

# MÓDULO 1

Material do professor

CENTRO UNIVERSITÁRIO FRANCISCANO

Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física e de Matemática

Área de Concentração: Ensino de Física

## **PLANEJAMENTO DIDÁTICO-PEDAGÓGICO**

**segundo o Modelo Metodológico dos Três Momentos Pedagógicos (TMP)**

### **MÓDULO DIDÁTICO 1** **ELETRODINÂMICA**

Tópicos do Módulo: **CORRENTE ELÉTRICA**

**RESISTÊNCIA ELÉTRICA**

**LEI DE OHM**

**POTÊNCIA ELÉTRICA**

**RENDIMENTO**

**EFEITO JOULE**

Número Total de Aulas Previstas: 15 HORAS-AULA

### **Orientações ao professor**

Este material traz uma proposta metodológica descrita através de módulos didáticos que tem como objetivo auxiliar o professor no ensino de eletrodinâmica para alunos de um curso técnico em Agropecuária integrado ao Ensino Médio, contribuindo para uma aprendizagem de Física, que realmente tenha significado para os alunos, relacionando-a com sua formação técnica e sua vida no meio rural.

Entendemos que, cada professor tem a liberdade de adaptar as atividades propostas a sua realidade em sala de aula, assim, este material não necessita ser utilizado na sua integridade e totalidade, pois como foi dito, serve apenas como um auxílio ao docente.

O módulo foi produzido de forma contextualizada com a realidade de vida do aluno de um curso técnico em Agropecuária e com a sua formação profissional, seguindo orientações dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs).

Na sequência de cada conteúdo, são apresentados textos simples desses conteúdos, com linguagem acessível, mas com o rigor necessário à abordagem da disciplina científica. Apresentamos, como complemento, algumas notas (papiros), junto aos textos, para que o aluno conheça um pouco mais sobre o assunto estudado.

No final, encontra-se um conjunto de exercícios e problemas referentes ao conteúdo visto e contextualizados com o curso técnico em Agropecuária.

Os tópicos foram desenvolvidos baseando-se em consultas bibliográficas a livros, trabalhos científicos e normas técnicas.

É de suma importância que o professor atente para as palavras e termos técnicos utilizados, visto que se trata de um curso profissionalizante e esse tipo de abordagem pode gerar algumas dúvidas nos alunos.

**CONTEÚDOS CONCEITUAIS:**

- \* Definição de Corrente elétrica;
- \* Classificação das Correntes Elétricas: contínua e alternada;
- \* Resistência Elétrica e resistividade;
- \* Lei de Ohm;
- \* Potência Elétrica;
- \* Rendimento;
- \* Efeito Joule.

**CONTEÚDOS PROCEDIMENTAIS:**

- \* Dar sua opinião e ideias nos questionamentos feitos pelo professor;
- \* Ler com atenção os enunciados e entender o motivo do conteúdo apresentado;
- \* Observar e interpretar fenômenos presentes no cotidiano e na prática profissional em Agropecuária que envolvam conceitos de eletrodinâmica;
- \* Relacionar os equipamentos agrícolas e máquinas que envolvam eletrodinâmica no seu funcionamento;
- \* Diferenciar os tipos de corrente elétrica;
- \* Compreender a ação da corrente elétrica nos equipamentos e máquinas agrícolas;
- \* Identificar no cotidiano do técnico em Agropecuária, a ação da corrente, potência e resistência elétrica;
- \* Identificar os níveis da corrente elétrica que podem afetar o corpo humano e animais domésticos;
- \* Verificar as relações existentes entre as grandezas elétricas;
- \* Saber calcular o rendimento de uma máquina;
- \* Definir estratégias para a resolução de problemas;
- \* Identificar e classificar as variáveis dadas nos problemas;
- \* Argumentar sobre os conteúdos conceituais de eletrodinâmica;
- \* Interpretar gráficos e representar dados.

**CONTEÚDOS ATITUDINAIS:**

- \* Respeitar as opiniões e concepções das outras pessoas;
- \* Participar e cooperar nos trabalhos em equipe;
- \* Assumir as responsabilidades inerentes ao profissional técnico em Agropecuária;

**COMPETÊNCIAS:**

- \* Fazer uso de linguagem científica, dominando a norma culta da Língua Portuguesa;
- \* Selecionar, organizar, interpretar dados e informações, representados de diferentes formas, para tomar decisões e enfrentar situações-problema;
- \* Relacionar informações para construir argumentação consistente;
- \* Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade;
- \* Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

**HABILIDADES:**

- \* Compreender os conceitos de corrente, potência e resistência elétrica;
- \* Saber diferenciar os tipos de correntes elétricas;
- \* Identificar situações do nosso cotidiano que envolvam conceitos de eletrodinâmica;
- \* Compreender as relações entre os conceitos de potência, resistência e corrente elétrica;
- \* Transferir estas relações para situações da vida cotidiana e da área agrícola;
- \* Relacionar informações para interpretar selos e manuais de instalação/manuseio de aparelhos ou sistemas tecnológicos de uso comum;
- \* Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências, como textos, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica;
- \* Utilizar leis físicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da eletrodinâmica.

## DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

### **PRIMEIRO MOMENTO PEDAGÓGICO: PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL (1 hora-aula)**

Este primeiro momento tem como objetivo a contextualização e a problematização do tema a ser abordado.

Nesta etapa, as questões apresentadas pelo professor visam ter uma ideia dos conhecimentos prévios trazidos pelos estudantes.

Para dar início, propõe-se que o professor exponha um texto introdutório que servirá como âncora para o processo de aprendizagem, como as sugestões de leitura 1 e 2 sobre cercas elétricas, expostas na sequência.

Uma vez escolhido e lido o texto introdutório, o professor deve apresentar questões problematizadoras aos alunos, que instiguem os seus conhecimentos.

Para exemplo, propõe-se as questões a seguir, baseadas nas sugestões de leitura 1 e 2:

- *O que se entende por corrente elétrica?*
- *Em que circunstâncias um técnico em agropecuária pode presenciar efeitos da corrente elétrica?*
- *Rede elétrica 110 V e 220 V. Bateria de 12 V. O que isso significa?*
- *Por que a cerca elétrica necessita de aterramento?*
- *Ao encostar-se na cerca, por que um animal ou uma pessoa não morre eletrocutada com um choque de 9 mil volts, sendo que um choque de 220 V pode ser fatal?*



O professor deve deixar que os alunos discutam as questões entre si, tentando apreender as idéias que eles trazem de seu cotidiano a respeito do assunto tratado. A partir daí o professor deve ancorar-se nos conceitos que já existem na estrutura cognitiva do aluno.

Neste momento, o professor não deve se preocupar em obter respostas completas e corretas, o papel do professor é apenas lançar dúvidas, desestabilizando e instigando o aluno a adquirir outros conhecimentos que ele ainda não possui.

Sugestão 1: Texto elaborado pela autora deste trabalho.

A importância que as cercas têm nas propriedades rurais é indiscutível e conhecida por todos, sendo usadas tanto nas grandes e modernas propriedades rurais quanto naquelas menores e simples.

Devido ao incremento de novas técnicas de produção e beneficiamento de culturas, bem como o manejo de animais domésticos no meio rural, difunde-se cada vez mais o uso de cercas elétricas.

Uma cerca de arame pode se tornar elétrica (ou eletrificada) com a utilização de um dispositivo denominado eletrificador de cercas, cuja função é energizar os fios da própria cerca, projetando neles, impulsos de corrente elétrica.

Este mecanismo é muito útil em propriedades rurais, pois mantém animais cercados em uma determinada área ou pastagem, melhorando a produtividade e trazendo excelentes resultados, ao mesmo tempo em que, proporciona segurança e tranquilidade ao produtor rural ou pecuarista.

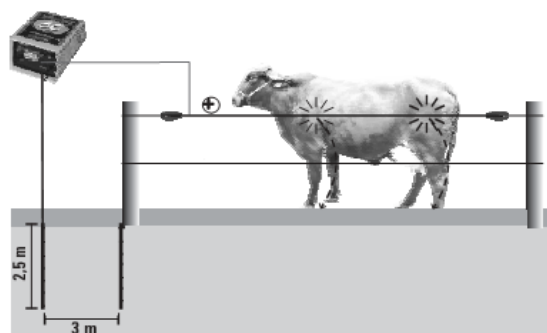
Observe os dados e o esquema a seguir, relativos a um eletrificador:

**ELETRIFICADOR DE CERCA**

**CARACTERÍSTICAS:**

- Alcance: 50 km
  - Alimentação: Rede elétrica (110 / 220 V) ou bateria 12 V (Com chave seletora).
  - Tensão de Saída: 9.000 V, aproximadamente.
  - Dimensões: C 215 mm x L 170 mm x A 95 mm
- Modelo: ZKB50 ZKB50

Fonte: <http://www.zebu.com.br/visProduto.php?cod=36>



Esquema de uma cerca elétrica rural



Sugestão 2: Texto extraído da Revista Globo Rural edição 255 – Jan/07.

[http://revistagloborural.globo.com/EditoraGlobo/componentes/article/edg\\_article\\_print/1,3916,1411724-1489-4,00.html](http://revistagloborural.globo.com/EditoraGlobo/componentes/article/edg_article_print/1,3916,1411724-1489-4,00.html)



#### Globo Rural Responde

##### Segurança por um fio

Qual o melhor tipo de cerca para confinar os animais na propriedade?

O uso de cercas adequadas pode otimizar o trabalho na fazenda e evitar acidentes com o gado. Enquanto as delimitações feitas com arame liso são indicadas para áreas maiores de pasto e as de arame farpado expõem o rebanho a ferimentos que podem desvalorizar o couro ou trazer doenças, a cerca eletrificada mostra-se como a melhor alternativa para dividir uma área em piquetes.

No entanto, algumas regras devem ser obedecidas para a construção de uma cerca eletrificada segura. Em criações de bois, búfalos, cavalos e porcos adultos, usam-se um ou dois fios de arame liso, fixados através de isoladores (veja as figuras ao lado) em mourões de madeira, que devem estar distantes cerca de dez metros uns dos outros.

No caso dos bovinos, o primeiro fio deve estar a 80 centímetros do solo e o segundo, a 45 centímetros. É necessário isolá-los para evitar que encostem no suporte. Isso pode ser feito com um pneu velho cortado ou mesmo um isolante específico, vendido em lojas especializadas.

Um aparelho eletrificador, equipamento que transforma a energia elétrica e provoca uma descarga mais suave, deve ser instalado em local protegido (um estábulo, por exemplo) e ter acesso a uma tomada de 110V ou 220V.

Desse equipamento saem dois fios: um será ligado à cerca; o outro é o fio de terra - constituído por uma peça de metal que deve ser enterrado no solo a um metro de profundidade. É conveniente que o produtor cuide para que o capim não toque no arame, pois isso acarreta perda de energia.

O custo estimado de uma cerca eletrificada gira em torno de um real por metro. No caso da divisão com arame liso não eletrificado, o valor sobe para três reais o metro, já que são necessários quatro linhas de fios. Para as cercas com arame farpado, o custo é de quatro reais o metro.

