorvido pela planta sob forma de luz solar. (...)

(...)A existência de equivalentes mecânico, elétrico e químico do calor levou Mayer a postular a existência no universo de uma entidade física fundamental que se manifesta sob formas diversas - trabalho, calor, ligações químicas etc. - e à qual, sob a influência de Leibniz, deu o nome de "força". Segundo Mayer, Newton tinha feito um uso incorreto desse conceito, o qual, sempre segundo Mayer, devia ser reservado unicamente a essa entidade fundamental. No final, foi a "acepção newtoniana" que prevaleceu, e a "força" no sentido de Mayer é hoje chamada "energia", a partir de uma palavra grega que significa "ação". Essa terminologia foi originalmente introduzida por Hermann Von Helmholtz, que foi também o primeiro a enunciar de forma clara o princípio de conservação da energia.

Segundo esse princípio, não há jamais criação ou destruição de energia, mas somente conversão de energia de uma forma em outra. Cada uma dessas manifestações está associada a um componente do leque dos fenômenos físicos. Assim, existe uma energia térmica, uma energia luminosa, uma energia potencial, ligada à posição e um campo de força (é a "força morta" de Leibniz), uma energia cinética, ligada ao movimento (é a "força viva" de Leibniz), uma energia eletromagnética e - esta é uma descoberta mais recente - uma energia nuclear.

Em todas essas metamorfoses, a energia permanece conservada. Podemos portanto estabelecer um balanço energético para todo sistema físico, como estabelecemos um balanço financeiro de conta bancária: a energia que o sistema recebe do exterior menos a energia que deixa o sistema é igual à variação de energia do sistema. Disto deduzimos que a energia de um sistema isolado - isto é, que não troca nenhuma energia com o exterior - permanece constante. Como o universo é por definição um sistema isolado (pois não poderia ter um "exterior"). sua energia é constante e, por ocasião dos diversos processos físicos, sofre unicamente transformações. Apesar de sua elegância, essa generalização do princípio de conservação da energia para o universo inteiro - devida a Rudolf Clausius - deve ser considerada com prudência: os sistemas isolados que o físico costuma estudar são sistemas finitos. e o estado atual de nossos conhecimentos não nos permite afirmar que o universo não é um sistema infinito. Em um tal sistema, o conceito de energia total e, por consequência, o de conservação de energia, talvez não tenham nenhum sentido.

Era igualmente possível, no entanto, interpretar o princípio de conservação da energia em um sentido que reafirmava a teoria mecânica do calor. A conservação da "força viva" na mecânica era reconhecida desde o século XVII, e os trabalhos de Joule, Mayer e Helmholtz mostravam que essa "força" admite um equivalente de calor. Isso não significava, contudo, que ela própria fosse uma entidade física fundamental. Era possível considerá-la como uma propriedade matemática, deduzida de grandezas físicas reais - as massas e as velocidades das partículas materiais -, que permanecia conservada graças a um acaso ligado à forma das equações da mecânica. Desse ponto de vista, próximo do de Joule e Helmholtz, a existência de equivalentes da energia mostrava que os diversos fenômenos naturais - o calor, a luz, o magnetismo etc. - são em última análise devidos aos movimentos de partículas materiais e que o princípio de conservação da energia é idêntico ao princípio de conservação da "força viva". Assim, é sempre a "força viva" mecânica que é conservada, e a generalidade do princípio de conservação da energia traduz o fato de que toda a física nada mais é que mecânica. Estas duas interpretações do conceito de energia - a energia como substância e a energia como propriedade - conduziram respectivamente às duas visões do universo físico que deveriam se enfrentar no fim do século XIX: o energetismo e o mecanicismo.

Texto extraído do capítulo 5 (Energia e entropia)  
do livro Convite à Física de Yoav Ben Dov

Questões:

- 1) A partir do texto acima escreva sobre a importância do Efeito Joule para a elaboração do conceito de energia.
- 2) Extrapolando o texto e baseando-se em seus conhecimentos tente explicar por que em qualquer aparelho eletroeletrônico sempre há alguma perda de energia na forma de calor?

### **Leitura nº 3: Fusíveis, Lâmpadas e Chuveiros: Estudo dos Aparelhos Resistivos**

Os elementos resistivos têm em comum o fato de produzirem essencialmente aquecimento quando de seu funcionamento. Como representantes desse grupo analisaremos fusíveis, lâmpadas e chuveiros.

Os fusíveis, por exemplo, são constituídos de modo a suportarem diferentes valores máximos de corrente e dessa forma funcionarem como protetores da instalação elétrica, pois não. Permitem valores de corrente além do limite especificado pelo fabricante. Pode-se observar que o filamento de um fusível de 10A é mais fino que o de 20A. Em cada caso, esses números indicam a máxima corrente que cada fusível pode suportar sem "queimar".

