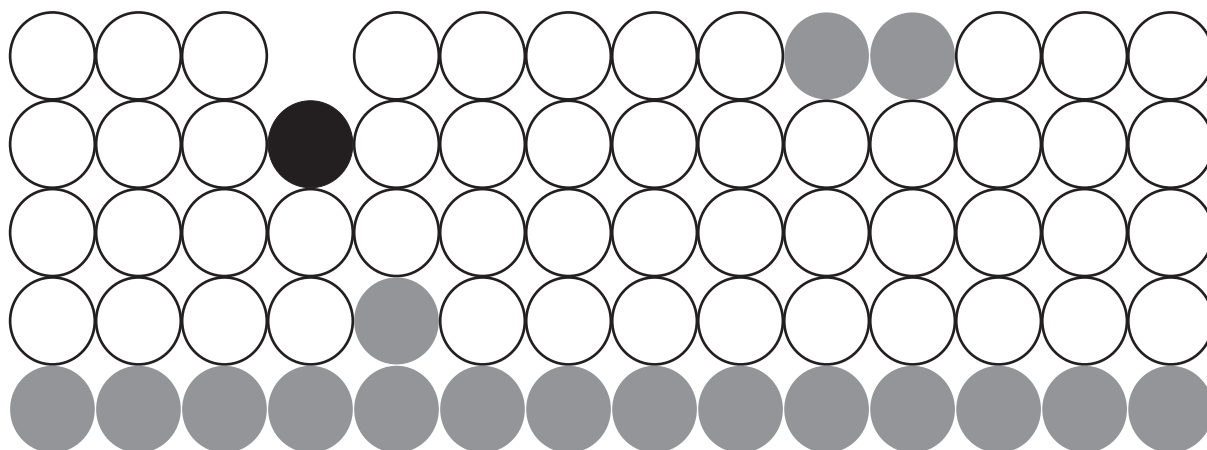


# TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

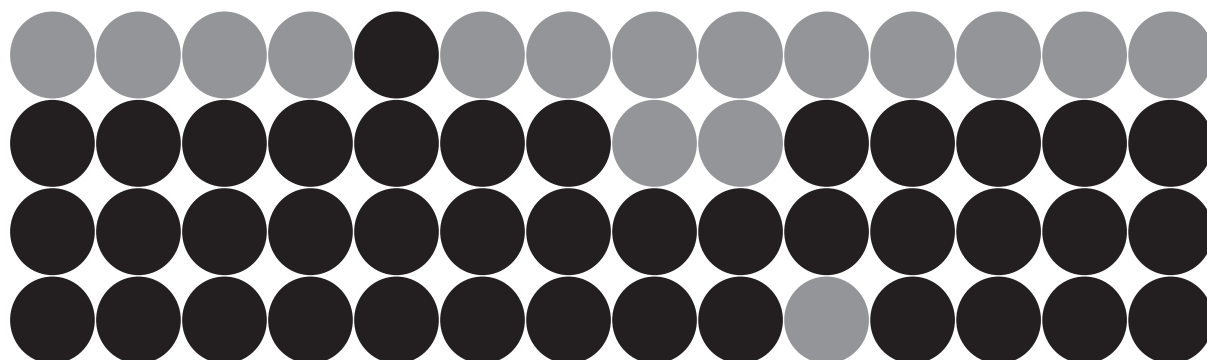
v.17 n.1 2006

ISSN 1807-2763



Circuitos elétricos: novas e velhas tecnologias  
como facilitadoras de uma aprendizagem  
significativa no nível médio

Maria Beatriz dos Santos A. Moraes  
Rejane M. Ribeiro-Teixeira



Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Textos de Apoio ao Professor de Física, v.17 n.1, 2006.  
Instituto de Física – UFRGS  
Programa de Pós – Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

Editores: Marco Antonio Moreira  
Eliane Angela Veit

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Bibliotecária Carla T. Flores Torres CRB 10/1600)

M827c Moraes, Maria Beatriz dos Santos Almeida

Circuitos elétricos: novas e velhas tecnologias como facilitadoras de uma aprendizagem significativa no nível médio / Maria Beatriz dos Santos A. Moraes, Rejane M. Ribeiro-Teixeira. – Porto Alegre : UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2006.

88p. : il. (Textos de apoio ao professor de física / Marco Antonio Moreira, Eliane Angela Veit, ISSN 1807-2763; v. 17, n. 1)

Produto do trabalho de conclusão do Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

1. Ensino de Física. 2. Aprendizagem Significativa. 3. Circuitos Elétricos. 4. Ensino Médio. I. Teixeira, Rejane Maria Ribeiro II. Título. III. Série.

CDU 53:37  
PACS 01.40.J

Impressão: Waldomiro da Silva Olivo  
Intercalação: João Batista C. da Silva

## **Apresentação**

Este número da série "Textos de Apoio ao Professor de Física" é o resultado do trabalho de Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física de Maria Beatriz dos Santos Almeida Moraes, intitulada "Uma proposta para o ensino de eletrodinâmica no Nível Médio", realizada sob orientação da Profa. Rejane Maria Ribeiro Teixeira e apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Física do Instituto de Física, UFRGS, em 15/4/2005.

A proposta foi aplicada no segundo trimestre do ano de 2004 a duas turmas do terceiro ano de Ensino Médio do Instituto Estadual de Educação Ernesto Alves, em Rio Pardo, RS. Nas aulas e também em tarefas extra classe foram utilizadas além de metodologias tradicionais recursos de tecnologia de comunicação e informação.

São disponibilizados textos, propostas de atividades, exercícios, testes aplicados aos alunos e, resumidamente, os objetivos, a justificativa, a metodologia e considerações finais da proposta.

O que se pretende com este material é divulgar o trabalho, para que o mesmo possa ser aplicado por outros professores do Ensino Médio, se assim o desejarem, adaptando-o à realidade de suas escolas e de seus alunos.

Porto Alegre, 2006.

Maria Beatriz dos Santos Almeida Moraes\*  
Rejane Maria Ribeiro Teixeira

---

\* Para esclarecimentos entre em contato através dos endereços de correio eletrônico [beatriz@netp.com.br](mailto:beatriz@netp.com.br) e/ou [rejane@if.ufrgs.br](mailto:rejane@if.ufrgs.br).



## ÍNDICE

<b>I – INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>I.1 – Objetivos</b> .....	9
<b>I.2 - Metodologia</b> .....	10
<b>I.3 – Vantagens encontradas na utilização dos recursos de tecnologias de informação e comunicação (TICs)</b> .....	11
<b>I.4 - Contextualização dos conteúdos</b> .....	12
<b>II - CORRENTE ELÉTRICA</b> .....	15
<b>II.1 - Corrente elétrica contínua e corrente elétrica alternada</b> .....	16
<b>II.2 - O movimento dos portadores de carga em um condutor</b> .....	17
<b>II.3 - Sentido real e sentido convencional da corrente elétrica</b> .....	17
<b>II.4 - Intensidade da corrente elétrica</b> .....	18
<b>II.5 - Efeitos produzidos por uma corrente elétrica</b> .....	19
<b>II.5.1 - Efeito Joule ou efeito térmico</b> .....	19
<b>II.5.2 - Efeito magnético</b> .....	19
<b>II.5.3 - Efeito luminoso</b> .....	19
<b>II.5.4 - Efeito químico</b> .....	20
<b>II.5.5 - Efeito fisiológico</b> .....	20
<b>III - CIRCUITOS ELÉTRICOS</b> .....	21
<b>III.1 – Estudo dos resistores</b> .....	21
<b>III.1.1 - Lei de Ohm</b> .....	22
<b>III.1.2 - Gráficos <math>U \times i</math></b> .....	22
<b>III.1.3 - Qual é a função dos resistores?</b> .....	23
<b>III.1.4 – Reostatos</b> .....	25
<b>III.1.5 - Potência elétrica nos resistores</b> .....	26
<b>III.1.6 - Unidades de potência e de energia elétricas</b> .....	27
<b>III.1.7 - Associação de resistores</b> .....	27
<b>III.1.7.1 - Associação de resistores em série</b> .....	28
<b>III.1.7.2 - Associação de resistores em paralelo</b> .....	29
<b>III.1.7.3 - Resumo das características das associações de resistores em série e em paralelo</b> .....	31
<b>III.1.7.4 - Associação mista de resistores</b> .....	31
<b>III.2 - Estudo dos geradores</b> .....	31
<b>III.2.1 - Fontes de voltagem</b> .....	31
<b>III.2.1.1 - Unidades de voltagem e de trabalho no Sistema Internacional de Unidades</b> .....	33
<b>III.2.2 - Potência fornecida por um gerador</b> .....	33
<b>III.2.3 - Equação característica de um gerador</b> .....	34

III.2.4 - <u>Rendimento de um gerador (<math>\eta</math>)</u> .....	35
III.2.5 - <u>Curva característica de um gerador</u> .....	36
III.2.6 - <u>Corrente de curto-circuito</u> .....	37
<b>III.3 - Estudo dos receptores</b> .....	37
III.3.1 - <u>Balço energético em um receptor</u> .....	38
III.3.2 - <u>Rendimento de um receptor</u> .....	39
III.3.3 - <u>Curva característica de um receptor</u> .....	39
<b>III.4 - Capacitor ou condensador</b> .....	40
III.4.1 - <u>O capacitor armazena energia</u> .....	41
III.4.2 - <u>O capacitor no circuito elétrico</u> .....	42
<b>III.5 – Descrição e exemplos de elementos de um circuito elétrico - resumo</b> .....	42
III.5.1 - <u>Gerador elétrico</u> .....	42
III.5.2 - <u>Receptor elétrico</u> .....	42
III.5.3 - <u>Resistor elétrico</u> .....	43
III.5.4 - <u>Dispositivos de controle</u> .....	43
III.5.4.1 - <u>Amperímetros</u> .....	43
III.5.4.2 – <u>Voltímetros</u> .....	43
III.5.4.3 - <u>Galvanômetros</u> .....	44
III.5.5 - <u>Dispositivos de segurança</u> .....	44
III.5.6 - <u>Dispositivos de manobra</u> .....	44
<b>III.6 – Leis de Kirchhoff</b> .....	44
III.6.1 - <u>Nó</u> .....	45
III.6.2 - <u>Ramo</u> .....	45
III.6.3 - <u>Malha</u> .....	45
III.6.4 - <u>Lei dos Nós</u> .....	46
III.6.5 - <u>Lei das malhas</u> .....	46
III.6.5.1 - <u>Regra prática para aplicar a lei das malhas</u> .....	47
<b>IV - ATIVIDADES E EXERCÍCIOS</b> .....	49
IV.1 - <b>Teste e aprofunde seus conhecimentos (I)</b> .....	49
IV.2 - <b>Teste e aprofunde seus conhecimentos (II)</b> .....	52
IV.3 - <b>Teste e aprofunde seus conhecimentos (III)</b> .....	54
IV.4 - <b>Teste e aprofunde seus conhecimentos (IV): geradores e receptores</b> .....	57
<b>IV.5 – Atividades práticas com o uso de simulações com o <i>software</i> Edison e com experimentos reais</b> .....	58
IV.5.1 - <u>1ª Atividade</u> .....	58
IV.5.2 – <u>Atividade prática com o uso de simulações exploradas pelos alunos usando o <i>software</i> Edison e com o kit de eletricidade</u> .....	58

<b>IV.5.3 - Questões teóricas, que deverão ser comprovadas através de cálculos e de atividade virtual (com o <i>software</i> Edison)</b> .....	59
<b>IV.5.4 - Exercícios sobre resistores, geradores e receptores</b> .....	61
<b>IV.5.5 - Atividade prática sobre o consumo de energia elétrica em uma residência</b> .....	63
<b>IV.6 – Exercite e aprofunde seus conhecimentos</b> .....	64
<b>IV.7 - Pré-teste, testes e questões de vestibulares</b> .....	65
<b>IV.7.1 - Pré-teste – Circuitos elétricos</b> .....	65
<b>IV.7.1 – Teste I</b> .....	69
<b>IV.7.2 – Teste II</b> .....	71
<b>IV.7.4 - Questões de Vestibulares</b> .....	73
<b>IV.7.4.1 – Questões de vestibulares da UFRGS</b> .....	73
<b>IV.7.4.2 – Questões de vestibulares da UNISC</b> .....	78
<b>V - CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	83
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	85
<b>TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA</b> .....	87





## I - INTRODUÇÃO

A Física é uma das disciplinas consideradas de mais difícil aprendizagem pela maioria dos alunos do ensino médio, o que faz com que muitos jovens não gostem e não se interessem pela mesma. O índice de reprovação de alunos do Ensino Médio na disciplina de Física costuma superar o índice de reprovação de várias outras disciplinas. Da mesma forma, nos concursos vestibulares de diferentes universidades a média de acertos na prova de Física costuma ser baixa.

A Física, como ciência, está presente e se manifesta, a todo o momento, em nossas vidas. Acredita-se, então, que os conhecimentos que podem ser adquiridos através desta disciplina, devem despertar o interesse dos estudantes e trazer a satisfação da aprendizagem. Mas nem sempre é isso que constatamos quando alunos ou ex-alunos do Ensino Médio manifestam suas opiniões sobre o seu relacionamento com a disciplina de Física.

Questões, como estas, têm sido motivo de preocupação, ao longo dos anos e se está constantemente em busca de alternativas que tornem o ensino e a aprendizagem de Física mais eficientes. Sabe-se que muitos fatores interferem na aprendizagem, entre eles, o significado atribuído aos conteúdos e a motivação para a aprendizagem.

É de conhecimento público a atração que as Novas Tecnologias exercem sobre muitos adolescentes e jovens, cuja faixa etária corresponde ao Ensino Médio e que os recursos de informática estão trazendo mudanças significativas para o ensino de maneira geral. Tais mudanças não se referem apenas à aquisição de conhecimentos, mas colaboram com a construção do conhecimento e com o desenvolvimento de habilidades e competências. Fatos como os citados levam a repensar o ensino de Física no nível médio, o que justifica a realização deste trabalho.

### I.1 - Objetivos

Com esta proposta pretende-se:

- Desenvolver uma metodologia que torne as aulas de Física mais eficientes, mais produtivas e mais atraentes, procurando despertar o interesse dos alunos para facilitar a aprendizagem, tendo em vista a faixa etária à qual se destina. Tal metodologia deverá contribuir para que o aluno seja o sujeito da construção do seu conhecimento. “Os novos rumos da educação brasileira apontam para a busca da formação de um novo profissional e de um novo cidadão. Essa orientação necessita transformar-se em ação no ambiente privilegiado de interação que é a sala de aula.” (MORETTO, 2000, p. 13)

- Organizar as aulas de Física referentes aos conteúdos de Eletrodinâmica, conforme programação para o Ensino Médio, aplicando os recursos de informática, complementando e inovando as metodologias usualmente utilizadas, visando trazer melhorias para o ensino e a aprendizagem. “O espaço cibernético é o terreno onde está funcionando a humanidade hoje. É um novo espaço de interação humana que já tem uma importância profunda principalmente no plano econômico e científico, e, certamente, esta importância vai ampliar-se e vai estender-se a vários outros campos, como por exemplo, na Pedagogia,...” (LÉVY in PELLANDA, 2000, p. 13)

- Desenvolver os conteúdos dando maior ênfase aos conceitos e aos fenômenos físicos envolvidos, minimizando o desenvolvimento matemático. "A valorização do conhecimento e da criatividade demanda cidadãos capazes de aprender continuamente, o que exige uma formação geral, e não um treinamento específico." (BRASIL, 1999, p. 206)<sup>1</sup>

## I.2 - Metodologia

Para alcançar os objetivos a que se propõe este trabalho são usados os recursos e as atividades descritos a seguir:

- Utilização do aplicativo "Edison AC/DC"<sup>2</sup> para realizar a simulação de experimentos em circuitos elétricos com corrente contínua. Existe uma versão demonstrativa deste aplicativo, que pode ser acessada no endereço: <http://www.educareinfo.com.br/ensmedio/edison.htm>.

A aplicação de um *software* de simulação de experimentos pode facilitar a compreensão de conceitos e objetiva minimizar um dos fatores apontados como dificultador do ensino de Física- a carência de recursos dos laboratórios de Física, principalmente nas escolas de ensino médio da rede pública de ensino.

É possível verificar e corrigir danos causados a elementos do circuito, devido a ligações inadequadas, sem nenhum custo e sem risco de acidentes, pois as lâmpadas ou os motores queimados são reparados com um simples "clique", após ser corrigido o problema que originou a avaria.

Enfim, o uso deste *software* permite ao aluno interagir diretamente com o conteúdo em estudo, através de experiências virtuais. Para realizar, em um laboratório real de Física, a variedade de práticas permitidas pelo aplicativo, seria necessário um investimento tanto na compra do material, como na sua eventual reposição. Uma outra vantagem prevista é a racionalização do tempo, tanto na preparação das aulas, como no seu desenvolvimento.

- Realização de atividades utilizando planilha eletrônica para facilitar a compreensão de conceitos e relações entre grandezas físicas, através de gráficos.

Com este recurso, pode ser utilizada a linguagem gráfica para facilitar a compreensão dos conceitos, ao comparar os diferentes elementos do circuito elétrico. Tal atividade realizada sem o computador torna-se demorada e de pouca motivação para o jovem estudante. Este trabalho visa melhorar a produtividade das aulas, e, ao mesmo tempo, explorar a leitura e interpretação de gráficos, habilidade importante para o dia-a-dia do cidadão. "...o aprendizado deve contribuir não só para o conhecimento técnico, mas também para uma cultura mais ampla...Deve propiciar a construção de compreensão dinâmica de nossa vivência material, de convívio harmônico com o mundo da informação, de entendimento histórico da vida social e produtiva ..." (BRASIL, 1999, p. 208)

---

<sup>1</sup> BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio*. Brasília: MEC, 1999; BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN+-ENSINO MÉDIO, Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília. 2002. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/ensino/pcn.shtml>>. Acesso em: 15 ago. 2006.

<sup>2</sup>Software produzido pelo *Design Software* e distribuído pela Educare Informática.

- Utilização do ambiente de aprendizagem “TelEduc”<sup>3</sup>, como forma de interação entre os alunos, entre os alunos e o objeto do conhecimento e entre alunos e professora, durante as aulas e em atividades extra-classe.

Com o uso desse ambiente de aprendizagem espera-se que haja um melhor aproveitamento do tempo, pois os alunos podem trabalhar e interagir também fora do horário normal das aulas. Espera-se que o ambiente interativo seja um fator de motivação dos alunos para a aprendizagem.

- Realização de alguns experimentos simples de circuitos elétricos e comparação com os resultados das simulações obtidas através do aplicativo. A realização destes experimentos no laboratório real, utilizando os poucos recursos disponíveis na escola, tem o objetivo de mostrar aos alunos a confiabilidade e as limitações dos experimentos virtuais e oportuniza a interação dos estudantes com o objeto de estudo. O contato com o experimento facilita a compreensão das aproximações feitas nos modelos ideais.

- Realização de atividades e aplicação de metodologias que proporcionam a interação aluno-conteúdo, aluno-aluno e aluno-professora. Tais atividades e metodologias constam de pesquisa bibliográfica e pesquisa na Internet, trabalhos individuais, em duplas e em grupos, aulas expositivas interativas, montagem, observação e análise de experimentos e uso da informática como tecnologia da comunicação.

- Disponibilização, através do TelEduc, de textos contendo os conceitos principais, de exercícios de fixação, de propostas de atividades e de atividades desenvolvidas pelos alunos durante o curso, visando tornar o tempo de aplicação do projeto compatível com a carga horária disponível, sem prejuízo para os demais conteúdos da série.

Podemos dizer que os objetivos propostos, contando com esta metodologia, foram plenamente alcançados.

### **I.3 – Vantagens encontradas na utilização dos recursos de tecnologias de informação e comunicação (TICs)**

A utilização das TICs, até então não usuais nas aulas de Física destas turmas, foi um fator de motivação dos alunos para o estudo do conteúdo abordado.

A Internet foi usada como fonte de consulta, para a realização de pesquisas sobre determinados assuntos e como meio de comunicação, através de e-mail, entre a professora e os alunos e entre os alunos. O trabalho em um ambiente virtual de aprendizagem, o TelEduc, mostrou-se muito produtivo. Foi amplamente utilizado o *software* Edison para simulação de experimentos. Tanto a professora como os alunos utilizaram apresentações em PowerPoint, como complemento a aulas expositivas e para apresentações de trabalhos.

As planilhas eletrônicas tiveram uma aplicação limitada nestes conteúdos, mas foram usadas para construção de tabelas e gráficos e interpretação de dados referentes à Lei de Coulomb,

---

<sup>3</sup> O TelEduc é um ambiente de ensino a distância pelo qual se pode realizar cursos através da Internet. Está sendo desenvolvido conjuntamente pelo Núcleo de Informática Aplicada à Educação (Nied) e pelo Instituto de Computação (IC) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

no trimestre anterior. Alguns alunos utilizaram planilha eletrônica em seus trabalhos individuais ou em exercícios, por opção própria.

Graças a esta metodologia, paralelamente à aprendizagem de Física, os alunos aprofundaram seus conhecimentos em Informática ou adquiriram estes conhecimentos, no caso daqueles que não tinham nem mesmo as noções básicas de Informática. A utilização destes recursos foi considerada muito positiva. E para os alunos que não dispunham de computador em suas casas e nem de recursos para fazer um curso de Informática, através deste projeto tiveram o Laboratório de Informática da Escola à sua disposição, no turno inverso, com a orientação necessária e sem nenhum custo.

A motivação para o estudo, proporcionada por esses recursos, foi fator importante para a obtenção de bons resultados com relação ao interesse pelas aulas de Física e à construção do conhecimento.

#### **I.4 - Contextualização dos Conteúdos**

O trabalho de dissertação de Mestrado, no qual estão detalhados os conteúdos e metodologia apresentados neste texto, se propôs a aplicar os recursos das Novas Tecnologias, aqui representadas pela informática, para desenvolver uma parte do conteúdo de Física que consta do currículo do terceiro ano do Ensino Médio, o conteúdo de Eletrodinâmica, para duas turmas do Instituto Estadual de Educação Ernesto Alves, na cidade de Rio Pardo, RS.

Ao organizar os textos com os conteúdos a serem distribuídos aos alunos e ao introduzir um novo assunto na sala de aula, através de aula expositiva, houve sempre a preocupação de usar uma linguagem que favorecesse a compreensão dos novos conceitos. Para atingir esse objetivo, procurou-se relacionar, sempre que possível, os novos conceitos com aqueles já conhecidos pelo aluno. Procurou-se citar exemplos ou estabelecer comparações com fenômenos ou fatos da vida do estudante. Foi destacada a presença da Física em diferentes circunstâncias do dia-a-dia de cada um, na tentativa de mostrar a importância do estudo de fenômenos e leis físicas para todos os cidadãos e não apenas para aqueles que necessitam desta disciplina na continuidade de seus estudos ou diretamente em sua futura profissão.

O contexto histórico da construção dos conhecimentos físicos foi abordado, relacionando-se o conteúdo estudado com parte da História da Física, estudada através de pesquisa feita pelos grupos, e apresentada à turma, sobre a biografia e a contribuição de alguns cientistas importantes no estudo da eletricidade. Essa pesquisa foi feita no início do trimestre anterior e, posteriormente, à medida que eram citados esses cientistas ou suas descobertas, procurava-se relacionar com o que já havia sido estudado sobre eles. Na tentativa de facilitar a aprendizagem significativa procurou-se sempre *averiguar o que o aluno já sabia para ensinar de acordo*<sup>4[1]</sup>, tentando suprir as necessidades prévias.