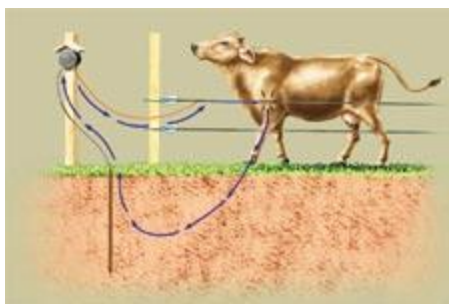
Continua na próxima página.



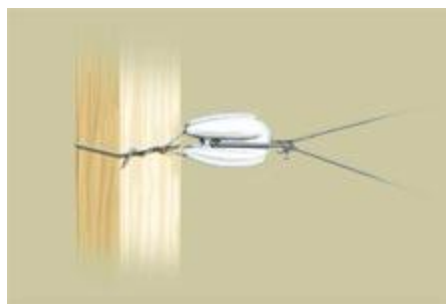


### Livre de perigos

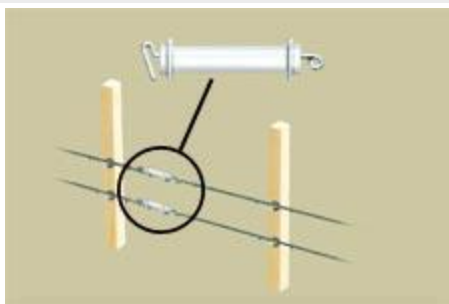
Veja os detalhes de funcionamento e os materiais mais seguros para a montagem da cerca eletrificada:



1 - A corrente elétrica é conduzida pelo eletrificador até a cerca, toca o animal e volta ao aparelho por meio do aterramento



2 - Isolador de canto, tipo castanha



3 - Punhos isolantes, usados nas porteiras



4 - Isolador convencional, tipo roldana

## **SEGUNDO MOMENTO PEDAGÓGICO: ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO (10 horas-aula)**

É neste momento que o professor deve buscar acrescentar novos conhecimentos na estrutura cognitiva do aluno, a fim de que se consiga obter a compreensão das problematizações colocadas inicialmente.

Sendo assim, o professor deverá fazer sua exposição didática, organizada sistematicamente, contextualizando-as com a realidade do aluno, de forma a facilitar o entendimento dos assuntos inerentes à eletrodinâmica, e utilizando para isso, as mais diversificadas atividades didático-pedagógicas.

Para a aula expositiva do professor, sugerem-se os textos a seguir, elaborados pela autora deste trabalho, os quais, sempre que possível apresentam uma abordagem interdisciplinar e contextualizada com a agropecuária.

### **1 Corrente elétrica**

O termo "corrente elétrica" tem origem no princípio de uma antiga ideia de que a eletricidade tinha as propriedades de um fluido e que poderia escoar como tal, sendo canalizada por materiais especiais. (vide anexo 1)

#### **1.1 Movimento de cargas**

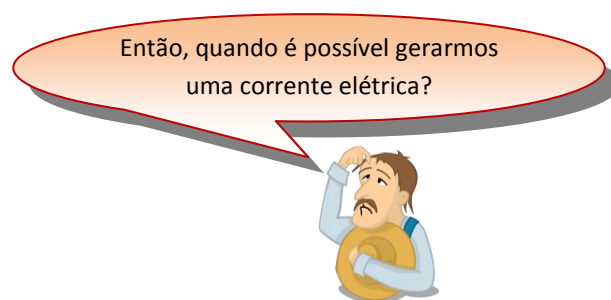
Nas substâncias, de qualquer composição, tanto na forma sólida, líquida ou gasosa, as cargas positivas, que são os prótons, se concentram no núcleo dos átomos enquanto que as negativas, os elétrons, se localizam na região periférica dos átomos, chamada de eletrosfera. Os prótons possuem um pequeno estado de movimentação ao redor de sua posição, mas os elétrons, devido à grande região em que se encontram, podem apresentar um maior grau de movimentação. Um estudo mais criterioso dos movimentos das partículas atômicas pode ser feito somente com conhecimento de Física Moderna, utilizando ainda, como ferramenta, matemática avançada, o que não é objetivo desse material.

Mas será que todo movimento de cargas produz uma corrente elétrica?



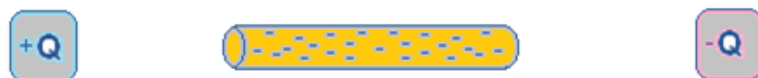
Suponhamos que uma pedra esteja sobre uma mesa. Se deslocarmos a pedra para outra parte da mesa, movimentamos todos os elétrons e prótons do objeto em questão, ao mesmo tempo. Da mesma maneira, quando a água está fluindo em uma mangueira, existe um fluxo de elétrons, juntamente com outro de prótons, ambos com mesma intensidade.

Nas duas situações hipotéticas citadas, os dois fluxos de cargas "acompanham" as moléculas dos corpos em movimento (a pedra e a água), não gerando nenhuma carga elétrica resultante não nula, ou seja, não existe **corrente elétrica** em nenhuma das situações.



Sabe-se que tanto as ligas metálicas quanto os metais puros possuem elétrons livres, ou seja, elétrons que estão fracamente "aderidos" aos seus átomos, podendo assim se mover ao longo do material. Também vimos que existe uma interação (força) entre cargas elétricas: cargas de mesmo sinal se repelem e de sinais diferentes se atraem.

Então pensamos no seguinte: Sejam dois corpos eletrizados, um com uma carga  $+Q$  e outro com carga  $-Q$  e um fio condutor, dispostos de maneira que as cargas ( $+Q$  e  $-Q$ ) não afetem os elétrons do condutor com seus campos elétricos, conforme a figura:



Se realmente o fio estiver fora do alcance das cargas  $+Q$  e  $-Q$  (fora da ação do campo das cargas), nada acontecerá aos portadores de carga do condutor. Entretanto, o que acontecerá com os elétrons do fio quando aproximamos as cargas em suas extremidades, sem tocá-las?



Nessa situação supomos que todo o condutor esteja mergulhado no campo elétrico formado pela configuração de  $+Q$  e  $-Q$ . Dessa maneira, o campo elétrico atua em todas as

cargas constituintes do condutor e, no caso dos elétrons livres, os "empurra" para a extremidade que está próxima da carga +Q, através da relação (vide anexo 1):

$$\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}_R$$

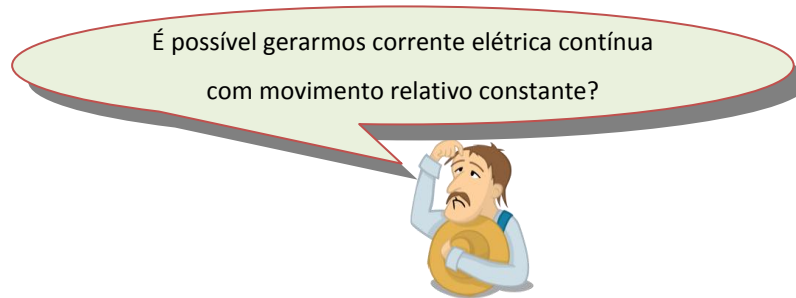
onde  $\vec{F}_E$  é a força elétrica que atua em cada portador de carga  $q$  sob a ação do campo elétrico resultante  $\vec{E}_R$ , gerado por +Q e -Q. Vale lembrar que em condutores metálicos, os portadores de carga são os próprios elétrons livres. Em outras palavras, podemos afirmar que +Q atrai os portadores ao mesmo tempo em que, -Q os repele.

Então, no instante da aproximação das cargas ao fio, os portadores, ao se acumularem na extremidade, produzem um movimento relativamente ordenado, num único sentido, gerando assim uma **corrente elétrica**, pois ocorre um movimento resultante de cargas não nulas. Se deixarmos as cargas fixas, sem tocar nas extremidades do condutor, os elétrons, após se acumularem na extremidade do campo positivo (+Q), irão permanecer em relativo repouso (apenas agitados em função da temperatura), cessando a corrente.

## 1.2 Classificação das correntes elétricas

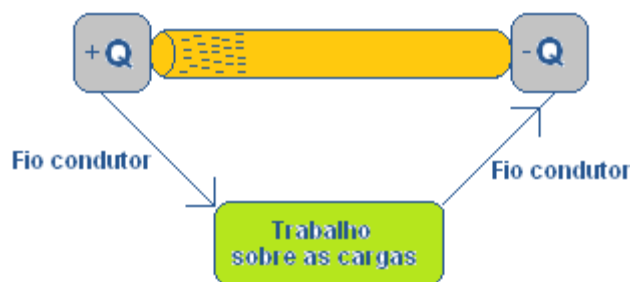
Considerando os mesmos esquemas anteriores, um fato curioso ocorre quando tivermos um sistema que permite alternarmos os sinais das cargas, em cada extremidade do condutor, ao mesmo tempo. Em cada alternância, surge um movimento relativamente ordenado na direção do campo elétrico positivo, mas como que o seu sentido (do campo elétrico) varia com o tempo, surge assim uma corrente elétrica que igualmente varia seu sentido, mantendo a direção (que é ao longo do condutor); esta corrente é chamada de **corrente alternada**. Por outro lado, durante cada alternância, ao movimento ordenado em uma única direção daremos o nome de **corrente contínua e não constante**.

De uma maneira simplificada, podemos considerar uma corrente alternada como uma sucessão de correntes contínuas não constantes. O motivo do termo "não constante" deve-se ao fato de que os elétrons livres, antes em repouso relativo, iniciam um movimento em uma única direção, no sentido do campo positivo, até se acumularem e novamente ficam em movimento relativo médio nulo; executam nesse instante um movimento acelerado (não constante) num único sentido.



Vamos pensar numa situação em que as cargas  $+Q$  e  $-Q$  tocam o condutor. Grande parte dos elétrons livres irá se transferir para  $+Q$ , mas o movimento também irá cessar após o sistema (cargas  $+Q$  e  $-Q$  mais o condutor) atingir o equilíbrio eletrostático.

Uma tentativa de solucionar o problema do equilíbrio eletrostático seria conectar as cargas  $+Q$  e  $-Q$  com outro fio condutor, para transportar as cargas acumuladas em  $+Q$  até  $-Q$ . Contudo, o novo condutor teria que fornecer trabalho aos portadores acumulados para "vencer" a força repulsiva da extremidade que contém a carga negativa. Apenas um fio não poderá realizar esse trabalho, mas um dispositivo chamado **gerador** pode fazer esse deslocamento de cargas, como representado pela figura abaixo:



Dessa maneira, com o gerador conectado a um condutor, podemos finalmente produzir uma corrente contínua e constante, simplesmente chamada de **corrente contínua**, ou seja, um movimento ordenado de cargas com direção e sentido constantes e movimento relativamente uniforme.