Assim, se a espessura do filamento do fusível for compatível com uma corrente máxima de 10A e por um motivo qualquer a corrente exceder este valor, a temperatura atingida pelo filamento será suficiente para fundir o material (liga metálica contendo estanho), e desta forma a corrente será interrompida.

As lâmpadas incandescentes são usualmente constituídas de um filamento encerrado em um bulbo de vidro onde há um gás à baixa pressão. O filamento é normalmente feito de tungstênio, pois esse material apresenta alto ponto de fusão.

Essas lâmpadas de filamento, classificadas no grupo dos resistivos, podem apresentar diferentes potências quando submetidas à mesma tensão. Ao examinarmos um conjunto de lâmpadas produzidas para operarem na mesma tensão, mas com potências diferentes e que sejam procedentes de um mesmo fabricante<sup>1</sup>, notamos que as lâmpadas de filamentos mais espessos desenvolvem maior potência.

Nos chuveiros, as ligações inverno/verão também correspondem, para uma mesma tensão, a distintas potências. Neste caso, a espessura do fio enrolado (resistor) comumente chamado de resistência é uniforme. Nota-se no entanto que as ligações inverno/verão são obtidas usando-se comprimentos diferentes do resistor. Na ligação "inverno" utiliza-se um pequeno pedaço do condutor enrolado, enquanto que na ligação "verão" usa-se um pedaço maior deste mesmo fio.

O manuseio e a observação de fusíveis, lâmpadas, chuveiros e outros aparelhos considerados resistivos revela a simplicidade de sua construção: em geral a parte que aquece é um pedaço de fio (enrolado).

Nas lâmpadas de mesma tensão, tais fios apresentam espessuras diferentes para as diferentes potências. Nos fusíveis, o fio de estanho é mais espesso para os de maior amperagem, enquanto que nos chuveiros é o comprimento do fio enrolado que muda ao passar da ligação de "verão" para "inverno".

#### **As Partes Metálicas dos Aparelhos Elétricos**

Ao discutirmos, na seção anterior, o comportamento dos fusíveis, lâmpadas e chuveiros, focalizamos a nossa atenção nas partes desses aparelhos responsáveis pela transformação de energia elétrica em térmica. Não é por coincidência que tal transformação ocorre no resistor, que é a parte metálica. Os metais têm um papel importante nos aparelhos elétricos porque permitem o estabelecimento de corrente no seu interior, e é isso que possibilita a conversão de energia. Tal comportamento faz com que eles sejam classificados como condutores.

Em geral, os aparelhos empregam, além dos fios metálicos, materiais que parecem não ter a mesma função do ponto de vista elétrico. O fusível de rosca, por exemplo,

---

<sup>1</sup> O filamento de lâmpadas procedentes de diferentes fabricantes possui formatos distintos, o que dificulta possíveis comparações.

contém uma parte de porcelana; o vidro é utilizado nas lâmpadas e, ao desmontarmos um chuveiro, encontramos várias partes feitas de borracha, plástico ou baquelite. Esses materiais não-metálicos, por serem eletricamente passivos no uso doméstico, também são importantes nos aparelhos resistivos. Eles têm a função de isolar algumas partes desses aparelhos, impedindo que a corrente se estabeleça em locais não desejados. Por isso são genericamente denominados isolantes elétricos.

A presença de condutores e isolantes é comum tanto nos aparelhos quanto nas instalações elétricas. Os metais mais empregados como condutores são: o cobre, nos motores e instalações residenciais; o latão (liga de cobre e zinco), nos soquetes, tomadas, interruptores e plugues; o tungstênio, no filamento das lâmpadas; o estanho, nos fusíveis e pontos de contato das lâmpadas; a liga de níquel-cromo, nas "resistências" do chuveiro, da torneira elétrica e aquecedores; e o alumínio, nas antenas de rádio e televisão.

Entre os isolantes encontramos os plásticos, nas capas de fios, botões, invólucros de aparelhos, tomadas plugues; o baquelite, nos interruptores, tomadas, soquetes; porcelana, nos fusíveis, soquetes, suporte das chaves da caixa de luz; o vidro, no invólucro de lâmpadas, no fusível de cartucho; e o verniz, na capa dos fios que constituem o enrolamento de motores.

## Modelo Clássico de Corrente Elétrica

Podem ocorrer inúmeras questões, quando manuseamos, observamos e desmontamos alguns aparelhos elétricos. O que significa ligar um aparelho elétrico? Por que existe corrente em um aparelho ligado? No que consiste a corrente elétrica? Como ocorre o aquecimento? Tais questões somente podem ser respondidas considerando-se o que acontece no interior do fio quando se estabelece nele uma corrente elétrica. Isso significa que elas não podem ser respondidas pelas observações diretas dos circuitos elétricos, já que não conseguimos ver o que está acontecendo dentro do fio. Um pedaço de fio em um circuito ligado tem a mesma aparência externa que um desligado. Por outro lado, existem evidências de efeitos devidos à corrente, como, por exemplo, o aquecimento nos fios, ou, ainda, um choque elétrico.