Nos capítulos II e III, a seguir, são apresentados textos sobre corrente elétrica e circuitos elétricos, respectivamente. As atividades e os exercícios propostos para os alunos, para serem

---

<sup>4[1]</sup> "...o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; descubra isso e ensine-o de acordo". (Ausubel *in* Moreira, 1999, p. 163)

trabalhados tanto em sala de aula quanto extra classe, compõem o capítulo IV. No capítulo V são delineadas as considerações finais resultantes da aplicação deste trabalho no contexto escolar.



## II - CORRENTE ELÉTRICA

Anteriormente estudamos a diferença entre condutores e isolantes, as formas de eletrização de um corpo, as propriedades de um corpo eletrizado, o movimento de cargas em condutores e as causas destes movimentos, bem como, os conceitos de força elétrica, de campo elétrico, de potencial elétrico, de energia potencial elétrica, de trabalho da força elétrica, etc. Todos estes conceitos e definições são importantes para a melhor compreensão do que iremos estudar a seguir.

O que é uma **corrente elétrica**?

Chamamos de corrente elétrica ao movimento ordenado de portadores de carga elétrica. Neste caso, os portadores de carga elétrica são os elétrons livres nos condutores sólidos (metais) e os cátions e ânions, nos condutores eletrolíticos (soluções iônicas- líquidos). Os gases, normalmente isolantes, sob a ação de um forte campo elétrico podem se ionizar, apresentando como portadores de carga, íons positivos, íons negativos e elétrons livres.

Usa-se ainda a expressão *corrente elétrica*, que vem da antiga concepção de eletricidade como um fluido<sup>1</sup>, que supostamente poderia ser canalizada por condutores ou encanamentos hipotéticos, à semelhança da água corrente canalizada.

Embora a analogia entre corrente elétrica e água corrente seja ainda usada para facilitar a compreensão do que é uma corrente elétrica, esses dois fenômenos apresentam algumas características muito diferentes e que devem ser esclarecidas, para evitar interpretações inadequadas.

Enquanto na água encanada o que se movimenta é o líquido, e todo o líquido e qualquer partícula nele inserida se desloca com aproximadamente a mesma velocidade e no mesmo sentido, na corrente elétrica quem se movimenta são os portadores de carga que representam uma pequena parte do que é constituído o condutor, mesmo sendo muito numerosos.

Nos condutores metálicos sempre existem os elétrons livres e estes sempre se encontram em um movimento desordenado. A corrente elétrica decorre da imposição de um movimento ordenado, que não anula o movimento desordenado dos elétrons mas se superpõem a ele. Um modelo para tal situação é o de um enxame de mosquitos: cada mosquito (elétron livre) voa desordenadamente enquanto o enxame como um todo se encontra parado. Em seguida leve brisa passa a carregar o enxame como um todo. Note que cada mosquito agora possui ainda o movimento desordenado mas é arrastado ordenadamente junto com o enxame.

Na corrente elétrica contínua, em condutores metálicos, há duas velocidades de propagação a considerar: a do movimento ordenado dos elétrons livres, que é muito pequena, da ordem de centena de centímetros por hora, mesmo quando a corrente é tão grande que o condutor se danifica. A outra velocidade é a velocidade de propagação do campo elétrico (ou da energia elétrica). Esta última velocidade é muito grande, sendo da ordem da velocidade da luz no vácuo ( $3 \times 10^8$  m/s). Isto explica o fato de, ao ligarmos o interruptor de uma lâmpada, esta se acender imediatamente.

---

<sup>1</sup> Fluido – qualquer substância capaz de escoar ou fluir; qualquer líquido ou gás.

Quando nos referimos à corrente alternada, a analogia com o fluxo de água corrente em um cano é completamente inadequada, pois os portadores de carga não se deslocam ao longo do condutor, mas realizam um movimento de vaivém em torno de posições aproximadamente fixas.

## II.1 - Corrente elétrica contínua e corrente elétrica alternada

A aplicação de uma diferença de potencial (tensão) entre os pólos de um fio condutor implica em um campo elétrico  $\vec{E}$  neste condutor, o qual estabelece, no fio, uma corrente elétrica. O sentido (convencional) da corrente elétrica é o mesmo do vetor campo elétrico.

Quando o sentido do campo elétrico aplicado permanece sempre o mesmo, os portadores de carga se deslocam (mesmo com baixa velocidade), em média, em um só sentido. Neste caso, a corrente elétrica é *contínua*. Este tipo de corrente é fornecido pelos geradores químicos, por exemplo, baterias e pilhas.

No gerador mecânico-eletromagnético ou dínamo ou alternador, o sentido do vetor campo elétrico entre os seus terminais varia periodicamente, fazendo com que os portadores de carga nos condutores alimentados com este gerador praticamente não se desloquem, mas oscilem em torno de posições fixas, em um movimento de vaivém, em qualquer ponto do fio condutor. Neste caso, o gerador produz uma tensão alternada que, atuando sobre um condutor, determina a ocorrência de uma corrente alternada.

As correntes elétricas que ocorrem quando ligamos um dispositivo à rede elétrica em nossas casas ou indústrias são, normalmente, alternadas. A frequência da corrente alternada é, em geral, igual a 60 Hertz. Isto significa que as cargas elétricas nos condutores executam, em média, 60 vibrações completas em cada segundo (60 ciclos).

Para se obter uma corrente em um único sentido, em um circuito alimentado por um gerador de tensão alternada, pode ser utilizado um dispositivo chamado retificador. O diodo é um dispositivo eletrônico deste tipo, permitindo a passagem da corrente elétrica em apenas um sentido. Então, quando introduzido em um circuito de tensão alternada, determina apenas uma corrente elétrica em um único sentido (corrente retificada ou corrente “contínua”).

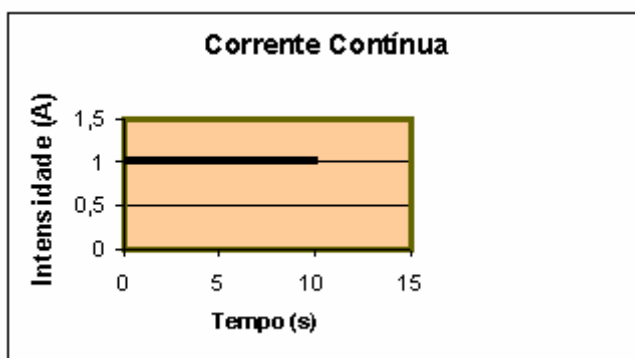


Gráfico 1



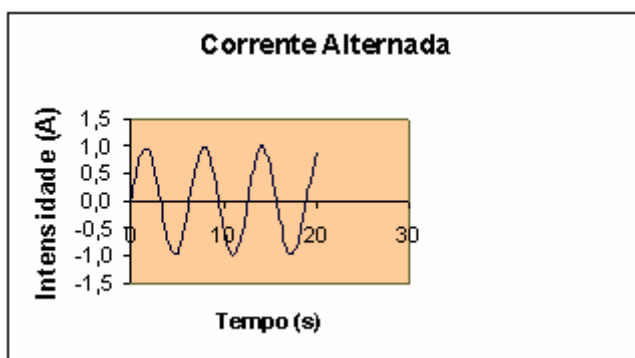


Gráfico 2

**Figura II.1:** Gráficos da intensidade da corrente elétrica contínua (gráfico 1) e da corrente alternada (gráfico 2) em função do tempo.

Observando o gráfico 1 verifica-se que, quando a corrente é contínua, a intensidade permanece constante no decorrer do tempo. A intensidade média é igual à intensidade constante.

O gráfico 2 mostra que o valor da intensidade da corrente varia de uma intensidade máxima a uma intensidade mínima, oscilando periodicamente no decorrer do tempo.

## II.2 - O movimento dos portadores de carga em um condutor

Nos condutores metálicos existe movimento ininterrupto e irregular de elétrons e, principalmente, de elétrons livres. Chamamos de elétrons livres, os elétrons que se encontram mais afastados do núcleo de seu átomo, que estando mais fracamente ligados ao átomo adquirem maior mobilidade.

A corrente elétrica é um movimento ordenado de portadores de cargas elétricas. Então, como ocorre a transformação desse movimento caótico em um movimento ordenado, para produzir a corrente elétrica?

Os elétrons livres passarão a se deslocar, preferencialmente, em uma direção e sentido se uma força for aplicada sobre eles com essa orientação.

Como se tratam de partículas eletrizadas é fácil concluir que a força que age sobre cada uma delas, para ordená-las, é uma *força elétrica*. Um elétron, ou qualquer corpo eletrizado, sofre a ação de uma força elétrica quando se encontra em um *campo elétrico*. Para que seja gerado um campo elétrico no condutor, deve ser aplicada a este condutor uma *diferença de potencial*. Esta é a função do gerador. Ligando-se o condutor aos pólos do gerador se estabelece a corrente elétrica.

Nos condutores líquidos e nos gases, de maneira semelhante, se faz necessária a diferença de potencial entre seus pólos para que os portadores de cargas (cátions, ânions e/ou elétrons livres), inicialmente em movimento caótico, passem a ter um movimento ordenado. Esta diferença de potencial é aplicada aos condutores quando estes são ligados aos pólos de um gerador.

## II.3 - Sentido real e sentido convencional da corrente elétrica

Considere um condutor (eletrolítico) onde há um movimento ordenado de cargas positivas e de cargas negativas.

A diferença de potencial elétrico faz com que o condutor fique imerso em um campo elétrico. Graças a esse campo elétrico, cada carga fica sujeita a uma força elétrica, que provoca o seu movimento. As cargas positivas se deslocam, no condutor, no mesmo sentido do campo elétrico, ou seja, no sentido do potencial maior para o potencial menor (do pólo positivo para o pólo negativo do gerador). As cargas negativas se deslocam em sentido contrário ao campo elétrico, vão do potencial menor para o maior (do pólo negativo para o pólo positivo do gerador). Este é o sentido real da corrente elétrica.

Nos condutores sólidos, onde só há movimento de elétrons livres, o sentido real da corrente elétrica é o que foi descrito para as cargas negativas.

É fácil imaginar esta situação quando se trata de corrente contínua. Para a corrente alternada, a explicação é a mesma, apenas há que se considerar que o campo elétrico varia, invertendo o seu sentido periodicamente e, em consequência, fazendo variar o sentido da corrente elétrica e o sentido de movimento dos elétrons no condutor.

Muito antes de conhecer as partículas atômicas e subatômicas, de saber o sinal das cargas que se deslocavam, os físicos já haviam estabelecido um sentido para a corrente elétrica. Tal sentido coincide com o sentido do movimento das cargas positivas. Até hoje, sempre que nos referimos ao sentido da corrente elétrica, estamos nos referindo ao sentido convencional, a não ser que seja especificado o contrário.

Mesmo nos condutores metálicos, onde há apenas movimento de elétrons, o sentido convencional é o sentido contrário ao sentido de movimento dos elétrons, que equivaleria ao sentido do movimento de cargas positivas:

#### **II.4 - Intensidade da corrente elétrica**

A corrente elétrica é uma grandeza física, cuja intensidade de sua manifestação (mais forte/ mais fraco) depende da quantidade de cargas que passam pelo condutor em um determinado intervalo de tempo.

A esse fenômeno é associada uma grandeza escalar chamada **intensidade da corrente elétrica** ( $i$ ).

Considere um condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica. Imagine, neste condutor, uma secção reta  $S$ . (Colocar uma figura)

Em cada intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) passa por essa secção  $S$  uma certa quantidade de carga ( $\Delta Q$ ).

A intensidade média da corrente elétrica nessa secção é dada por:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}.$$

Como a carga elétrica é quantizada e o menor valor corresponde à carga de um elétron ou de um próton, carga elementar ( $e=1,6 \times 10^{-19}$  C), a expressão acima pode ser dada por:

$$i = \frac{n \cdot e}{\Delta t},$$

onde:  $n$  = número de elétrons que atravessam a secção reta do fio condutor;  $e$  = módulo da carga elementar (ou carga de um elétron); e  $\Delta t$  = intervalo de tempo.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a carga elétrica é dada em Coulomb (C) e o tempo em segundos (s). A intensidade de corrente elétrica é dada em C/ s.

A intensidade de corrente elétrica de 1C/ s é denominada 1 Ampère (1 A), em homenagem ao físico francês André-Marie Ampère.

O Ampère é uma unidade adequada para as instalações elétricas domésticas ou industriais, mas para os circuitos eletrônicos ela é muito grande. Por isso, são usados freqüentemente os submúltiplos do Ampère, como o miliampère ( $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$ ) e o microampère ( $1 \mu \text{ A} = 10^{-6} \text{ A}$ ).

## **II.5 - Efeitos produzidos por uma corrente elétrica**

Ao passar por um condutor, a corrente elétrica pode produzir diferentes efeitos. Os efeitos produzidos dependem da intensidade da corrente e da natureza do condutor.

### **II.5.1 - Efeito Joule ou efeito térmico**

É a transformação da energia elétrica em energia térmica. O aquecimento do condutor é provocado pela colisão dos elétrons livres com os átomos. Este efeito é o princípio de funcionamento dos aparelhos elétricos destinados a aquecer – ferro elétrico, chuveiro, estufa elétrica, torneira elétrica, lâmpada incandescente, torradeira, etc – e produzir luz – lâmpadas com filamento metálico incandescente. Indesejavelmente o aquecimento também ocorre em outros dispositivos de conversão de energia elétrica, tais como nos nossos aparelhos elétricos residenciais (ventiladores, rádios, televisores,...).

### **II.5.2 - Efeito magnético**

Todo condutor que é percorrido por uma corrente elétrica gera no espaço ao seu redor um campo magnético. Podemos comprovar esse efeito aproximando do condutor uma bússola. A agulha magnética se posicionará sempre perpendicular ao condutor.

Segundo conta a história, este fenômeno foi verificado pela primeira vez no final do século XIX (em 1820), por Hans Christian Oersted.

Uma simples e importante experiência realizada por Oersted representou um marco na história da Física, comprovando experimentalmente a relação entre a Eletricidade e o Magnetismo, originando um ramo da Física atualmente denominado Eletromagnetismo.

### **II.5.3 - Efeito luminoso**

Este é um fenômeno elétrico de nível molecular. Ao atravessar um gás, sob baixa pressão, a corrente elétrica provoca a excitação eletrônica nas moléculas do gás, o que pode provocar a emissão de radiação visível (emissão de luz). Esse efeito é aplicado nas lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de vapor de sódio, etc.

#### **II.5.4 - Efeito químico**

São fenômenos elétricos que ocorrem nas estruturas moleculares. Por exemplo, quando uma solução iônica é atravessada por uma corrente elétrica, ocorre a separação dos íons nessa solução. Os cátions e ânions passam a se deslocar em sentidos contrários, para os pólos negativo e positivo, respectivamente. Este efeito provoca a eletrólise da água e é aplicado na galvanização de metais (niquelagem, prateação e cromação de objetos).

#### **II.5.5 - Efeito fisiológico**

Ao atravessar um organismo animal, a corrente elétrica provoca contrações musculares. No nosso organismo, os impulsos nervosos são transmitidos através de estímulos elétricos.

As contrações musculares dependem da intensidade da corrente elétrica que atravessa o organismo, variando de efeitos quase imperceptíveis até a morte. Tais contrações são conhecidas por choque elétrico.

### III - CIRCUITOS ELÉTRICOS

Um circuito elétrico é constituído por dispositivos nos quais é possível estabelecer uma corrente elétrica. Em um circuito elétrico em funcionamento, como existe corrente elétrica, e existem diferenças de potencial elétrico (tensões), haverá conversão de energia elétrica em outras formas de energia.

Para que ocorra um circuito elétrico simples, deve haver, pelo menos, um gerador, condutores e um receptor ou uma resistência.

O gerador é o elemento essencial de um circuito elétrico, pois ele é a fonte da energia elétrica que se será convertida nas outras formas de energia.

Aqui foram citados, além dos condutores, apenas três elementos de um circuito elétrico, mas muitos outros elementos podem constituir um circuito, dependendo de sua finalidade e complexidade.

Através do *software Edison*<sup>1</sup> conheceremos melhor estes e outros elementos que podem fazer parte de um circuito elétrico, como interruptores, geradores (baterias e fontes de alimentação), resistores (resistência de cores, reostatos, lâmpada elétrica), motor elétrico, condensadores, medidores (amperímetro, voltímetro e ohmímetro), etc.

Usando esse software poderemos, também, montar circuitos e experimentá-los, realizar medidas, fazer comparações com experimentos demonstrativos e estudá-los. Isto será feito no decorrer de nossas aulas.

#### III.1 – Estudo dos resistores

A causa e a fonte de voltagem em um circuito elétrico é o **gerador**. A intensidade da corrente elétrica não depende apenas da voltagem, mas também da **resistência elétrica** que o condutor oferece à passagem de corrente elétrica.

Quando uma corrente elétrica passa por um condutor sólido, um número muito grande de elétrons livres se desloca nesse condutor. Os elétrons livres colidem entre si e colidem também contra os átomos que formam o condutor. Devido a essas colisões, os elétrons livres encontram uma certa **dificuldade** para se deslocar, existe uma **resistência** à passagem de corrente elétrica.

A grandeza física que mede essa dificuldade ou resistência à passagem de corrente elétrica é chamada **resistência elétrica**. A resistência elétrica de um condutor depende da sua espessura, do seu comprimento e da condutividade elétrica do material de que é constituído o condutor (a condutividade está relacionada ao número de portadores de carga). A resistência elétrica também depende da temperatura. Quanto maior a temperatura, maior a agitação das partículas do condutor e, portanto, maior a resistência. Para a maioria dos condutores, o aumento da temperatura provoca aumento da resistência, mas há exceções. O carbono é uma exceção. Quando a temperatura aumenta mais átomos de carbono perdem elétrons, aumentando a corrente, ou seja, diminuindo a resistência.

---

<sup>1</sup> Edison AC/DC, desenvolvido pela Design Software e distribuído pela Educare Informática, é um simulador de experimentos com circuitos elétricos.

Nos supercondutores a resistência pode ir a zero em temperaturas muito baixas.

Define-se a **resistência elétrica** (R) de um condutor pela razão:

$$R = \frac{U}{i} ,$$

onde U é a diferença de potencial nas extremidades do condutor e i é a intensidade da corrente elétrica que o atravessa.

A unidade de resistência elétrica no SI recebe o nome de ohm, em homenagem a Georg Simon Ohm.

A unidade *ohm* é representada pela letra grega omega,  $\Omega$ :

$$1\Omega = \frac{1V}{1A} .$$

O inverso da resistência elétrica é chamado *condutância*. Sua unidade no SI é obtida da razão ampère/ volt e recebe o nome de *siemens* (S), em homenagem ao físico alemão *Ernst Werner von Siemens*.

### III.1.1 - Lei de Ohm

O valor da resistência (R) de qualquer condutor varia com a corrente que o atravessa. No entanto, para determinados intervalos de variação da corrente elétrica, a variação do valor de R é muito pequena e a resistência pode ser considerada constante. Neste caso, a diferença de potencial elétrico U nas extremidades do condutor é diretamente proporcional à intensidade de corrente elétrica i que o atravessa.

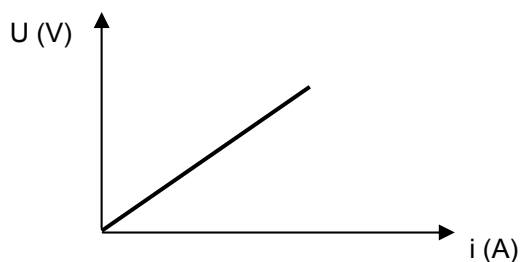
Assim, podemos escrever:  $U = R \cdot i$ .

A resistência elétrica é a constante de proporcionalidade. A expressão acima é conhecida como Lei de Ohm. Quando um condutor obedece à Lei de Ohm, ou seja, quando sua resistência elétrica é constante, ele é chamado de *resistor ôhmico*.

Na prática, um resistor só pode ser ôhmico dentro de determinados intervalos de intensidade da corrente elétrica que o atravessa, mas a expressão  $U = R \cdot i$  é válida tanto para condutores ôhmicos, como para os não-ôhmicos.

### III.1.2 - Gráficos U x i

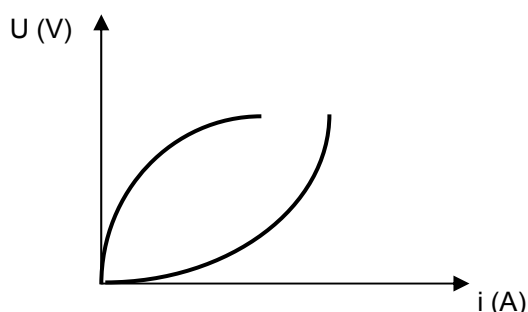
Se construirmos o gráfico U x i para os condutores ôhmicos, obteremos uma reta passando pela origem, conforme mostra a figura abaixo:



**Figura III.1:** Gráfico da diferença de potencial elétrico,  $U$ , versus a intensidade de corrente,  $i$ , para condutores ôhmicos.

A inclinação desse gráfico nos fornece o valor da resistência, que é constante.

Ao construirmos o gráfico  $U \times i$  para os condutores não-ôhmicos, não obteremos uma reta, o gráfico pode apresentar aspectos diferentes, dependendo da natureza do condutor. A seguir, são encontradas duas formas possíveis para o gráfico  $U \times i$  de condutores não-ôhmicos.



**Figura III.2:** Gráfico da diferença de potencial elétrico,  $U$ , versus a intensidade de corrente,  $i$ , para condutores não-ôhmicos.

### III.1.3 - Qual é a função dos resistores?

Em um circuito elétrico, a finalidade dos resistores é limitar a intensidade da corrente elétrica. Essa limitação se dá devido à dissipação de energia elétrica em forma de calor. Mas os resistores, em geral, não são dispositivos destinados à geração de calor. Pelo contrário, o calor neles gerado é um complicador, pois altera o seu valor nominal, podendo prejudicar outros componentes próximos, além disso, representa energia não aproveitada.

Para evitar a danificação de componentes, a região onde estão localizados os resistores costuma ter dispositivos dissipadores de calor.

Ao assistir a um programa de televisão, por exemplo, observamos um pequeno e inevitável aquecimento na parte de trás do aparelho de TV. Essa energia dissipada sob forma de calor não é necessária e está sendo perdida. O mesmo acontece com vários outros equipamentos elétricos. A tecnologia atual ainda não conseguiu resolver totalmente esse tipo de problema.

Graças à propriedade de transformar energia elétrica em calor, existem resistores destinados exclusivamente ao aquecimento. Esses resistores são denominados *resistências* ou *resistências elétricas*. São usados em chuveiros elétricos, ferros elétricos, torneiras elétricas, aquecedores de ambientes, máquinas de lavar louças, máquinas de lavar roupas, etc.

As resistências são constituídas, em geral, de fios metálicos enrolados em espiral.

De que depende o valor de uma resistência elétrica?

A resistência de um condutor depende do comprimento, da espessura e do material de que é feito o condutor.

Experimentalmente verifica-se que:

- Quanto maior o comprimento de um condutor, maior é a sua resistência, ou seja, a resistência é diretamente proporcional ao comprimento do condutor.
- Quanto mais fino é um condutor, maior é a sua resistência. A resistência é inversamente proporcional à área da secção transversal do condutor.
- A resistência de um condutor depende do material de que ele é feito. Alguns materiais conduzem melhor a corrente elétrica do que outros. Essa propriedade é chamada de *condutividade elétrica*. O contrário de condutividade é a *resistividade elétrica*. Quanto maior a resistividade do material, maior a resistência do condutor. A resistividade é representada pela letra grega  $\rho$  (rô).