Em outras palavras, gerador, ou fonte, é um dispositivo que tem a capacidade de fornecer trabalho aos portadores de carga de um circuito, quando nele conectado. Temos então:

$$T_{F_e} = q(V_A - V_B)$$

onde  $T_{F_e}$  é o trabalho realizado sobre os portadores de cargas  $q$ , para movimentá-los de uma posição A para a posição B, e  $(V_A - V_B)$  representa a diferença de potencial (ddp) que o

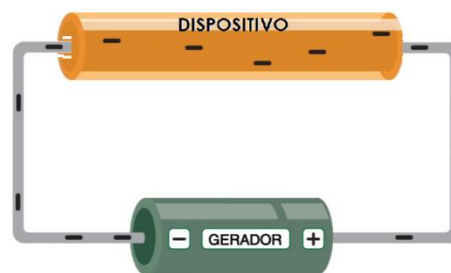
gerador promove em seus pólos. O gerador, portanto, submete os dispositivos a ele conectados à ação de uma ddp.

Considerando-se,  $T_{F_e} = 1 \text{ joule}$  e  $q = 1 \text{ coulomb}$ , tem-se:

$$1 \text{ joule} = 1 \text{ coulomb} (V_A - V_B)$$

$$(V_A - V_B) = 1 \text{ volt (símbolo V)}$$

Modificando nosso sistema para uma configuração composta por um dispositivo elétrico qualquer conectado a um gerador através de fios condutores, podemos então introduzir um novo conceito, **circuito elétrico fechado**, conforme ilustrado na figura a seguir:



- Esquema simplificado de um gerador alimentando um circuito.

Uma ligação conforme a representação da figura anterior é chamada de circuito fechado porque é condição necessária para se promover uma corrente elétrica num sistema, ou seja, para que um gerador induza uma corrente num circuito é necessário que seus pólos estejam conectados pelos condutores aos dispositivos. Isto gera um caminho único (fechado) para os portadores, formando uma espécie de laço em um único sentido para a corrente contínua ou sentido alternado para corrente alternada.

Até agora fizemos alusão a geradores que impulsionam os portadores de carga num único sentido, chamados de geradores de corrente contínua (cc). Como exemplo, temos as pilhas e baterias. Existem outros tipos de geradores, os quais produzem corrente alternada, como os existentes nas usinas hidrelétricas, por exemplo.



Em pilhas ou baterias, os pólos são geralmente simbolizados pelos sinais + e - (pólo positivo e negativo, respectivamente). Mais adiante abordaremos com maiores detalhes o estudo de geradores e circuitos elétricos.

Aqui, pode ser feito uma rápida demonstração de um circuito fechado, como o do esquema simplificado, utilizando uma pilha, um dispositivo elétrico qualquer e fios condutores, facilitando assim a visualização por parte dos alunos.

Para complementar a exposição didática, sugere-se que o professor solicite aos alunos a leitura do texto *Corrente contínua x Corrente alternada* do livro *Compreendendo a Física*, Volume 3, ed. Ática, 2011, 1ª edição, capítulo 10, p. 268 e 269, do autor Alberto Gaspar e faça uma discussão a respeito.

### 1.3 Velocidade dos elétrons

O deslocamento dos elétrons de condução em um condutor, sem ação de campos elétricos externos, é randômico e ocorre em todas as direções e sentidos, forçados basicamente pela agitação térmica do material, cuja velocidade de cada partícula gira em torno de  $10^6$  m/s, entretanto o movimento relativo da "nuvem" eletrônica é praticamente nulo. Embora sejam chamados de "livres", os elétrons não se deslocam ao longo de todo o material espontaneamente, pois não há uma força para tal, produzindo apenas deslocamentos aleatórios em escala de poucos raios atômicos.

Então, quando se submete o condutor a uma diferença de potencial, ou seja, colocá-lo sob a ação de um campo elétrico externo, ocorre um sensível deslocamento da nuvem eletrônica em direção ao pólo positivo. Muitos autores denominam esse deslocamento de "movimento relativamente ordenado", mas o mais adequado é dizer que as partículas passam a apresentar uma **velocidade de deriva (ou de arraste) média**, pois continuam com o movimento aleatório, porém com um pequeno deslocamento resultante. O valor da velocidade de deriva depende da composição química do condutor e da intensidade da tensão a que foi submetido, mas fica em torno de  $10^{-4}$  m/s, ou seja, para efeito de comparação, ela é muito menor que a velocidade do movimento randômico. Esse deslocamento de deriva, embora seja muito pequeno, é o movimento que caracteriza a corrente elétrica.

### 1.4 Definição de Corrente elétrica

Consideremos agora um condutor que esteja sendo percorrido por um fluxo de portadores de carga. Por definição, corrente elétrica refere-se à quantidade de carga que atravessa a seção transversal do condutor, por unidade de tempo. Então:

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

onde  $\Delta Q$  é a variação da quantidade de cargas (em coulomb, no S.I.) no intervalo de tempo  $\Delta t$  (em segundos, no S.I.) e  $i$  é a medida da corrente elétrica cuja unidade no S.I. é o coulomb por segundo  $\left(\frac{C}{s}\right)$ , que também é chamada de ampère, simbolizada por “A”.

Embora movimentos ordenados de cargas elétricas possam ocorrer em vários tipos de materiais (ou meios), consideraremos aqui em nossos estudos somente os que ocorrem em materiais condutores metálicos, cujos portadores são elétrons.

Aqui o professor pode falar a respeito do movimento de íons no solo e nutrição de plantas, trabalhando em conjunto com o professor da disciplina de solos.

#### **Sugestão experimental:**

Sugere-se um experimento simples, utilizado em laboratórios de análise de solo, que mostra que a terra (solo) diluída em água também pode conduzir corrente elétrica.

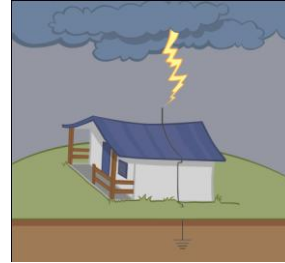
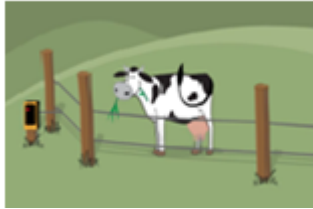
Material necessário: pilhas, fio cabinho, lâmpada com suporte, recipiente, água, terra seca e sal.

Essa propriedade que o solo úmido possui, de conduzir cargas elétricas, permite a utilização do fio terra, o qual serve para eliminar possíveis cargas eletrostáticas armazenadas nos dispositivos elétricos. Essas cargas armazenadas podem dar choque nas pessoas e até mesmo causar danos em alguns aparelhos elétricos, motivo pelo qual alguns fabricantes exigem o aterramento para que a garantia do produto seja efetivada. Essa capacidade também explica o funcionamento dos pára-raios.

Uma boa sugestão para fixação do conteúdo é a apresentação do vídeo “Por que instalar o fio terra?” encontrado no site <http://www.youtube.com/watch?v=JE3gPwCnRIw>.



Obs.: Quando mencionamos “fio terra”, estamos nos referindo a todo tipo de conexão entre o solo e um aparelho qualquer que sirva para dissipar energia eletrostática, podendo ser, por exemplo, o aterramento de um chuveiro elétrico, de uma cerca ou até mesmo de pára-raios.



Para contextualizar, uma boa sugestão de leitura aos alunos é o Caderno didático "Cercas elétricas" dos professores Rubi Münchow & Eurico G. de Castro Neves, do Centro das Engenharias da UFPEL, anexo 2 deste material.

## 2 Resistência elétrica

Para que ocorra corrente elétrica em um condutor é necessário que exista uma ddp (ou tensão elétrica) entre suas extremidades, porém, objetos aparentemente idênticos submetidos à mesma ddp podem ser percorridos por correntes elétricas de valores diferentes. Esse fenômeno é extremamente importante no estudo da eletricidade, pois se trata de uma característica própria do objeto, chamada de **resistência elétrica**.

Para determinarmos o valor da resistência de um objeto, submetemo-o a uma tensão elétrica ( $U$ ) e medimos a corrente “ $i$ ” nele induzida. Desta forma, definimos a resistência “ $R$ ” do referido objeto como sendo:

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

No sistema internacional a unidade para a resistência é o volt por ampère, também chamada de **ohm**, simbolizada por “ $\Omega$ ”.

Esta razão entre ddp e corrente elétrica, para definir resistência, foi proposta em 1826 pelo alemão Georg Simon Ohm (1787-1854). Embora seja uma formulação simples, sua utilização é válida até os dias de hoje, sendo uma importante ferramenta para as engenharias agrárias, pois além do estudo de eletrodinâmica, é aplicada analogamente tanto nas explicações do movimento de solutos a partir dos potenciais hídricos, quanto na compreensão dos processos térmicos do solo e das plantas.

A resistência é uma grandeza própria do objeto condutor, ou seja, depende do seu formato e composição química. Na sequência deste conteúdo, quando mencionarmos o termo "condutores elétricos" estaremos nos referindo a materiais que possuam composição/distribuição de massa uniforme e formas regulares simétricas, exatamente como os fios condutores que encontramos no comércio. Considerando justamente esse tipo de material, experimentalmente se observam os seguintes fatos:

- A resistência ( $R$ ) é diretamente proporcional ao comprimento ( $L$ ) do condutor. Interpretação: utilizando-se condutores com mesmo material e espessura e ainda sob mesma ddp, quanto mais longo o fio, menor é o valor da corrente elétrica ( $i$ ) nele induzida.
- A resistência é inversamente proporcional à área ( $S$ ) da seção transversal do condutor. Interpretação: utilizando-se condutores com mesmo material e comprimento e ainda sob mesma ddp, quanto mais espesso o fio, maior é o valor da corrente elétrica nele induzida.

Com essas duas considerações, temos a seguinte relação de proporção:

$$R \propto \frac{L}{S}$$

O termo "proporção" surge porque a resistência é efetivamente proporcional, e não exatamente igual, à razão  $\frac{L}{S}$ . A igualdade não ocorre justamente devido à composição química do condutor, a qual interfere diretamente na sua capacidade de conduzir a corrente elétrica.

Para descrevermos a resistência elétrica como dependente da composição do material, reescreve-se a relação com um parâmetro de proporcionalidade:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

onde  $\rho$  é chamado de **resistividade elétrica**, cuja unidade no S.I. é  $\Omega \cdot m$ .

Experimentalmente se observa que a resistividade e, por consequência, a resistência se modificam perante variações térmicas do material condutor. Nos metais, em geral, perante um intervalo de aproximadamente  $100^\circ C$ , ao redor da temperatura ambiente, a variação da resistividade é relativamente linear e pode ser representada pela equação

$$\rho(T) = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

onde  $\rho_0$  é a resistividade para uma temperatura de referência  $T_0$ , geralmente  $20^\circ C$ , e  $\alpha$  é chamado de coeficiente de temperatura do material.

**Sugestão experimental:**

Objetivo: Medir a resistência de alguns materiais.

Material necessário: fios condutores (de diversos comprimentos e espessuras) e um multímetro.

