



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA

® **M** Plataforma Moretti

Disciplina: Energia na Agricultura

UNIDADE 2 – Conceituações sobre energia e eletricidade

Prof. Jorge Luiz Moretti de Souza

E-mail: jmoretti@ufpr.br

<http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/index.htm>

Objetivo da Unidade didática

Conceituar, identificar e resolver (corrigir, dimensionar) problemas básicos de calorimetria e eletricidade voltados para à utilização da energia no meio rural.

1 Trabalho, potência e rendimento

1.1 Trabalho

➤ Trabalho mecânico e elétrico

$$W = F \cdot h$$

Sendo: W – trabalho mecânico (J = N . m); F – força gravitacional (N); h – altura ou deslocamento do corpo (m).

$$W_{\text{Trabalho mecânico (J)}} = F_{\text{força (N)}} \cdot h_{\text{altura ou distância (m)}}$$

$$W_{\text{Trabalho elétrico (kWh)}} = P_{\text{potência elétrica (kW)}} \cdot t_{\text{tempo (h)}}$$

➤ Energia obtida em reações químicas

Tabela 2.1. Calor de combustão dos combustíveis comuns.

Substância	Fórmula	Calor (kcal g ⁻¹)
Metano (gás natural)	CH ₄	13,2
Óleo		10,0
Lipídio (gordura)	C ₅₇ H ₁₀₄ O ₆	9,1
Carbono (carvão)	C	7,8
Álcool etílico	C ₂ H ₆ O	7,1
Proteína	C ₁₈₆₄ H ₃₀₁₂ O ₃₇₆ N ₄₆₈ S ₂₁	5,7
Glicose (açúcar)	C ₆ H ₁₂ O ₆	4,1

1.2 Potência

Exemplo 2.1 – Um homem pode levantar 100 pedras do solo e colocá-las em uma carreta. Se cada pedra pesa 10 kg, o homem terá levantado 1000 kg quando a tarefa for concluída. Contudo, o homem não consegue levantar 1000 kg em uma única operação.

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

Sendo: P – potência (W; Watt); W – trabalho mecânico (J); t – tempo (s).

$$1 \text{ CV} = \frac{75 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}}{1 \text{ s}}$$

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

$$1 \text{ CV}_{\text{Cavalo Vapor}} = 736 \text{ W}$$

$$1 \text{ HP}_{\text{Horse Power}} = 746 \text{ W}$$

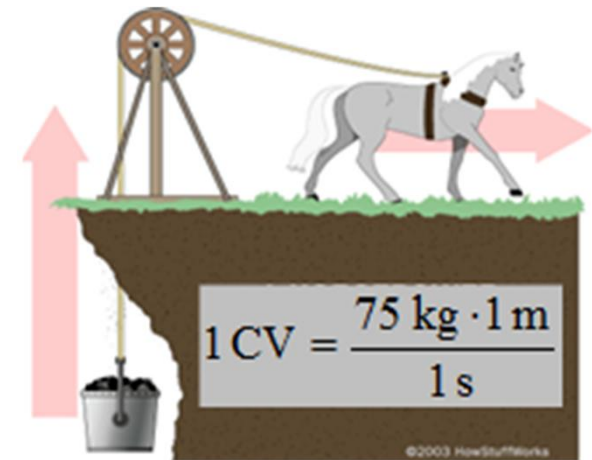


Figura 2.1 – Definição de Cavalos Vapor (CV).

Tabela 2.2. Unidades de trabalho, energia e potência

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$$

$$1 \text{ watt (W)} = 1 \text{ J s}^{-1}$$

$$1 \text{ CV} = 736 \text{ W}$$

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$$

$$1 \text{ joule (J)} = 10^7 \text{ ergs}$$

$$1 \text{ quilowatt-hora (kWh)} = 3600 \text{ kJ} = 860 \text{ kcal} = 8,6 \cdot 10^{-5} \text{ TEP (tonelada equivalente de petróleo)}$$

$$1 \text{ TEP (tonelada equivalente de petróleo)} = 11630 \text{ kWh} = 10000 \text{ kcal} = 1,28 \text{ toneladas de carvão}$$

$$1 \text{ BTU (unidade térmica britânica)} = 252 \text{ cal}$$

$$1 \text{ kW-ano/ano} = 0,753 \text{ TEP ano}^{-1}$$

➤ Potência de um motor:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60 \cdot 1000}$$

Sendo: P – potência do motor (kW); n – rotação do motor (rpm); T – torque do motor (Nm).

➤ Potência elétrica

$$P_a = U \cdot I$$

$$P_a = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Sendo: P_a – potência elétrica ativa em corrente alternada trifásica (W); U – tensão entre as fases (V); I – corrente entre as fases; $\cos \varphi$ – fator de potência.

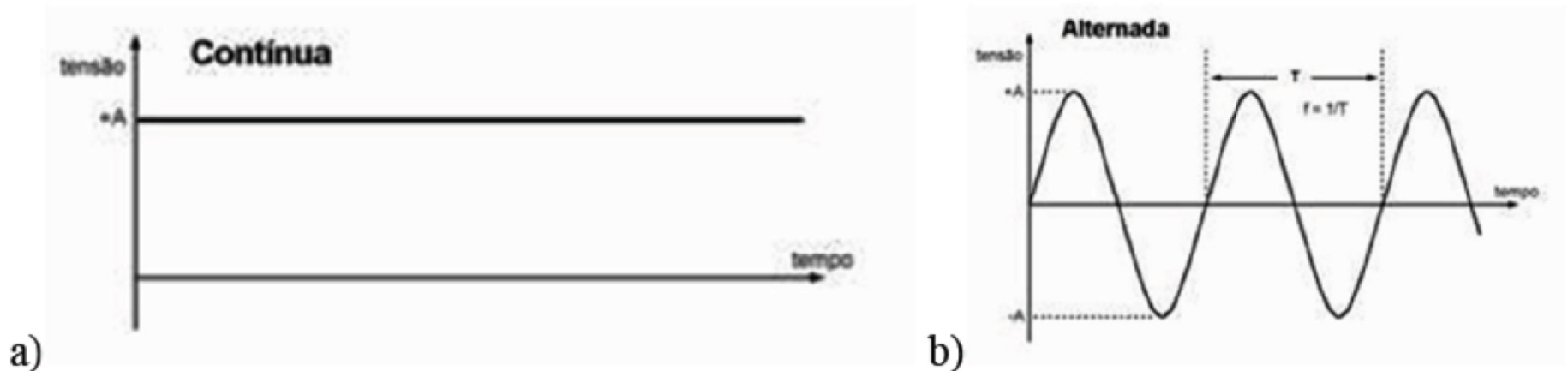


Figura 2.2 – Corrente elétrica: a) Contínua; e, b) Alternada.

1.3 Rendimento

$$\eta = \frac{P_u}{P_t} \cdot 100$$

$$\eta = \frac{P_s}{P_E} \cdot 100$$

$$\eta = \frac{P_n}{P_a} \cdot 100$$

Sendo: η – rendimento (%); P_u – potência utilizada para provocar a ação (W); P_t – potência total fornecida (W); P_E – potência de entrada (W); P_s – potência de saída (W); P_a – potência absorvida pelo equipamento (W); P_n – potência nominal entregue pelo equipamento (W).

Exemplo 2.2 – Potência elétrica de um habitante e da população:

i) Um ser humano que consome 2000 kcal por dia corresponderia a potência de uma lâmpada de quantos Watts?