As relações acima podem ser expressas matematicamente como:

$$R = \rho \frac{L}{A} ,$$

onde: R é a resistência elétrica; L é o comprimento do condutor; A é a área da secção reta do fio;  $\rho$  é a resistividade elétrica do material do qual é feito o fio.



**Tabela III.1:** Resistividade elétrica de alguns materiais em unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI), à temperatura ambiente.

<b>Condutores</b>	<b>(<math>\Omega \cdot m</math>) ou (<math>\Omega \cdot m^2 / m</math>)</b>
Prata	$1,47 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,72 \times 10^{-8}$
Alumínio	$2,63 \times 10^{-8}$
Tungstênio	$5,51 \times 10^{-8}$
Níquel-cromo	$100 \times 10^{-8}$
<b>Semicondutores</b>	
Carbono	$3,5 \times 10^{-5}$
Germânio	0,6
Silício	2,3
<b>Isolantes</b>	
Âmbar	$5 \times 10^{14}$
Vidro	$10^{10} - 10^{14}$
Enxofre	$10^{15}$
Madeira	$10^8 - 10^{11}$

Observe as unidades de resistividade elétrica, tomando como exemplo a resistividade do cobre:  $\rho \approx 1,72 \times 10^{-8} \Omega \cdot m = 1,72 \times 10^{-8} \tilde{\Omega} \cdot m^2 / m = 0,017 \mu \tilde{\Omega} \cdot m^2 / m = 0,017 \Omega \cdot mm^2 / m$ . Embora as várias unidades sejam equivalentes, ao utilizarmos ( $\Omega \cdot mm^2 / m$ ) fica claro que a resistividade de um fio de cobre de 1 m de comprimento e de 1 mm<sup>2</sup> de área de secção transversal, cuja resistência elétrica é de 1  $\Omega$ , vale  $0,017 \Omega \cdot mm^2 / m$ .

### III.1.4 - Reostatos

A dependência da resistência de um fio em relação a seu comprimento encontra uma importante aplicação prática. Às vezes, em um circuito é necessário alterar o valor da resistência elétrica. O dispositivo denominado **reostato** se caracteriza por ter uma resistência variável. Com o aumento, ou a diminuição, do comprimento da resistência do reostato, podemos diminuir, ou aumentar, a intensidade da corrente neste circuito, conforme a necessidade. Uma aplicação do reostato é o chuveiro elétrico. Ao passar a chave do chuveiro da posição “inverno” para a posição “verão” a resistência elétrica deve aumentar. O símbolo do reostato é o símbolo de um resistor, cortado por uma seta.

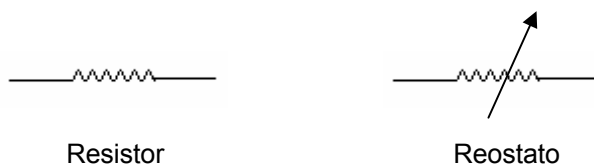


Figura III.3: Representação gráfica usual de um resistor e de um reostato.

III.1.5 - Potência elétrica nos resistores

Consideremos um trecho AB de um circuito elétrico, no qual encontra-se um resistor elétrico R, ligado a um gerador que fornece uma diferença de potencial U. O circuito é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i.

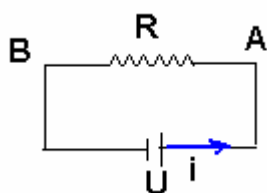


Figura III.4: Circuito elétrico com um gerador e um resistor.

Ao nos reportarmos à definição de intensidade média da corrente elétrica:  $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ , e à expressão do trabalho realizado pela força elétrica para transportar uma carga, que vai do ponto A até o ponto B, onde  $T = \Delta Q \cdot (V_A - V_B)$  ou  $T = \Delta Q \cdot U_{AB}$ , podemos chegar a uma expressão para a potência e a energia elétrica consumida em um resistor.

Analisando a situação podemos dizer que o trabalho corresponde à energia que o gerador fornece às cargas quando estas o atravessam. Quanto ao resistor, o trabalho da força elétrica  $T = \Delta Q \cdot U_{AB}$  corresponde à energia elétrica consumida pelo aparelho.

No resistor, esta energia elétrica se transforma em energia térmica.

A potência elétrica do resistor vem a ser a energia consumida por unidade de tempo.

Matematicamente, podemos fazer a seguinte dedução:

Partindo de:  $T = \Delta Q \cdot U_{AB}$ , e dividindo-se ambos os termos pelo intervalo de tempo  $\Delta t$  decorrido enquanto a carga  $\Delta Q$  é transferida de A para B, tem-se:

$$\frac{T}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot U_{AB}, \text{ sendo } \frac{T}{\Delta t} = P \text{ e } \frac{\Delta Q}{\Delta t} = i, \text{ então } P = U \cdot i.$$

Para os condutores, pode-se substituir a tensão U pelo seu valor  $(R \cdot i)$ , dado pela Lei de Ohm, obtendo-se:

$$P = R \cdot i^2 \text{ ou } P = \frac{U^2}{R}.$$

A energia elétrica consumida no resistor durante um certo intervalo de tempo  $\Delta t$  é dada por:

$$E = P \cdot \Delta t.$$

Com a equação acima podemos calcular a energia elétrica consumida por um resistor ou outro aparelho qualquer, sendo conhecida sua potência, em um dado intervalo de tempo.

Ao comprar um aparelho elétrico pode-se verificar a potência que o mesmo consome. Costuma estar gravado no aparelho ou em sua embalagem o valor da potência consumida e a ddp (diferença de potencial elétrico) sob a qual este deve ser ligado para consumir a potência indicada. Tais valores costumam ser chamados de valores nominais.

### III.1.6 - Unidades de potência e de energia elétricas

No SI, a unidade de potência é o Watt (W) e a energia é dada em Joule (J).

Uma unidade de energia muito utilizada é o quilowatt-hora (kW h). Um quilowatt-hora é a quantidade de energia para uma potência de 1 kW que é transformada no intervalo de 1 hora:

$$1\text{kW} = 1000 \text{ W}, \text{ então: } 1\text{kWh} = (1000 \text{ W}) \cdot (3600 \text{ s}) = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}.$$

### III.1.7 - Associação de resistores

No mundo atual fazemos uso diariamente de uma variedade de aparelhos elétricos. Nestes aparelhos ou nas instalações dos mesmos encontram-se associações dos mais variados tipos de dispositivos elétricos, como geradores, capacitores, diodos, transistores, chips, dínamos, resistores, etc.

Vamos analisar agora associações de resistores.

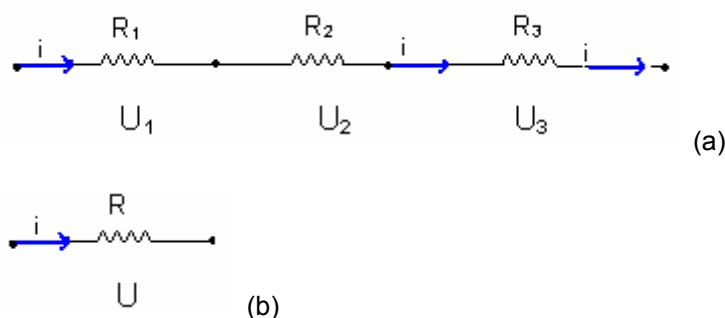
As associações podem ser feitas em *série* ou em *paralelo*. Pode ocorrer, também, uma parte em série e outra parte em paralelo, o que é chamado de *associação mista*.

Em qualquer dos casos a associação de resistores pode ser substituída por um único resistor que, ao ser submetido à mesma d.d.p. total da associação de resistores, é percorrido pela mesma corrente total  $i$  da mesma. Esse resistor que pode substituir a associação de resistores é denominado de resistor equivalente e sua resistência,  $R$  é a resistência total da associação.

### III.1.7.1 - Associação de resistores em série

Na associação em série todos os resistores são percorridos pela mesma corrente elétrica. Essa associação oferece apenas um caminho para a corrente elétrica.

Na figura abaixo, temos um exemplo de associação em série e o resistor equivalente.



**Figura III.5:** Circuito elétrico mostrando uma associação de resistores em série, (a), e o resistor equivalente, (b).

Todos os resistores são percorridos por uma corrente elétrica de mesma intensidade, mas cada resistor está submetido a uma d.d.p. correspondente ( $U_1$ ,  $U_2$  e  $U_3$ ). Utilizando-se a equação de definição da resistência elétrica pode-se expressar as ddp(s) em cada resistor e no resistor equivalente como segue:

$$U_1 = R_1 \cdot i, \quad U_2 = R_2 \cdot i, \quad U_3 = R_3 \cdot i \quad \text{e} \quad U = R \cdot i,$$

Como a diferença de potencial é uma grandeza escalar que informa qual é o trabalho do campo elétrico que uma carga unitária sofreria se passasse de um ponto para o outro, e como o trabalho elétrico total entre dois pontos é a soma dos trabalhos parciais, pode-se afirmar que a diferença de potencial total da associação é igual à soma algébrica das diferenças de potencial em cada resistor. Logo, podemos escrever:

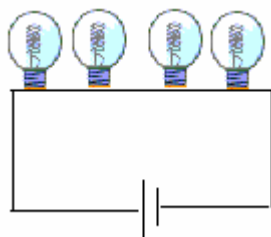
$$U = U_1 + U_2 + U_3, \quad \text{ou} \quad R \cdot i = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + R_3 \cdot i.$$

Dividindo-se a última expressão por  $i$ , obtém-se a expressão do resistor equivalente numa associação em série:

$$R = R_1 + R_2 + R_3.$$

**A resistência do resistor equivalente, em uma associação em série, é igual à soma das resistências dos resistores associados.**

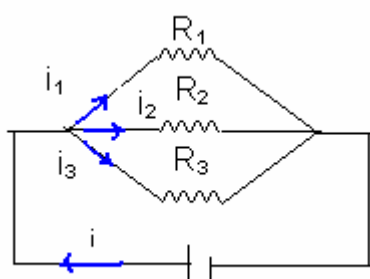
A associação de resistores em série não é conveniente para aparelhos elétricos em uma residência, por exemplo. Se um aparelho estivesse desligado ou deixasse de funcionar, interromperia todo o circuito. Na figura abaixo temos uma associação em série de lâmpadas. Se qualquer uma delas fosse retirada ou tivesse sua resistência queimada, as demais deixariam de acender.



**Figura III.6:** Circuito mostrando uma associação em série de quatro lâmpadas.

### III.1.7.2 - Associação de resistores em paralelo

Quando os resistores estão ligados de modo que são oferecidos dois ou mais caminhos para a corrente elétrica, se diz que a associação é em paralelo. O número de caminhos para a corrente elétrica é igual ao número de resistores e os terminais de todos os resistores devem estar ligados à mesma fonte de energia.



**Figura III.7:** Circuito elétrico mostrando uma associação de resistores em paralelo.

Na figura acima está representado um circuito formado por três resistências associadas em paralelo e ligadas a um gerador (pilha, bateria ou a uma tomada da rede elétrica).

Características da associação em paralelo:

A corrente total se divide, passando uma parte por cada resistência, de modo que pela resistência maior passa a intensidade menor e vice-versa.

Então, podemos dizer que:

$$i = i_1 + i_2 + i_3 .$$

Utilizando-se a equação de definição da resistência elétrica:  $i_1 = \frac{U}{R_1}$  ;  $i_2 = \frac{U}{R_2}$  ;  $i_3 = \frac{U}{R_3}$  e

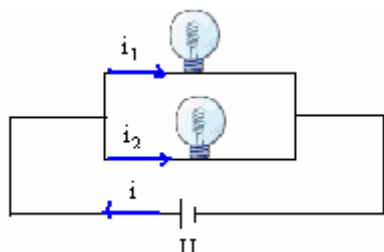
$i = \frac{U}{R}$ , teremos:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} .$$

Dividindo-se toda a expressão por U, encontramos a equação que nos permite calcular a resistência equivalente em associações em paralelo:  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ .

**O inverso da resistência do resistor equivalente, em uma associação em paralelo, é igual à soma dos inversos das resistências dos resistores associados.**

A figura abaixo mostra o exemplo de duas lâmpadas associadas em paralelo e ligadas a uma fonte de d.d.p. constante.



**Figura III.8:** Circuito mostrando uma associação em paralelo de duas lâmpadas.

Em nossas residências, escolas e estabelecimentos em geral, os aparelhos elétricos são ligados em paralelo.

Veja algumas conseqüências de uma associação de resistores em paralelo:

- Se um dos aparelhos é desligado ou danificado os outros não sofrem nenhuma alteração no seu funcionamento.
- A d.d.p. é a mesma para todos os resistores associados.
- Se as resistências são iguais, a corrente elétrica total é dividida em partes iguais.
- Quando as resistências são diferentes, o resistor de menor resistência é o que é percorrido por maior intensidade de corrente, portanto é o que dissipa maior potência.
- Quanto maior for o número de resistores associados, menor será a resistência e, conseqüentemente, maior será a intensidade de corrente elétrica total da associação. Na instalação elétrica de uma residência, por exemplo, são colocadas chaves automáticas ou disjuntores, que se desligam quando a corrente ultrapassa um certo valor, para evitar acidentes devido ao superaquecimento dos fios.

III.1.7.3 - Resumo das características das associações de resistores em série e em paralelo.

Associação em série	Associação em paralelo
$i = i_1 = i_2 = i_3$	$i = i_1 + i_2 + i_3$
$U = U_1 + U_2 + U_3$	$U_1 = U_2 = U_3 = U$
$R = R_1 + R_2 + R_3$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

III.1.7.4 - Associação mista de resistores

É possível ocorrer em um circuito elétrico uma associação onde alguns resistores estão em série e outros, em paralelo. Neste caso, temos uma associação mista. A resolução de uma associação mista é feita de acordo com as características que constam na tabela acima, ou seja, resolve-se por partes, verificando o que está em série e o que está em paralelo e aplicando as equações correspondentes.

Veja o exemplo de uma associação mista:

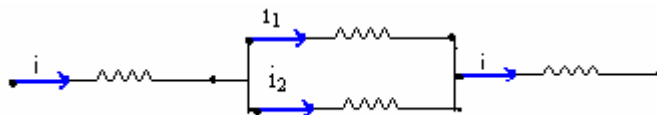


Figura III.9: Circuito elétrico mostrando uma associação de resistores mista.

III.2 - Estudo dos geradores

III.2. 1 - Fontes de voltagem

As cargas fluem somente quando são “empurradas” ou “impelidas”. Uma corrente sustentada requer um dispositivo de “bombeamento” adequado para fornecer uma diferença de potencial elétrico – uma voltagem. Se carregarmos duas esferas condutoras, uma positivamente e outra negativamente, podemos obter uma grande voltagem entre as esferas. Esta, entretanto, não pode ser uma boa fonte de voltagem, pois quando as esferas são conectadas por meio condutor, os potenciais acabam se igualando após um breve fluxo de carga. Ela não é prática. Geradores elétricos e baterias químicas, por outro lado, são fontes de energia em circuitos elétricos e são capazes de sustentar um fluxo constante de carga. (Hewitt, 2002, p. 393)

O gerador é o elemento essencial de um circuito elétrico, é um dispositivo que mantém a ddp (diferença de potencial elétrico), ou tensão elétrica, necessária para movimentar as cargas que constituem a corrente.

As cargas elétricas que constituem a corrente possuem energia elétrica, que, no circuito externo converte-se em outra forma de energia (por exemplo, térmica nos resistores). A função do gerador é repor essa energia, quando a corrente o atravessa, isto é, quando as cargas percorrem o circuito interno, para que estas possam depois, circular novamente no circuito externo. Essa energia, que se converte em energia elétrica das cargas, pode ser de vários tipos, conforme a natureza do gerador. A bateria de automóvel e as pilhas secas fornecem energia elétrica a partir da energia química (gerador químico); as usinas hidrelétricas e os dinamos, a partir da energia mecânica (gerador mecânico); as usinas nucleares, a partir da energia nuclear (gerador nuclear), as usinas termelétricas e as termopilhas, a partir da energia térmica (gerador térmico), etc.

Para que uma carga elétrica  $q$  (supostamente positiva, como sabemos) receba essa energia elétrica ao atravessar o gerador, este deve realizar um trabalho  $\mathcal{W}$  sobre a carga. A relação entre o trabalho realizado e a carga elétrica define uma grandeza característica do gerador chamada força eletromotriz (fem) usualmente representada por  $\mathcal{E}$ . (Penteado et al., 2001, p. 461)

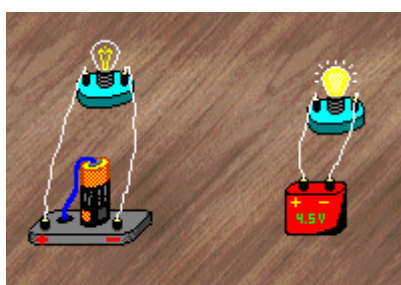
Neste texto usaremos a seguinte representação: trabalho  $T$  e força eletromotriz  $E$ .

Para o conceito de força eletromotriz ficar mais claro, suponhamos um circuito elétrico formado por um gerador (bateria ou pilha) e um receptor de energia elétrica, por exemplo, o motor de um liquidificador. Suponhamos que este liquidificador recebe energia elétrica da pilha. (Em nossas casas o liquidificador é ligado à rede elétrica. O exemplo fictício apresentado aqui visa facilitar a compreensão do fenômeno em estudo).



**Figura III.10:** Um liquidificador recebe energia elétrica de uma pilha, exemplo fictício.

Um exemplo real seria o caso de uma lâmpada ligada a uma pilha ou a uma bateria, como na figura a seguir:



**Figura III.11:** Um exemplo real - uma lâmpada recebe energia de uma pilha (à esquerda) ou de uma bateria (à direita).



Conforme o modelo de corrente elétrica convencional, as cargas positivas se deslocam do pólo positivo da bateria, passam pelo aparelho receptor de energia elétrica (no caso, o liquidificador ou a lâmpada) e chegam ao pólo negativo da bateria (corrente contínua).

Para que a corrente não seja interrompida, as cargas devem atravessar a bateria e continuar o seu percurso. Ao chegarem ao pólo negativo, a bateria realiza um trabalho sobre as cargas, fazendo com que estas cheguem ao pólo positivo para completarem um novo ciclo.

O trabalho realizado pela bateria sobre as cargas eleva a energia potencial elétrica das mesmas, então, o trabalho representa a energia que é transferida às cargas pela bateria.

A relação entre estas grandezas físicas é denominada força eletromotriz da bateria, representada matematicamente por:

$$E = \frac{T}{q}.$$

### III.2.1.1 - Unidades de voltagem e de trabalho no Sistema Internacional de Unidades

Trabalho é energia, então, sua unidade no SI é o Joule (J). A unidade de carga é o Coulomb (C). A unidade de força eletromotriz é J/ C ou Volt (V).

$$1 \text{ J/C} = 1 \text{ V}$$

Uma bateria de f.e.m. igual a 9 V fornece uma energia de 9 J a cada 1 C de carga que a atravessa.

### III.2.2 - Potência fornecida por um gerador

A potência de um aparelho é obtida dividindo-se a energia consumida ou fornecida por esse aparelho pelo intervalo de tempo correspondente.

$$P = \frac{E_n}{\Delta t}, \text{ onde } E_n = \text{energia. Nos geradores, } E_n = T \text{ (trabalho fornecido às cargas), então}$$

$$P = \frac{T}{\Delta t} . \left( \text{Potência} = \frac{\text{Energia}}{\text{tempo}} \right).$$

Observe a representação:  $E_n$  = energia e  $E$  = força eletromotriz.

$$\text{Da expressão: } E = \frac{T}{q}, \text{ podemos dizer que } T = E \cdot q.$$

Dividindo  $T = E \cdot q$  por  $\Delta t$ , obtemos uma expressão para a potência total fornecida por um gerador.

$$\frac{T}{\Delta t} = E \cdot \frac{q}{\Delta t}.$$

Lembre-se que  $P = \frac{T}{\Delta t}$  e  $i = \frac{q}{\Delta t}$  (intensidade de corrente =  $\frac{\text{carga}}{\text{tempo}}$ ), substituindo na equação acima, teremos:

$$P = E \cdot i$$

Conclusões:

✓ A potência fornecida por um gerador é igual ao produto da força eletromotriz do gerador pela intensidade da corrente que ele fornece.

✓ A energia fornecida pelo gerador, num certo intervalo de tempo, é o produto da sua força eletromotriz pela intensidade da corrente e pelo intervalo de tempo. ( $P = \frac{En}{\Delta t}$  e  $P = E \cdot i$ , então  $En = E \cdot i \cdot \Delta t$ )

### III.2.3 - Equação característica de um gerador

Nos reportemos ao exemplo do circuito representado por um liquidificador e uma pilha (Figura IV.1).

Observe que, no circuito externo, as cargas se movimentam do pólo positivo (maior potencial) para o pólo negativo (menor potencial). Nesse caminho há uma diminuição do potencial elétrico e a energia elétrica é consumida.

No circuito interno, isto é, dentro do gerador, as cargas se movimentam do pólo negativo para o positivo e recebem energia.

Ao ser atravessado pelas cargas, o próprio gerador sofre um pequeno aquecimento, por efeito Joule. Dizemos que o gerador apresenta uma resistência interna, que será representada por  $r$ .

Uma parte da energia total ou da potência total fornecida pelo gerador é consumida internamente devido a sua resistência interna. Tal potência é dada por:

$$P = r \cdot i^2. \text{ (Potência dissipada internamente pelo gerador)}$$

A parte restante da energia ou da potência fornecida pelo gerador é consumida pelo circuito externo (pelos resistores ou receptores alimentados pelo gerador). Essa potência pode ser calculada assim:

$$P = U \cdot i, \text{ (Potência consumida internamente)}$$

onde  $U$  é a d.d.p. e  $i$  é a intensidade da corrente elétrica.

A potência total fornecida pelo gerador ( $P_t = E \cdot i$ ) é a soma da potência consumida pelo circuito externo (potência útil -  $P_u$ ) com a potência consumida internamente (potência dissipada -  $P_d$ ):

$$P_t = P_u + P_d,$$

$$E \cdot i = U \cdot i + r \cdot i^2.$$

Dividindo toda a expressão por  $i$  obteremos:

$$E = U + r \cdot i.$$

A equação acima é chamada de equação do gerador e é usualmente escrita assim:

$$U = E - r \cdot i.$$

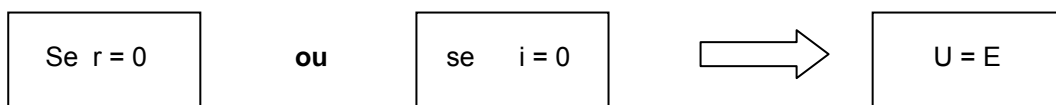
Observe que a voltagem  $U$ , entre os pólos do gerador, normalmente não é igual à sua força eletromotriz.

A voltagem  $U$  tem o mesmo valor da força eletromotriz quando a intensidade da corrente é nula ( $i = 0$ ) ou quando a resistência interna é nula ( $r = 0$ ).

A intensidade da corrente é nula quando os terminais do gerador não estão conectados externamente por um condutor ou circuito; neste caso, a d.d.p. entre os terminais é chamada de *tensão em circuito aberto*. Uma intensidade de corrente quase nula pode ocorrer quando os terminais do gerador estão ligados a uma resistência muito alta, que impeça a passagem de corrente elétrica. Assim sendo, quando o gerador opera com uma corrente muito menor do que a corrente máxima que ele pode produzir, a tensão entre os seus terminais tem, muito aproximadamente, o mesmo valor da sua força eletromotriz.