Se formos ao dicionário buscar o significado da palavra modelo, vamos encontrar, entre outros, o seguinte: "conjunto de hipóteses sobre a estrutura ou comportamento de um sistema físico pelo qual se procura explicar ou prever, dentro de uma teoria científica, as propriedades do sistema".

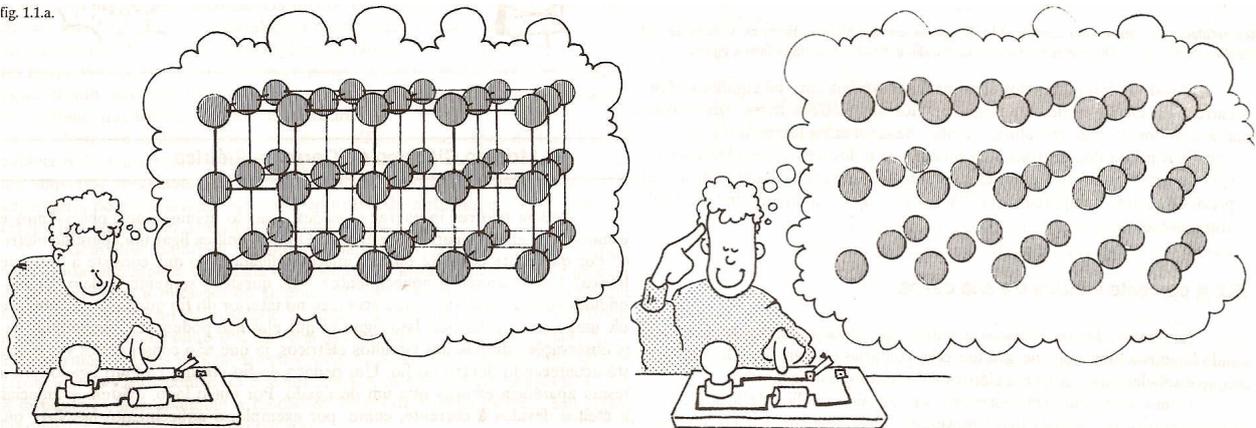
Um aspecto interessante dessa explicação é que os modelos são concebidos no interior de teorias. No nosso caso, estamos interessados em compreender no que consiste a corrente elétrica em um metal. Os metais, do ponto de vista microscópico, são formados por íons e a corrente elétrica é associada a um tipo de movimento de elétrons nos espaços entre esses íons. Desse modo, o nosso modelo envolve, necessariamente, a teoria que descreve as interações entre elétrons e íons. Atualmente, a teoria aceita para descrever o comportamento de partículas elementares é o da Mecânica Quântica. Entretanto, nos restringiremos a outro modelo mais simples, baseado na Mecânica Clássica, elaborado pelo físico alemão Paul Drudde, em 1900, e desenvolvido pelo físico austríaco Anton Lorentz, em 1909. É importante notar que, apesar de simples, esse modelo é bastante realístico, porque até as versões quânticas atuais preservam muitas características do modelo clássico que será apresentado aqui.

## O metal sem corrente

Um átomo isolado de um metal qualquer é eletricamente neutro. Por exemplo, um átomo de cobre é constituído por um núcleo que contém 29 prótons cercados por 29 elétrons, o da prata contém 47 prótons e 47 elétrons.

Já um fio metálico contém um número muito grande de partículas e por isso a sua estrutura é diferente. No interior do metal, cada átomo perde, em geral, um ou dois elétrons, tornando-se, portanto, íons positivos. Tais íons se arranjam de modo bastante regular, constituindo uma rede cristalina tridimensional tal como ilustra a figura 1.1.

fig. 1.1.a.



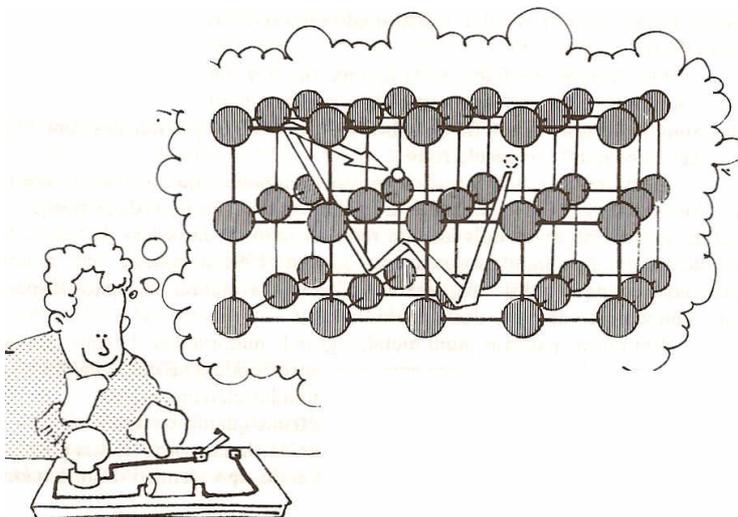
As esferas representam os íons, e as linhas ilustram o caráter tridimensional da rede, não tendo significado físico. Por isso a rede se parece mais com o desenho da fig. 1.1.b ao lado.