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J (Tabela 2.2)} \quad \text{e} \quad 1 \text{ W} = \frac{\text{J}}{\text{s}} \text{ (Tabela 2.2)}$$

$$P_{\text{habitante}} = \frac{E}{t} = 2000 \frac{\text{kcal}}{\text{dia}} = 2000 \frac{k(4,18 \text{ J})}{86400 \text{ s}} = 0,09676 \text{ k W ou } 96,8 \text{ W}$$

ii) Supondo a população de 7.800.000.000 de pessoas no mundo, e que toda essa energia tivesse de ser produzida aqui na Terra, qual seria a potência necessária dos geradores para manter a “população” viva.

$$P_{\text{potulação}} = \frac{P}{\text{habitante}} \cdot 7,8 \cdot 10^9 \text{ habitantes}$$

$$P_{\text{potulação}} = \frac{96,8 \text{ W}}{\text{habitante}} \cdot 7,8 \cdot 10^9 \text{ habitantes} = 755 \text{ GW}$$

2 Calorimetria

$$Q = W + \Delta U$$

Sendo: Q – quantidade de calor (J); W – trabalho (J); ΔU – variação da energia interna (J)

2.1 Calor específico sensível (c)

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = m \cdot c \cdot (t_f - t_i)$$

Sendo: Q – quantidade de calor sensível (J ou cal); m – massa (kg ou g); c – calor específico sensível ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ou $\text{cal g}^{-1} \text{°C}^{-1}$); Δt – variação de temperatura (K ou °C); t_f – temperatura final (K ou °C); t_i – temperatura inicial (K ou °C).

➤ Valores de calor específicos (c) => [Tabela 2.3](#)

2.2 Calor específico latente (L)

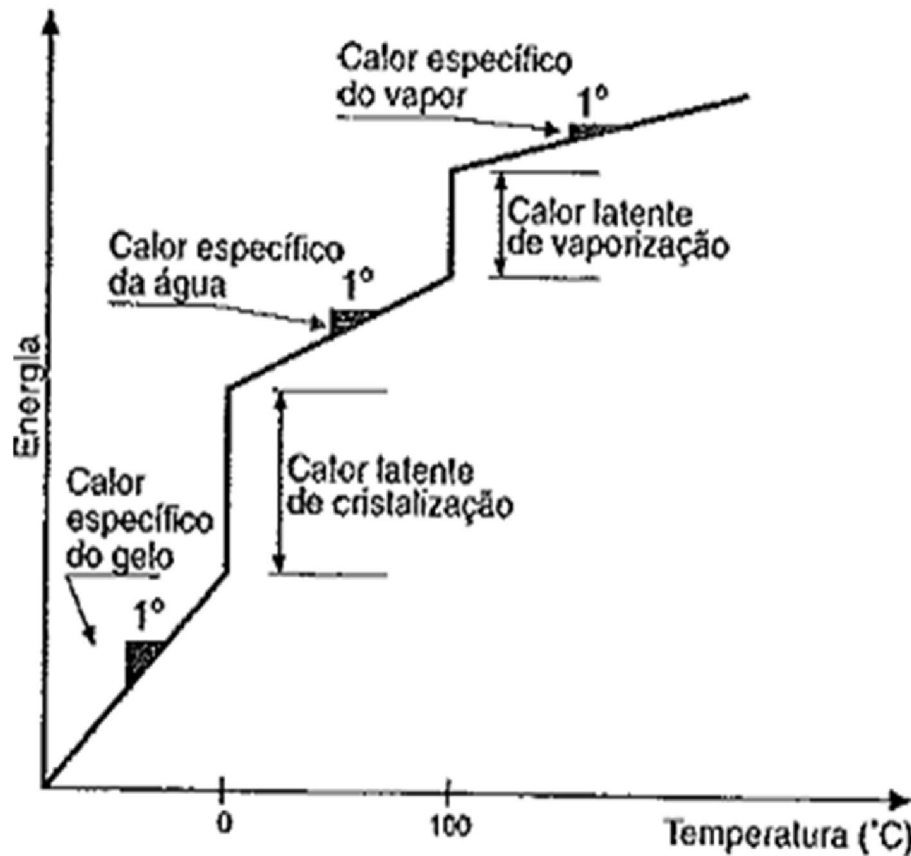
$$Q = m \cdot L$$

Sendo: Q – quantidade de calor latente (cal ou J); m – massa (g ou kg); L – calor específico latente (cal g^{-1} ou J kg^{-1}).

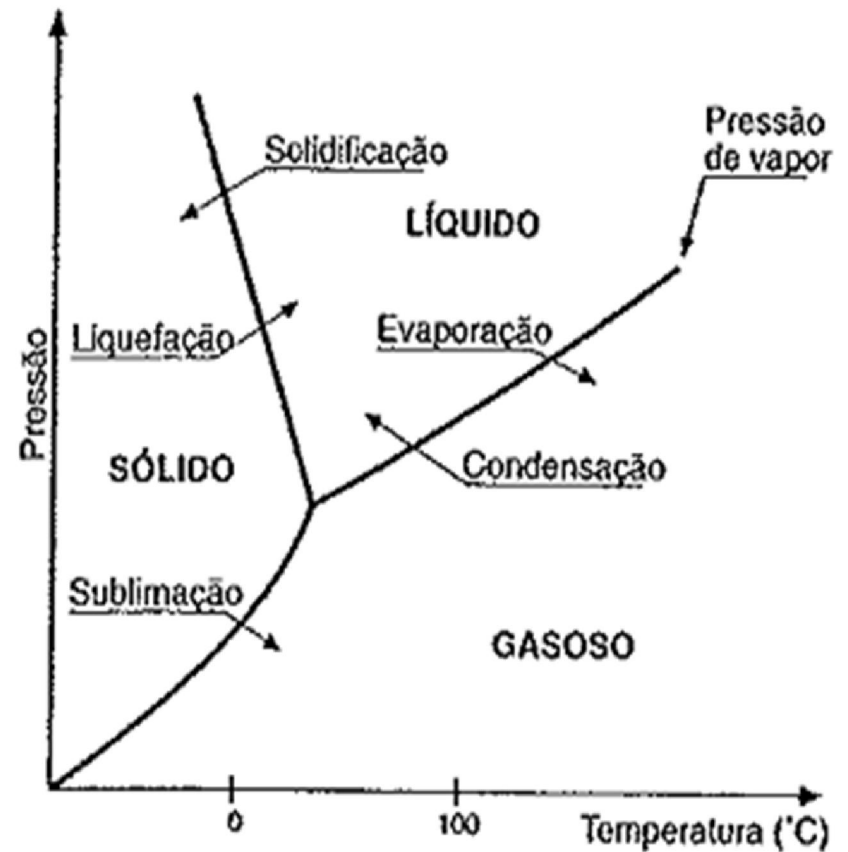
Tabela 2.3. Calor Específico de algumas substâncias a 25 °C e pressão normal.

Substância	----- Calor específico sensível -----	
	(J kg ⁻¹ °C ⁻¹)	(cal g ⁻¹ °C ⁻¹)
Água	4200	1,000
Álcool etílico	2400	0,580
Alumínio	900	0,220
Chumbo	130	0,031
Cobre	390	0,092
Concreto	840	0,200
Ferro	450	0,110
Gelo (a -5 °C)	2100	0,500
Mercúrio	140	0,033
Ouro	130	0,031
Prata	230	0,056

2.3 Diagrama de fases



(a)



(b)

Figura 2.3 – Estado físico da água: a) Variação de energia da água vs temperatura; e; b) Variação da pressão da água vs temperatura (diagrama de fases)

Exemplo 2.3 – Na fusão de 1 g de gelo, 80 cal precisam ser fornecidas (calor específico latente de fusão) e na solidificação de 1 g de água, a mesma quantidade de energia é por ela liberada.

Exemplo 2.4 – Suponha um cubo de gelo derretendo em um recipiente. Quando o cubo de gelo começa a mudar de estado físico (sólido para o líquido) a temperatura da água permanece a mesma nos dois estados.

Exemplo 2.5 – O calor específico latente de vaporização da água é de 540 cal g^{-1} . Logo, são necessárias 540 cal para evaporar 1 g de água a $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Nessa situação a quantidade de calor necessária (Q) é proporcional à massa da substância (m).

Exemplo 2.6 – O calor latente de fusão e vaporização da água geralmente são elevados. O efeito disso para as plantas é que uma quantidade relativamente grande de calor deve ser extraída da água antes que ela se congele. De modo semelhante, a evaporação da água também requer grande quantidade de energia, sendo que cada grama de água evaporada a $15 \text{ }^\circ\text{C}$, a folha perde 2462 J (580 cal g^{-1}) de energia calorífica. Logo, a transpiração tem poderoso efeito de resfriamento da planta.