Com este experimento, o aluno terá condições de identificar e escolher os materiais condutores mais indicados em uma edificação rural e, ajudar no planejamento e projeto de instalações elétricas das mais diversas situações que podem surgir no meio rural.

A seguir, apresenta-se uma tabela com valores de resistividade e coeficiente de temperatura de alguns materiais, ao redor da temperatura ambiente (20 °C).

Tipo de material	Substância/composição	$\rho(\Omega.m)$	$\alpha \left[ (^{\circ}C)^{-1} \right]$
Condutores tipo I: (Ligas puras)	Prata	$1,47.10^{-8}$	0,00038
	Cobre	$1,72.10^{-8}$	0,00393
	Ouro	$2,44.10^{-8}$	0,0034
	Alumínio	$2,75.10^{-8}$	0,0039
	Tungstênio	$5,25.10^{-8}$	0,0045
	Ferro	$10,0.10^{-8}$	0,0050
	Chumbo	$22,0.10^{-8}$	0,0043
	Mercúrio	$95,0.10^{-8}$	0,00088
Condutores tipo II: (Ligas compostas)	Manganina * (Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%)	$44,0.10^{-8}$	$0,002.10^{-3}$
	Constantan (Cu 60%, Ni 40%)	$49,0.10^{-8}$	$1.10^{-5}$
	Nicromo **	$100.10^{-8}$	0,0004
Semicondutores ***	Carbono puro (grafita)	$3,5.10^{-5}$	- 0,0005
	Germânio	0,60	- 0.048
	Silício	2300	- 0.075
Isolantes	Âmbar	$5.10^{14}$	
	Vidro	$10^{10} - 10^{14}$	
	Quartzo fundido	$75.10^{16}$	
	Madeira	$10^8 - 10^{11}$	

\* É uma liga criada especialmente para ter um baixo valor da constante  $\alpha$ .

\*\*O nicromo é uma liga metálica composta basicamente por 15%-25% de Cr e 19-80% de Ni, com adição, às vezes, de ferro. É um material que suporta temperaturas elevadas.

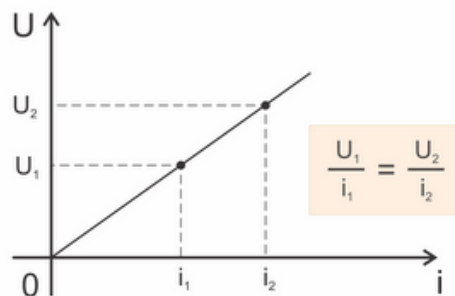
\*\*\* Os semicondutores possuem a propriedade de diminuir a resistência elétrica com aumento de temperatura, por isso o sinal do coeficiente é negativo.

Obs.: Os dados da tabela foram confeccionados a partir do livro do Young & Freedman (2008), p. 140 e 141.

## 2.1 Lei de Ohm

Dependendo da composição, muitos materiais condutores podem apresentar valores diferentes para a resistência quando submetidos a diferentes valores de tensão elétrica. Entretanto, existe um grupo especial de condutores que mantém constante a resistência, para uma faixa considerável de tensão. Tais materiais são chamados de condutores ôhmicos e um bom exemplo são os fios utilizados nas instalações elétricas.

Para materiais ôhmicos, o gráfico corrente versus tensão ( $i \times U$ ) deve gerar uma reta, cujo coeficiente angular é o valor da resistência do próprio material. A essa linearidade do gráfico dá-se o nome de **Lei de Ohm**, e pode ser visualizada no gráfico a seguir.



Em outras palavras, um condutor é considerado ôhmico quando a sua resistividade independe da intensidade e polaridade, da diferença de potencial nele aplicado.

### Sugestão experimental:

Para se aplicar e comprovar a lei de Ohm, pode se realizar um experimento que simula uma situação muito utilizada por agricultores em locais com baixas temperaturas: com o decorrer do tempo, as baterias automotivas vão perdendo sua capacidade de armazenar cargas, além do mais, os motores a diesel com seu uso prolongado vão ficando “pesados” para entrar em funcionamento, principalmente no inverno.

Esse fato faz com que o motor de arranque dos maquinários fique mais tempo acionado, acarretando uma sobrecarga na bateria, que muitas vezes a descarrega antes mesmo do motor a combustão entrar em funcionamento.

Uma solução que o operador da máquina encontra é acoplar duas baterias, fato que pode induzir uma ddp de 24 V nos terminais do motor de partida.

O experimento consiste em verificar se a resistência elétrica dos condutores de cobre internos do referido motor possui os mesmos valores tanto sob tensão de 12 V (uma única bateria) quanto de 24 V (duas baterias acopladas).

O inconveniente desse experimento é a necessidade de se possuir um motor disponível para retirada de um pedaço do condutor ou deslocar-se até uma autoelétrica especializada.

Em razão de apenas dois valores de ddp (12 e 24 volts) serem insuficientes para verificar se realmente os condutores dos motores de arranque são ôhmicos, aconselha-se também submetê-los a outros valores de tensões, tais como as geradas por pilhas domésticas.

A partir de cada valor de corrente medida, associada à ddp que a induziu, traça-se um gráfico ( $U \times i$ ). Se esses pontos obtidos gerarem uma reta, então o condutor é ôhmico.

## 2.2 Valores nominais

Embora sejam construídos para trabalharem em um valor específico de tensão, uma boa parte dos aparelhos elétricos tem uma tolerância de valores de ddp para operarem.

Por exemplo, um liquidificador que foi produzido para operar em 220 volts é projetado para suportar uma faixa de tensão, tipo 190 a 250 volts, dependendo do fabricante. O que ocorre é que a potência também varia com a oscilação da tensão, portanto, aqueles valores que vêm nas etiquetas de especificações dos aparelhos, fornecidos pelo fabricante, são chamados de **valores nominais**.

Em outras palavras, os valores de potência e corrente nominais são aqueles obtidos quando o aparelho estiver operando num valor específico de tensão (tensão nominal), embora possa suportar uma faixa de valores de ddp sem sofrer danos.

Certos dispositivos, como televisores e monitores de computadores, possuem seletores automáticos, os quais mantêm a potência estável do aparelho perante variações de tensão.

### 2.3 Tensão de pico e tensão eficaz

Um fato relevante a ser considerado é que a tensão e a corrente elétrica de nossas residências são alternadas, portanto essas grandezas variam periodicamente entre um valor mínimo e máximo, numa frequência de 60 Hz; em alguns países como o Uruguai, a frequência da rede é 50 Hz.

Então o que significa 110 ou 220 volts, se a tensão varia?

Na realidade, tanto o valor 220 quanto 110, usual nas residências de nosso país, são chamadas de tensão eficaz, ou seja, é um valor de referência, como se houvesse um gerador de tensão contínua, alimentando as residências.

A tensão eficaz também é chamada de tensão RMS (do inglês *Root Mean Square*), devido ao processo matemático de obtenção dos valores 220 V ou 110 V, que em português é denominado "valor quadrático médio".

A relação entre os valores da tensão máxima ou tensão de pico, e a tensão RMS é dada por:

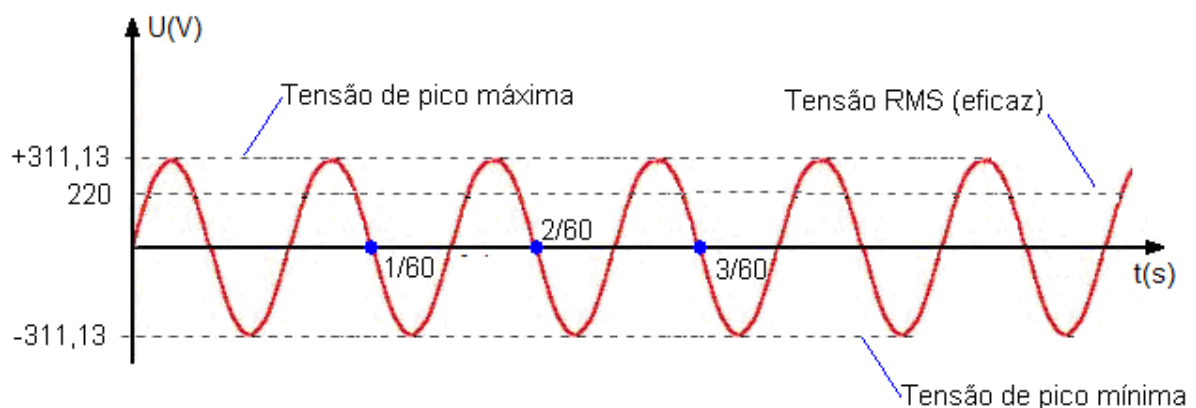
$$T_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2}} T_{pico}$$

onde  $T_{RMS}$  e  $T_{pico}$  são as tensões eficaz e a tensão máxima, em módulo.

Igualmente, a corrente induzida nos circuitos, bem como os valores descritos nos manuais dos aparelhos elétricos, refere-se também a valores de corrente eficaz.

Nos geradores CC a tensão é constante, portanto não tem significado utilizarmos o termo tensão RMS para baterias ou pilhas, por exemplo.

O gráfico abaixo simula a representação de uma rede elétrica doméstica cuja tensão RMS é 220 volts.



No exemplo podemos verificar que a frequência  $f$  da rede é 60 Hz, pois:

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{1/60} = 60$$

onde o  $\tau$  é período da oscilação da rede, ou seja, é o tempo gasta para um ciclo completo.

A diferença de potencial entre as tensões de pico mínima e máxima (-311,13 V e +311,13 V, respectivamente), chamada de tensão de pico a pico ( $T_{pp}$ ) é dada por:

$$T_{pp} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot T_{RMS}$$

$$T_{pp} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 220$$

$$T_{pp} \cong 622,25V$$

A grosso modo, poderíamos dizer que uma pessoa ao levar um choque numa tomada doméstica CA, de 220 volts RMS, sofreu na realidade efeitos de uma ddp de pouco mais de 622 volts, que é a diferença entre os valores máximos e mínimos, de pico, mas sofreria o mesmo efeito se o acidente fosse com um gerador de 220 volts de corrente contínua.

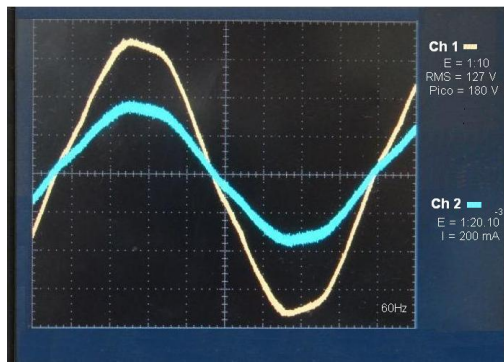
Um aparelho que mede tensões alternadas é chamado de osciloscópio. Ele possui uma tela gráfica que permite a visualização e a medida (em escalas) da curva característica da tensão, ou corrente, emitida pela fonte. Nas figuras abaixo temos:

- uma foto de um osciloscópio
- a ampliação de uma tela apresentando uma leitura dupla, para uma mesma fonte, mostrando um gráfico para a tensão e outro para corrente num resistor. Note que as duas curvas tocam o eixo horizontal nos mesmos pontos, evidenciando que, para uma mesma fonte, a tensão e a corrente devem ter a mesma frequência.

a)



b)



No decorrer deste trabalho, faremos alusões somente à tensão eficaz. Também deve ficar claro que, embora as redes elétricas, tanto de alta tensão quanto as residenciais, sejam

todas de tensão alternada, as equações de corrente contínua são válidas, desde que se considere uma rede monofásica com valores de tensão RMS.