Os elétrons perdidos pelos átomos ficam vagando pelos espaços entre os íons. Desse modo, o fio metálico continua eletricamente neutro. Assim, por exemplo, os íons de um fio de cobre são constituídos por núcleos com 29 prótons, cercados por 27 ou 28 elétrons.

A dureza dos metais poderia nos levar a pensar que os íons no seu interior formam estruturas compactas. Entretanto, isso não é verdade porque, nos metais, a distância entre dois íons da rede cristalina é da ordem de três vezes o raio de um íon. Isso significa que apenas cerca de 15% do volume total de um fio metálico é ocupado pelos íons, correspondendo, o restante, ao espaço disponível para o movimento de parte dos elétrons.

Em outras palavras, num metal, a grande maioria dos elétrons está presa nas vizinhanças dos núcleos, enquanto que outros podem se deslocar por todo o seu interior. Por isso esses últimos são denominados elétrons livres.

À temperatura ambiente tanto os elétrons quanto os íons estão em movimento de origem térmica. Enquanto cada íon oscila em torno de sua posição de equilíbrio, o movimento de um elétron livre é do tipo térmico desordenado ou aleatório, tal como o de moléculas gasosas em recipientes fechados. A “dança” de um elétron está representada na figura 1.2.



*Fig.2 Representação do movimento desordenado de apenas um dos elétrons livres no interior da rede cristalina de um metal. Os demais elétrons livres não são indicados para simplificar a figura.*

Devido às interações dos elétrons livres com os íons, há equilíbrio térmico entre eles. Desse modo a energia cinética dos elétrons livres,

em média, é igual a dos íons da rede cristalina, e ambas dependem da temperatura do material. Sendo a massa dos elétrons bem menor que a dos íons e considerando a interação de natureza elétrica entre eles, os íons têm uma velocidade praticamente desprezível, quando comparada à de 100.000 m/s, que é a do elétron livre à temperatura ambiente.

### A corrente elétrica e a sua causa

Lâmpadas, ferros elétricos e outros aparelhos resistivos só funcionam quando ligados a fontes de energia, tais como baterias ou tomadas. Quando isso é feito, se estabelece uma corrente elétrica no interior desses aparelhos.

Como discutimos anteriormente, em um fio metálico desligado de uma fonte de energia, os elétrons livres movem-se desordenadamente no interior da rede cristalina. Tal movimento não constitui a corrente elétrica, pois ela está associada a um outro movimento dos elétrons livres na direção do fio, e superposto ao movimento aleatório de origem térmica. Esse movimento adicional ocorre porque, ao ligarmos o fio a uma fonte de energia, aparece uma força de origem elétrica que age sobre cada um dos elétrons livres e dos íons da rede. Como os íons possuem grande massa e interagem entre si, praticamente não se movem, enquanto que os elétrons livres, ao serem acelerados por essa mesma força, acabam produzindo o referido movimento adicional que é a corrente elétrica nos metais.