Exemplo 2.7 – O calor sensível latente de fusão da água pode ser utilizado na proteção de plantas contra geadas, com a utilização da irrigação. O congelamento da água aplicada liberta calor (calor latente de fusão) mantendo a planta a $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Os vegetais não se congelam enquanto a temperatura não cair substancialmente além de $0 \text{ }^\circ\text{C}$, principalmente devido aos potenciais osmóticos das células.

Exemplo 2.8 – Um cubo de gelo de massa 100 g, inicialmente à temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, foi aquecido até se transformar em água a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dados: calor específico do gelo $0,50\text{ cal g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$; calor específico da água $1,0\text{ cal g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$; calor de fusão do gelo 80 cal g^{-1}). Determinar, em calorias, as quantidades de calor sensível e latente trocados nas transformações.

– Calor necessário para elevar a temperatura do bloco de gelo de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$Q = m \cdot c \cdot (t_f - t_i) = 100\text{ g} \cdot 0,5\text{ cal g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} (0\text{ }^{\circ}\text{C} - (-20\text{ }^{\circ}\text{C})) = 1000\text{ cal}$$

– O gelo chegando à temperatura de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ inicia-se a fusão, e o calor latente necessário será:

$$Q = m \cdot L = 100\text{ g} \cdot 80\text{ cal g}^{-1} = 8000\text{ cal}$$

– O calor sensível para elevar a água líquida até $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ será:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_f - t_i) = 100\text{ g} \cdot 1,0\text{ cal g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} (40\text{ }^{\circ}\text{C} - 0\text{ }^{\circ}\text{C}) = 4000\text{ cal}$$

Exemplo 2.9 – Dispõe-se de água a 80 °C e gelo a 0°C. Deseja-se obter 100 g de água a uma temperatura de 40 °C (após o equilíbrio), misturando água e gelo em um recipiente isolante e com capacidade térmica desprezível. Dados: calor específico latente de fusão do gelo 80 cal g⁻¹ e calor específico sensível da água 1,0 cal g⁻¹ °C⁻¹. Determine a massa de gelo a ser utilizada.

Seja m_a a massa da água e m_g a massa de gelo, tem-se

$$\begin{aligned}m_a + m_g &= 100 \text{ g} \\m_a &= 100 - m_g\end{aligned}\quad (1)$$

Como:

$$\begin{aligned}Q_{\text{fusão}} + Q_{\text{gelo em água}} + Q_{\text{água}} &= 0 \\m_g \cdot L_f + m_g \cdot c \cdot \Delta T + m_a \cdot c \cdot \Delta T &= 0 \\m_g \cdot 80 + m_g \cdot 1 \cdot (40 - 0) + m_a \cdot 1 \cdot (40 - 80) &= 0 \\80 \cdot m_g + 40 \cdot m_g - 40 \cdot m_a &= 0\end{aligned}\quad (2)$$

Substitua (1) em (2), tem-se:

$$\begin{aligned}80 \cdot m_g + 40 \cdot m_g - 40 \cdot (100 - m_g) &= 0 \\120 m_g - 4000 + 40 m_g &= 0 \\160 \cdot m_g &= 4000 \\m_g &= 25 \text{ g}\end{aligned}$$

Logo, para obter 100 g de água a uma temperatura de 40 °C, após o equilíbrio, será necessário dispor 25 g de gelo (0 °C) em 75 g de água (80 °C).

3 Eletricidade

3.1 Constituição da matéria

Substância ↔ Moléculas ↔ Átomos

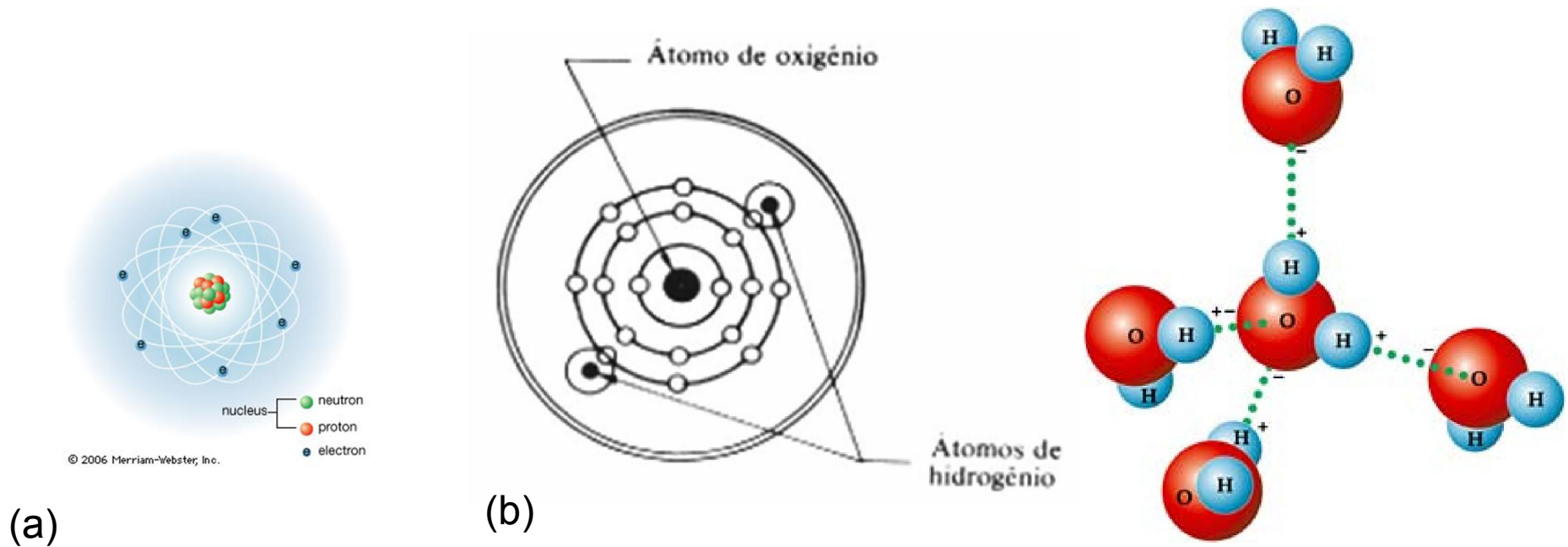
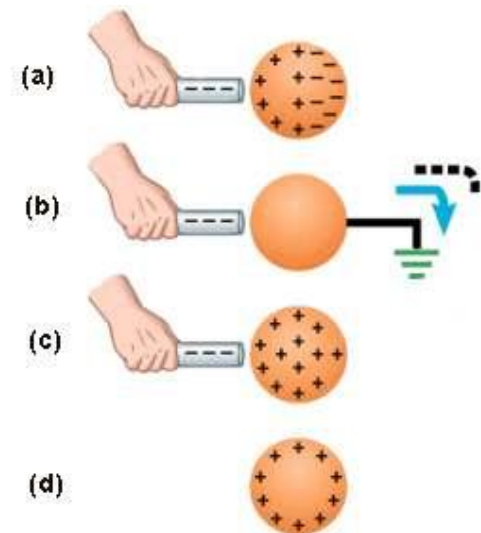
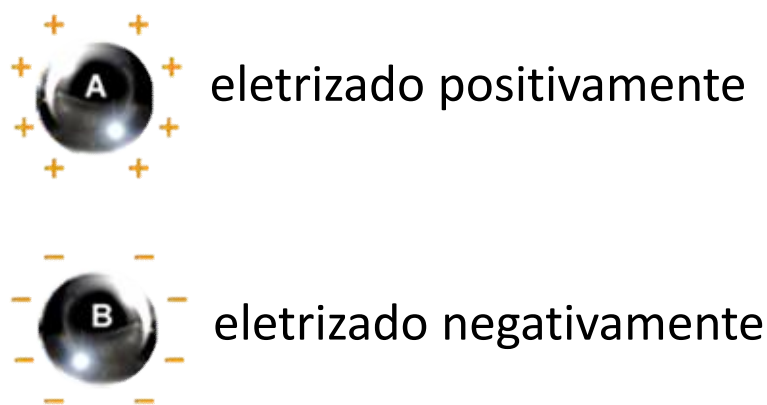


Figura 2.4 – a) Estrutura atômica; e, b) Molécula de água

➤ Características da matéria:

- Corpo eletrizado positivamente e negativamente;
- Corpos bons (metais) e maus (vidro, borracha, plástico, PVC, porcelana, madeira) condutores de eletricidade;
- Unidade de medida de carga elétrica no SI: coulomb (C);
- Carga elétrica elementar de um elétron: $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;
- Massa de um elétron: $9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.