A intensidade da corrente é nula quando os terminais do gerador não estão ligados, neste caso, a d.d.p. é chamada de *tensão em aberto*. Uma intensidade de corrente nula pode ocorrer também, teoricamente, quando os terminais do gerador estão ligados a uma resistência muito alta, que impeça a passagem de corrente elétrica.

Um gerador ideal é aquele que possui resistência interna muito pequena, que pode ser considerada desprezível. Neste caso, a ddp entre seus terminais é igual à sua f.e.m. ( $U = E$ ).



### III.2.4 - Rendimento de um gerador ( $\eta$ )

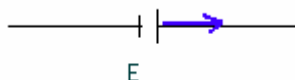
O rendimento de um gerador é calculado pela relação entre a potência útil ( $P_u$ ) e a potência total ( $P_t$ ).

$$\eta = \frac{P_u}{P_t}.$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_t} = \frac{U \cdot i}{E \cdot i} = \frac{U}{E}, \text{ então, } \eta = \frac{U}{E}.$$

O rendimento é um número compreendido entre 0 e 1. Podendo também ser expresso em forma de porcentagem. Representa a porcentagem da energia fornecida pelo gerador que é aproveitada pelo circuito externo, ou seja, é a porcentagem de energia útil.

Para expressar o rendimento em forma de porcentagem, o mesmo deve ser multiplicado por 100.



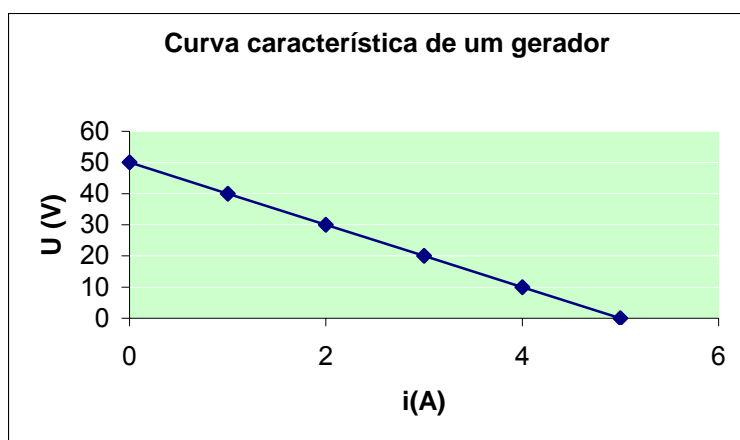
**Figura III.12:** Símbolo usado para representar um gerador em um circuito elétrico.

No circuito externo, a corrente elétrica sai do pólo positivo e chega ao pólo negativo.

### III.2.5 - Curva característica de um gerador

O gráfico que representa a equação  $U = E - r \cdot i$ , é chamado de curva característica do gerador. Se a força eletromotriz  $E$  é considerada constante, e a resistência interna  $r$  também é considerada constante ( $E$  e  $r$  quase sempre são variáveis), a equação do gerador passa a ser uma função linear de  $U$  e de  $i$ .

Exemplo: Um gerador possui força eletromotriz constante de 50 V e resistência interna igual a  $10 \Omega$ . Veja abaixo a curva característica desse gerador:



**Figura III.13:** Curva característica de um gerador.

Conclusões que podemos tirar a partir do gráfico:

- A diferença de potencial máxima fornecida pelo gerador é igual à força eletromotriz.
- A diferença de potencial é máxima quando  $i = 0$ , ou seja, quando o gerador não está ligado.
- Quando a diferença de potencial entre os terminais do gerador é nula ( $U = 0$ ), a corrente que o atravessa atinge o valor máximo ( $i_{\text{máximo}}$ ). Isto ocorre quando os terminais do gerador são ligados diretamente um ao outro através de um fio condutor. Neste caso a corrente elétrica é chamada de *corrente de curto-circuito* ( $i_{c.c.}$ ).

### III.2.6 - Corrente de curto-circuito

Ocorre um curto-circuito quando os terminais de um gerador são ligados diretamente um ao outro através de um fio ideal. A corrente atinge a intensidade mais elevada possível para aquele gerador.

Analisando a equação do gerador ( $U = E - r \cdot i$ ) obtemos:

$$i_{cc} = \frac{E}{r}.$$

Curto-circuitos são fenômenos que ocorrem em situações acidentais, pois não há interesse prático nesse procedimento, uma vez que o mesmo danifica o gerador.

### III.3 - Estudo dos receptores

Já estudamos os geradores e resistores, passaremos agora ao estudo dos receptores elétricos.

A função dos geradores é fornecer energia elétrica para o circuito, os resistores recebem essa energia e a transformam integralmente em energia térmica.

Os receptores são elementos do circuito elétrico, que recebem a energia elétrica, que vem do gerador, e a transformam em outra modalidade de energia, não exclusivamente térmica.

O motor elétrico é um bom exemplo de receptor. Ao passar através de um motor, as cargas perdem energia elétrica, que se transforma em energia mecânica. A batedeira, o liquidificador, a furadeira, a máquina de cortar grama, o ventilador e outros aparelhos, usados no nosso dia-a-dia, podem ser citados como exemplos de receptores.

Um outro exemplo de receptor é uma bateria, quando está sendo carregada. Neste caso, as cargas são forçadas a passar na bateria de seu pólo positivo para o pólo negativo, em sentido contrário ao que se observa quando esta está fornecendo energia elétrica.

O gerador realiza trabalho sobre as cargas, fornece energia potencial elétrica às cargas. Daí vem a definição de força eletromotriz:

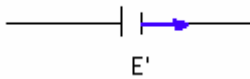
$$E = \frac{T}{\Delta q},$$

onde  $E$  é a força eletromotriz,  $T$  é o trabalho realizado sobre as cargas e  $\Delta q$  é a carga que é transportada do pólo negativo para o pólo positivo do gerador.

No receptor ocorre o contrário, são as cargas elétricas que realizam trabalho, perdendo energia elétrica, que é transformada em outra modalidade. Podemos, então, definir para o receptor uma grandeza física análoga à força eletromotriz ( $fem$ ), chamada *força contra-eletromotriz* ( $f_{cem}$ ).

$$E' = \frac{T}{\Delta q},$$

onde  $E'$  é a força contra-eletromotriz,  $T$  é o trabalho realizado pelas cargas e  $\Delta q$  é a carga que é transportada do pólo positivo para o pólo negativo do receptor.



**Figura III.14:** Símbolo do receptor: na representação de um circuito elétrico, o símbolo do receptor é semelhante ao do gerador, diferindo apenas no sentido da corrente elétrica.

No circuito externo, a corrente elétrica sai do pólo negativo e chega ao pólo positivo.

A figura a seguir mostra um liquidificador (receptor) ligado a uma bateria ou pilha (gerador). Este é um exemplo fictício, com a finalidade de facilitar a compreensão do fenômeno envolvido. Na prática, eletrodomésticos, como este, são ligados à rede elétrica e recebem a energia da mesma.



**Figura III.15:** Um liquidificador (receptor) ligado a uma bateria ou pilha (gerador) (exemplo fictício).

### III.3.1 - Balanço energético em um receptor

O receptor recebe a energia do gerador. No receptor, neste caso um liquidificador, parte da energia recebida é transformada em energia mecânica, ou seja, em energia útil. Essa energia é utilizada pelo liquidificador para desempenhar a sua função. Mas é inevitável que uma parte da energia seja perdida, dissipada internamente sob forma de calor.

Portanto, podemos estabelecer a seguinte igualdade:

$$\text{Energia total recebida} = \text{Energia útil} + \text{Energia dissipada}$$

O mesmo pode ser dito em relação à potência elétrica:

$$\text{Potência total recebida} = \text{Potência útil} + \text{Potência dissipada}$$

A energia total ou a potência total recebida pelo receptor corresponde à energia útil ou potência útil fornecida pelo gerador (Energia = Potência x Intervalo de tempo).

$$P_{\text{util (gerador)}} = P_{\text{total (receptor)}} = U \cdot i$$

$$P_{\text{util (receptor)}} = E' \cdot i$$

$$P_{\text{dissipada (receptor)}} = r \cdot i^2$$

No receptor:

$$P_t = P_{\text{util}} + P_{\text{diss}}$$

$$U \cdot i = E' \cdot i + r \cdot i^2$$

Dividindo-se toda a expressão por  $i$ , obtém-se a equação do receptor:

$$U = E' + r \cdot i.$$

Onde:  $U$  = d.d.p. nos pólos do receptor ou d.d.p. recebida do gerador;  $E'$  = força contra-eletromotriz do receptor;  $r$  = resistência interna do receptor; e  $i$  = intensidade da corrente elétrica.

### III.3.2 - Rendimento de um receptor

O rendimento elétrico de um receptor é a relação entre a potência útil ( $P_u$ ) fornecida e a potência total ( $P_t$ ) recebida.

$$\eta = \frac{P_u}{P_t}.$$

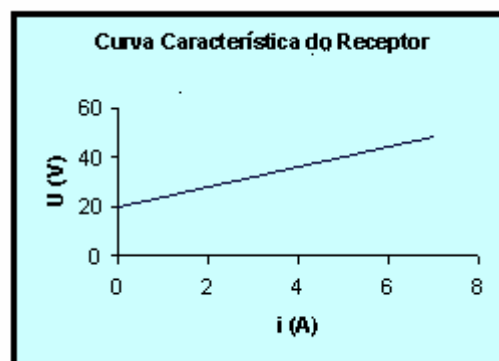
### III.3.3 - Curva característica de um receptor

Suponha um receptor de resistência interna igual a  $4 \Omega$  e força contra-eletromotriz de 20 V. A força contra-eletromotriz é uma característica do aparelho, então, a intensidade da corrente que circula no receptor varia com a ddp aplicada aos seus terminais.

Utilizando-se a equação do receptor e uma planilha eletrônica poderemos encontrar os valores da ddp aplicada para que a intensidade varie de 0 A a 5 A. Com o auxílio do mesmo aplicativo, poderemos construir a curva característica desse receptor.

Equação do receptor deste exemplo:  $U = 20 + 4 \cdot i$ .

$i$	$U$
0	20
1	24
2	28
3	32
4	36
5	40
6	44
7	48
8	52



**Figura III.16:** Tabela e gráfico relacionando a intensidade da corrente elétrica que passa pelo receptor com a d.d.p. aplicada aos seus terminais para o exemplo acima descrito.

Conclusão obtida a partir do gráfico:

O menor valor da d.d.p. (para  $i = 0$ ) corresponde à força contra-eletromotriz do receptor.

### III.4 - Capacitor ou condensador

Um capacitor ou um condensador é um dispositivo muito usado em circuitos elétricos. Esse dispositivo tem a função de armazenar cargas e, portanto, energia elétrica.

O condensador é constituído por dois condutores separados por um isolante. Os condutores são chamados armaduras ou placas do capacitor e são carregados, um positivamente e o outro, negativamente. O isolante é chamado de dielétrico do capacitor. O dielétrico pode ser o próprio ar, o vidro, a parafina, a mica, a porcelana, o papel ou um outro isolante.

O nome do capacitor é dado de acordo com a forma de suas armaduras. Existe o *capacitor plano*, o *capacitor cilíndrico*, o *capacitor esférico*, etc.

Independente do tipo, o capacitor é sempre representado pelo símbolo abaixo:



**Figura III.16:** Símbolo que representa um capacitor.

Um dos primeiros capacitores foi inventado em 1745, na Universidade de Leyden, Holanda. Este capacitor ficou conhecido com o nome de *garrafa de Leyden*. Este invento do cientista holandês Pieter van Musschenbroek (1692-1761) permitiu, pela primeira vez, armazenar eletricidade. Foi com uma garrafa de Leyden que Benjamin Franklin armazenou eletricidade proveniente de um raio, captada por uma pandorga, provando que o raio é uma descarga elétrica.

Para carregar um capacitor, este deve ser ligado aos terminais de um gerador, de forma que a placa positiva seja ligada ao pólo positivo do gerador e, a negativa, ao pólo negativo do gerador. Diz-se, então, que o capacitor fica carregado com uma carga Q.

A quantidade de carga adquirida pelo capacitor depende da ddp do gerador. A relação entre a carga Q armazenada e a ddp U do gerador é uma constante característica do capacitor, chamada **capacitância** ou **capacidade elétrica** C do capacitor:

$$C = \frac{Q}{U}.$$

A unidade de capacidade no S.I é o **coulomb por volt** (C/V), que recebe o nome de **Farad** (F), em homenagem a Michael Faraday.

A capacidade de um capacitor depende da forma e do tamanho das armaduras, da distância entre elas e do dielétrico.

$$C = \varepsilon \frac{A}{d},$$

onde: C é a capacidade do condensador,  $\varepsilon$  é a constante de proporcionalidade, chamada de permissividade do dielétrico, A é a área da armadura e d é a distância entre as armaduras.



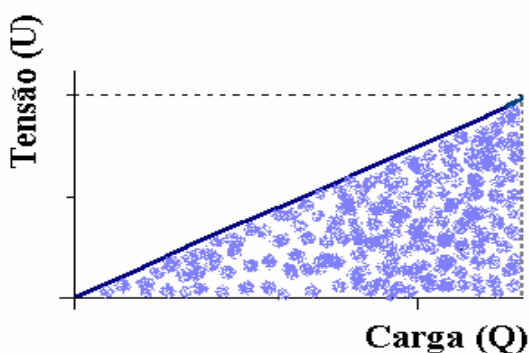
Admitindo-se que entre as armaduras há vácuo, a permissividade será  $\epsilon_0 = 8,8.10^{-12} \text{ F/m}$ . Qualquer outro dielétrico tem permissividade maior que a do vácuo. A permissividade do ar é considerada aproximadamente igual à do vácuo.

### III.4.1 - O capacitor armazena energia

Quando um capacitor é ligado aos terminais de um gerador este fornece cargas ao capacitor. As cargas ficam armazenadas nas armaduras do capacitor. Entre as armaduras carregadas existe uma voltagem. Se as armaduras forem ligadas através de um condutor, o capacitor se descarregará. Nesta descarga há manifestação de energia através de calor (o aquecimento do condutor), luz (faísca) e som (estalido que acompanha a faísca).

Esta energia que é fornecida pelo gerador, fica armazenada no capacitor e é liberada quando o capacitor se descarrega.

De acordo com o que estudamos em eletrostática, o trabalho realizado pela força elétrica para transportar uma carga entre dois pontos A e B, cuja diferença de potencial é mantida constante, é dado por  $T = Q \cdot U_{AB}$ . Quando o capacitor está se descarregando a diferença de potencial entre as placas vai diminuindo, logo, não é válida essa expressão do trabalho, mas ao construir o gráfico da tensão versus carga, obtém-se:



**Figura III.17:** Gráfico da tensão versus a carga durante a descarga de um capacitor.

A área hachurada na figura é numericamente igual ao trabalho, o que resulta na expressão:

$$T = \frac{1}{2} Q U.$$

Então, a expressão da energia potencial armazenada pelo capacitor é:

$$E = \frac{1}{2} Q U_{AB}.$$

A partir da definição de capacidade, onde  $C = \frac{Q}{U}$ , podemos substituir Q por C.U, obtendo-se

outra expressão para a energia armazenada no capacitor:  $E = \frac{1}{2} C U^2$ .

### III.4.2 - O capacitor no circuito elétrico

Em um circuito elétrico, o capacitor tem a função de armazenar energia durante um certo tempo, para, num dado momento, de acordo com a necessidade, fornecer essa energia às cargas para manter a corrente elétrica. No trecho em que o capacitor está inserido não há passagem de corrente contínua, caso contrário, haveria descarga entre as armaduras, danificando o dispositivo.

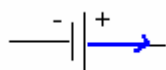
Assim como os resistores, os capacitores também podem ser associados em série, em paralelo ou em uma associação mista.

### III.5 – Descrição e exemplos de elementos de um circuito elétrico - resumo

Um circuito elétrico é o conjunto de caminhos por onde passa a corrente elétrica. Vejamos a seguir em uma rápida descrição, a representação e exemplos de alguns elementos de um circuito elétrico.

#### III.5.1 - Gerador elétrico

Gerador elétrico é o dispositivo que transforma outra modalidade de energia em energia elétrica.



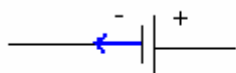
**Figura III.18:** Símbolo que representa um gerador em um circuito elétrico.



**Figura III.19:** Exemplos de geradores - pilhas, baterias, dínamo e alternador.

#### III.5.2 - Receptor elétrico

Um receptor elétrico transforma a energia elétrica em outra modalidade de energia, não exclusivamente térmica.



**Figura III.20:** Símbolo que representa um receptor em um circuito elétrico.

Exemplo: motor elétrico.

Alguns exemplos de aparelhos que recebem energia elétrica e a transformam em outra modalidade de energia.



Figura III.21: Exemplos de receptores elétricos.

### III.5.3 - Resistor elétrico

Um resistor elétrico transforma a energia elétrica consumida exclusivamente em calor.

Símbolo:

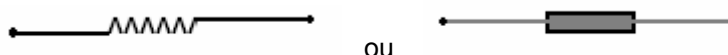


Figura III.22: Símbolos que representam um resistor em um circuito elétrico.

Exemplos: aparelhos que usam resistências elétricas – chuveiro, ferro elétrico, aquecedores, etc.



Figura III.23: Exemplos de aparelhos que usam resistências elétricas.

### III.5.4 - Dispositivos de controle

São usados para detectar a presença de corrente elétrica, para medir a intensidade da corrente elétrica ou da voltagem em uma parte do circuito elétrico.

#### III.5.4.1 - Amperímetros

Amperímetros são usados para medir a intensidade de corrente elétrica. Devem ser ligados em série no circuito. A resistência dos amperímetros deve ser muito pequena para não interferir no circuito.



Figura III.24: Símbolo que representa um amperímetro em um circuito elétrico.

#### III.5.4.2 - Voltímetros

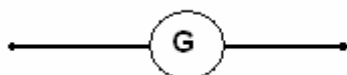
Voltímetros são dispositivos usados para medir a voltagem entre dois pontos de um circuito elétrico. Devem ser ligados em paralelo e devem ter resistência grande, para que a corrente elétrica não se desvie do seu caminho.



**Figura III.25:** Símbolo que representa um voltímetro em um circuito elétrico.

#### III.5.4.3 - Galvanômetros

Galvanômetros são dispositivos usados para detectar a passagem de corrente elétrica ou a existência de uma diferença de potencial.



**Figura III.26:** Símbolo que representa um galvanômetro em um circuito elétrico.

#### III.5.5 - Dispositivos de segurança

São dispositivos que protegem o circuito elétrico. Ao serem atravessados por uma corrente de intensidade maior do que aquela que o circuito suporta, interrompem a corrente, protegendo os demais elementos do circuito. Exemplos: fusíveis e disjuntores.

O fusível é constituído por um material de baixo ponto de fusão, que se funde, devido ao aquecimento por efeito Joule, quando a intensidade da corrente se eleva muito.

Os disjuntores magnéticos, muito usados em circuitos elétricos residenciais, comerciais ou industriais, se desligam automaticamente quando a intensidade da corrente atinge um determinado valor.



**Figura III.27:** Símbolo que representa um fusível ou um disjuntor em um circuito elétrico.

#### III.5.6 - Dispositivos de manobra

São usados para acionar ou desligar um circuito elétrico, como as chaves e os interruptores.



**Figura III.28:** Símbolo que representa uma chave ou um interruptor em um circuito elétrico.

#### III.6 - Leis de Kirchhoff

Um circuito elétrico pode conter geradores, receptores e resistores interligados oferecendo mais de um caminho para a corrente elétrica. Para determinar a intensidade e o sentido da corrente elétrica ou as grandezas físicas que caracterizam os elementos do circuito, são usadas as **leis de Kirchhoff**: lei dos nós e lei das malhas.

Estas leis são baseadas em princípios de conservação de energia e de carga. Para sua aplicação são necessárias as seguintes definições: nó, ramo e malha.

Considere o circuito elétrico da figura e sua representação através dos símbolos:

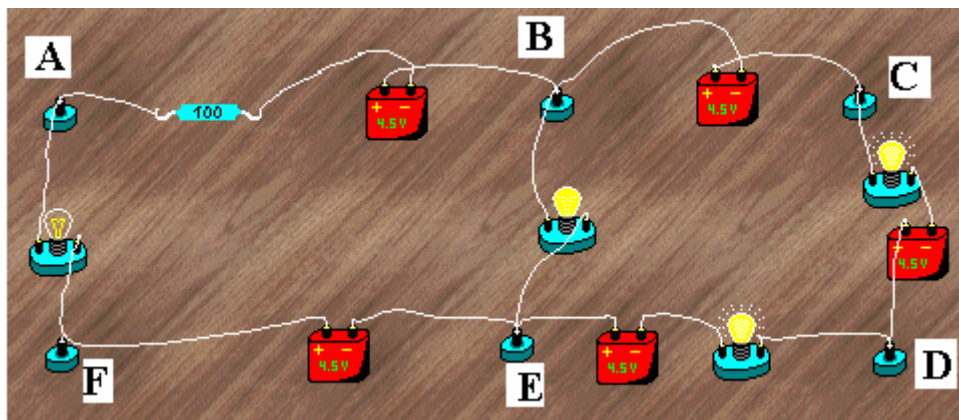


Figura III.29: Exemplo de um circuito elétrico.

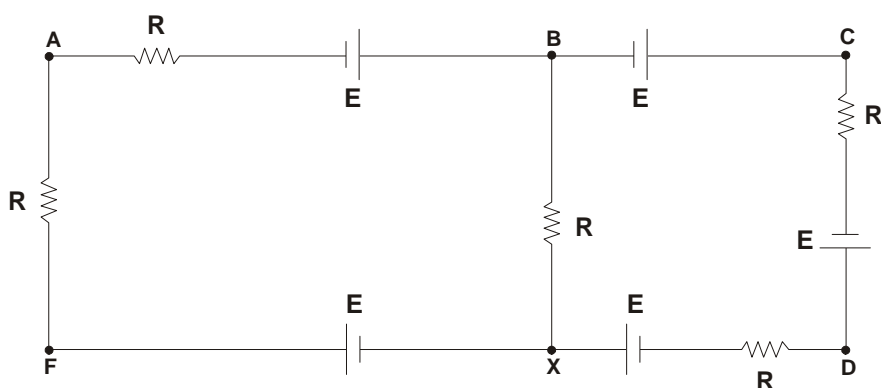


Figura III.30: Representação do circuito elétrico da Fig. III.29.

Antes de estudarmos as leis que se aplicam a um circuito elétrico, deve-se entender o que é um nó, um ramo e uma malha.

### III.6.1 - Nó

Nó é qualquer ponto do circuito que pertence a três ou mais condutores. Neste exemplo os pontos B e X são nós.

### III.6.2 - Ramo

Um ramo é a parte do circuito compreendida entre dois nós consecutivos. São ramos os trechos BCDX, BX e XFAB.

### III.6.3 - Malha

Uma malha é um conjunto de ramos formando um circuito fechado. No exemplo acima encontramos três malhas: BCDXB, BXFAB e ACDF A.

### III.6.4 - Lei dos nós

Gustav Robert Kirchhoff (1824-1877) enunciou a lei dos nós, considerando o princípio de conservação da carga elétrica.

**A soma das intensidades das correntes elétricas que chegam a um nó é igual à soma das intensidades das correntes elétricas que saem do nó.**

Aplicando-se a lei dos nós ao circuito acima teremos:



**Figura III.31:** São mostrados os vários nós do circuito da Fig. III.30 com as correspondentes correntes elétricas que entram e saem de cada nó.