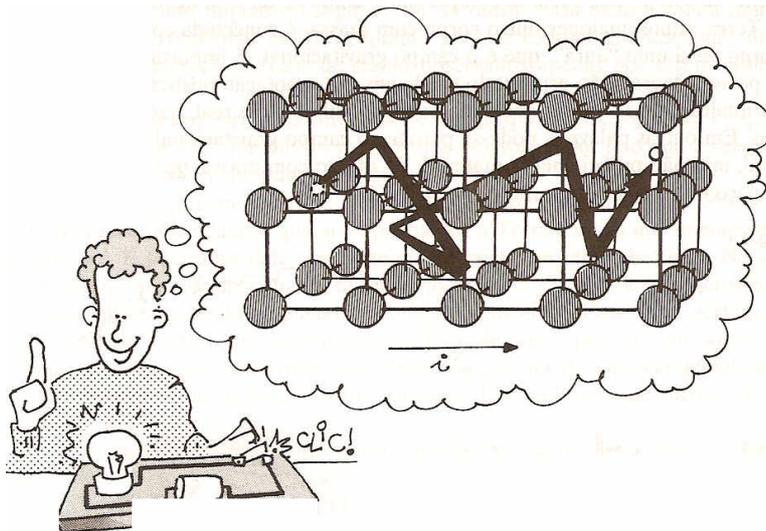


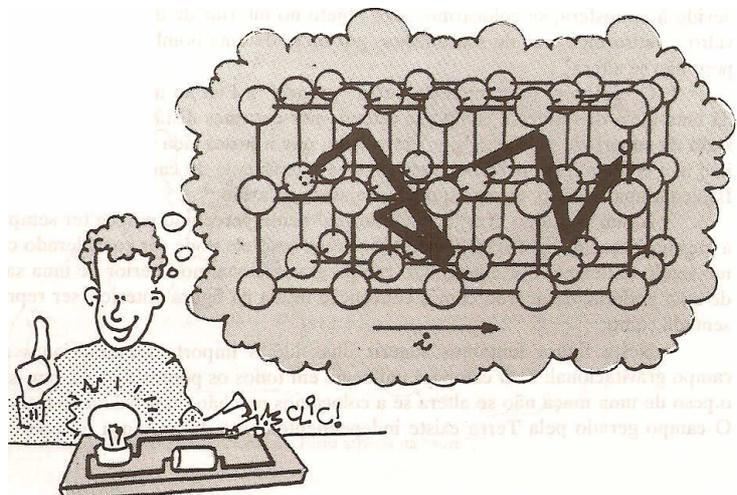
Fig. 3: Representação do movimento adicional de apenas um dos elétrons livres.

Essa força de natureza elétrica é devida à existência de um campo elétrico no interior do fio quando o mesmo é conectado à fonte de energia. (...)

(...) Quando ligamos um fio elétrico a uma bateria, estabelece-se dentro dele um campo elétrico

que é uniforme e preenche todo o interior do fio. Do mesmo modo que o campo gravitacional pode agir sobre uma massa, esse campo elétrico agirá sobre todas as partículas carregadas (íons e elétrons) presentes no fio, causando forças sobre elas. Em particular, ele agirá sobre cada um dos elétrons livres ocasionando as forças responsáveis pela corrente elétrica. Assim, é o campo no interior do fio o responsável pelo movimento que se superpõe à agitação térmica. (...)

Fig.3: Representação do campo elétrico no interior da rede cristalina através do sombreado.



(...) Muitos dos aparelhos elétricos utilizados em nossas casas funcionam ligados a tomadas. Quando isso ocorre, a corrente em seu interior é do tipo alternada<sup>2</sup>, já que o movimento de avanço dos elétrons livres alterna constantemente seu sentido, ora para um lado ora para o lado oposto. Isto quer dizer que, assim como o campo elétrico, conseqüentemente a força que atua sobre os elétrons também alterna seu sentido. Nesse caso, temos um campo elétrico que varia com o tempo.

Em nossa residência, a freqüência da alternância da corrente é de sessenta vezes por segundo (60Hz). Para visualizarmos o que ocorre no interior do fio convém notar que o tempo de 1/60 s, que para a nossa vivência é muito pequeno, do ponto de vista de eventos na escala atômica é bastante grande. Por exemplo, ele é suficiente para que os elétrons livres ultrapassem a ordem de 20.000 espaçamentos da rede cristalina em cada sentido de alternância.

### O aquecimento nos condutores (Efeito Joule)<sup>3</sup>

Vamos agora interpretar, de acordo com o modelo clássico, o processo de aquecimento nos condutores. Nos chuveiros, torneiras elétricas, aquecedores, em todos os aparelhos elétricos, classificados como resistivos, o aquecimento provocado pela corrente constitui a razão de seu funcionamento<sup>4</sup>.

Segundo o modelo que estamos utilizando, ao fecharmos o circuito, os elétrons livres, sob a ação do campo elétrico ficam sujeitos a uma força elétrica que os acelera na direção desse campo. Esse movimento induzido pelo campo elétrico é superposto ao movimento caótico devido aos muitos choques dos elétrons com a rede cristalina.

Vamos nos deter agora ao que acontece com um elétron entre um choque e outro. Quando o circuito está fechado, a força elétrica que acelera os elétrons livres na direção do campo elétrico está sempre presente, fazendo com que a energia cinética desses elétrons aumente no intervalo de tempo entre dois choques. Com a ocorrência de um choque, esta energia é em parte transferida aos íons da rede.

Em outras palavras, o campo elétrico causa um aumento na energia cinética dos elétrons livres, que é transferida à rede cristalina por meio de choques, fazendo com que ela vibre mais intensamente, representando um aumento da energia interna. Esse aumento da vibração é percebido macroscopicamente como aumento de temperatura do fio, que passa a se comportar como fonte de calor para o ambiente.