Figura

2.2 Força eletromotriz (*f.e.m*) e diferença de potencial (*d.d.p*)

- Definição: energia não elétrica transformada em energia elétrica ou vice-versa, por unidade de carga.

$$\varepsilon = \frac{W}{Q}$$

$$U = \varepsilon - \Delta U$$

Sendo: ε – força eletromotriz (V); W – energia ou trabalho aplicado (J); Q – quantidade de cargas elétricas movimentadas (C); U – diferença de potencial (V); ΔU – perdas internas

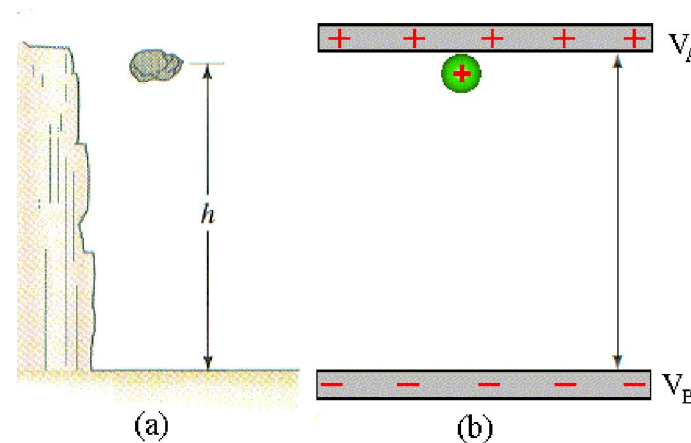


Figura – Analogia entre potencial gravitacional e elétrico.

2.2 Força eletromotriz (*f.e.m*) e diferença de potencial (*d.d.p*)

- Analogia: potencial elétrico e pressão em hidráulica

$$\text{Tensão } (U; \text{ em } V) = \frac{\text{Energia } (J)}{\text{Cargas } (C)}$$

$$\text{Pressão } (Pa) = \frac{\text{Força } (N)}{\text{Área } (m^2)}$$

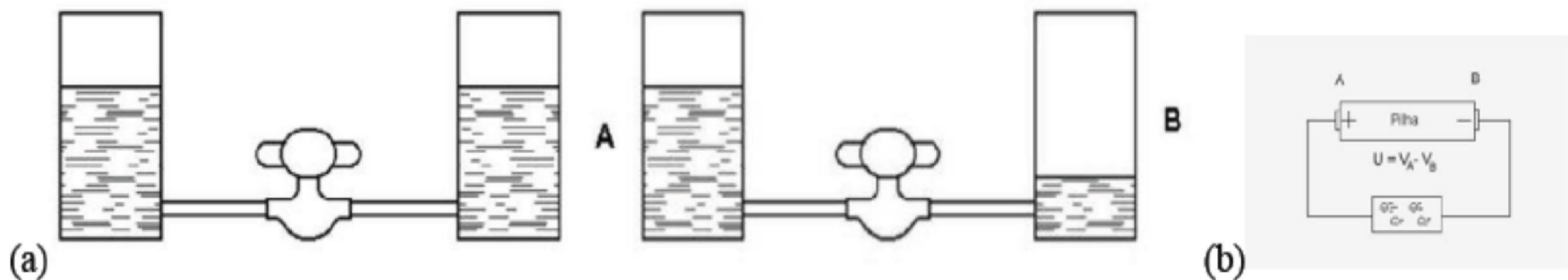


Figura 2.6 – Analogia entre potencial hidráulico e elétrico

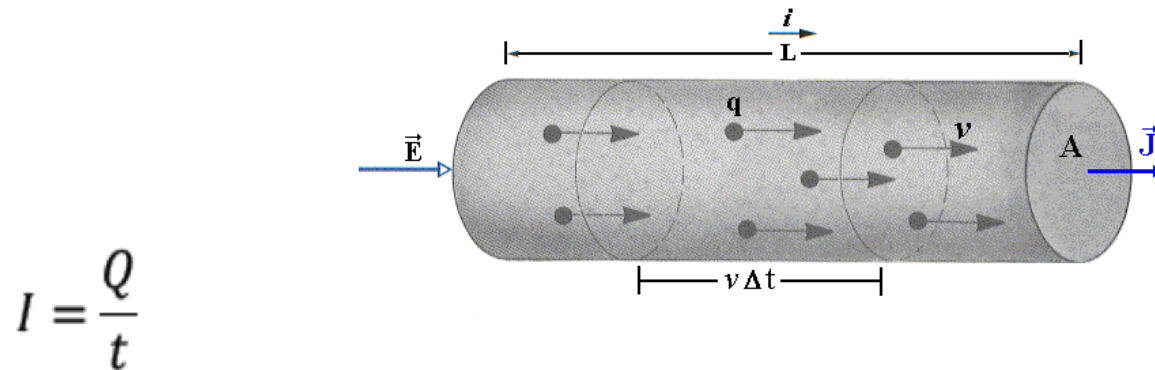
- Medida: com um voltímetro ou multímetro ligado em paralelo no circuito;



Figura – Voltímetros e multímetros

3.3 Corrente e intensidade de corrente elétrica

a) Corrente e intensidade de corrente elétrica



Sendo: I – intensidade de corrente elétrica (A); Q – quantidade de cargas elétricas (C); t – tempo (s).

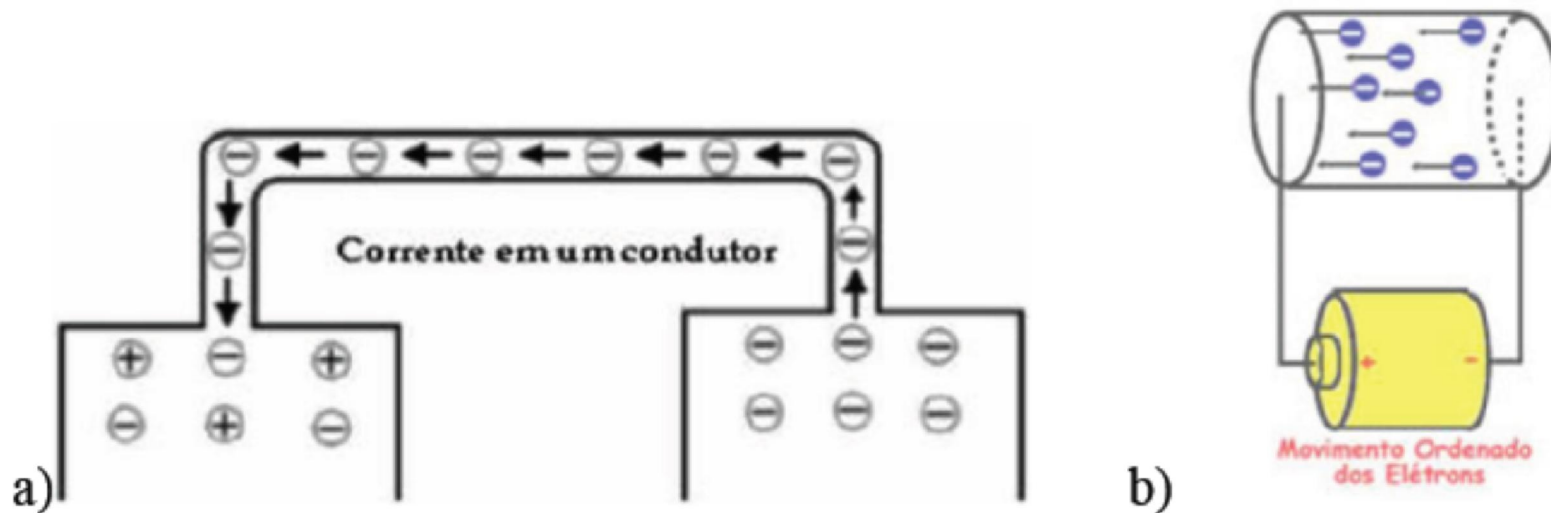


Figura 2.7 – a) Corrente elétrica em um condutor; b) Intensidade de corrente elétrica

3.3 Corrente e intensidade de corrente elétrica

a) Corrente e intensidade de corrente elétrica

- Medida: com um amperímetro ligado em série no circuito ou multímetro;



Figura 2.8 – Amperímetros e multímetros: a) Analógico; e, b) Digitais.