Como uma boa leitura para verificar essas afirmações sugere-se o Caderno de Eletromagnetismo, do Grupo de Ensino de Física da UFSM, encontrado em <http://www.ufsm.br/gef>.

## 2.4 Redes de alta tensão

Ao assistirmos os noticiários sobre tempestades é comum escutarmos frases do tipo "... fortes rajadas de vento causaram destruição na rede de alta tensão", ou então "... a queda de uma torre de alta tensão próximo ao município interrompeu o fornecimento de energia ...".

Após um breve conhecimento sobre eletricidade, que este material propõe, surge ao natural uma dúvida ao questionarmos tais notícias: se em nossas residências a tensão é 110 ou 220 volts, porque nas redes elétricas de distribuição a tensão é tão alta? Não é mais perigoso?

Vimos que a corrente elétrica pode acarretar um efeito térmico num condutor, chamado de efeito joule. Esse efeito é diretamente proporcional ao valor da resistência e ao quadrado da intensidade da corrente:

$$Q = i^2 \cdot R \cdot t$$

sendo  $t$ , o tempo que o condutor fica sob a ação da corrente.

Uma possibilidade para minimizar o efeito joule nos condutores das redes de distribuição seria reduzir a resistência elétrica dos fios aumentando a espessura dos condutores, mas isso aumentaria muito os custos com material e os tornaria muito pesados. Outra possibilidade é reduzir o valor da corrente, mas para isso não acarretar perda na capacidade da oferta de potência se faz necessário a elevação do valor da tensão.

Veja o exemplo a seguir.

Uma usina termoeletrica, alimentada por um grande motor a diesel, fornece energia para certa região. O motor consegue fornecer ao gerador uma potência máxima de 10000 hp. Supondo que o gerador tenha um rendimento de 100%, a potência que ele mandará para a rede distribuidora será  $7,5 \cdot 10^6$  W, fazendo a transformação aproximada de 1hp = 750W (a conversão mais real seria 1hp = 745,7W). Circuitos trifásicos não é propósito deste



trabalho, mas vamos considerar que o gerador "divida" igualmente toda a potência em três fios. Logo, se a tensão nos terminais do gerador fosse de 220 V, a corrente seria pouco mais de 11.363,6 ampères:

$$P = i.U$$

$$\frac{7,5 \cdot 10^6}{3} = i \cdot 220$$

$$i = \frac{2,5 \cdot 10^6}{220}$$

$$i \cong 11363,6A$$

Entretanto, elevando-se a tensão para  $10^5$  volts, conservando a potência, o valor da corrente fica em torno 25 ampères:

$$i = \frac{2,5 \cdot 10^6}{10^5}$$

$$i \cong 25A$$

Uma corrente na faixa dos primeiros valores calculados seria improvável de ocorrer, pois causaria um superaquecimento nos condutores a ponto de fundi-los, porém, com a tensão elevada, uma corrente máxima de 25 A é perfeitamente aceitável.

Quanto ao perigo dos choques elétricos, nesse caso o principal fator é a potência (que se conserva), e não a voltagem, portanto não mudaria muito a periculosidade da transmissão da energia elétrica, alterando-se os valores de tensão.

Esse fato também se evidencia nas cercas elétricas, as quais induzem nos fios uma tensão elevada, mas com uma corrente de valores baixíssimos, na escala de micro ampères.

A "energização" de uma cerca elétrica é realizada por um aparelho central, cujo nome técnico (ou comercial) é eletrificador, que tem por função realizar a conversão da tensão de entrada do aparelho para a tensão de saída, a qual alimentará a cerca.

A fonte alimentadora do eletrificador depende do modelo do aparelho, podendo ser uma fonte CC como pilhas ou baterias ou fonte CA, como as tomadas residenciais de 110 ou 220 volts, inclusive alguns fabricantes produzem modelos com seletores manuais, dando ao consumidor uma gama de possibilidades de funcionamento.

De acordo com as regras nacionais de segurança, o eletrificador deve produzir uma tensão de saída na escala de 10 kV, mas com uma corrente de intensidade extremamente baixa, na escala de micro ampère ( $\mu A$ ). A corrente intermitente (ou pulsante), com

intervalos na escala de segundos e pulsos com duração de milionésimos de segundos são outros dois fatores de segurança obrigatórios nesses aparelhos.

A característica pulsante da tensão tem por objetivo que a pessoa/animal não "grude" nos condutores durante o possível contato. A energia transmitida à rede eletrificada deve ficar na escala de uma dezena de joule.

### 3 Energia elétrica

Agora, antes de iniciarmos o estudo sobre energia elétrica, se faz necessária a compreensão de outro conceito físico, a potência elétrica.

Para isso, faz-se o seguinte questionamento:

Quando um agricultor compra um trator, um dos quesitos que ele busca na compra é a potência. Os vendedores ou fabricantes, muitas vezes, utilizam classificações das máquinas em termos de suas potências. Também é muito comum nos programas governamentais de incentivos fiscais ou financiamentos subsidiados, os benefícios serem mais vantajosos para máquinas de determinada "faixa de potência". Mas afinal, o que é potência elétrica?



#### 3.1 Potência elétrica

O conceito geral de potência relaciona o quanto de trabalho uma máquina ou um dispositivo, pode realizar por unidade de tempo.

Em outras palavras, é a medida da taxa temporal em que uma energia é transformada em outra.

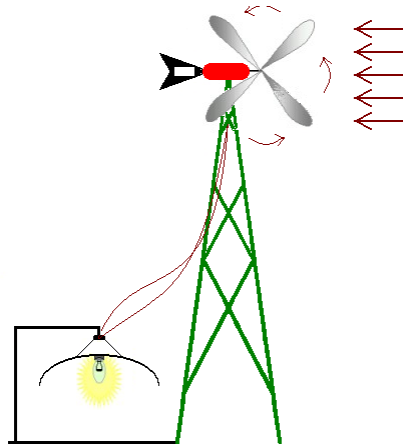
Logo:

$$P = \frac{\tau}{t}$$

onde  $\tau$  é o trabalho, em joules e  $t$  é o tempo, em segundos.

A unidade da potência no S.I. é o J/s, que também é chamada de Watt (W), ou seja,  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ .

Vamos pensar em uma incubadora ecológica (chocadeira de ovos), formada por um catavento e uma lâmpada, conforme figura a seguir:



Nesse circuito, o catavento é o gerador da eletricidade e a lâmpada, o receptor. Podemos dizer que o gerador aplica trabalho sobre os portadores de carga do circuito e estes, por sua vez, o transferem à lâmpada ou, em outras palavras, o catavento transforma a energia eólica dos ventos em outra forma de energia, a qual será transformada em energia luminosa na lâmpada. Essa energia que "conecta" o catavento à lâmpada é chamada de **energia elétrica** e está associada à existência da corrente elétrica.



Energia eólica é a energia associada ao movimento do ar, ou seja, é a energia que pode se obter através da ocorrência dos ventos.

Uma boa sugestão é o vídeo “De onde vem a energia elétrica”, disponível no endereço eletrônico:

[http://tvescola.mec.gov.br/index.php?item\\_id=2396&option=com\\_zoo&view=item](http://tvescola.mec.gov.br/index.php?item_id=2396&option=com_zoo&view=item).

Conforme estudado anteriormente, o trabalho da força elétrica sobre um portador com carga  $q$  é dado por:

$$\tau = q(V_A - V_B)$$

Voltando à equação geral para potência, agora pensando no trabalho gerado pela força elétrica, temos:

$$P = \frac{\tau}{t} = \frac{q(V_A - V_B)}{t} = \frac{qV_{ab}}{t}$$

mas como que  $\frac{q}{t}$  é, por definição, a corrente elétrica, então:

$$P = iV_{ab}$$

Sabe-se que para que ocorra corrente elétrica em um condutor é necessário que ele esteja sob uma diferença de potencial. Logo, observando a equação anterior, verificamos que a potência elétrica é diretamente proporcional ao produto entre a corrente elétrica e a diferença de potencial.

Aplicando a definição da resistência  $R = \frac{V}{i}$  na equação anterior, podemos obter duas novas relações

$$P = \frac{V_{ab}^2}{R}$$

e

$$P = i^2 R$$

Essas duas equações representam as potências dissipadas por um aparelho resistivo ôhmico de resistência R.

Sabendo-se que a potência (P) de uma máquina quantifica o trabalho ( $\tau$ ) que ela realiza por unidade de tempo, e como que trabalho é uma variação da energia ( $\Delta E$ ), temos então:

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

ou

$$\Delta E = P \Delta t$$

Trabalho e energia têm a mesma unidade, que é o joule (J) no SI, entretanto fenomenologicamente diferem, pois podemos dizer que um corpo possui uma determinada energia, mas ele não possui trabalho, apenas pode produzi-lo. O trabalho é caracterizado

quando ocorre uma variação da energia do objeto, ou seja, quando é transformada de uma forma em outra.

A equação anterior é geral, sendo válida, portanto, para descrever a energia elétrica transformada por um dispositivo qualquer, que, por simplificação reescreveremos como:

$$E = P.t$$

De outra forma, podemos dizer que a energia consumida (na realidade transformada) por um aparelho está relacionada com a sua potência e o tempo em que permanece em uso.

Entretanto quando estamos trabalhando com eletricidade, é conveniente descrevermos o tempo em horas (h) e a potência em quilowatt (kW), ficando assim, energia elétrica expressa em quilowatt-hora (kWh). Se utilizarmos as unidades do SI obteremos números muito grandes para expressar a energia consumida por um pequeno aparelho, tipo um ventilador, tornando os cálculos muito extensos. As empresas distribuidoras também utilizam o kWh, pois dessa forma o consumo médio de uma residência fica descrito na ordem de poucas centenas de kWh.

Exemplo: Determine a energia elétrica mensal consumida por uma lâmpada de 100 W que fica ligada oito horas por dia. Faça os cálculos em joules e em quilowatt-hora.

Solução:

O tempo total (em segundos) de funcionamento no mês é  $t = 8.30.3600 = 864000s$

Logo:

$$E = P.t$$

$$E = 100.864000 = 86400000J$$

Ou

O tempo total de funcionamento no mês é  $t = 8.30 = 240h$

Logo:

$$E = P.t$$

$$E = 0,1.240 = 24kWh$$

Observe que a unidade kWh é 3600000 vezes menor que a unidade joule.