### III.6.5 - Lei das malhas

**Percorrendo-se uma malha, em um mesmo sentido, a soma algébrica das tensões encontradas em cada elemento do circuito é igual a zero.**

Ao se percorrer uma malha, ou seja, um circuito fechado, o somatório das diferenças de potencial deve ser nulo, pois o ponto inicial é o mesmo que o ponto final.

Aplicando-se as leis de Kirchhoff a um circuito elétrico podemos determinar a intensidade da corrente nos diferentes ramos, a resistência equivalente dos resistores, bem como a resistência interna e ou a força eletromotriz e contra-eletromotriz de geradores ou receptores.

Para aplicar as leis de Kirchhoff na resolução de um circuito elétrico devemos seguir as etapas descritas a seguir:

- 1ª) Identificar os nós e malhas do circuito.
- 2ª) Arbitrar um sentido para a corrente em cada ramo.
- 3ª) Escolher um sentido para percorrer cada malha.
- 4ª) Aplicar a lei dos nós aos (n - 1) nós, sendo n o número total de nós do circuito.

5ª) Aplicar a lei das malhas. O número de equações obtidas a partir da aplicação das leis dos nós e malhas deve ser suficiente para calcular as incógnitas desejadas, por exemplo,  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ , etc.

6ª) Montar um sistema de equações e resolvê-lo, determinando os valores desconhecidos para as intensidades de corrente, resistências, voltagem, etc.

7ª) Analisar os resultados obtidos para as intensidades de corrente elétrica e determinar o sentido da corrente. Se a intensidade obtida é positiva, ou seja,  $i > 0$ , significa que o sentido arbitrado na segunda etapa está correto. Se  $i < 0$ , o sentido convencional da corrente elétrica é contrário ao sentido arbitrado.

Com este procedimento, podemos identificar os geradores e receptores em um circuito, mesmo quando representados pelos símbolos.

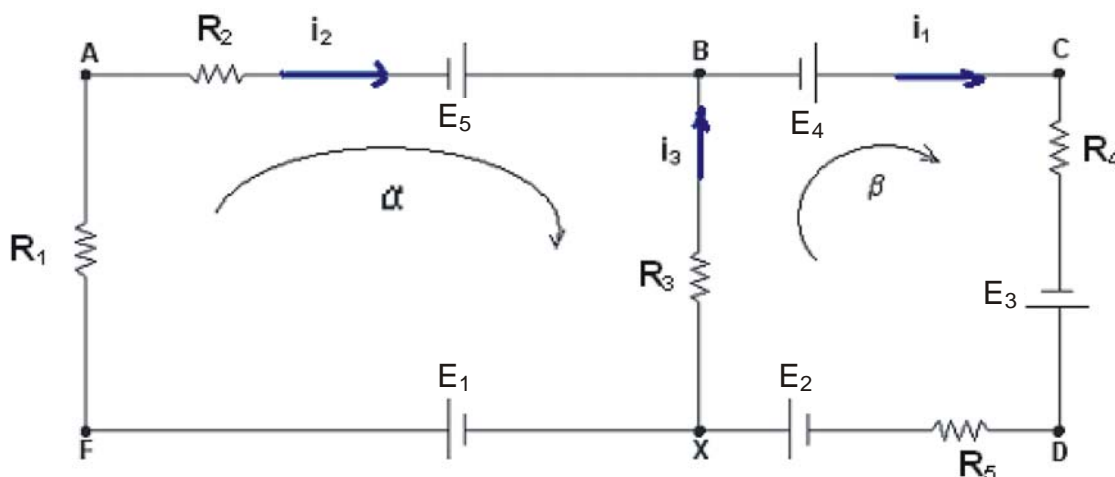
### III.6.5.1 - Regra prática para aplicar a lei das malhas

Deve-se percorrer a malha no sentido escolhido para o percurso da mesma (etapa 3 do procedimento descrito acima). Observando o sentido de  $i$  monta-se a equação:

- onde é encontrada uma resistência escreve-se  $(R \cdot i)$  se o sentido da corrente é o mesmo da malha. Escreve-se  $(-R \cdot i)$ , se o sentido de percurso da malha é contrário ao sentido da corrente.

- nos bipolos (geradores e receptores), se ao percorrer a malha chega-se ao pólo positivo, escreve-se  $+ E$ , ao chegar em um pólo negativo de outro elemento, escreve-se  $-E$ . O somatório de  $R \cdot i$ ,  $+ E$  e  $- E$  é igual a zero.

Veja o exemplo:



**Figura III.32:** Representação do circuito elétrico da Fig. III.29, onde está sendo aplicada a lei das malhas.

Aplicando-se a lei dos nós aos nós B e X obteremos a seguinte equação:

$$i_1 = i_2 + i_3.$$

Aplicando-se a lei das malhas à malha alfa, obteremos a equação abaixo:

$$R_2 \cdot i_2 - E_5 - R_3 \cdot i_3 - E_1 + R_1 \cdot i_2 = 0.$$

**Observe que percorremos a malha no sentido escolhido anteriormente, sentido horário. O sentido da intensidade da corrente elétrica também foi arbitrado antes de aplicar a lei para montar a equação.**

Aplicando-se a lei das malhas à malha beta,  $\beta$ , obteremos a equação a seguir:

$$- E_4 + R_4 \cdot i_1 - E_3 + R_5 \cdot i_1 - E_2 + R_3 \cdot i_3 = 0 .$$

Aplicando-se a lei das malhas à malha gama a malha que contorna a figura do circuito, obtém-se, então, a equação:

$$R_2 \cdot i_2 - E_5 - E_4 + R_4 \cdot i_1 - E_3 + R_5 \cdot i_1 - E_2 - E_1 + R_1 \cdot i_2 = 0 .$$

Usando-se as quatro equações e conhecendo-se o valor de algumas das grandezas envolvidas neste circuito, podemos determinar as características do mesmo.



#### IV - ATIVIDADES E EXERCÍCIOS

Neste capítulo apresentamos as atividades e os exercícios trabalhados com os alunos durante a aplicação desta proposta. Também são apresentados os testes de conhecimento.

##### IV.1 - Teste e aprofunde seus conhecimentos (I)

1. O fio condutor representado na figura está submetido a um campo elétrico  $\vec{E}$ , da esquerda para a direita. Responda:



- (a) Qual é o tipo de partículas que formam a corrente elétrica neste fio?.....
  - (b) Qual será o sentido real da corrente elétrica?.....
  - (c) Qual será o sentido convencional da corrente elétrica?.....
  - (d) Com estas informações, como podemos classificar a corrente elétrica neste condutor?.....
2. Quais são as condições necessárias para que haja uma corrente elétrica?.....
  3. Qual é a unidade de corrente elétrica no Sistema Internacional de Unidades? Cite submúltiplos dessa unidade.....
  4. Quais são as partículas portadoras de carga nos condutores sólidos?.....  
E nos condutores líquidos? .....e nos gases?.....
  5. Por que os prótons e os nêutrons não são portadores de carga em uma corrente elétrica?.....
  6. Comente as afirmações abaixo, classificando-as em verdadeiras ou falsas. Justifique, dizendo por que são verdadeiras ou falsas:
    - (a) Os elétrons se locomovem, nos condutores sólidos, com alta velocidade.
    - (b) O sentido da corrente elétrica em um fio condutor é do ponto A para o ponto B, logo, o potencial elétrico no ponto A é maior do que o potencial elétrico no ponto B.
    - (c) Um fio que conduz corrente elétrica normalmente não está eletricamente carregado.
    - (d) Nas lâmpadas fluorescentes ocorre o efeito luminoso da corrente elétrica e nas lâmpadas incandescentes ocorre o efeito Joule.
  7. Cite exemplos de ocorrência de efeitos da corrente elétrica.
  8. Ao dizer que a corrente elétrica em uma residência é de 60 Hz, qual é a grandeza física citada e o que isso significa?
  9. (Uneb- BA)<sup>1</sup> A corrente elétrica num condutor metálico se deve ao movimento de:
    - (a) íons do metal no mesmo sentido convencional da corrente.
    - (b) prótons, no sentido oposto ao sentido convencional da corrente.

<sup>1</sup> Exercício extraído do livro: FERRARO, N. G et al. *Física - ciência e tecnologia*. Editora Moderna. 2001.

- (c) elétrons, no sentido oposto ao sentido convencional da corrente.
- (d) elétrons, no mesmo sentido convencional da corrente.
- (e) prótons, no mesmo sentido convencional da corrente.

10. (Unitau-SP)<sup>2</sup> 5  $\mu$  C de carga atravessam a seção reta de um fio metálico, num intervalo de tempo igual a 2 milissegundos. A corrente elétrica que atravessa a seção é de:

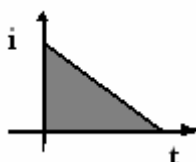
- (a) 1 mA      (b) 1,5 mA      (c) 2 mA      (d) 2,5 mA      (e) 3 mA

11. Uma lâmpada permanece acesa durante 1 hora, por efeito de uma corrente de 2 A. Qual é a carga total, em C, fornecida a essa lâmpada, nesse intervalo de tempo?.....

12. Suponha que a corrente elétrica estabelecida em um condutor metálico tem intensidade 8  $\mu$  A. Sabendo que a carga elementar é igual a  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C, determine o número e o tipo de partículas portadoras de carga que atravessam uma seção reta do condutor em 2 segundos:

- ( )  $1 \cdot 10^{13}$  prótons              ( )  $6 \cdot 10^{19}$  elétrons              ( )  $10 \cdot 10^{13}$  nêutrons  
 ( )  $10 \cdot 10^{13}$  elétrons              ( )  $1 \cdot 10^{14}$  íons

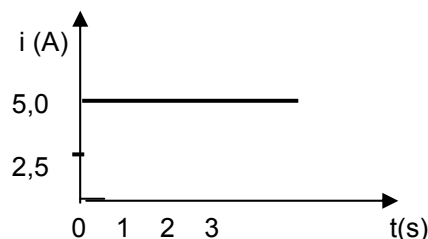
13. Observe o gráfico da corrente elétrica i em função do tempo t:



A área escurecida no gráfico representa:

- ( ) a diferença de potencial
- ( ) o campo elétrico
- ( ) a corrente elétrica
- ( ) a carga elétrica.

14. A intensidade da corrente elétrica i em um fio condutor em função do tempo transcorrido t está representada no gráfico abaixo. Analise o gráfico e responda:



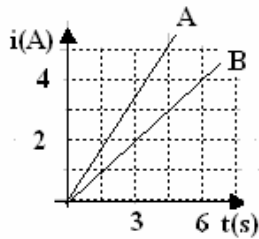
(a) A corrente é contínua ou alternada?.....  
 Trata-se de uma corrente iônica ou eletrônica? Justifique sua resposta.

(b) Qual é a quantidade de carga que passa pela seção reta do fio condutor nos primeiros 3 segundos?.....

<sup>2</sup> Idem.

(c) Conhecendo a carga elementar, determine o número de partículas que atravessa a secção reta do condutor em 3 segundos.....

15. O gráfico representa a intensidade da corrente em função do tempo em dois condutores, A e B. Sendo  $q_A$  e  $q_B$  as cargas que passam por uma secção transversal dos condutores A e B, assinale as respostas certas:



Podemos afirmar que nos 6 primeiros segundos:

$q_A = q_B$       $q_A > q_B$       $q_A < q_B$      nada podemos afirmar.

A carga  $q_B$  aos 4,5 s é igual a:

6,75 C     13,5  $\mu$  C     13,5 C     6,75  $\mu$  C     20  $\mu$  C

#### IV.2 - Teste e aprofunde seus conhecimentos (II)

1. O que você entende por “resistência elétrica de um condutor”? Qual é a unidade da grandeza física *resistência* no SI?.....

2. Comparando-se dois fios de mesmas dimensões (mesmo comprimento e mesma área), um de ferro e outro de cobre, qual apresenta maior resistência elétrica? Por quê?  
.....

3 Se os dois fios citados na questão 2 fossem usados para construir duas resistências de imersão, quando ligados, em iguais condições, qual provocaria maior aquecimento na mesma quantidade de água? Por quê? .....

4. Um condutor retilíneo tem 2 m de comprimento e área de secção igual a  $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ . Sabendo que a resistividade do material é  $6 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ , determine a resistência do condutor.  
.....

5. O que acontece quando ligamos um chuveiro de 220 V numa rede de 110V?.....

6. O que acontece quando ligamos um aparelho de televisão de 110 V em uma rede elétrica de 220V?.....

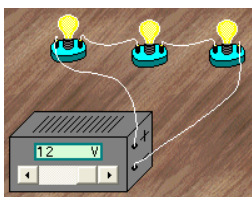
7. Um chuveiro elétrico está aquecendo muito pouco, para que a temperatura da água fique agradável (aqueça mais), deve-se:

( ) aumentar a resistência    ( ) diminuir a resistência    ( ) diminuir a voltagem

8. Associe as grandezas físicas às unidades correspondentes:

- |                                      |                          |
|--------------------------------------|--------------------------|
| (a) Resistência elétrica             | ( ) quilowatt (kW)       |
| (b) Energia                          | ( ) volt (V)             |
| (c) Potência                         | ( ) ampère (A)           |
| (d) Intensidade de corrente elétrica | ( ) joule (J)            |
| (e) Voltagem                         | ( ) quilowatt-hora (kWh) |
|                                      | ( ) watt (W)             |
|                                      | ( ) ohm ( $\Omega$ )     |

9. Um circuito é formado por três lâmpadas idênticas, em série, ligadas a uma bateria de 12 V, conforme afigura. Analise a situação e responda:



- (a) Se a corrente elétrica na lâmpada da direita for de 2 A, qual será a corrente elétrica nas outras lâmpadas? Justifique sua resposta.....
- (b) Qual será a voltagem nos terminais de cada uma das lâmpadas?.....
- (c) Se aumentarmos a voltagem da fonte, o que acontecerá com o brilho das lâmpadas?.....
- (d) Se a lâmpada do meio queimar, o que acontecerá com o brilho das outras? Por quê?.....
- (e) Represente o circuito através de símbolos.

**10.** No circuito representado abaixo, duas lâmpadas idênticas estão ligadas a uma bateria de 4,5 V. Observe a figura, faça a representação do circuito, usando os símbolos e responda as seguintes perguntas:



- (a) Qual é a voltagem aplicada a cada uma das lâmpadas?.....
- (b) Se a intensidade da corrente elétrica em uma das lâmpadas é de 0,4 A, qual será a intensidade da corrente elétrica na outra lâmpada?.....
- (c) Qual é a intensidade da corrente elétrica total fornecida pela bateria?.....
- (d) Qual é a resistência elétrica de cada uma das lâmpadas?.....
- (f) Qual é a resistência total das duas lâmpadas?.....

### IV.3 - Teste e aprofunde seus conhecimentos (III)

1. A figura a seguir representa um circuito simples, ou seja, um circuito onde todos os pontos são percorridos pela mesma intensidade de corrente elétrica:

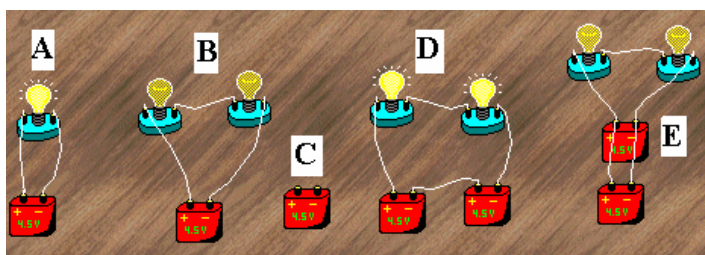


(a) No circuito representado na figura acima, considere o gerador com uma força eletromotriz  $E$  e uma resistência interna  $r$  e a lâmpada com resistência  $R$ . Represente este circuito através dos símbolos.

(b) A diferença de potencial elétrico entre os terminais do gerador é obtida pela equação do gerador ( $U = \dots\dots\dots$ ); a diferença de potencial elétrico entre os terminais da lâmpada pode ser obtida pela Lei de Ohm ( $U = \dots\dots\dots$ ).

Compare as duas expressões e obtenha a Lei de Pouillet.

2. A bateria da figura abaixo possui uma força eletromotriz igual a  $4,5\text{ V}$  e uma resistência interna de  $1\Omega$ . As lâmpadas são idênticas e possuem resistência elétrica igual a  $2\Omega$ . Observe a figura e responda as questões:



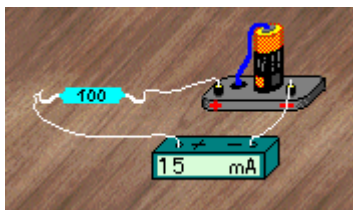
- (a) Qual a  $\epsilon$  a voltagem entre os pólos da bateria quando ela se encontra em circuito aberto, como em C?.....
- (b) Qual é a intensidade da corrente elétrica que passa pela lâmpada no circuito A?.....  
Qual é a voltagem nos pólos da bateria, nesse caso?.....
- (c) Compare o brilho das lâmpadas nos circuitos A e B. Explique.....
- (d) Qual é a intensidade da corrente elétrica que passa por cada uma das lâmpadas no circuito B?.....
- (e) Qual é a voltagem entre os pólos da bateria no circuito B?.....
- (f) Por que as lâmpadas no circuito D brilham mais do que aquelas no circuito B? Comprove sua resposta através de cálculos.
- (g) Compare os circuitos B, D e E. Comente as semelhanças e diferenças quanto ao tipo de associação e quanto ao brilho das lâmpadas.

3. Uma lâmpada ligada a uma pilha apresentava uma certa intensidade luminosa. Verificou-se, com o decorrer do tempo, que a intensidade luminosa da lâmpada diminuiu gradualmente. Baseando-se

nesta informação, diga se cada uma das seguintes grandezas aumentou, diminuiu ou não se alterou com o decorrer do tempo<sup>3</sup>:

- (a) A f.e.m. da pilha.
- (b) A resistência interna da pilha.
- (c) A voltagem que a pilha aplicava à lâmpada.
- (d) A corrente elétrica que a pilha fornecia à lâmpada.

4. Na figura<sup>4</sup> abaixo podemos ver uma pilha de f.e.m. 1,5 V, uma resistência elétrica de 100  $\Omega$  e um amperímetro, indicando que a intensidade da corrente elétrica é de 15 mA.



- (a) Nestas condições, podemos dizer que esta pilha:
  - ( ) é um gerador ideal.
  - ( ) não é um gerador ideal.
- (b) Suponha, agora, que a pilha possui resistência interna de 0,5  $\Omega$ . O que mudaria na situação da figura? .....
- (c) Qual seria a intensidade da corrente elétrica no circuito?.....
- (d) Qual seria a d.d.p. nos pólos da pilha?.....

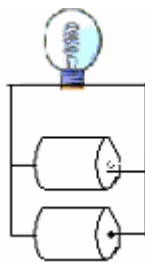
5. Uma bateria possui força eletromotriz de 12 V, resistência interna de 0,5  $\Omega$  e está ligada a um resistor R, fornecendo uma corrente elétrica de 2 A.

- (a) Represente o circuito descrito e determine:
- (b) A d.d.p. nos terminais da bateria nessas condições.
- (c) O valor da resistência elétrica R.
- (d) A potência elétrica dissipada pela bateria.
- (e) A potência elétrica utilizada pelo circuito externo.
- (f) A potência elétrica total fornecida pela bateria.
- (g) A energia entregue ao circuito externo, se a bateria permanecer ligada durante 30 minutos.
- (h) O rendimento da bateria, nessa situação. Explique o significado do número obtido.

6. O circuito elétrico de uma lanterna é formado por três pilhas de 1,5 V, ligadas em série a uma lâmpada de 3 W. Desprezando a resistência interna das pilhas, determine a corrente elétrica que passa através da lâmpada. Represente o circuito através de símbolos.

7. Duas pilhas ideais, idênticas, de 1,5 V cada uma e de resistência elétrica interna desprezível são ligadas a uma lâmpada L, conforme mostra a figura<sup>5</sup>:

<sup>3</sup> Exercício extraído do livro: LUZ, A. M. R. da; ÁLVAREZ, B. A. *Curso de Física*. 4 ed. São Paulo: Scipione. 2000. v. 3.  
<sup>4</sup> As figuras que constam nas questões 1, 2 e 4 foram construídas utilizando-se o software Edison.  
<sup>5</sup> Exercício extraído do livro: BUCHWEITZ, B.; AXT, R. *Questões de Física 2*,. Porto Alegre: Sagra-Luzzatto. 1997, que traz questões de vestibulares da UFRGS.



Qual a energia que deve ser fornecida por cada uma das pilhas para que uma carga elétrica de 100 C passe pela lâmpada em um segundo?

- 75 J       100 J       150 J       200 J       300 J



#### **IV.4 - Teste e aprofunde seus conhecimentos (IV): geradores e receptores**

Responda as questões abaixo:

1. Cite diferenças entre geradores e receptores quanto à função, símbolo e sentido da corrente elétrica.
2. Compare geradores e receptores, traçando a curva característica de um gerador e de um receptor. Faça uma análise comparativa desses dois gráficos.
3. Relacione todas as fórmulas usadas no estudo dos geradores e dos receptores, comparando-as.
4. Cite exemplos de geradores e de receptores que você conhece.
5. O que significa o rendimento de um gerador? Ao dizer que o rendimento de um gerador é de 85%, estamos dizendo exatamente o quê?
6. Um receptor recebe do gerador, durante uma hora, a quantidade de energia de 3000J. O rendimento do receptor é 0,8 ou 80%. O que significa esta frase? (faça um comentário usando os termos energia total, energia dissipada e energia útil).
7. Compare força eletromotriz com força contra-eletromotriz (explique a diferença).
8. Cite a diferença entre receptores e resistores.
9. Na sua casa existe algum fusível? Onde? Para que serve?
10. Na sua sala de aula há algum “dispositivo de manobra”? Qual? Para que serve?
11. Qual é a diferença entre um amperímetro, um voltímetro e um galvanômetro?
12. As pilhas que costumamos usar são geradores ideais?
13. O que acontece em uma pilha com as grandezas físicas estudadas, quando a pilha fica “gasta”?
14. Pesquise e comente sobre causas e possíveis conseqüências de um curto circuito.
15. Em sua casa as lâmpadas e demais aparelhos são ligados em série? Comente.

#### **IV.5 – Atividades práticas com o uso de simulações com o programa “Edison”<sup>1</sup> e com experimentos reais**

Sugerimos que esta atividade seja desenvolvida com a turma dividida em grupos de 3 a 4 alunos.

##### **IV.5.1 - 1ª Atividade<sup>2</sup>**

1. Explore os recursos do *software* Edison: selecione e observe as prateleiras, coloque peças na área de trabalho, verifique os valores nominais dos elementos e simule ligações usando fios condutores.
2. Monte circuitos simples utilizando os recursos do *software* Edison.
3. Ligue as lâmpadas e os geradores, ora em série, ora em paralelo, observe os resultados, discuta no seu grupo as alterações observadas; anote os resultados e faça um relatório simples.

##### **IV.5.2 – Atividade prática com o uso de simulações exploradas pelos alunos usando o *software* Edison e com o kit de eletricidade**

Usando os elementos do *software* Edison, monte os circuitos indicados abaixo e, após, realize as mesmas atividades usando o kit de eletricidade, ou seja, realizando as experiências reais.

1º) Três pilhas em série (ou uma bateria) ligadas a uma lâmpada. Observe o circuito.