- Analogia com hidráulica: A intensidade de corrente elétrica (I) equivale a vazão (Q) em hidráulica.

$$\text{Corrente } (I; \text{ em } A) = \frac{\text{Cargas } (C)}{\text{Tempo } (s)}$$

$$\text{Vazão } (m^3 s^{-1}) = \frac{\text{Volume } (m^3)}{\text{Tempo } (s)}$$

3.3 Corrente e intensidade de corrente elétrica

b) Corrente contínua (CC; bateria ou dínamo)

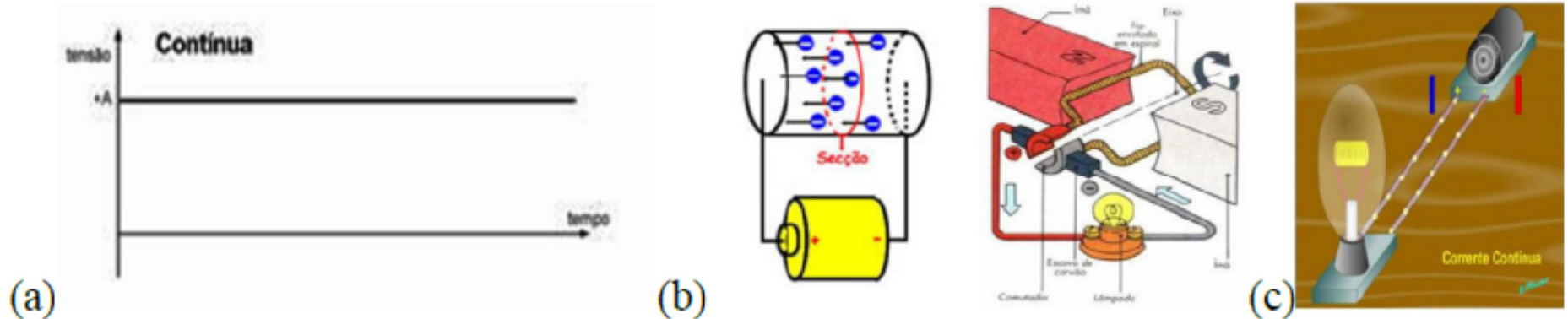


Figura 2.9 – Corrente elétrica contínua: a) Tendência; b) Produção; c) Sentido.

c) Corrente alternada (CA; alternador)

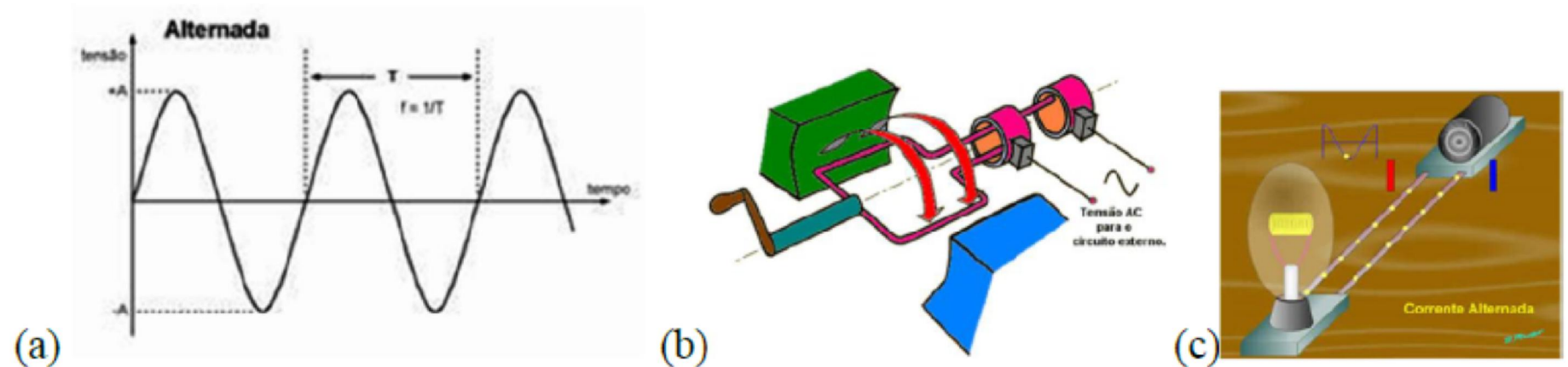


Figura 2.10 – Corrente elétrica alternada: a) Tendência; b) Produção; c) Sentido.

3.3 Corrente e intensidade de corrente elétrica

d) Principais efeitos da corrente elétrica:

- Efeito térmico ou efeito joule;
- Campo magnético produzido pela corrente elétrica;
- Efeito químico;
- Efeitos fisiológicos.

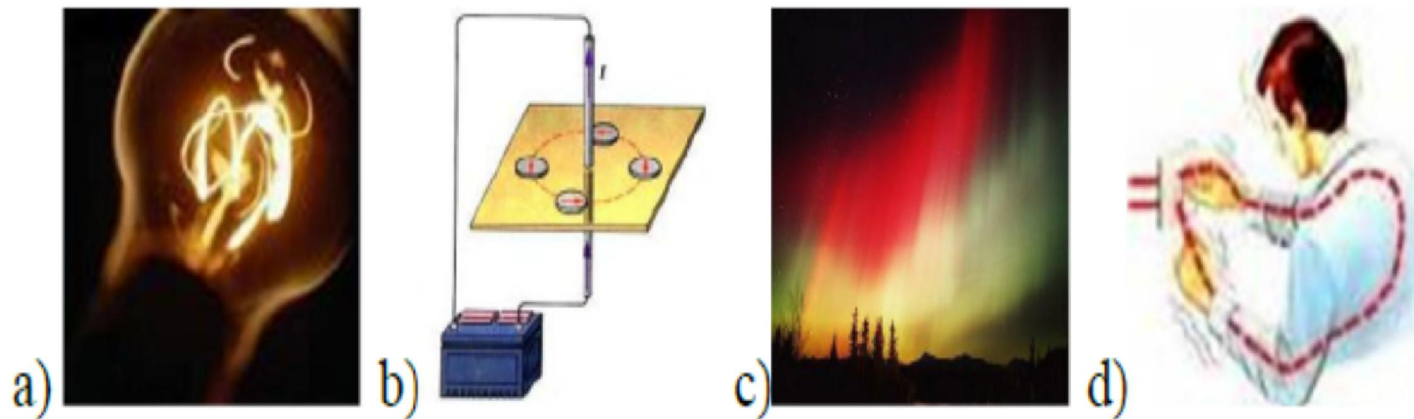


Figura 2.11 – Principais efeitos da corrente elétrica: a) térmico; b) magnético; c) químico; e, d) fisiológico.

3.4 Primeira lei de Ohm

$$U = R \cdot I$$

Sendo: U – tensão elétrica (V); R – resistência elétrica (Ω); I – Intensidade de corrente elétrica (A).