A discussão que efetuamos, baseada no modelo clássico, permite-nos compreender, do ponto de vista qualitativo, o processo de funcionamento de um aparelho resistivo. Em síntese, o que ocorre é o seguinte: ao ligarmos um fio metálico a uma fonte de energia externa aparece em seu interior um campo elétrico. A ação desse campo sobre os elétrons livres se dá através da força elétrica, acelerando-os e aumentando sua energia cinética que é transferida aos íons da rede por meio de choques. Esses choques aumentam a energia cinética de vibração da rede, o que é percebido como aumento de temperatura.

Do ponto de vista da energia, a fonte externa fornece energia aos elétrons que transferem essa energia à rede cristalina que por sua vez a transfere na forma de calor ou radiação luminosa para o meio ambiente.

---

<sup>2</sup> A corrente elétrica nos aparelhos ligados à tomada ou diretamente à rede elétrica é do tipo alternada. Os valores indicados nesses aparelhos pelos fabricantes, entretanto, referem-se aos valores da corrente elétrica que eles necessitariam caso funcionassem com corrente do tipo contínua (corrente eficaz).

<sup>3</sup> Nota do professor deste curso.

<sup>4</sup> Nos fios de cobre, meio pelo qual a energia elétrica chega até os aparelhos, este efeito também ocorre, mas em geral ele representa uma pequena parte da energia elétrica consumida e é considerado perda de energia.

Até o momento, discutimos apenas os aspectos qualitativos do problema. Entretanto, mesmo antes de discutirmos os detalhes dos aspectos quantitativos, o modelo utilizado antecipa a existência de *algum* tipo de relação entre os vários efeitos. Sendo o valor do campo elétrico dependente da tensão, quanto maior ela for, maior será a intensidade da força exercida pelo campo sobre os elétrons livres, proporcionando maior variação da energia cinética entre dois choques, ocasionando maior aquecimento. Isso nos permite interpretar, por exemplo, o fato de um chuveiro, projetado para funcionar na tensão 220V, produzir menos aquecimento quando instalado na tensão 110V.

Texto extraído da parte 1 (Aparelhos Resistivos) do livro "Física 3 - Eletromagnetismo" do GREF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física)

Equacionando o Problema:

O funcionamento de um aparelho elétrico resistivo envolve a contínua transformação de energia elétrica em energia térmica. A quantidade de energia transformada no tempo (energia dissipada) corresponde à potência elétrica deste aparelho. Pelo princípio de Conservação da energia podemos dizer que a potência dissipada por ele é igual à potência que lhe é fornecida pela fonte de energia a ele conectada.

Numa bateria por exemplo, reações químicas realizam um trabalho sobre cargas elétricas em seu interior produzindo uma separação destas cargas em um pólo positivo e um pólo negativo. Assim, no interior da bateria temos a transformação da energia química em elétrica. O trabalho realizado sobre estas cargas corresponde à energia que elas dissiparam no circuito (que nada mais é do que um caminho por onde as cargas retornam à sua condição inicial). Numa usina hidrelétrica, a energia do movimento da turbina é transferida para as cargas elétricas no gerador e esta energia é dissipada nos aparelhos elétricos ligados a uma tomada.

A potência elétrica (P) dissipada por um elétron (de carga "q") que se move pelo resistor de um aparelho resistivo é igual então ao trabalho ( $T_{el}$ ), realizado pela força elétrica (F) sobre este elétron, quando ele se desloca na direção do campo (E), dividido pelo intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) que ele gasta neste deslocamento(d).

$$P = \frac{T_{el}}{\Delta t} \quad \text{onde: } T_{el} = F \cdot d \quad \Rightarrow \quad P = \frac{F \cdot d}{\Delta t} \quad \text{onde: } F = E \cdot q$$

$$P = \frac{E \cdot q \cdot d}{\Delta t} \quad \text{onde: } V = E \cdot d \text{ é a diferença de potencial entre os terminais do resistor}$$

Assim, teremos para a potência dissipada por um elétron no resistor a relação:

$$P = \frac{V \cdot q}{\Delta t}$$

Para vários elétrons de carga "q" (carga total  $\Delta q$ ) atravessando o resistor, teremos:

$$P = \frac{V \cdot \Delta q}{\Delta t} \quad \text{onde: } i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad P = V \cdot i \quad \text{onde } i \text{ é a corrente elétrica que atravessa o resistor}$$

Sabendo que  $V = R \cdot i$  (onde "R" é a resistência elétrica do resistor) temos:

$$P = R \cdot i^2$$

Que é a potência dissipada por Efeito Joule (transformação de energia elétrica em térmica) no aparelho resistivo.