Se considerarmos a incubadora e o catavento como um sistema ideal, isto é, sem dissipação de energia, a equação  $P = iV_{ab}$  representa a taxa de conversão da energia eólica em energia elétrica.

Ainda considerando um sistema ideal, pela lei da conservação da energia, a taxa de produção deve ser igual à taxa de consumo, portanto, a equação também representa a taxa de transformação da energia elétrica em luminosa, no caso da lâmpada da incubadora, mas isso vale também, para qualquer outro tipo de dispositivo que transforme energia elétrica em qualquer outra forma.

No meio rural, o catavento também é muito usado para bombear água de poço. Com a força do vento, através de suas várias pás, ele movimenta o êmbolo das bombas de água, através de um processo mecânico.

### 3.2 Rendimento

Resumidamente, podemos dizer que o rendimento de um dispositivo é a medida da sua eficiência.

Quando se estuda o rendimento de uma máquina, o mais comum é tratarmos das potências que envolvem o seu funcionamento, as quais estão basicamente classificadas em três formas distintas:

- 1) Potência útil ( $P_u$ ): é a potência que a máquina fornece ao sistema, ou seja, é o propósito da máquina;
- 2) Potência dissipada ( $P_d$ ): refere-se às perdas indesejadas, porém inevitáveis, sendo que numa mesma máquina podem coexistir várias formas de dissipação;
- 3) Potência total ( $P_t$ ): é a soma de todas as potências inerentes à máquina.

Na realidade, as potências útil e dissipada são frações da potência total. Logo:

$$P_t = P_u + P_d$$

Rendimento é o número dado pela razão:

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

Como podemos perceber, o rendimento é um parâmetro adimensional, ou seja, não possui unidade. Seu valor pode variar entre 0 (zero) ou 1 (um), assim  $0 \leq \eta \leq 1$ , e também pode ser expresso em termos percentuais.

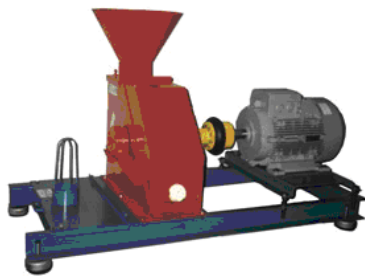
### 3.3 Energia dissipada

Referindo-nos somente aos aparelhos elétricos, podemos considerar duas principais formas de dissipação de energia:

- vibracional, em forma de sons ou vibrações na estrutura do aparelho;
- térmica, através do aumento de temperatura do aparelho devido à resistência elétrica dos condutores.

Quando ligamos um aparelho, como exemplo os trituradores de grãos para fazer ração (figuras abaixo), escutamos intensos ruídos, oriundos tanto do motor quanto da estrutura do equipamento. Também se percebe um aquecimento do motor após algum tempo de funcionamento.

Logicamente, tanto as vibrações quanto o aquecimento, têm origem na transformação indesejada da energia elétrica em outras formas e, infelizmente, é praticamente impossível evitá-las.



<http://www.perozin.com.br/produtos-trituradores-de-graos.html>



<http://www.cid.ind.br/produtos.php?id=89>

Um fato relevante quando observamos determinadas máquinas em funcionamento é que, muitos ruídos são produzidos pela estrutura funcional, e não pela transformação da energia elétrica. Chamaremos de secundários, esses ruídos provenientes das estruturas e de primários os oriundos diretamente da transformação. A vibração secundária em alguns casos pode inclusive gerar energia térmica nas situações em que ocorrer atrito, ou ainda outras formas de dissipação de energia.

As transformações indesejadas secundárias são provenientes de parte da energia elétrica útil ( $P_u$ ), pois é essa a fração responsável pelo funcionamento dos aparelhos.

Voltando aos trituradores, se for possível colocarmos seus motores em funcionamento desconectados da estrutura, escutaremos somente ruídos de baixa intensidade: os primários. Porém, quando um motor estiver acionando o conjunto, os ruídos



ficam mais intensos, ou seja, surgem os ruídos secundários, os quais dissipam parte da energia útil dos motores. Outros ruídos primários comuns são aqueles que percebemos quando ligamos um chuveiro ou uma torneira elétrica.

## 4 Efeito Joule

Quando estudamos a resistência elétrica, nas seções anteriores, não se questionou qual era a causa de sua existência, apenas foi apresentada a forma matemática de descrevê-la.

Em condutores livres da ação de campos externos o movimento das cargas de condução causa colisões na estrutura do material. Após cada impacto entre um elétron livre e um átomo o elétron segue uma nova trajetória, diferente do caminho anterior, gerando dessa forma um movimento randômico.

Este deslocamento de cargas é aleatório e é promovido pela agitação térmica da rede cristalina, porém, quando o condutor fica sujeito à ação de uma diferença de potencial em suas extremidades, surge um campo elétrico em seu interior, cuja interação com os portadores de carga faz surgir neles uma força elétrica.

Foi citado anteriormente que, a interação das cargas de condução com o campo elétrico dá origem à corrente, pois a força elétrica produz um movimento relativamente ordenado dos elétrons livres, cuja velocidade resultante é chamada de velocidade de deriva. Portanto, a corrente elétrica, pensando na trajetória das cargas, é um fenômeno resultante da interação entre movimentos randômicos e deslocamentos de arraste.

O efeito de deriva causa uma intensificação nas colisões, fato que faz surgir um novo fenômeno, cujo resultado pode gerar um efeito macroscópico no material condutor, que é o aumento de sua temperatura. Esse fenômeno é chamado de **Efeito Joule**, em homenagem ao físico inglês James Prescott Joule (1818-1889), que foi o precursor dos estudos que associava energia térmica com eletricidade.

Joule formulou uma lei que relacionava a quantidade de calor "Q" produzida por um fio condutor, de resistência "R", quando percorrido por uma corrente "i" em um determinado período "t", da seguinte maneira:

$$Q = i^2 . t . R$$

Elétrons são partículas, portanto possuem energia cinética associada ao seu movimento e, quanto maior a velocidade, maior a energia. Então, durante a colisão, eles transferem essa energia, ou parte dela, aos átomos da rede cristalina do condutor. Essa perturbação induzida na rede é justamente o fator da possível elevação da temperatura, que possui dependência da corrente (velocidade de deriva) e da resistência elétrica do condutor.

Em um aviário existem inúmeros aparelhos que utilizam o efeito joule como objeto do seu funcionamento, dentre os quais citamos as campânulas, chocadeiras de ovos e termorresistores para aquecimento de água.

Sugere-se que a turma, acompanhada do professor, visite o setor de avicultura da escola, ou quando possível, realizem uma visita técnica a uma empresa deste ramo, com o objetivo de vivenciar esta aplicação prática da física.

### **TERCEIRO MOMENTO PEDAGÓGICO: APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO (4 horas-aula)**

A partir daqui, pode-se aplicar o conhecimento até então construído. Retomam-se as questões problematizadas inicialmente e utilizando novas ideias e os novos conhecimentos adquiridos, obtêm-se as respostas necessárias.

Deve-se também, aplicar o que foi discutido a novas situações-problema, buscando-se com isso, entender os mesmos conhecimentos para outras questões e situações de mesma natureza. Aqui o professor poderá relacionar com o dia a dia na residência do aluno, por exemplo, expandindo os conhecimentos, conforme sugere Ausubel.

Nesta parte, faremos uma maior conexão da Física com a agropecuária, fornecendo sugestões de atividades como questões, exercícios direcionados, experimentos, e questionamentos dos assuntos neles abordados.

Determinados textos precedem algumas seções de exercícios, os *prólogos*, cujo objetivo é situar o aluno nas diversas áreas do conhecimento, as quais permeiam o ensino técnico integrado em agropecuária. Também é objetivo dessas inserções criar uma via acessível entre os saberes pertinentes à eletricidade básica e os pertinentes às áreas técnicas, diminuindo o distanciamento entre os professores de Física e as demais áreas tais como, Manejo de Criações, Produção leiteira e de carnes/pescados, Construções e Instalações Rurais e Sociologia/Extensão Rural.

**Questão:** Por que a base de um fio terra (a parte enterrada no solo) deve estar sempre úmida?

Nesta questão, deve-se fazer a conexão com corrente elétrica em solos úmidos, abordado no experimento proposto anteriormente: solos com baixa resistividade (úmidos) proporcionam um aterramento com menor resistência elétrica do que solos com alta resistividade (secos e rochosos). Desta forma, quanto maior for o número de hastes de aterramento e menor for a resistividade do solo, menor serão as perdas no aterramento e melhor será a eficiência do sistema.

**Prólogo 1:** Os exercícios que seguem, têm o intuito de familiarizar o aluno com os conceitos estudados até aqui, bem como relacionar grandezas, entre outras, potência útil com potência total, associar as grandezas hp (ou cv) e watt, além de evidenciar que os

cálculos de energia elétrica num aparelho elétrico independem da diferença de potencial (nominal) a que ele esteja operando.

Para um estudante de escola técnica também é importante o domínio das unidades básicas que descrevem a energia elétrica, descrita tanto em joule quanto em quilowatt-hora.

Nos exercícios a seguir, quando necessário, utilize a relação  $1 \text{ hp} = 1 \text{ cv} = 750 \text{ W}$ , para facilitar os cálculos.

**Ex. 1)** Um motor elétrico possui 2400 W de potência total. Calcule a corrente elétrica que circula nele, quando conectado em uma tensão de 220 V.

**Ex. 2)** Um motor elétrico monofásico, tensão nominal 220 V, possui potência útil de 2 hp e quando ligado, induz na sua chave uma corrente elétrica de 10 A. Calcule o seu rendimento.

**Ex. 3)** Um motor tem 3750 W de potência total. Se em sua etiqueta constar que ele tem dois hp, qual é a energia elétrica mensal, em quilowatt-hora, que ele gasta operando duas horas por dia? Calcule o custo mensal nesse regime de trabalho, considerando a relação R\$ 0,40/kWh.