2º) Acrescente mais uma lâmpada em série. Depois mais uma. Observe e anote os resultados. (use lâmpadas idênticas)

3º) Três pilhas em série (ou uma bateria) ligadas a uma lâmpada. Observe. Acrescente uma lâmpada em paralelo com a primeira. Observe. Acrescente mais uma lâmpada. Observe e anote os resultados. Compare com o resultado da 2ª experiência. (use lâmpadas idênticas)

Use o amperímetro e o voltímetro para realizar medidas nos circuitos.

Faça um relatório explicando cada experiência e os seus resultados. De acordo com a teoria estudada, explique o que aconteceu com o brilho das lâmpadas, com a intensidade da corrente e com a voltagem obtida em suas medidas em cada caso e explique porque aconteceu assim.

Suas observações estão de acordo com a teoria? Explique.

Compare os resultados obtidos nas simulações com os resultados dos experimentos reais equivalentes. Os resultados foram todos semelhantes? Se houve alguma diferença explique os motivos.

Compare a prática virtual, através de um software de simulação, com a prática através de experimentos reais, para o estudo dos circuitos elétricos. Comente sobre as vantagens e as desvantagens de cada um dos dois tipos de atividade.

---

<sup>1</sup> Edison AC/DC (Design Software – Educare Informática), aplicativo simulador de experiências.

<sup>2</sup> A ser desenvolvida em um período de 2 horas-aula.

**IV.5.3 - Questões teóricas, que deverão ser comprovadas através de cálculos e de atividade virtual (com o software Edison)**

As questões propostas a seguir devem ser resolvidas aplicando a teoria apresentada aos alunos e, após, devem ser montados os circuitos no software Edison e os resultados devem ser comparados.

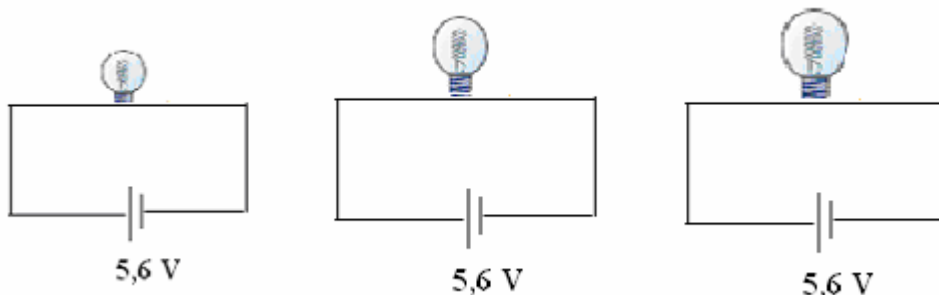
O software Edison, como você conhece, possui três lâmpadas diferentes, com as seguintes especificações nominais.

Lâmpada grande: Potência = 15 W e Voltagem (U) = 5,6 V

Lâmpada média: Potência = 3 W e Voltagem (U) = 5,6 V

Lâmpada pequena: Potência = 2 W e Voltagem (U) = 5,6 V

1. Considere três circuitos simples formados cada um por uma das lâmpadas citadas, ligadas a uma fonte de tensão de 5,6 V. Considere o gerador ideal e a resistência constante.



Nestas condições, calcule a resistência de cada lâmpada e a intensidade da corrente elétrica que passa por elas.

Lâmpada pequena:  $R = \dots\dots\dots i = \dots\dots\dots$

Lâmpada média:  $R = \dots\dots\dots i = \dots\dots\dots$

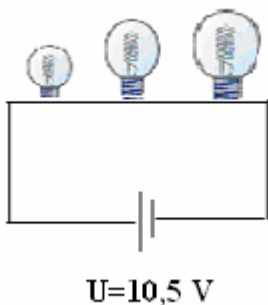
Lâmpada grande:  $R = \dots\dots\dots i = \dots\dots\dots$

Qual é a energia consumida por cada uma das lâmpadas em 5 minutos?

Lâmpada Pequena:..... Lâmpada Média:..... Lâmpada Grande:.....

Como podemos interpretar esses dados em termos da iluminação fornecida (ou brilho)?

2. Considere agora um circuito formado pelas três lâmpadas, ligadas em série, e ligadas a uma fonte de 10,5 V (pode ser um gerador ou geradores associados) e responda:



(a) Qual é a resistência elétrica total no circuito?.....

- (b) Qual é a intensidade da corrente elétrica que passa por cada uma das lâmpadas?.....
- (c) Qual a voltagem fornecida pelo gerador a cada lâmpada?.....
- (d) O que podemos prever sobre o brilho destas lâmpadas, comparando cada uma com suas condições nominais (questão 1):

L pequena ( ) brilho normal ( ) brilha mais ( ) brilha menos

L média ( ) brilho normal ( ) brilha mais ( ) brilha menos

L grande ( ) brilho normal ( ) brilha mais ( ) brilha menos

Justifique sua resposta.....

- (e) As três lâmpadas terão o mesmo brilho, uma vez que são percorridas pela mesma intensidade de corrente elétrica? Para responder a questão calcule a potência utilizada por cada uma das lâmpadas. (Pense sobre o significado de energia útil).
- (f) E se as três lâmpadas fossem idênticas? Faça um comentário sobre o que deveria acontecer nesta situação.

**3.** Faça uma figura representando as três lâmpadas associadas em paralelo e ligadas a uma ddp de 5,8 V.

O que podemos prever sobre o brilho das lâmpadas neste caso? Todas terão o mesmo brilho ou não? Cada lâmpada terá o brilho igual, maior ou menor do que nas suas condições nominais?

E se fossem três lâmpadas idênticas, associadas em paralelo, o que mudaria em relação à situação anterior?

Estas questões podem ser respondidas analisando o cálculo, mas não é necessário calcular agora. Responda de acordo com a teoria.

**4.** Agora que já foram respondidas todas estas questões, de acordo com a teoria e com o cálculo, monte os circuitos no *software* Edison.

Usando voltímetros e amperímetros, compare cada uma de suas respostas com os resultados obtidos na prática. Faça um relatório de suas atividades práticas, explicando o que acontece em cada situação.

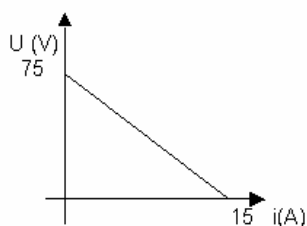
**IV.5.4 - Exercícios sobre resistores, geradores e receptores**

Resolva as questões abaixo:

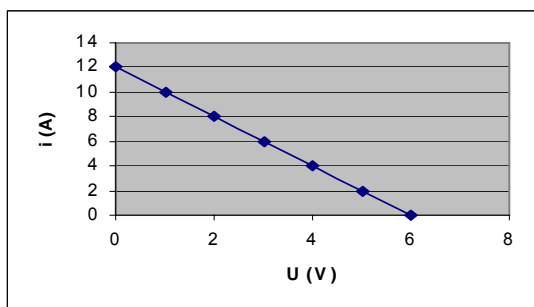
- Um motor com resistência interna  $1\Omega$  é percorrido por uma corrente de 2 A. Nestas condições o motor transforma, de elétrica em mecânica, a potência de 160 W. Pede-se:
  - a força contra-eletromotriz do motor.....
  - a d.d.p. nos seus terminais.....
  - a potência recebida pelo motor.....
  - a potência dissipada internamente.....
  - o rendimento do motor.....
  - a curva característica deste motor (gráfico  $U \times i$ ) quando a intensidade varia de 0 a 5 A.
- A curva característica de um gerador é dada pela figura abaixo:

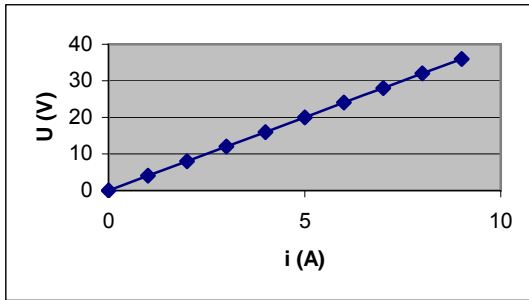
Pede-se:

- A força eletromotriz, a resistência interna e a corrente de curto circuito deste gerador.....
- A d.d.p. nos terminais do gerador quando  $i = 10$  A.....
- Faça uma figura usando os símbolos correspondentes e represente esse gerador ligado a uma resistência de  $20\Omega$ .
- Nessa situação (gerador e resistor), determine a intensidade da corrente elétrica que percorre o circuito.....
- A potência elétrica total fornecida pelo gerador.....
- A potência elétrica dissipada pelo gerador.....
- A potência elétrica utilizada pela resistência externa.....
- O rendimento do gerador.....
- A energia elétrica transformada em calor em 1 minuto.....



- Dados os gráficos abaixo identifique os elementos do circuito elétrico correspondentes e responda as questões:





- (a) Qual é o valor da resistência elétrica do resistor?.....
- (b) Qual é o valor da resistência elétrica interna do gerador?.....
- (c) Qual é o valor da resistência elétrica interna do receptor?.....
- (d) Determine a força eletromotriz do gerador e sua corrente de curto circuito.....
- (e) Determine a força contra-eletromotriz do receptor.....
- (f) Desenhe os símbolos destes três elementos, ligados em série, indicando o sentido da corrente elétrica.

**IV.5.5-** Atividade prática sobre o consumo de energia elétrica em uma residência

1. Observe uma “conta de energia elétrica” de sua casa.

O consumo de energia é dado em kWh. Assinale o número que representa o consumo de energia em um mês, o preço de 1 kWh e o valor total em reais, da nota, em um mês.

2. Faça uma relação de todos os aparelhos elétricos usados em sua casa e pesquise as suas potências nominais.

3. Faça uma estimativa do tempo que cada aparelho é usado em um dia (ou em um mês). Calcule a energia elétrica consumida por cada aparelho, em kWh, e determine o consumo de energia elétrica em sua casa em um mês.

4. Determine o valor, em reais, gasto em um mês em sua casa na conta de energia elétrica, através do cálculo efetuado na questão 3.

5. Compare o valor obtido na questão 4 com os dados verdadeiros, constantes na nota fiscal.

6. Escreva uma conclusão, dizendo se os valores obtidos no cálculo estão próximos dos verdadeiros ou não. Justifique.

7. Explique se é possível e como é possível economizar energia elétrica em sua casa.

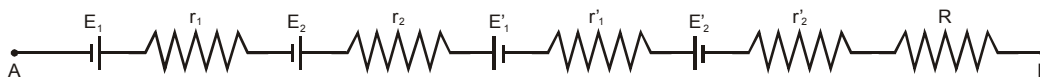
8. Justifique a preocupação que todos devemos ter em racionalizar o uso de energia elétrica.

**IV.6 - Exercite e aprofunde seus conhecimentos**

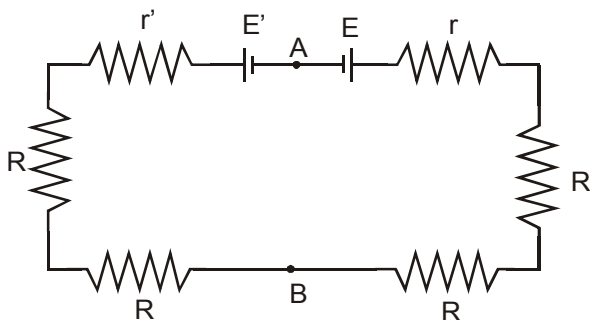
1. No circuito abaixo sabe-se que  $E_1 = 6\text{ V}$ ,  $r_1 = 1\ \Omega$ ,  $E_2 = 3\text{ V}$ ,  $r_2 = 1\ \Omega$ ,  $E'_1 = 9\text{ V}$ ,  $r'_1 = 0,5\ \Omega$ ,  $E'_2 = 6\text{ V}$ ,  $r'_2 = 1\ \Omega$  e  $R = 3\ \Omega$ .

Sabendo-se que o potencial no ponto A é  $V_A = 10\text{ V}$  e o potencial no ponto B é  $V_B = 120\text{ V}$ , pede-se:

- (a) Determine a intensidade e o sentido da corrente elétrica entre A e B.
- (b) Identifique os elementos que são geradores e receptores de corrente elétrica no circuito.

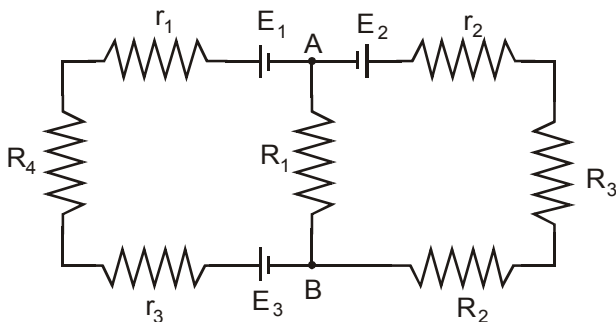


2. Observe o circuito representado abaixo e responda:



- (a) Quantos nós, quantos ramos e quantas malhas possui este circuito?
- (b) Sabendo que os quatro resistores são idênticos e suas resistências valem, cada uma,  $6\ \Omega$ , que  $r' = 4\ \Omega$ ,  $E' = 60\text{ V}$ ,  $E = 30\text{ V}$ ,  $r = 2\ \Omega$  e, determine a intensidade e o sentido da corrente elétrica no circuito.
- (c) Qual é a d.d.p. entre os pontos A e B?

3. Um circuito elétrico é representado abaixo, observe-o e responda:



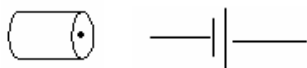
- (a) Quantos nós, quantos ramos e quantas malhas possui este circuito?
- (b) Represente no circuito o sentido da corrente elétrica de acordo com a seguinte orientação:
- (c) em  $R_3$  o sentido é horário.
- (d) em  $R_4$  o sentido é horário.
- (e) em  $R_1$  a corrente elétrica tem sentido de B para A.
- (f) De acordo com essa orientação classifique os elementos do circuito em geradores, receptores ou resistores.
- (g) Aplique a lei dos nós ao nó A.
- (h) Aplique a lei das malhas às duas malhas menores.



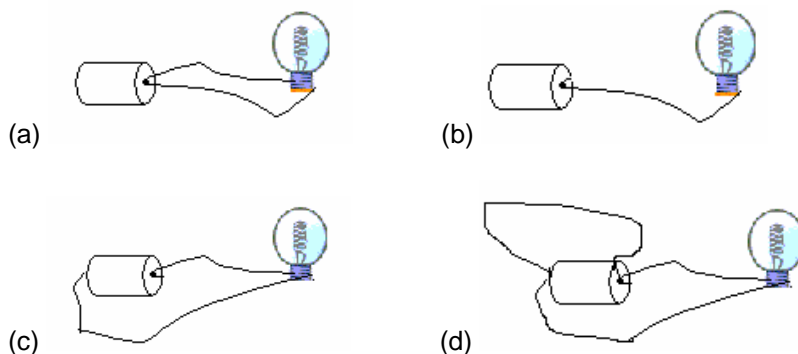
## IV.7 - Pré-teste, testes e questões de vestibulares

### IV.7.1 - Pré-teste – Circuitos elétricos<sup>1</sup>

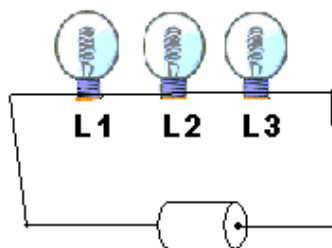
Nos circuitos representados neste teste, considere as lâmpadas idênticas. O brilho das lâmpadas depende da intensidade da corrente elétrica. A bateria tem resistência desprezível e é representada por um dos símbolos abaixo:



1. Indique em qual ou em quais situações abaixo a lâmpada acenderá:

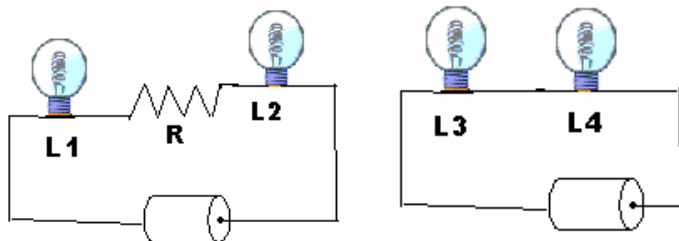


2. No circuito abaixo:



- (a)  $L_1$  brilha mais do que  $L_2$ .
- (b)  $L_2$  brilha mais do que  $L_1$  e  $L_3$ .
- (c)  $L_3$  brilha mais do que  $L_1$  e  $L_2$ .
- (d) As três lâmpadas têm o mesmo brilho.

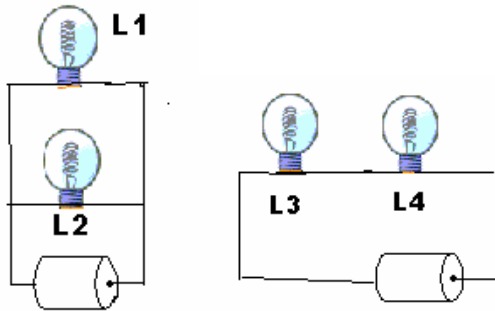
3. Nas figuras abaixo,  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  e  $L_4$  são lâmpadas de mesma potência e  $R$  é um resistor. Marque a afirmativa correta:



<sup>1</sup> Adaptação do teste apresentado na referência: SILVEIRA, F. L.; MOREIRA, M. A.; AXT, R. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 41, n. 11, p. 1129-1133, nov. 1989.

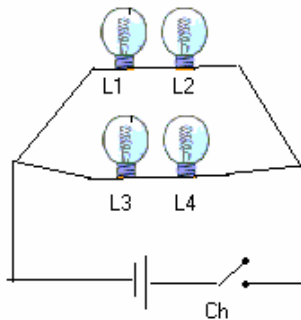
- (a)  $L_1$  brilha mais do que  $L_2$ .
- (b)  $L_1$  brilha mais do que  $L_3$ .
- (c)  $L_4$  brilha mais do que  $L_2$ .
- (d) As quatro lâmpadas têm o mesmo brilho.

4. Nos circuitos a seguir:



- (a)  $L_1, L_2, L_3$  e  $L_4$  têm o mesmo brilho.
- (b)  $L_1$  e  $L_2$  brilham mais do que  $L_3$  e  $L_4$ .
- (c)  $L_3$  e  $L_4$  brilham mais do que  $L_1$  e  $L_2$ .
- (d)  $L_2$  brilha mais do que  $L_1$ .
- (e)  $L_1$  brilha mais do que  $L_2$ .

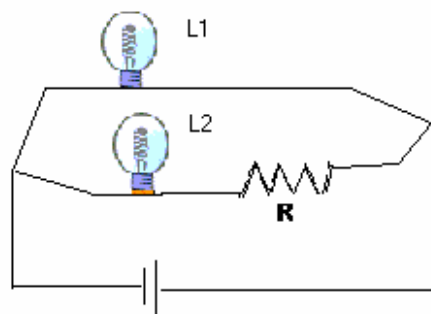
5. A figura abaixo representa quatro lâmpadas ligadas a uma bateria e uma chave ou interruptor **Ch**:



Podemos afirmar que quando a chave **Ch** é fechada:

- (a)  $L_1, L_2, L_3$  e  $L_4$  têm o mesmo brilho.
- (b)  $L_1$  e  $L_2$  brilham mais do que  $L_3$  e  $L_4$ .
- (c)  $L_3$  e  $L_4$  brilham mais do que  $L_1$  e  $L_2$ .
- (d)  $L_2$  brilha mais do que  $L_1$ .
- (e)  $L_1$  brilha mais do que  $L_2$ .

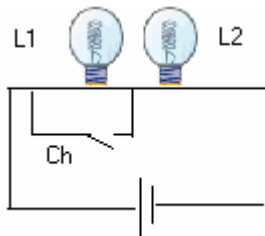
6. Na situação apresentada abaixo podemos afirmar que:



- (a)  $L_1$  brilha mais do que  $L_2$
- (b)  $L_2$  brilha mais do que  $L_1$

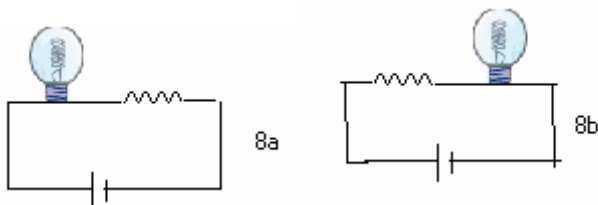
- (c)  $L_1$  brilha tanto quanto  $L_2$ .
- (d)  $L_1$  não acende, independente do valor da resistência  $R$ .
- (e)  $L_2$  não acende, independente do valor da resistência  $R$ .

7. Na figura seguinte, **Ch** é uma chave ou interruptor e está aberto. Ao fechar a chave:



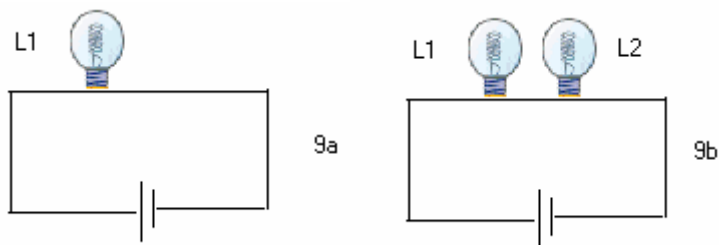
- (a) Aumentará o brilho de  $L_1$ .
- (b) Aumentará o brilho de  $L_2$ .
- (c) O brilho de  $L_1$  permanecerá o mesmo.
- (d) O brilho de  $L_2$  permanecerá o mesmo.
- (e) Diminuirá o brilho de  $L_2$ .

8. Observe as figuras 8a e 8b. Assinale a afirmativa correta:



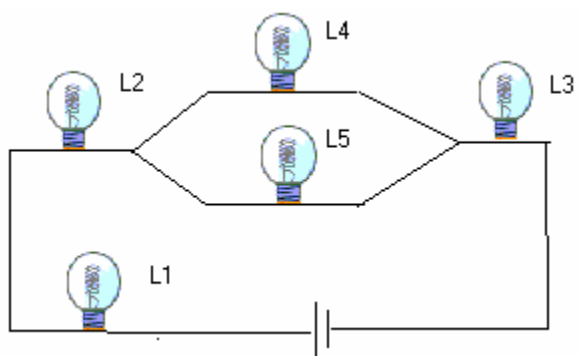
- (a) A lâmpada brilha mais em 8a.
- (b) A lâmpada brilha mais em 8b.
- (c) O brilho da lâmpada é o mesmo em 8a e em 8b.
- (d) A lâmpada não acende em nenhum dos dois casos, independente do valor da resistência.

9. Observe as figuras 9a e 9b e assinale a afirmativa correta:



- (a)  $L_1$  brilha mais em 9a.
- (b)  $L_1$  brilha mais em 9b.
- (c)  $L_1$  tem o mesmo brilho em 9a e em 9b.
- (d)  $L_2$  brilha mais do que  $L_1$  em 9b.

10. Em relação ao circuito da figura abaixo, assinale a afirmativa correta:



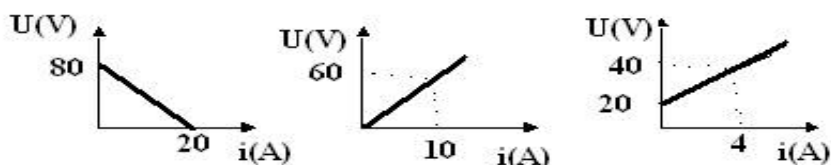
- (a) O brilho de  $L_1$  é maior que o de  $L_3$ .
- (b) O brilho de  $L_1$  é menor que o de  $L_2$ .
- (c) O brilho de  $L_1$  é menor que o de  $L_5$ .
- (d) O brilho de  $L_4$  é maior que o de  $L_5$ .
- (e) O brilho de  $L_1$  é maior que o de  $L_5$ .