## Atividades Práticas Propostas

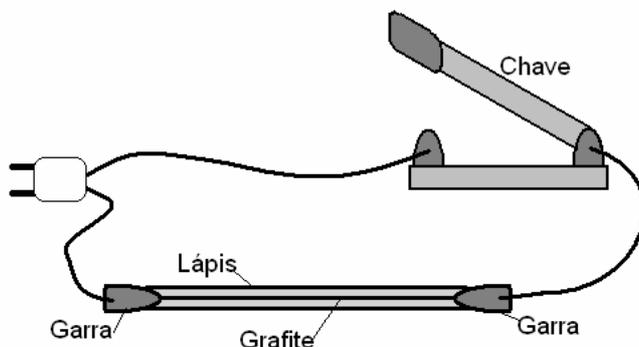
### 1) Efeito Joule no grafite de um lápis

Material:

- Tomada (plugue macho)
- Fio de instalações elétricas
- Duas garras tipo “jacaré”
- Interruptor (tipo faca)
- Estilete

Procedimento:

- Com o estilete, abra o lápis ao meio de modo que todo o grafite fique visível. Evite quebrar o grafite;
- Ligue o fio nos contatos da tomada e monte um circuito em série contendo a chave e o grafite do lápis (use as garras jacaré para conectar ao grafite).
- Com a chave desligada, conecte a tomada à rede elétrica.



Resultado esperado:

O grafite se queimará instantaneamente, rompendo-se e desligando o circuito.

Observações:

- A resistência de um lápis inteiro, nº 2, é de cerca de  $10\Omega$ . Ligado à uma tensão de 127V, teremos uma corrente de 13A que é uma corrente alta, caso em sua escola a tensão fornecida pela companhia elétrica seja de 220V, teremos uma corrente de 22A. Tome cuidado para não encostar-se aos contatos e verifique se a chave da caixa de distribuição de eletricidade suporta este valor de corrente.

### 2) Efeito Joule na esponja de aço

Material:

- Uma esponja de aço tipo Bombril
- Uma bateria de 9V

Procedimento:

- Encoste os terminais da bateria na esponja de aço e verifique o que ocorre.

Resultado esperado:

- A esponja se queima.

### 3) Verificando o funcionamento de lâmpadas incandescentes

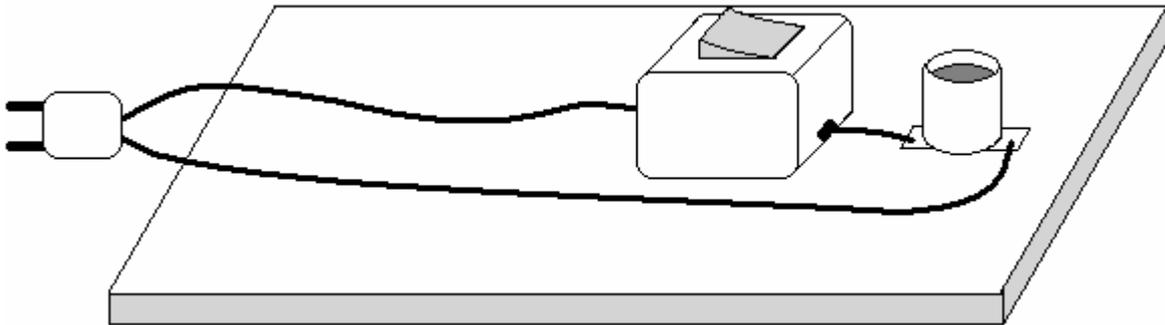
Material:

- Uma lâmpada 25W/127V
- Uma lâmpada 40W/127V
- Interruptor
- Fio paralelo para instalações elétricas
- Tomada
- Soquete para lâmpada
- Lâmpada de 40W/220V
- Fita isolante

Procedimento:

- Observe as lâmpadas, compare a espessura e o comprimento dos filamentos de cada uma. Como você pode relacionar a espessura ou o comprimento do filamento com a potência dissipada pela lâmpada e as tensões a que elas são submetidas?

- Ligue o fio nos contatos da tomada e monte um circuito em série contendo a chave e o soquete. Caso seja possível, faça tudo em um pedaço de madeira para dar firmeza à sua montagem:



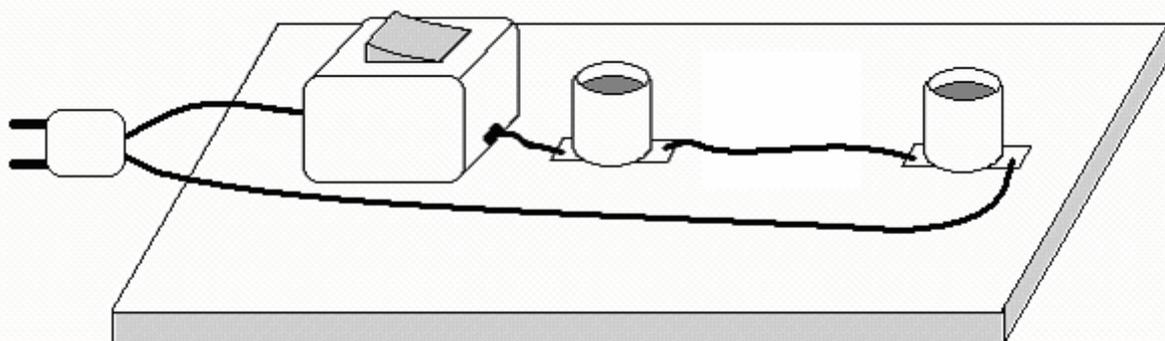
- Ligue as lâmpadas de diferentes potências e tensões e compare o brilho de cada uma.

Observações: Escolheu-se lâmpadas de menor potência para que o seu brilho não incomodasse as vistas.

Procure comprar lâmpadas do mesmo modelo e fabricante para que seja possível comparar os filamentos.

4) Lâmpadas incandescentes no circuito em série:

- Duas lâmpadas incandescentes de potências iguais para 127V
- Duas lâmpadas incandescentes para 127V e de potências diferentes das lâmpadas acima.
- Montagem feita na experiência 3.
- Montagem da figura abaixo (contendo dois soquetes):



Procedimento:

- Ligue cada uma das lâmpadas de mesma potência no circuito da experiência 3 e verifique o seu brilho.
- Responda: O que ocorrerá com o brilho destas lâmpadas quando elas forem ligadas no circuito em série?
- Ligue as duas lâmpadas de mesma potência no circuito em série e observe o seu brilho. Por que o brilho das lâmpadas modificou? Elas estão dissipando a mesma potência da situação anterior?
- Ligue cada uma das lâmpadas de potência diferente no circuito da experiência 3.
- Responda: Qual dos dois tipos de lâmpadas possui maior resistência elétrica? Qual possui a menor?
- Responda: Ligando duas lâmpadas de potências diferentes ao circuito, qual brilhará mais?

- Ligue duas lâmpadas de potências diferentes ao circuito e verifique se o que você observa confere com o que você previu no item anterior.

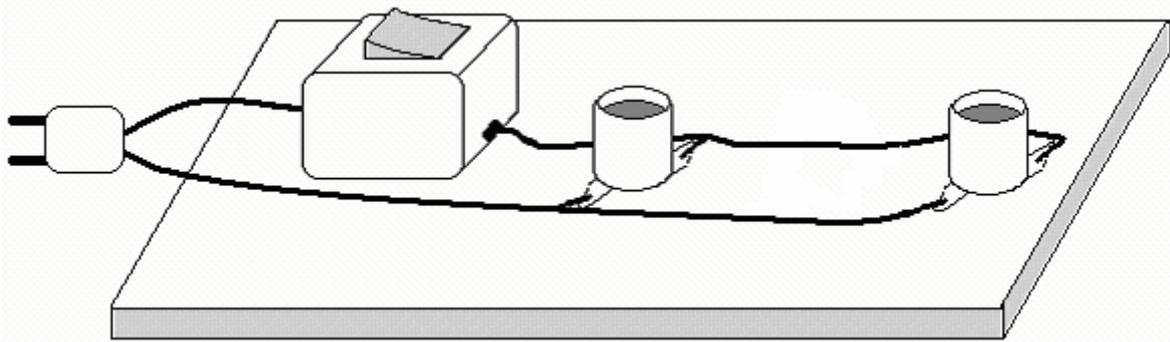
#### 5) Lâmpadas incandescentes no circuito em paralelo:

- Duas lâmpadas incandescentes de potências iguais para 127V

- Duas lâmpadas incandescentes para 127V e de potências diferentes das lâmpadas acima.

- Montagem feita na experiência 3.

- Montagem da figura abaixo (contendo dois soquetes):



#### Procedimento:

- Ligue cada uma das lâmpadas de mesma potência no circuito da experiência 3 e verifique o seu brilho.

- Responda: O que ocorrerá com o brilho destas lâmpadas quando elas forem ligadas no circuito em paralelo?

- Ligue as duas lâmpadas de mesma potência no circuito em paralelo e observe o seu brilho. Por que o brilho das lâmpadas modificou? Elas estão dissipando a mesma potência da situação anterior?

- Ligue cada uma das lâmpadas de potência diferente no circuito da experiência 3.

- Responda: Qual dos dois tipos de lâmpadas possui maior resistência elétrica? Qual possui a menor?

- Responda: Ligando duas lâmpadas de potências diferentes ao circuito, qual brilhará mais?

- Ligue duas lâmpadas de potências diferentes ao circuito e verifique se o que você observa confere com o que você previu no item anterior.