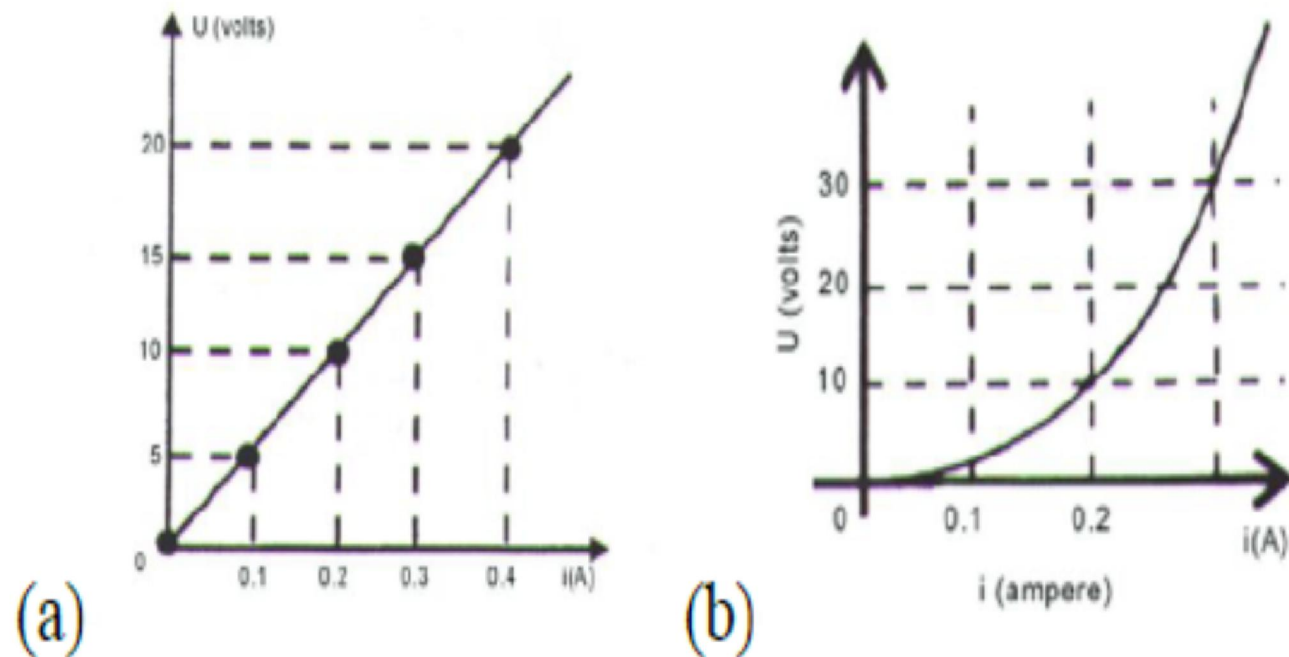


Figura 2.12 – Característica do condutor: a) Ôhmico; e, b) Não ôhmico.

3.5 Segunda lei de Ohm

a) Resistência elétrica



Figura 2.13 – Movimento de uma carga no interior do condutor

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

Sendo: R – resistência elétrica (Ω); ρ – resistividade do material condutor ($\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$; Tabela 2.4); L – comprimento do condutor (m); S – área da seção transversal do condutor (mm^2).

– Medida: com um multímetro ou aplicando equações.

– Analogia com hidráulica: Resistência elétrica (R) dentro de um condutor e perda de carga (h_f) em uma tubulação hidráulica para recalque de água.

3.5 Segunda lei de Ohm

Tabela 2.4. Resistividade (ρ) e coeficiente de temperatura (α) dos principais materiais condutores.

Material	Resistividade ($\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)	Coeficiente de temperatura ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Prata	0,0160	0,0038
Prata-liga	0,3000	0,0007
Cobre	0,0178	0,0040
Alumínio	0,0280	0,0039
Ferro	0,1300	0,0060
Platina	0,1000	0,0032
Zinco	0,0600	0,0039
Chumbo	0,2100	0,0042
Constantan	0,5000	$\cong 0,0$
Níquel-cromo	1,0000	0,00016
Mercúrio	0,9600	0,00092
Tungstênio	0,0550	0,0048

3.5 Segunda lei de Ohm

b) Resistência elétrica (em função da temperatura)

$$R = f(\rho, L, S, T)$$

$$R_T = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_f - T_i)]$$

Sendo: R_T – resistência elétrica a uma determinada temperatura T em °C (Ω); R_{20} – resistência elétrica a 20°C (Ω); α – coeficiente de temperatura (°C⁻¹; Tabela 2.4); T_i – temperatura inicial (°C); T_f – temperatura final (°C)

Exemplo 2.10 – Calcular a resistência elétrica de um condutor de cobre à 20 °C ($R_{T=20\text{ °C}} = 100 \Omega$) quando estiver trabalhando na temperatura de 80 °C.

$$R_{80} = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_f - T_i)]$$

$$R_{80} = 100 \cdot [1 + 0,004 \cdot (80 - 20)] = 124 \Omega$$

3.6 Queda de tensão

$$E = U + \Delta U = R_e \cdot I + r_i \cdot I$$

Sendo, E – força eletromotriz (*f.e.m.*; V); R_e – resistência externa do circuito (Ω); r_i – resistência interna do circuito (Ω); I – intensidade da corrente elétrica (A); U – tensão nos terminais (V); ΔU – queda de tensão devido as perdas no sistema (V).

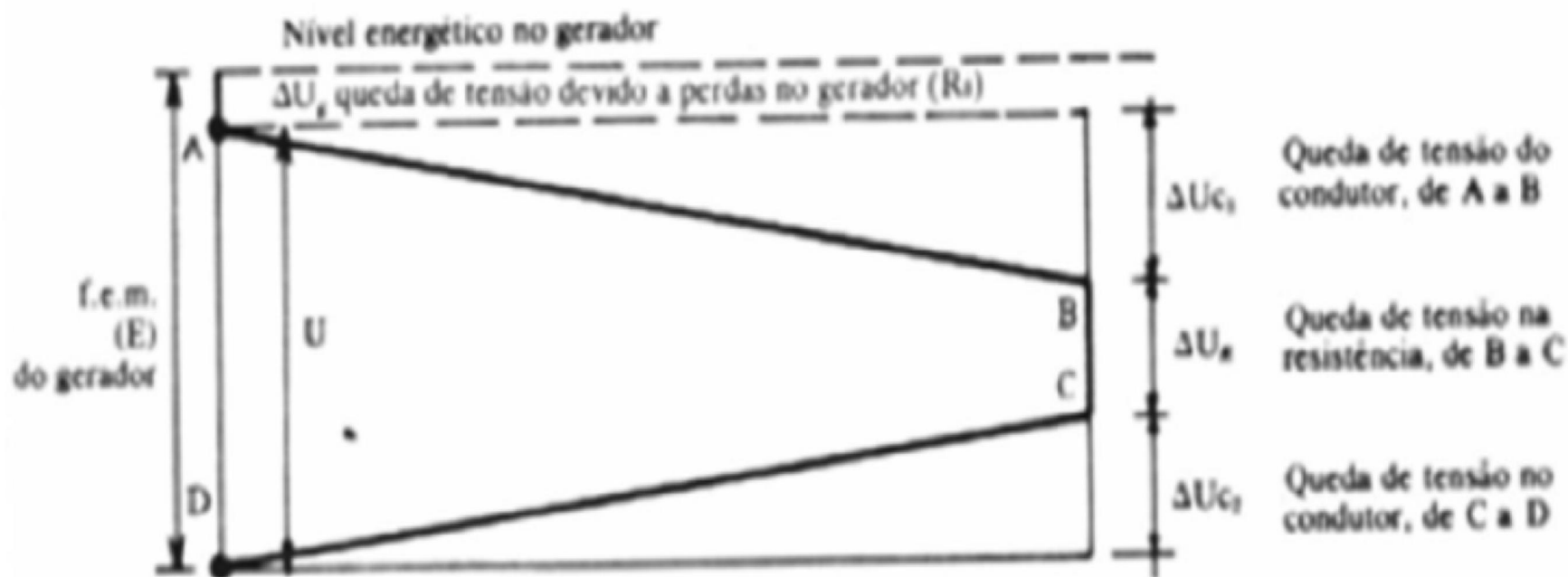


Figura 2.14 – Balanço energético em um circuito elétrico.