**IV.7.2 – Teste I<sup>2</sup>**

1. Assinale com V (verdadeiro) ou F (falso) as afirmativas abaixo:

- ( ) Nos condutores sólidos a corrente elétrica é constituída pelo movimento de elétrons livres. Esta corrente é classificada como eletrônica.
- ( ) A intensidade da corrente elétrica pode ser determinada dividindo-se o módulo da força elétrica pelo tempo.
- ( ) Corrente iônica é aquela constituída pelo deslocamento dos íons positivos e negativos, movendo-se simultaneamente em sentidos opostos.
- ( ) O sentido convencional da corrente elétrica é o sentido do deslocamento das cargas positivas, isto é, do potencial maior para o menor ( do pólo positivo para o negativo).
- ( ) No SI, a unidade de corrente elétrica é o Coulomb (C).
- ( ) A corrente elétrica pode ser classificada em dois tipos: contínua e alternada. A corrente contínua é aquela em que a intensidade e o sentido se mantêm constantes.
- ( ) Amperímetro ideal tem a resistência elétrica muito grande.
- ( ) Amperímetros são ligados em paralelo ao circuito elétrico onde devem realizar medidas.
- ( ) O voltímetro ideal tem resistência elétrica muito grande.

2. Dados os gráficos abaixo, analise-os e responda as seguintes questões:



- (a) Qual a resistência elétrica do resistor?.....
- (b) Qual o valor da resistência interna do gerador?.....
- (c) Qual a resistência interna do receptor?.....
- (d) Determine a força eletromotriz do gerador e sua corrente de curto-circuito.....
- (e) Determine a força contra-eletromotriz do receptor.....
- (f) Desenhe os símbolos destes três elementos, ligados em série no circuito elétrico, indicando o sentido da corrente elétrica.

3. Considere três resistores de 9 Ω cada um e ligados a uma d.d.p de 180 V. Pede-se:

- (a) A resistência equivalente, quando associados em série.....
- (b) A intensidade da corrente elétrica em cada resistor.....
- (c) A resistência equivalente, quando associados em paralelo.....

<sup>2</sup> Este teste, a ser resolvido individualmente, fez parte da avaliação dos alunos durante o 2º trimestre letivo quando ocorreu a aplicação da proposta.

- (d) A intensidade da corrente elétrica em cada resistor.....
- (e) Para uma residência, você recomendaria uma associação em série ou em paralelo? Por quê?.....

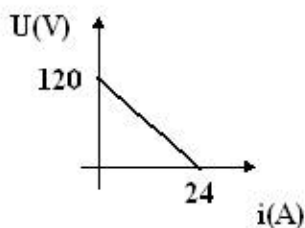
4. Cinco condutores, A, B, C, D e E são representados na figura abaixo. Compare-os e, de acordo com os dados fornecidos, responda as perguntas sobre estes:



O filamento A é de tungstênio (resistividade elétrica =  $551 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ ). Os filamentos B, C, D e E são de cobre (resistividade elétrica =  $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ ). As dimensões dos condutores são representadas na figura.

- (a) Comparando D com E, qual possui maior resistência elétrica?.....
- (b) Comparando C com D, se ligados à mesma d.d.p., em qual dos dois a intensidade da corrente elétrica é maior? .....
- (c) Comparando A com B, qual possui menor resistência elétrica?.....
- (d) Imagine que você é um inventor e vai inventar um chuveiro para usar no inverno de Gramado, usando um destes condutores como resistência, qual você escolheria? Essa questão requer uma justificativa. Explique a sua opção.....
- (e) Qual destes condutores possui maior resistência elétrica?.....

5. A curva característica de um gerador é dada pela figura abaixo. Pede-se:



- (a) A força eletromotriz, a resistência interna e a corrente de curto-circuito.....
- (b) A d.d.p. nos terminais do gerador quando  $i = 10 \text{ A}$ .....
- (c) Faça uma figura, usando os símbolos correspondentes, e represente esse gerador ligado a uma resistência elétrica de  $5 \Omega$ .
- (d) Nesta situação (gerador e resistor), determine a intensidade da corrente elétrica que percorre o circuito.....
- (e) Determine a potência elétrica total fornecida pelo gerador.....
- (f) Determine a potência elétrica dissipada pelo gerador.....
- (g) Determine a potência utilizada pela resistência elétrica externa.....

- (h) Determine o rendimento do gerador.....  
 (i) Determine a energia elétrica total fornecida pelo gerador em 3 minutos.....

**IV.7.3 – Teste II<sup>3</sup>**

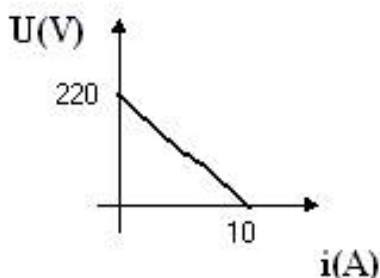
1. Considere 4 fios condutores de eletricidade com as seguintes características: a resistividade elétrica, o comprimento e a área de secção transversal desses condutores são dados na tabela abaixo:

Condutor	Resistividade ( $\Omega\text{m}$ )	Comprimento (m)	Área de secção ( $\text{cm}^2$ )
A	$1,8 \cdot 10^{-8}$	1,0	0,40
B	$1,8 \cdot 10^{-8}$	1,5	0,40
C	$1,8 \cdot 10^{-8}$	0,6	0,85
D	$2,5 \cdot 10^{-8}$	1,5	0,40

Analisando as características destes condutores, responda:

- (a) Qual deles apresenta a maior resistência elétrica?.....  
 (b) Qual deles possui a menor resistência elétrica?.....  
 (c) Calcule a resistência elétrica do condutor B.....

2. A curva característica de um gerador é dada pela figura abaixo:



Pede-se:

- (a) A força eletromotriz, a resistência elétrica interna e a corrente de curto-circuito.....  
 (b) A d.d.p. nos terminais do gerador quando  $i = 8 \text{ A}$ .....  
 (c) Faça uma figura, usando os símbolos correspondentes, e represente esse gerador ligado a uma resistência elétrica de  $8 \Omega$ .  
 (d) Nesta situação (gerador e resistor), determine a intensidade da corrente elétrica que percorre o circuito.....  
 (e) Determine a potência elétrica total fornecida pelo gerador.....  
 (f) Determine a potência elétrica dissipada pelo gerador.....  
 (g) Determine a potência elétrica utilizada pela resistência elétrica externa.....  
 (h) Determine o rendimento do gerador.....

<sup>3</sup> Ver nota anterior.

(i) Determine a energia elétrica total fornecida pelo gerador em 5 minutos.....

3. Escreva um pequeno texto, falando sobre a função dos geradores, dos receptores e dos resistores em um circuito elétrico. Explique, também, a finalidade, as características e como devem ser ligados os amperímetros e volímetros em um circuito elétrico.

4. Considere quatro resistores de  $20 \Omega$  cada um e ligados a uma d.d.p. de 180 V. Pede-se:

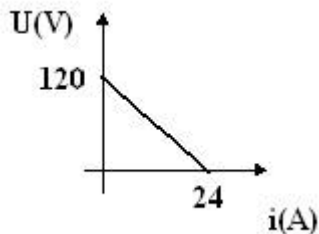
(a) A resistência elétrica equivalente, quando associados em série.....

(b) A intensidade da corrente elétrica em cada resistor (para esta situação).....

(c) A resistência elétrica equivalente, quando associados em paralelo.....

(d) A intensidade da corrente elétrica em cada resistor (para esta situação).....

5. A curva característica de um gerador é dada pela figura abaixo:



Pede-se:

(a) A força eletromotriz, a resistência elétrica interna e a corrente de curto-circuito.....

(b) A d.d.p. nos terminais do gerador quando  $i = 10 \text{ A}$ .....

(c) Faça uma figura, usando os símbolos correspondentes, e represente esse gerador ligado a uma resistência elétrica de  $5 \Omega$ .

(d) Nesta situação (gerador e resistor), determine a intensidade da corrente elétrica que percorre o circuito.....

(e) Determine a potência elétrica total fornecida pelo gerador.....

(f) Determine a potência elétrica dissipada pelo gerador.....

(g) Determine a potência elétrica utilizada pela resistência elétrica externa.....

(h) Determine o rendimento do gerador.....

(i) Determine a energia elétrica total fornecida pelo gerador em 3 minutos.....



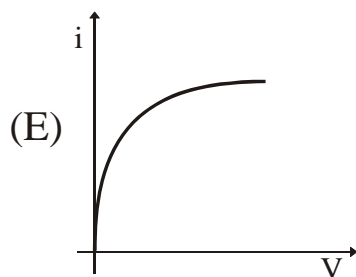
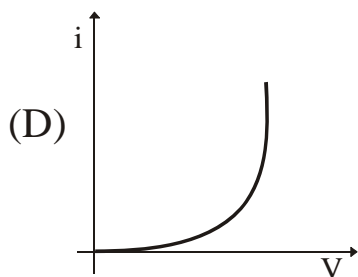
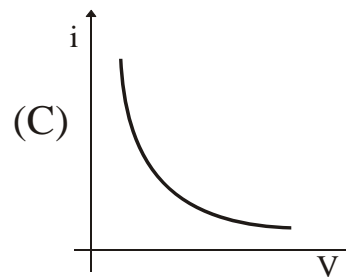
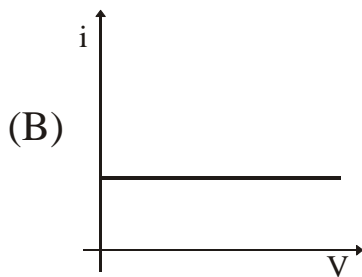
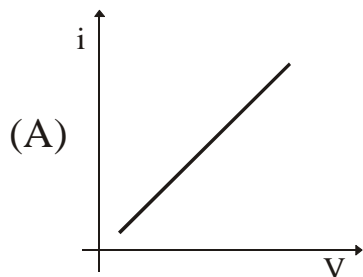
IV.7.4 - Questões de Vestibulares

IV.7.4.1 – Questões de vestibulares da UFRGS<sup>4</sup>

Os exercícios aqui apresentados foram baseados em questões da Prova de Física de vários vestibulares da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Resolva as questões abaixo, assinalando a resposta correta:

1. Qual o gráfico que melhor representa a relação entre a corrente elétrica  $i$  e a tensão  $V$  para uma resistência elétrica constante?



2. Três resistores idênticos têm resistências elétricas constantes e iguais a  $R$ . Dois deles, associados em paralelo, são ligados em série com o terceiro. A resistência elétrica equivalente dessa associação é igual a:

- (a)  $R/2$                       (b)  $2R/3$                       (c)  $R$                       (d)  $3R/2$                       (e)  $2R$

3. Selecione a alternativa que apresenta as palavras que preenchem corretamente as três lacunas nas seguintes afirmações, respectivamente.

I Corrente elétrica pode ser o resultado do movimento de.....

II Quanto maior o comprimento de um condutor, tanto.....a sua resistência elétrica.

III A corrente elétrica que flui em um circuito elétrico formado por uma bateria ideal e um resistor de resistência variável é inversamente proporcional à.....

- (a) elétrons – maior – resistência  
 (b) nêutrons – menor – resistência  
 (c) prótons – menor – resistência  
 (d) nêutrons – maior – diferença de potencial

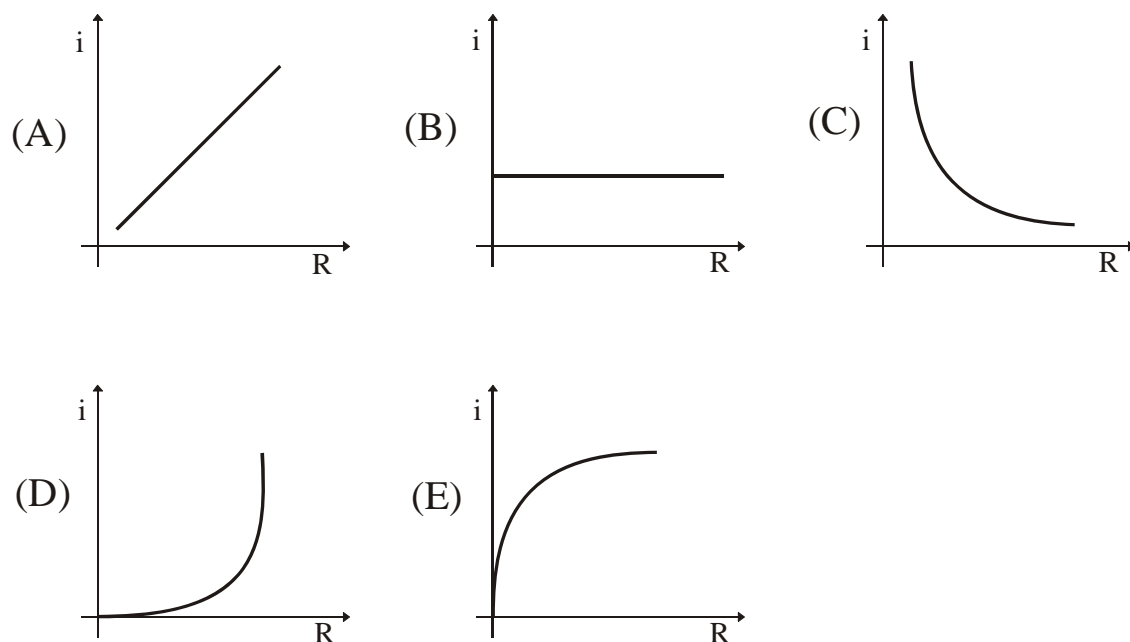
<sup>4</sup> Os exercícios aqui apresentados foram baseados em questões da Prova de Física de vestibulares da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Agradecemos à COPERSE/UFRGS por permitir a utilização destas questões. Estas questões foram extraídas do livro: BUCHWEITZ, B.;AXT, R.. *Questões de Física 2*. Editora Sagra-Luzzatto. 1997.

(e) elétrons – maior – diferença de potencial

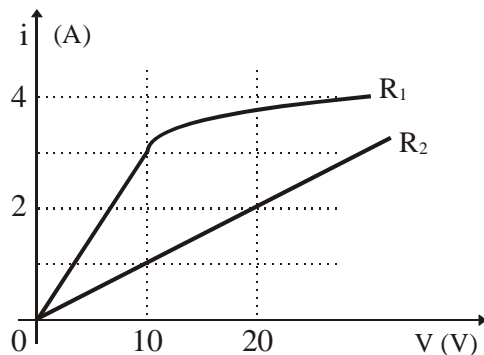
4. A tabela mostra algumas medidas da corrente elétrica  $i$  que passa em diversos resistores de resistências  $R$  conhecidas, quando ligados, um após o outro, aos terminais de uma mesma bateria que mantém uma diferença de potencial constante.

$R$ ( $\Omega$ )	$i$ (A)
19,9	0,60
40,9	0,29
63,2	0,19
80,0	0,15
109,1	0,11

Tendo por base essas medidas, qual o gráfico que melhor representa a relação entre  $i$  e  $R$ ?



5. O gráfico representa a corrente elétrica  $i$  como função da diferença de potencial  $V$  aplicada aos extremos de dois resistores,  $R_1$  e  $R_2$ .

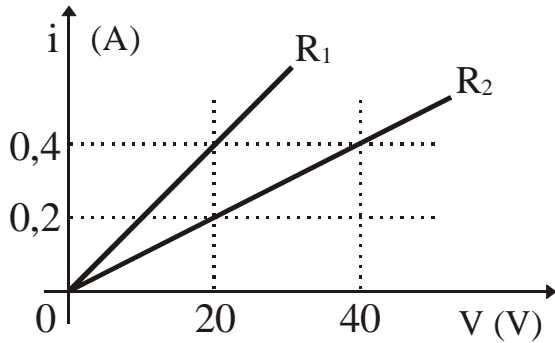


Ao analisar o gráfico, pode-se concluir que:

- (a) a resistência elétrica de cada um dos resistores é constante entre 0 e 20 V.
- (b) para 10 V, o resistor  $R_1$  tem o triplo da resistência elétrica do resistor  $R_2$ .
- (c) entre 10 e 20 V a resistência elétrica do resistor  $R_1$  é maior do que a do  $R_2$ .

- (d) entre 10 e 20 V a resistência elétrica do resistor  $R_1$  varia.  
 (e) a variação da resistência elétrica do resistor  $R_2$  é de  $10 \Omega$  entre 0 e 10 V.

6. A corrente elétrica  $i$  em função da diferença de potencial  $V$  aplicada aos extremos de dois resistores,  $R_1$  e  $R_2$ , está representada no gráfico. Adicionalmente sabe-se que  $R_1$  e  $R_2$  não alteram suas características para valores de diferença de potencial até 100 V.



Com base nessas informações, um aluno concluiu que, para valores abaixo de 100 V,

- I – a resistência de cada um dos resistores é constante.  
 II – o resistor  $R_1$  tem resistência maior do que o resistor  $R_2$ .  
 III – ao ser aplicada uma diferença de potencial de 80 V aos extremos do resistor  $R_2$ , nele passará uma corrente de 0,8 A.

Quais as conclusões que estão corretas?

- (a)...Apenas I.                      (b) Apenas II.                      (c) Apenas I e III.  
 (d) Apenas II e III.                      (e) I, II e III.

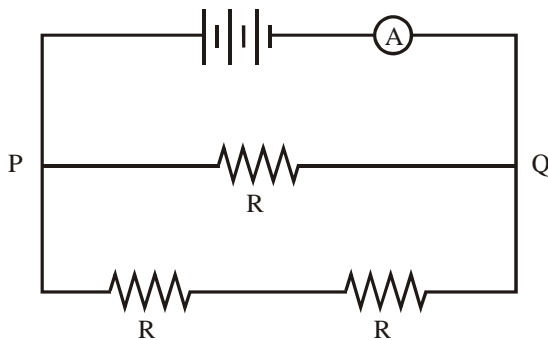
7. As figuras mostram pares de fios elétricos de seção transversal circular, e de diferentes dimensões ou materiais, cujos extremos são submetidos a uma mesma diferença de potencial e mantidos à mesma temperatura.

- F<sub>1</sub>  cobre  
 F<sub>2</sub>  cobre  
 F<sub>3</sub>  alumínio  
 F<sub>4</sub>  alumínio  
 F<sub>5</sub>  cobre  
 F<sub>6</sub>  ferro

Para cada par, qual o fio que apresenta maior resistência elétrica?

- (a) F<sub>1</sub> – F<sub>3</sub> – F<sub>5</sub>                      (b) F<sub>2</sub> – F<sub>3</sub> – F<sub>5</sub>                      (c) F<sub>2</sub> – F<sub>4</sub> – F<sub>6</sub>  
 (d) F<sub>1</sub> – F<sub>4</sub> – F<sub>5</sub>                      (e) F<sub>2</sub> – F<sub>3</sub> – F<sub>6</sub>

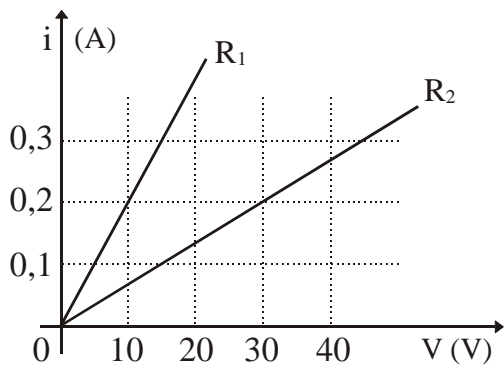
8. No circuito esquematizado abaixo, a resistência elétrica de cada resistor  $R$  é igual a  $30 \Omega$ , e a corrente elétrica indicada pelo amperímetro  $A$  é de  $0,60 \text{ A}$ .



Qual a diferença de potencial entre os pontos P e Q?

- (a)  $9 \text{ V}$                                       (b)  $12 \text{ V}$                                       (c)  $18 \text{ V}$   
 (d)  $36 \text{ V}$                                       (e)  $54 \text{ V}$

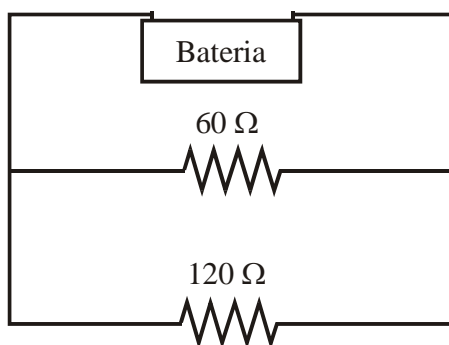
9. O gráfico representa a corrente elétrica  $i$  em função da diferença de potencial  $V$  aplicada aos extremos de dois resistores.



Se  $R_1$  e  $R_2$  as resistências dos resistores, qual a relação  $R_1/R_2$  ?

- (a)  $1/3$                                       (b)  $1/2$                                       (c)  $1$                                       (d)  $2$                                       (e)  $3$

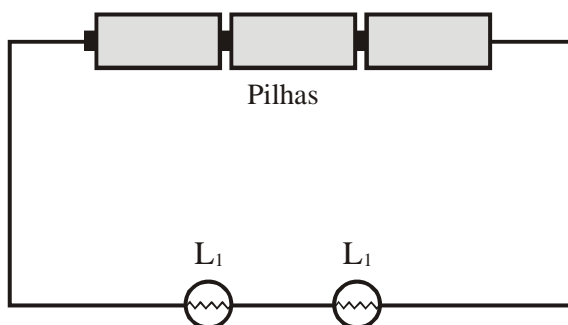
10. No circuito esquematizado abaixo, a diferença de potencial entre os terminais da bateria é de  $12 \text{ V}$ .



Qual a corrente elétrica que flui pelo resistor de resistência elétrica igual a  $60 \Omega$  ?

- (a)  $0,1 \text{ A}$ .                                      (b)  $0,2 \text{ A}$ .                                      (c)  $2,5 \text{ A}$ .  
 (d)  $5,0 \text{ A}$ .                                      (e)  $15,0 \text{ A}$ .

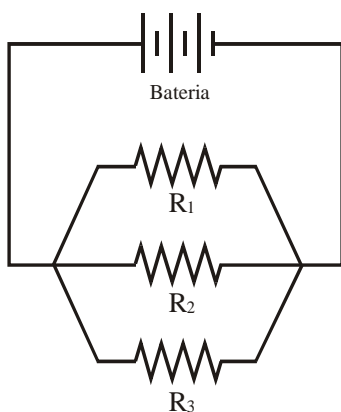
11. A figura representa um circuito elétrico com três pilhas de 1,5 V cada, ligadas em série às lâmpadas  $L_1$  e  $L_2$ . A resistência elétrica de cada uma das lâmpadas é de  $15 \Omega$ .



Desprezando-se a resistência interna das pilhas, qual a corrente elétrica que passa pela lâmpada  $L_1$ ?

- (a) 0,05 A.    (b) 0,10 A.    (c) 0,15 A    (d) 0,30 A.    (e) 0,45 A.

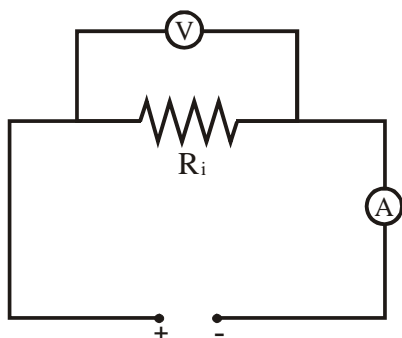
12. No circuito elétrico representado no diagrama abaixo, estão ligados uma bateria e três resistores de resistências elétricas  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ , sendo  $R_1 > R_2 > R_3$ .