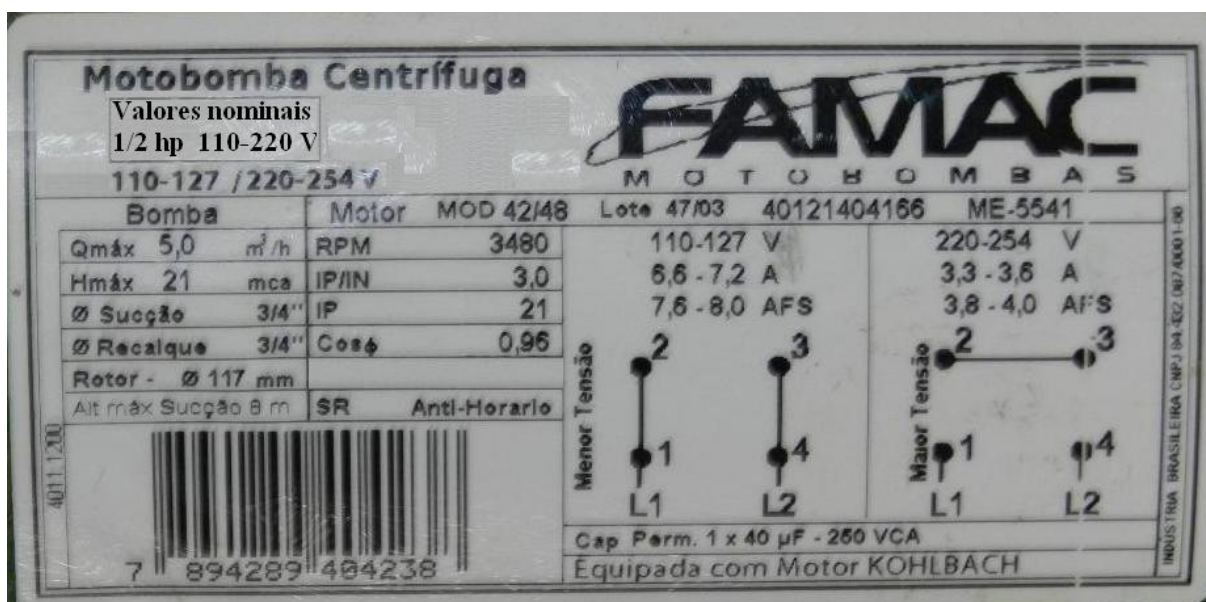
**Ex. 4)** Um motor elétrico aplica no eixo de um roçador a potência de 1 hp, quando ligado numa rede de tensão de 200 V. Nessas condições, quando o roçador está ligado, um medidor de corrente indica que 5 A está circulando no motor. Calcule o rendimento desse motor.

**Ex. 5)** Um aspersor elétrico para hortaliças é acionado por um motor que desenvolve 1 hp de potência útil e tem um rendimento de 60%. Considerando trinta centavos o valor do quilowatt-hora, calcule o custo mensal desse motor, trabalhando 5 horas diárias.

**Ex. 6)** Sabe-se que os refrigeradores domésticos (geladeiras) possuem um dispositivo que interrompe o seu funcionamento após atingir determinada temperatura: o termostato. Isto serve para limitar a uma temperatura mínima o interior da geladeira e também para evitar uma sobrecarga de trabalho no compressor.



evidencia-se através das barras numeradas as duas possíveis combinações para operar ou em 110 ou 220 volts. Os números representam os cabos externos, que também possuem a mesma marcação numérica.



**Ex. 10)** Considere dois chuveiros aparentemente idênticos, ambos de mesma marca e potência, porém um possui tensão nominal de 110 V enquanto que o outro, de 220 V. Em funcionamento, com os seletores de aquecimento na mesma faixa de potência, verifique se o custo de funcionamento deles são iguais.

**Prólogo 2:** Do Caderno didático "Cercas elétricas" dos professores Rubi Münchow & Eurico G. de Castro Neves nas páginas 5 e 6, do Centro das Engenharias da UFPEL, obtido no endereço eletrônico [http://minerva.ufpel.edu.br/~egcneves/biblioteca/cercas\\_eletricas.pdf](http://minerva.ufpel.edu.br/~egcneves/biblioteca/cercas_eletricas.pdf) extraiu-se o seguinte texto:

*"As reações do organismo humano com relação ao choque, dependem dos valores da tensão e da corrente. Sob o aspecto da corrente, os valores toleráveis giram em torno de 25 miliampères; tornam-se perigosos entre 25 e 50 miliampères e mortais acima destes valores. Quanto a tensão, desde que para correntes inferiores a 25 miliampères, praticamente nada é sentido até 25 volts; de 25 a 70 volts é sentido um certo formigamento e acima de 70 volts uma sensação desagradável, semelhante a uma agulhada, porém não mortal. Cada situação determina o grau de periculosidade, principalmente se a fonte provoca uma descarga*

*intermitente ou continuada. Jamais as cercas devem ser ligadas diretamente a uma rede de energia convencional, os chamados "gatos", pois a descarga seria contínua e fatal. A eletrificação de cercas é feita com dispositivos especiais, as quais provocam descargas (choques) intervalados, .....".*

*"O eletrificador ou energizador é o aparelho utilizado para energizar a cerca, o qual é projetado para disparar através dos fios de arames, impulsos de corrente elétrica de alta voltagem, cujos valores variam entre 2.000 V e 10.000 V. Tais impulsos possuem uma duração muito pequena, aproximadamente trezentos milionésimos de segundo ( $300/1.000.000$  s), sendo que o intervalo entre um disparo e outro gira em torno de um segundo (1 s). O intervalo entre os disparos permite que as pessoas ou animais, em contato com a cerca, reajam e se afastem dela, evitando a possibilidade muito remota de nela ficarem grudados. "*

No Brasil, os padrões técnicos para a fabricação de eletrificadores seguem a norma ABNT NBR IEC 60335-2-76, publicada em 03/12/2007, a qual trata especificamente de eletrificadores de cercas, tanto para uso urbano quanto uso rural.

**Ex. 11)** Na *internet* encontramos à venda diversos modelo de eletrificadores, para todos os tipos de aplicação. Um determinado modelo (sítio [www.tem.ind.br](http://www.tem.ind.br)) apresenta as seguintes características: saída: 10 kV; Energia: 1,25 J; Intervalo entre pulsos: 1,5 s; duração de cada pulso:  $100\ \mu\text{s}$ ; suporta até 40 km linear de fio. Então, de posse desses dados calcule:

- a) a potência que o aparelho induz nos fios da cerca (pot. útil);
- b) a potência total, considerando que consegue aplicar na cerca apenas 50% da energia elétrica que ele recebe da fonte geradora;
- c) a corrente elétrica que é aplicada na cerca;
- d) verifique no prólogo desse exercício se essa corrente pode causar danos à uma pessoa.

**Ex. 12)** Um grande empreendimento de agroflorestal está para ser executado em um pequeno município. Como parte integrante do projeto, coube ao núcleo de engenharia agrícola o dimensionamento dos motores que irão acionar o complexo sistema de irrigação da plantação.

Em um determinado setor de eucaliptos, foi calculado que para suprir a demanda de um pivô central será necessária uma vazão média de 100 litros de água por segundo.

Baseando-se nesses dados determine:

- a) a potência útil, em hp, mínima que deve ter o motor que irá acionar a bomba para alimentar o pivô, desconsiderando as perdas de energia por atrito nos dutos de condução hidráulica;
- b) sendo de trinta centavos o valor do quilowatt-hora na localidade, calcule o custo da hora de serviço desse motor.

**Prólogo 3:** Os aquecedores de água (ou caldeiras de pequeno porte) mais evoluídos possuem um sistema misto de fornecimento de energia térmica à água. Um dos tipos mais "limpos" disponíveis no nosso mercado é o aquecedor solar com apoio elétrico, ou seja, durante os dias claros utiliza a luz solar para realizar o aquecimento e durante a noite, ou em períodos prolongados de mau tempo, utiliza termorresistores para manter a temperatura elevada da água. A água aquecida fica armazenada em um reservatório com isolamento térmico chamado de "boiler", cujo termorresistor está acoplado.

**Ex. 13)** Num período longo de chuvas e sem sol, um aquecedor de água de uma agroindústria teve que funcionar unicamente com o sistema elétrico. No início das atividades da semana preencheu-se o reservatório térmico com 500 litros de água pura a 30 °C, para aquecê-la até 80 °C. O aquecedor possui potência variável, semelhante aos chuveiros elétricos, para se adaptar à demanda da empresa. Então:

- a) Calcule a potência que deve ser ajustado o seletor do termorresistor, para que ele atinja a temperatura esperada, em duas horas, supondo que a energia elétrica seja totalmente convertida em térmica.
- b) calcule o custo desse aquecimento, supondo o valor do kWh igual a R\$ 0,30.

**Ex. 14)** Um determinado boiler com capacidade para 2000 litros, que foi projetado para manter a temperatura da água em média a 90 °C, se mantém sempre completamente cheio. O revestimento do reservatório térmico não é ideal, fazendo com que a água diminua linearmente 1% de sua temperatura a cada hora, caso o sistema de aquecimento solar pare de funcionar. Calcule o custo mensal em energia elétrica com o termorresistor do boiler, supondo o valor do kWh igual a R\$ 0,40, para manter sempre a 90 °C o reservatório numa estação do ano que em todas as noites existem um período 10 horas sem a ação da luz solar.



**Prólogo 4:** Do ponto de vista etimológico, e até mesmo do linguajar comum, a palavra leite pode nos remeter a várias interpretações, que não apenas ao alimento materno humano. Podemos considerar ainda o alimento de origem animal (bovina, caprina, bubalina, etc) ou vegetal, como o leite de soja, por exemplo. Além disso, é comum a aplicação do termo a produtos cosméticos, ou a determinados fluidos que tenham propriedades.

Neste trabalho, entretanto, iremos nos reportar ao termo leite, fazendo jus ao Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal do Ministério da Agricultura e Pecuária de Abastecimento (RIISPOA) (Decreto 30.691 de 29 de março de 1952), disponível em [www.scribd.com/doc/3194328/RIISPOA](http://www.scribd.com/doc/3194328/RIISPOA):

*Leite é o produto oriundo da ordenha completa e ininterrupta, de vacas sadias, alimentadas e descansadas. O leite de outros animais, a não ser o leite obtido de vacas, deve ser denominado segundo a espécie de que proceda.*

Portanto quando citarmos apenas a palavra "leite", estamos nos referindo somente ao produto bovino. O regulamento anteriormente citado diz que quando o leite for armazenado na propriedade do produtor até ser conduzido para a indústria, deve seguir as seguintes regras:

#### **Resfriamento pelo sistema de expansão:**

O leite é despejado diretamente no ambiente do refrigerador. Nesse caso os aparelhos devem ser dimensionados de modo a terem a capacidade de refrigerar o leite até temperatura igual ou inferior a 4°C no máximo em três horas imediatamente após a ordenha, independentemente de sua capacidade de armazenamento.



Resfriador por expansão do tambo do campus São Vicente do Sul.

### Resfriamento pelo sistema de imersão

O leite é posto nos latões convencionais de armazenamento/transporte, onde estes por sua vez são colocados dentro de tanques refrigerados. Os latões dentro dos tanques são imersos em água gelada, a qual não possui contato com o leite.



<http://www.refrileite.com.br/index.php?pg=produto&id=4>

**Ex. 15)** Os resfriadores de leite de pequeno porte, que não possuem circuitos de controle automatizados, contém como principal dispositivo elétrico o motor que aciona o compressor do gás refrigerador. Calcule a energia elétrica mensal que um resfriador de 800 W de potência total "consome" operando 10 horas diárias e determine custo desse funcionamento, em um local que o valor do quilowatt-hora é 30 centavos.



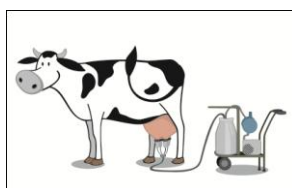
**Ex. 16)** O leite bovino quando recém ordenhado possui, em média, temperatura de  $36^{\circ}\text{C}$ . Determine a quantidade de energia que um resfriador elétrico gasta para baixar a temperatura de 5000 litros de leite, até atingir  $4^{\circ}\text{C}$ . Considere que o resfriador tenha um rendimento de 100 % e que o calor específico do leite seja  $0,9 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ .

**Prólogo 5:** Uma ordenhadeira mecânica é um equipamento que serve para auxiliar na produção leiteira reduzindo o trabalho humano, extraíndo o leite com mais eficiência, rapidez e, sobretudo, higiene. Podemos resumir uma ordenhadeira como um sistema composto por uma bomba de sucção acoplada a um recipiente de armazenagem do leite,

que por sua vez é ligado por dutos flexíveis aos insufladores, ou teteiras, os quais são acoplados diretamente no úbere do animal.

Em se tratando de equipamentos simples, para poucos animais, o único circuito elétrico está no sistema de propulsão da bomba de vácuo, que é através de um pequeno motor elétrico.

**Ex. 17)** Considerando um tempo médio de 6 minutos de lactação por animal, determine o custo mensal com eletricidade de um tambo que mantém diariamente 100 vacas em lactação, com duas seções de ordenha por dia por cabeça, onde é cobrado R\$ 0,3 centavos o quilowatt-hora.



**Prólogo 5:** Extratos do Decreto federal nº 30691, de 29 de março de 1952, que aprovou o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal na época:

**Art. 37** "... tratando-se de estabelecimentos destinados ao recebimento e industrialização do pescado, devem satisfazer mais o seguinte: 1 - dispor, nos entrepostos de pescado, de câmaras frigoríficas, para estocagem de pescado em temperatura de  $-15^{\circ}\text{C}$  (menos quinze graus centígrados) a  $-25^{\circ}\text{C}$  (menos vinte e cinco graus centígrados) ... "

**Art. 124** "São condenados os bovinos, ovinos e caprinos que no exame "ante-mortem" revelem temperatura retal igual ou superior a  $40,5^{\circ}\text{C}$  (quarenta e meio graus centígrados); são também condenados os suínos com temperatura igual ou superior a  $41^{\circ}\text{C}$  (quarenta e um graus centígrados), bem como as aves com temperatura igual ou superior a  $43^{\circ}\text{C}$  (quarenta e três graus centígrados)".

**Art. 439** - "O pescado em natureza pode ser:: 1 - fresco; 2 - resfriado; 3 - congelado.

§ 1º - Entende-se por "fresco" o pescado dado ao consumo sem ter sofrido qualquer processo de conservação, a não ser a ação do gelo.

§ 2º - Entende-se por "resfriado" o pescado devidamente acondicionado em gelo e mantido em temperatura entre  $-0,5$  a  $-2^{\circ}\text{C}$  ( menos meio grau centígrado a menos dois graus centígrados).

§ 3º - Entende-se por "congelado" o pescado tratado por processos adequados de congelação, em temperatura não superior a -25°C (menos vinte e cinco graus centígrados)."

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Departamento de Agroindústria, alimentos e pescado, material disponível em:

<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/LAN1444Poscapturadopescado.pdf>

"A quantidade teórica de gelo, em kg, para resfriar um uma quantidade de pescado será:

$$Kg_{\text{gelo}} = \frac{p \cdot c \cdot t}{80}$$

onde  $p$  é o valor da massa do pescado (kg),  $c$  é o calor específico (Kcal/kg.°C) e  $t$  é a diferença entre a temperatura inicial e final em °C.

... o calor específico (Kcal/kg.°C) para pescado vale em média 0,72 para peixes gordos, 0,80 para peixes semi gordos e 0,86 para magros."

**Ex. 18)** Um abatedouro de aves entregou a um restaurante uma encomenda de 500 kg de frango. A temperatura da carne de frango imediatamente após o abate é, em média, 40 °C e deve ser resfriada até atingir 1 °C, em 5 horas. Considerando que o calor específico da carne de aves seja 0,60 cal/g. °C, determine:

- a) a potência líquida (útil) necessária para resfriar totalmente, nessas condições, a encomenda.
- b) o custo de refrigeração em um local que o valor do quilowatt-hora é 30 centavos, utilizando uma câmara fria que apresenta um rendimento de 40%.

**Ex. 19)** Uma associação frigorífica abateu 12 animais bovinos, todos apresentando valores de temperatura adequados, conforme a legislação em vigor. As doze carcaças após o desmanche renderam 2000 kg de massa, com temperatura média pós-morte de 36 °C. Supondo que a exigência sanitária local prediz que a carne bovina imediatamente após o abate deve ser resfriada até atingir a temperatura de 6 °C em um período máximo de quatro horas, determine:

- a) a energia térmica a ser retirada do total das carcaças, até que todas atinjam a temperatura mínima de  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , supondo que o calor específico dos produtos seja  $0,50\text{ cal/g. }^{\circ}\text{C}$ ;
- b) a potência total mínima que a câmara fria deve ter, considerando que os aparelhos para esse fim tenham rendimento de 40%;
- c) o custo de refrigeração das carcaças em um local que o valor do quilowatt-hora é 30 centavos.

**Ex. 20)** Uma granja de piscicultura possui uma câmara fria, cujo rendimento nominal é 40%. Determine a energia elétrica que será gasta para congelar dez toneladas de carpas capim (de carne magra) recém pescadas, com temperatura média de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Considerando R\$ 0,35 o valor do quilowatt-hora, calcule o custo do resfriamento das sardinhas. Esse custo depende da voltagem da rede elétrica?

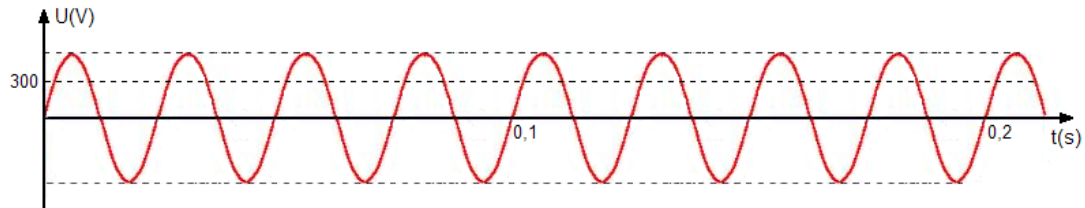
**Ex. 21)** Conforme a lei orgânica de alguns municípios, ou das exigências sanitárias estaduais, o piscicultor imediatamente após a despesca pode transportar a produção na condição "peixe fresco", imersa em gelo por pouco tempo até a central de industrialização. Então calcule a quantidade de gelo para resfriar duas toneladas de bagres (peixe gordo) e determine o custo para congelar a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a água necessária, que estava a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , num freezer com 30% de rendimento. Os bagres estavam a uma temperatura de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  precisam ficar a  $0^{\circ}\text{C}$  durante o transporte. O valor do quilowatt-hora para o piscicultor é de trinta centavos.

**Ex. 22)** A figura abaixo representa uma fonte CA, com tensão de pico igual a  $420\text{ V}$ . Então, baseado nela, determine o valor da corrente eficaz que circula em um condutor com resistência de  $30\text{ ohms}$  conectado na referida fonte. Calcule também o valor da tensão eficaz.



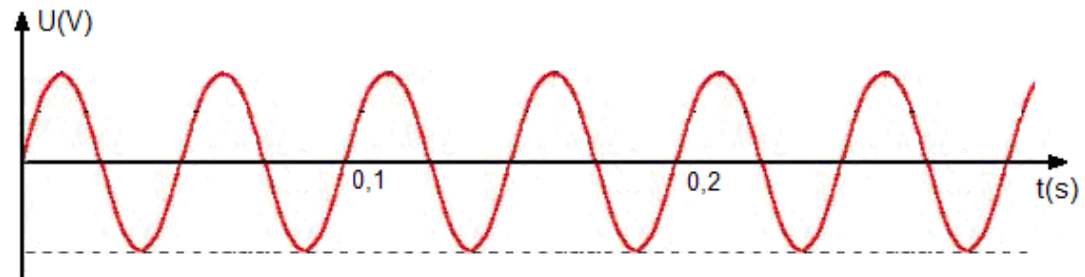
**Ex. 23)** A figura abaixo representa uma fonte CA com sua tensão em RMS. Então, baseado nela, determine:

- a) o valor máximo da tensão de pico.
- b) A tensão máxima que uma pessoa estaria sujeita, caso sofresse um choque na referida fonte.
- c) A frequência da fonte.



**Ex. 24)** A figura abaixo representa uma fonte CA, com tensão de pico igual a 420 V. Então, baseado nela, determine:

- a) o valor da tensão de eficaz.
- b) A tensão máxima que uma pessoa estaria sujeita, caso sofresse um choque na referida fonte.
- c) A frequência da fonte.



## REFERÊNCIAS UTILIZADAS:

**Caderno Didático, Cercas elétricas.** Rubi Münchow & Eurico G. de Castro Neves, do Centro das Engenharias da UFPEL, disponível em:

[http://minerva.ufpel.edu.br/~egcneves/biblioteca/cercas\\_eletricas.pdf](http://minerva.ufpel.edu.br/~egcneves/biblioteca/cercas_eletricas.pdf)

**Decreto 30691, de 29 de março de 1952,** disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1950-1969/D30691.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1950-1969/D30691.htm)

**Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"** Universidade de São Paulo, Departamento de Agroindústria, alimentos e pescado.

<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/LAN1444Poscapturadopescado.pdf>

**Gaspar, A.** Compreendendo a Física, Vol.3, ed. Ática, 2011, 1ª ed, capítulo 10, p. 268 e 269.

**Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.,** Vol 3. Ed LTC, 6ª edição, p. 98.

[http://tvescola.mec.gov.br/index.php?item\\_id=2396&option=com\\_zoo&view=item](http://tvescola.mec.gov.br/index.php?item_id=2396&option=com_zoo&view=item).

<http://www.refrileite.com.br/index.php?pg=produto&id=4>

<http://www.youtube.com/watch?v=JE3gPwCnRIw>.

**Hugh D. Young e Roger A. Freedman;** Física III; volume 3; Editora Pearson Addisson Wesley; São Paulo-SP; 12ª edição; 2008, p. 140 e 141.

**Portal do Grupo de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Maria.**

<http://www.ufsm.br/gef>.

**Regulamentação da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal do Ministério da Agricultura e Pecuária de Abastecimento (RIISPOA)** disponível em:

<http://www.scribd.com/doc/3194328/RIISPOA>

**Revista Globo Rural edição 255 – Jan/07,** disponível online no endereço eletrônico:

[http://revistagloborural.globo.com/EditoraGlobo/componentes/article/edg\\_article\\_print/1,3916,1411724-1489-4,00.html](http://revistagloborural.globo.com/EditoraGlobo/componentes/article/edg_article_print/1,3916,1411724-1489-4,00.html)

**Tipler, A.;** Física, Volume 2/A; Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro-RJ, 2ª edição, 1982, p. 686.

<http://www.zebu.com.br/visProduto.php?cod=36>