3.7 Circuitos com resistências associadas

a) Constituição de um circuito elétrico:

➤ Definição

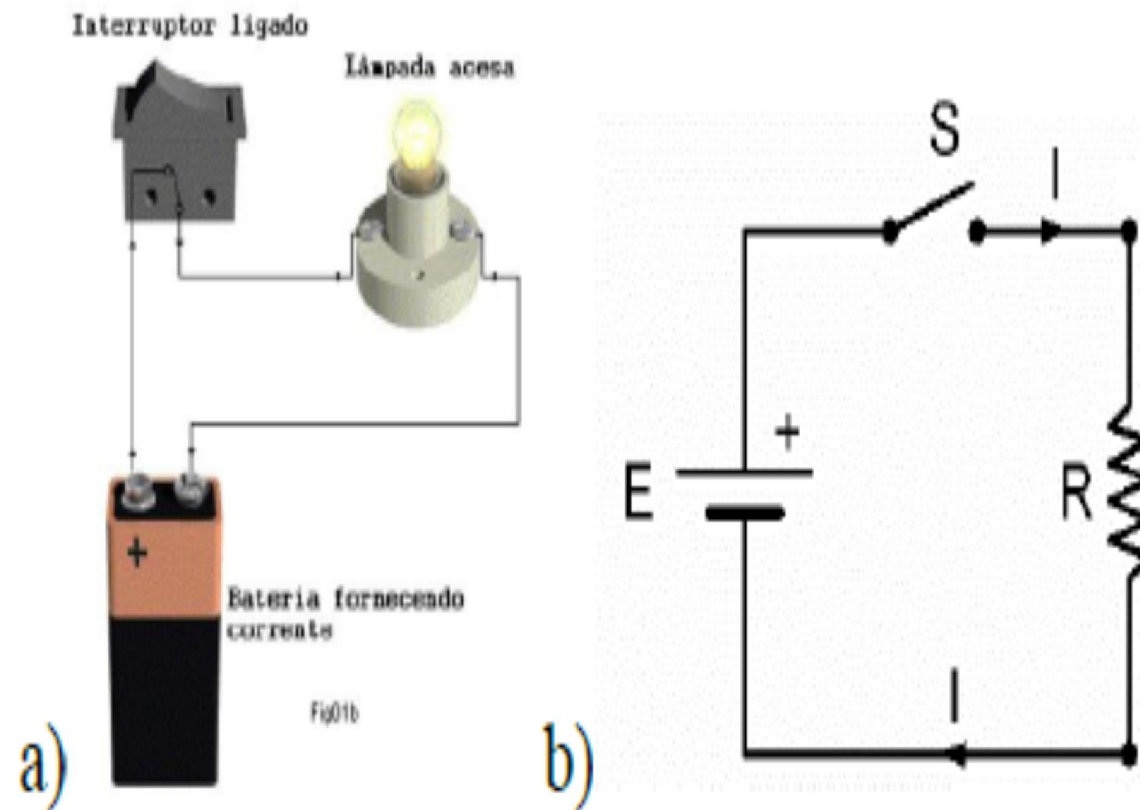


Figura 2.15 – Circuito elétrico com esquemas: a) Multifilar; e, b) Unifilar.

3.7 Circuitos com resistências associadas

b) Circuito com resistência em série

➤ Características do circuito série:

$$I_e = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

$$U_e(BE) = U_{BC} + U_{CD} + \dots + U_{DE}$$

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

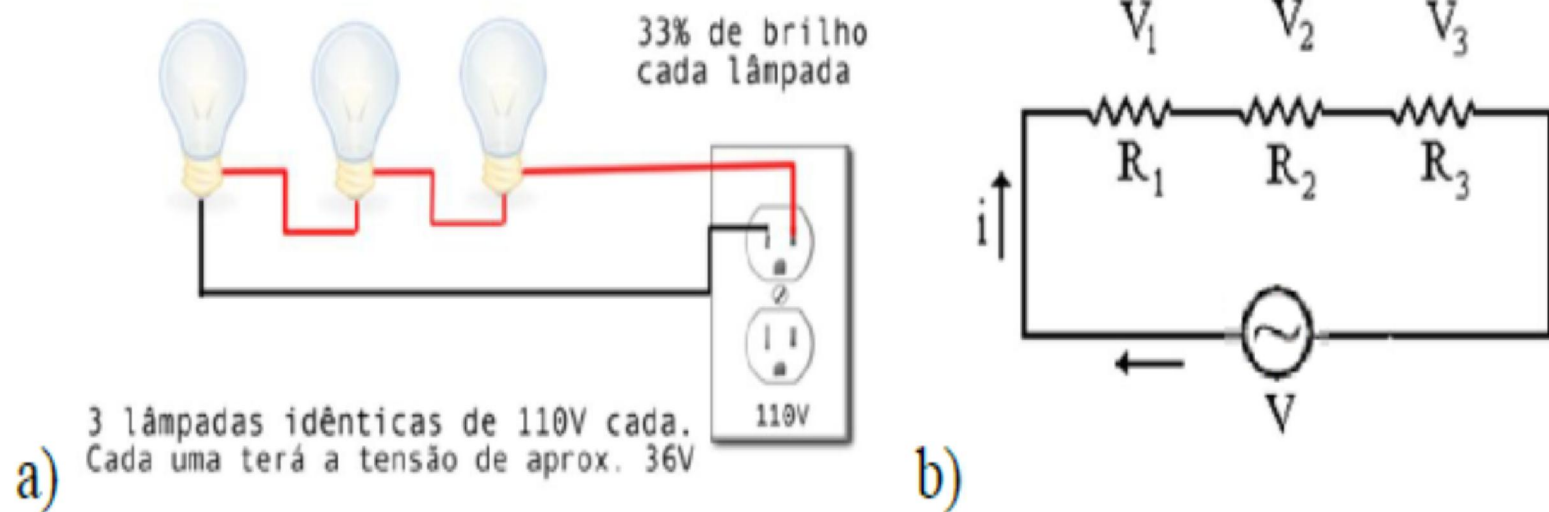


Figura 2.16 – Circuito elétrico em série, com esquemas: a) Multifilar; e, b) Unifilar.

Exemplo 2.11 – Se ligássemos dois aparelhos em série, sendo um aquecedor (280 W e 127 V) e uma lâmpada (100 W e 127 V), em circuito de tensão 254 V, o sistema funcionaria adequadamente? Explique tecnicamente

Tenho de encontrar as resistências

$$U = R \cdot I \quad \text{e} \quad P = U \cdot I$$

i) Cálculo da corrente dos equipamentos

$$P = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{P}{U}$$

$$I_a = \frac{280}{127} = 2,2 \text{ A} \quad I_L = \frac{100}{127} = 0,79 \text{ A}$$

ii) Cálculo da resistência dos equipamentos

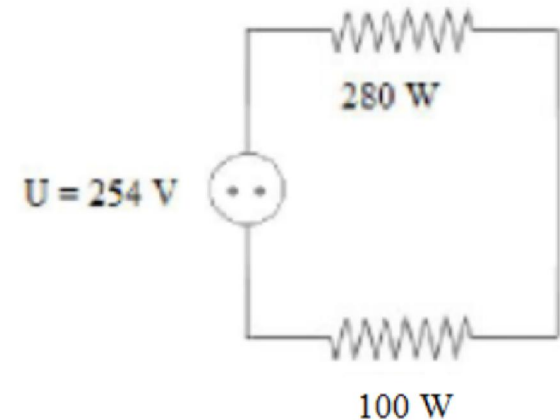
$$U = R \cdot I \Rightarrow R = \frac{U}{I}$$

$$R_a = \frac{127}{2,2} = 57,7 \Omega \quad R_L = \frac{127}{0,79} = 161,3 \Omega$$

iii) Cálculo da resistência e corrente equivalente do circuito, ligado em $U = 254 \text{ V}$

$$R_e = R_a + R_L \Rightarrow 57,7 + 161,3 = 219 \Omega$$

$$I_e = \frac{U_e}{R_e} = \frac{254}{219} = 1,16 \text{ A}$$



Logo, o aquecedor não irá funcionar adequadamente, tendo potência inferior 280 W. A lâmpada terá a vida útil reduzida e queimaria, pois trabalharia em potência superior.