Nessa situação,

- (a) a resistência elétrica dessa associação de resistores é igual a  $R_1 + R_2 + R_3$ .  
 (b) os três resistores estão submetidos à mesma diferença de potencial.  
 (c) a diferença de potencial entre os extremos de cada resistor depende somente do valor da respectiva resistência elétrica.  
 (d) os três resistores são percorridos pela mesma intensidade de corrente elétrica.  
 (e) no resistor de maior resistência elétrica passa a corrente elétrica de maior intensidade.

3. A figura representa um circuito elétrico onde podem ser ligados diferentes resistores ( $R_i$ ) e feitas as leituras da diferença de potencial e da corrente elétrica por meio de um voltímetro V e de um amperímetro A, respectivamente.



Medidas típicas da diferença de potencial  $V$  e da corrente elétrica  $i$  encontram-se na tabela abaixo para cada resistor usado.

Circuito 1	V (V)	10	20	30	40	50
	i (A)	1	2	4	8	16
Circuito 2	V (V)	10	20	30	40	50
	i (A)	8	4	2	1	0,5
Circuito 3	V (V)	10	20	30	40	50
	i (A)	4	4	4	4	4
Circuito 4	V (V)	10	20	30	40	50
	i (A)	1	2	4	6	8
Circuito 5	V (V)	10	20	30	40	50
	i (A)	2	4	6	8	10

O resistor, cuja resistência permaneceu constante, está no circuito:

- (a) 1            (b) 2            (c) 3            (d) 4            (e) 5

#### IV.7.4.2 – Questões de vestibulares da UNISC<sup>5</sup>

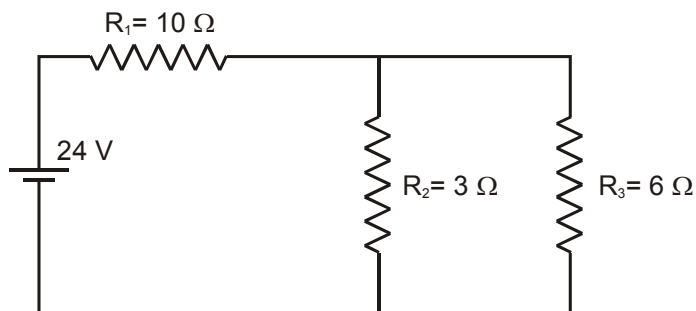
Seleção de questões de vestibulares da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) no período de 1994 a 2004 que tratam dos conteúdos desenvolvidos no período letivo.

1. Com relação à resistência elétrica de um fio de comprimento “ $L$ ” e seção transversal “ $A$ ”, podemos afirmar que:

- (a) Aumenta, quando diminui seu comprimento.  
 (b) Diminui, quando diminui sua área de seção transversal.  
 (c) Independe da temperatura do fio.  
 (d) Aumenta quando a condutividade do fio aumenta.  
 (e) Depende do material do qual o fio é constituído.

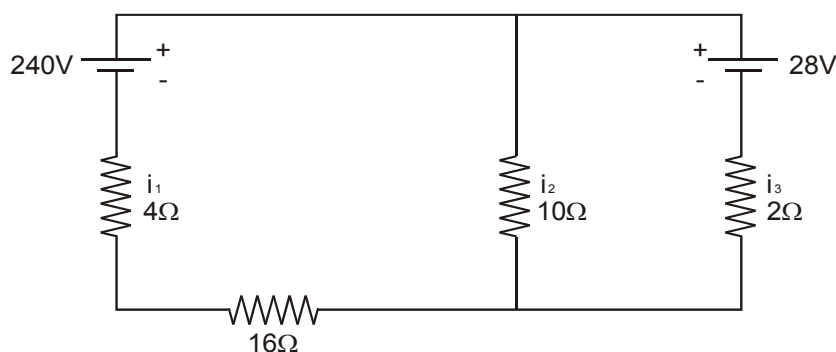
<sup>5</sup> Os exercícios aqui apresentados foram baseados em questões de vestibulares da UNISC, do período de 1994 a 2004. Agradecemos à UNISC por permitir a utilização destas questões.

2. Considere o circuito da figura abaixo e assinale a alternativa correta:



- (a) A resistência elétrica equivalente e a potência dissipada no circuito são, respectivamente,  $12 \Omega$  e  $24 \text{ W}$ .
- (b) A corrente elétrica na resistência  $R_1$  é de  $2 \text{ A}$  e as correntes elétricas nas resistências  $R_2$  e  $R_3$  são, respectivamente,  $8 \text{ A}$  e  $4 \text{ A}$ .
- (c) A voltagem sobre as resistências  $R_2$  e  $R_3$  é de  $24 \text{ V}$  e a corrente elétrica na resistência  $R_1$  é de  $2 \text{ A}$ .
- (d) A potência dissipada pelo circuito é de  $48 \text{ W}$  e as correntes elétricas em  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  são, respectivamente,  $2 \text{ A}$ ,  $4/3 \text{ A}$  e  $2/3 \text{ A}$ .
- (e) A voltagem sobre as resistências  $R_2$  e  $R_3$  é de  $4 \text{ V}$  e a corrente na resistência  $R_1$  é de  $2,4 \text{ A}$ .

3. Marque a alternativa que apresenta os valores das correntes elétricas do circuito abaixo,  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$  em Ampères, respectivamente.

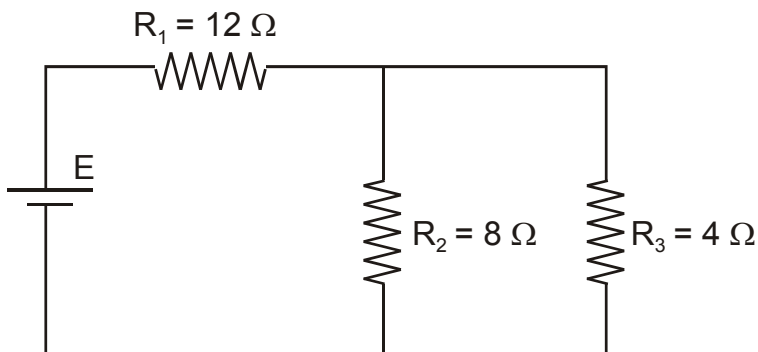


- (a) 6, 4 e 10;                      (b) 4, 6 e 10;                      (c) 6, 10 e 4;
- (d) 10, 6 e 4;                      (e) 10, 4 e 6.

4. Sobre um ferro elétrico você localiza uma plaqueta onde se identifica o símbolo do fabricante e as seguintes indicações:  $750 \text{ W}$ ,  $110 \text{ V}$ . A resistência aproximada desse ferro elétrico, quando em funcionamento, é em ohms:

- (a) 110                      (b) 750                      (c) 7                      (d) 8250                      (e) 16

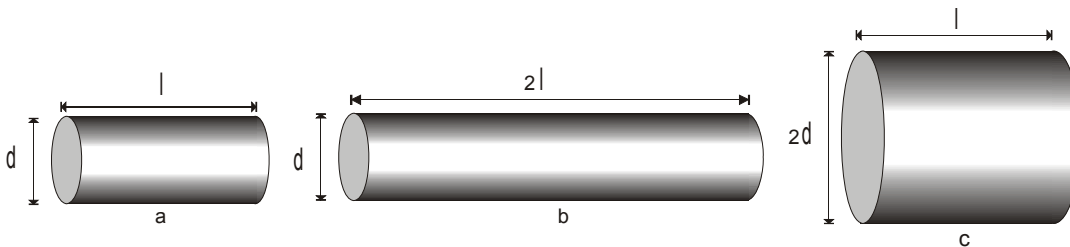
5. Uma bateria de f.e.m.  $E$  e três resistores, cujas resistências são  $R_1 = 12 \Omega$ ,  $R_2 = 8 \Omega$  e  $R_3 = 4 \Omega$ , são montados como indica a figura.



Se  $I_1$  e  $I_2$  são, respectivamente, as correntes elétricas que passam por  $R_1$  e  $R_2$ , a razão  $I_3/I_1$  é igual a

- (a)  $4/3$       (b)  $2$       (c)  $2/3$       (d)  $3$       (e)  $1/3$

6. Três fios condutores de cobre, a, b e c, têm resistências  $R_a$ ,  $R_b$  e  $R_c$ . Os diâmetros das secções transversais e os comprimentos dos fios estão especificados na figura abaixo:



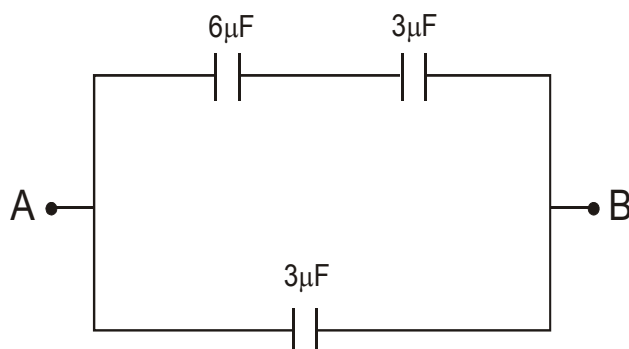
A ordem decrescente de suas resistências é:

- (a)  $R_a, R_b, R_c$ .      (b)  $R_a, R_c, R_b$ .      (c)  $R_b, R_a, R_c$ .  
 (d)  $R_c, R_a, R_b$ .      (e)  $R_b, R_c, R_a$ .

7. O nome do elemento de um circuito elétrico, capaz de transformar em energia elétrica outra modalidade de energia, é o:

- (a) gerador elétrico.      (b) resistor elétrico.      (c) receptor elétrico.  
 (d) dispositivo de manobra.      (e) dispositivo de controle.

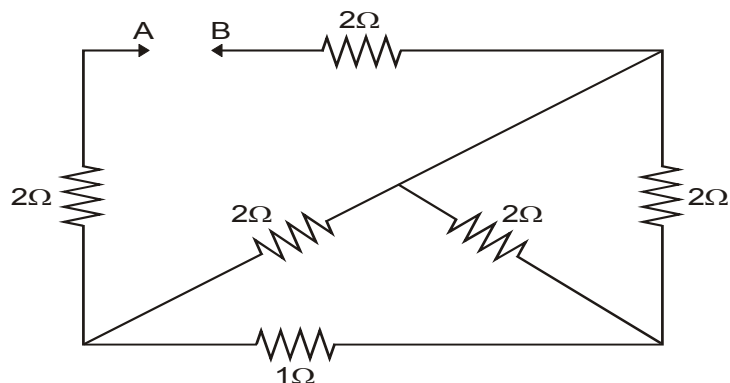
8. Na figura a d.d.p. entre os pontos A e B é de  $100 \text{ V}$ . A energia elétrica armazenada na associação dos capacitores vale:





- (a)  $7,5 \times 10^{-1}$  J.                      (b)  $7,5 \times 10^{-3}$  J.                      (c)  $2,5 \times 10^{-2}$  J.  
 (d)  $2 \times 10^{-2}$  J                      (e)  $5 \times 10^{-2}$  J.

9. Na associação de resistores abaixo, a d.d.p. entre os pontos A e B é de 100 V. Os valores da resistência elétrica equivalente e da corrente elétrica da associação valem, respectivamente,



- (a)  $3 \Omega$  e 20 A                      (b)  $5 \Omega$  e 30 A                      (c)  $3 \Omega$  e 33 A  
 (d)  $20 \Omega$  e 5 A                      (e)  $5 \Omega$  e 20 A

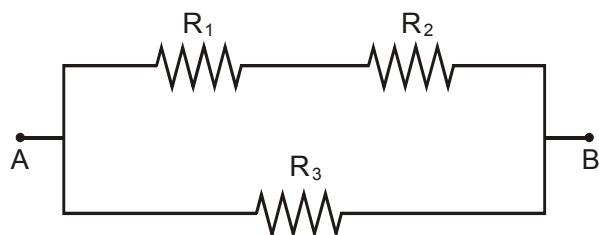
10. Uma corrente elétrica de intensidade  $11,2 \mu$  A percorre um condutor metálico. A carga elementar é  $e = 1,6 \times 10^{-19}$  C. O tipo e o número de partículas carregadas que atravessam uma seção transversal desse condutor por segundo são:

- a) prótons;  $7,0 \cdot 10^{13}$  partículas.                      (b) elétrons;  $7,0 \cdot 10^{13}$  partículas.  
 (c) íons do metal;  $14,0 \cdot 10^{16}$  partículas.                      (d) prótons;  $7,0 \cdot 10^{19}$  partículas.  
 (e) elétrons;  $14,0 \cdot 10^{16}$  partículas.

11. Uma lâmpada de tensão nominal 110 V é instalada num local onde a tensão é de 127 V. Este procedimento fará com que a lâmpada tenha:

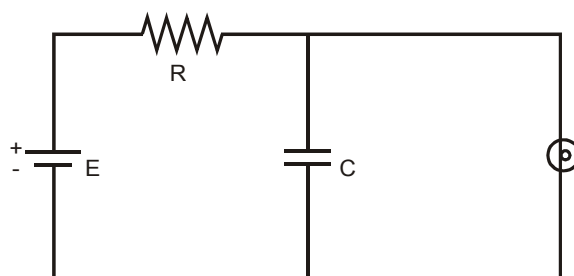
	Brilho	Durabilidade
(a)	maior	maior
(b)	igual	igual
(c)	menor	maior
(d)	menor	menor
(e)	maior	menor

12. A resistência elétrica equivalente entre os pontos A e B do circuito elétrico da figura vale  $R_{eq}=10\Omega$ . Sabendo que  $R_2 = 10 \Omega$  e  $R_3 = 20 \Omega$ , podemos concluir que  $R_1$  vale:



- (a)  $1 \Omega$                       (b)  $5 \Omega$                       (c)  $10 \Omega$                       (d)  $20 \Omega$                       (e)  $30 \Omega$

13. Um flash de máquina fotográfica funciona basicamente de acordo com o esquema:



Marque a alternativa que condiz com a função básica nesse dispositivo: do gerador, do resistor e do capacitor, respectivamente.

- (a) Fornecer energia elétrica, armazenar energia elétrica e transformar energia.
- (b) Fornecer diferença de potencial, evitar que a corrente elétrica seja muito alta e armazenar carga elétrica.
- (c) Armazenar energia, impedir parcialmente a passagem de corrente elétrica, deixar que a corrente elétrica flua normalmente.
- (d) Proteger o circuito, causar emissão de luz visível e aquecer o dispositivo.
- (e) Fornecer diferença de potencial, causar emissão de luz e armazenar carga.

## **V - CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Encontrar alternativas para tornar as aulas de Física motivadoras e proporcionar aos alunos a aprendizagem significativa é um desafio constante para todos os professores desta disciplina. E a proposta de trabalho apresentada aqui, usando uma metodologia variada com ênfase na aplicação das novas tecnologias é uma tentativa de resposta a esse desafio.

Como fundamentação para esta proposta procedeu-se a uma revisão bibliográfica, passando pelo estudo dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino de Física, editados em 1999, e pelo seu complemento editado no ano de 2000, os PCN+. Após, voltou-se o olhar para o estudo das concepções prévias e das concepções alternativas, relacionando-os com as teorias construtivistas e a busca de caminhos para chegar às concepções científicas através do estudo de Física. Através da fundamentação teórica procurou-se conhecer um pouco mais sobre as teorias de aprendizagem e seus enfoques. O estudo voltou-se para as teorias construtivistas, concentrando-se mais nas idéias de Jean Piaget e David Ausubel.

Constatou-se que os objetivos foram alcançados, os alunos mostraram-se mais interessados pelas aulas, demonstraram entusiasmo e realizaram os trabalhos com mais satisfação do que ocorria normalmente, quando estes conteúdos eram abordados de forma tradicional. Acredita-se que foi propiciada uma aquisição mais significativa dos conhecimentos. Embora a aplicação dos recursos tecnológicos represente uma novidade para os alunos destas turmas, e até certo ponto tenha trazido algumas dificuldades, devido à falta de recursos em relação ao grande número de alunos de cada turma e devido ao fato de que muitos deles não dispunham de computador ou de acesso à Internet em suas casas, com o andamento do trabalho as dificuldades foram superadas, conjuntamente professora e alunos buscaram alternativas, como visita ao Laboratório de Informática em horário extra-classe e grupos trabalhando com recursos diferentes, em atividades alternadas.

Ao final do ano letivo constatou-se que os resultados foram positivos, os alunos mostraram-se satisfeitos com os recursos utilizados, demonstraram um aproveitamento muito bom e, através de diferentes instrumentos de avaliação, constatou-se que houve uma aprendizagem significativa por parte da maioria dos alunos, foram desenvolvidas competências e habilidades, ocorreu a motivação para o estudo de Física, que refletiu positivamente no desempenho dos alunos, também ao longo do trimestre subsequente, quando já havia sido encerrada a aplicação da proposta. Observando os resultados das avaliações, constatou-se que houve um grande crescimento dos alunos das duas turmas, demonstrado através do resultado do pós-teste, quando comparado àquele do pré-teste, através do resultado final das avaliações feitas nos trimestres, onde se observou um crescimento progressivo, do primeiro ao terceiro trimestre e através do índice de aprovação na disciplina, que foi maior do que o índice de aprovação nas demais disciplinas em conjunto. Não só os testes mostraram resultados positivos, o nível da participação dos alunos durante as aulas e nas atividades extra classe cresceu a partir do segundo trimestre e o nível dos trabalhos apresentados também apresentou melhorias significativas.

A avaliação que os alunos fizeram da proposta, quando em situações e momentos diferentes tiveram a oportunidade de opinar sobre a mesma e sobre o próprio desempenho e motivação nas

aulas de Física, mostram que houve satisfação com relação ao desenvolvimento da mesma por parte da maioria dos alunos das duas turmas, acredita-se, então, que se esta metodologia trouxe resultados positivos ao ensino e à aprendizagem de conteúdos de Eletrodinâmica, provavelmente, com o uso de material adequado, também poderá oportunizar bons resultados, se aplicada a outros conteúdos de Física do Ensino Médio.

## REFERÊNCIAS

- BORGES, A. T. Modelos mentais de eletromagnetismo. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. Florianópolis, v. 15, n. 1, p. 7-31, abr. 1998.
- BUCHWEITZ, B.; AXT, R. *Questões de física 2*. Porto Alegre: Sagra-Luzzatto, 1997.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio*. Brasília: MEC, 1999.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN+- ENSINO MÉDIO, Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília. 2002. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/ensino/pcn.shtml>>. Acesso em: 25 fev. 2005.
- CARRON, W.; GUIMARÃES, O. *As faces da física*. São Paulo: Editora Moderna, 1997.
- FERRARO, N. G. *Eletricidade: história e aplicações*. São Paulo: Editora Moderna, 1991.
- FERRARO, N. G. et al. *Física: ciência e tecnologia*. São Paulo: Editora Moderna, 2001.
- GASPAR, A. *Física*. São Paulo: Editora Ática, 2000. v. 3.
- GONÇALVES, F. A.; BAROLLI, E. *Instalação elétrica: investigando e aprendendo*. São Paulo: Scipione, 1993.
- HEWITT, P. G. *Física conceitual*. 8. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2002.
- LÉVY, P. A emergência do ciberespaço e as mutações culturais. In: PELLANDA, N. M. *Ciberespaço: um hipertexto com Pierre Lévy*. Porto Alegre. Artes e Ofícios Editora, 2000. p. 13-20.
- LUZ, A. M. R. da; ÁLVARES, B. A. *Física*. São Paulo: Scipione, 1999.
- LUZ, A. M. R. da; ÁLVARES, B. A. *Curso de física*. 4. ed. São Paulo: Scipione, 2000. v. 3.
- MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. de. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 77-86, jun. 2002.
- MOREIRA, M. A. Ensino de física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 94-99, mar. 2000.
- MOREIRA, M. A. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.
- MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. *Teorias construtivistas*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1999.
- PIAGET, J. *Estudos sociológicos*. Rio de Janeiro: Editora Forense, 1973.
- RAMALHO, F. et al. *Os fundamentos da física*. São Paulo: Editora Moderna, 1999. v. 3.
- SANTOS, B. S.; PACHECO, C. O. A informática no cotidiano escolar: relato de uma experiência didática. In: PELLANDA, N. M. *Ciberespaço: um hipertexto com Pierre Lévi*. Porto Alegre: Artes e Ofícios Editora, 2000. p. 222-247.
- SILVEIRA, F. L.; MOREIRA, M. A.; AXT, R. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 41, n. 11, p. 1129-1133, nov. 1989.
- UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Instituto de Computação. NIED. TelEduc. Disponível em: <[http://www.edumed.org.br/teleduc/pagina\\_inicial/index.php](http://www.edumed.org.br/teleduc/pagina_inicial/index.php)>. Acesso em: 4 dez. 2004.



## TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

- n° 1 Um Programa de Atividades sobre Tópicos de Física para a 8ª Série do 1º Grau.  
Axt, R., Steffani, M. H. e Guimarães, V. H., 1990.
- n° 2 Radioatividade.  
Brückmann, M. E. e Fries, S. G., 1991.
- n° 3 Mapas Conceituais no Ensino de Física  
Moreira, M. A., 1992.
- n° 4 Um Laboratório de Física para Ensino Médio  
Axt, R e Brückmann, M. E., 1993.
- n° 5 Física para Secundaristas – Fenômenos Mecânicos e Térmicos.  
Axt, R. e Alves, V. M., 1994.
- n° 6 Física para Secundaristas – Eletromagnetismo e Óptica.  
Axt, R e Alves, V. M., 1995.
- n° 7 Diagramas V no Ensino de Física.  
Moreira, M. A., 1996.
- n° 8 Supercondutividade – Uma proposta de inserção no Ensino Médio.  
Ostermann, F., Ferreira, L. M. e Cavalcanti, C. H., 1997.
- n° 9 Energia, entropia e irreversibilidade.  
Moreira, M. A., 1998.
- n°10 Teorias construtivistas.  
Moreira, M. A., e Ostermann, F., 1999.
- n°11 Teoria da relatividade especial.  
Ricci, T. F., 2000.
- n°12 Partículas elementares e interações fundamentais.  
Ostermann, F., 2001.
- n°13 Introdução à Mecânica Quântica. Notas de curso.  
Greca, I. M. e Herscovitz, V. E., 2002.
- n°14 Uma introdução conceitual à Mecânica Quântica para professores do ensino médio.  
Ricci, T. F. e Ostermann, F., 2003.
- n°15 O quarto estado da matéria.  
Ziebell, L. F. 2004.
- v.16, n.1 Atividades experimentais de Física para crianças de 7 a 10 anos de idade.  
Schroeder, C., 2005.
- v.16, n.2 O microcomputador como instrumento de medida no laboratório didático de Física.  
Silva, L. F. da e Veit, E. A., 2005
- v.16 n.3 Epistemologias do Século XX  
Massoni, N. T., 2005.
- v.16 n.4 Atividades de Ciências para a 8ª série do Ensino Fundamental: Astronomia, luz e cores  
Mees, A. A.; Andrade, C. T. J. de e Steffani, M. H., 2005.
- v.16 n.5 Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein  
Wolff, J. F. de S. e Mors, P. M., 2005.

v.16 n.6 Trabalhos Trimestrais: pequenos projetos de pesquisa no ensino da Física  
Mützenber, L. A., 2005.

v.17 n.1 Circuitos elétricos: novas e velhas tecnologias como facilitadoras de uma aprendizagem  
significativa no nível médio  
Moraes, M. B. dos S. A. e Ribeiro-Teixeira, R. M., 2006.