3.7 Circuitos com resistências associadas

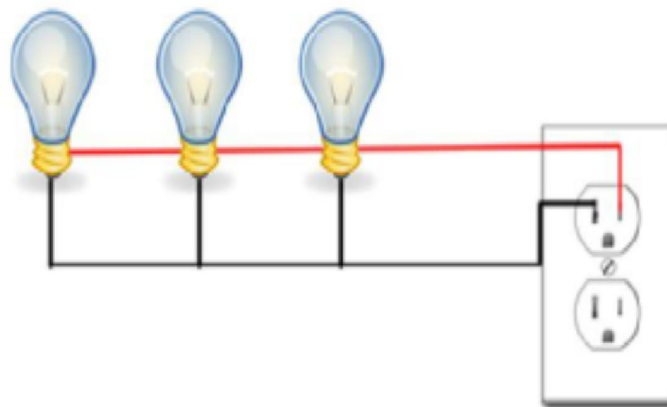
c) Circuito com resistência em paralelo

➤ Características do circuito paralelo:

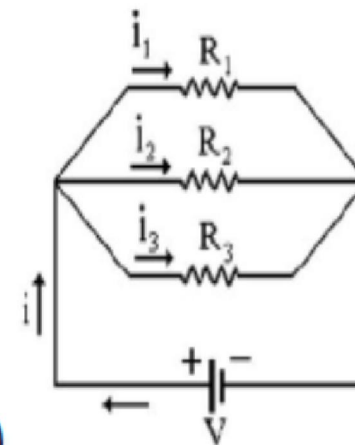
$$U_e = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

$$I_e = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$



(a)



(b)

Figura 2.17 – Circuito elétrico em paralelo, com esquemas: a) Multifilar; e, b) Unifilar.

3.7 Circuitos com resistências associadas

c) Circuito com resistência em paralelo

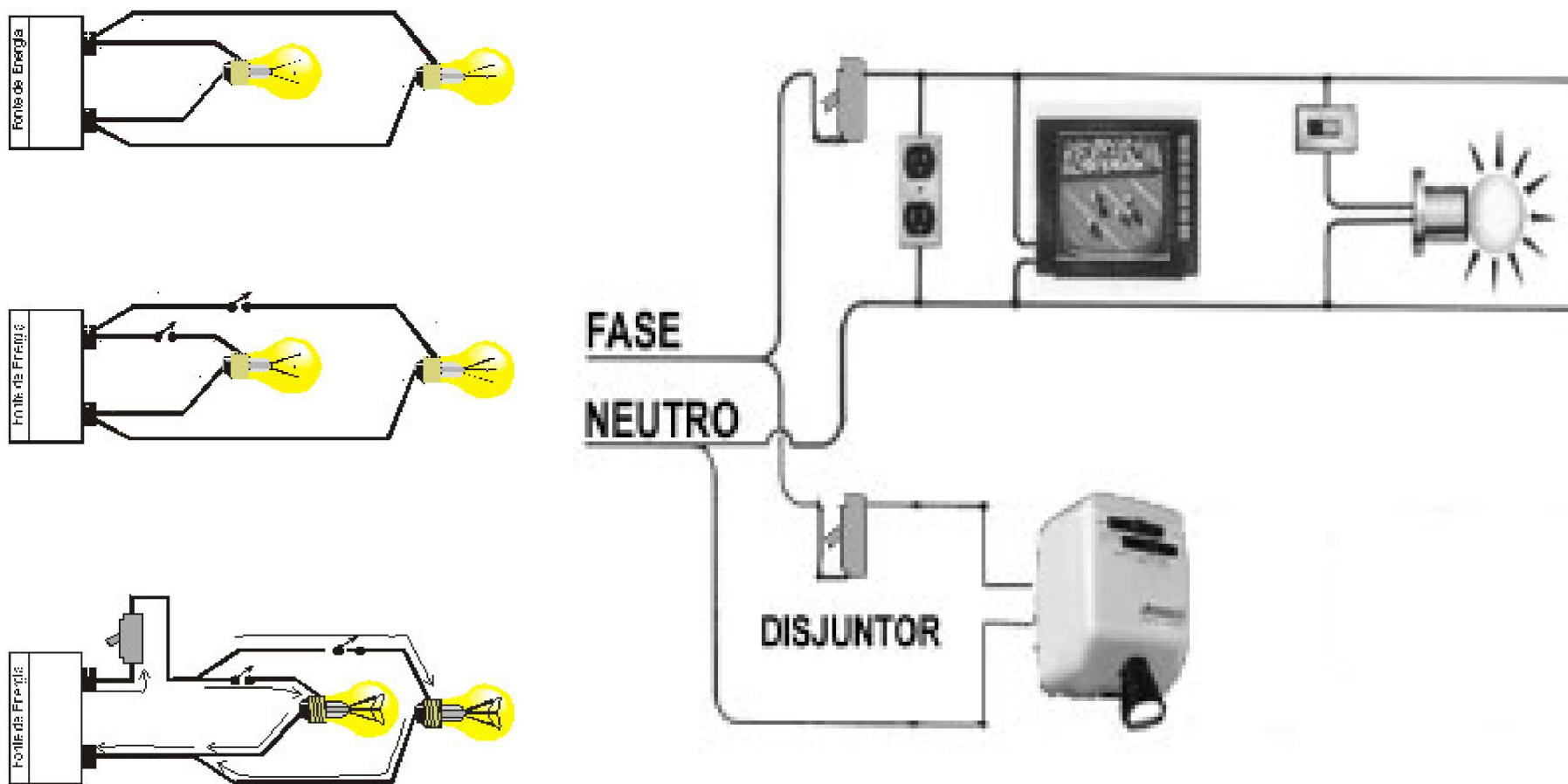


Figura 2.18 – Esquema multifilar de circuitos em paralelo para chuveiro (uso específico), tomadas (uso geral) e iluminação.

Exemplo 2.12 – A ligação de um aquecedor $P_a = 280 \text{ W}$ (110 V) e uma lâmpada $P_l = 100 \text{ W}$ (220 V) em circuito paralelo com tensão 380 V funcionaria adequadamente? Explique tecnicamente.

Tenho de encontrar as resistências

$$U = R \cdot I \quad \text{e} \quad P = U \cdot I$$

i) Cálculo da corrente dos equipamentos

$$P = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{P}{U}$$

$$I_a = \frac{280}{110} = 2,55 \text{ A} \qquad I_L = \frac{100}{220} = 0,45 \text{ A}$$

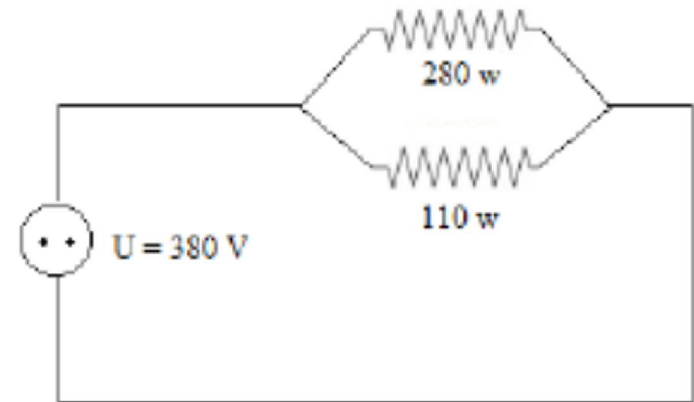
ii) Cálculo da resistência dos equipamentos

$$U = R \cdot I \Rightarrow R = \frac{U}{I}$$

$$R_a = \frac{110}{2,55} = 43,21 \Omega \qquad R_L = \frac{220}{0,45} = 484 \Omega$$

iii) Cálculo da corrente dos aparelhos, ligados em $U = 380 \text{ V}$

$$I_a = \frac{U_a}{R_a} = \frac{380}{43,21} = 8,8 \text{ A} \qquad I_L = \frac{U_L}{R_L} = \frac{380}{484} = 0,79 \text{ A}$$



Logo, os dois equipamentos queimariam, pois iriam trabalhar com corrente superior ao valor para a qual foram fabricados para funcionar.

3.7 Circuitos com resistências associadas

d) Circuito misto (resistências em série e paralelo)

➤ Características do circuito misto:

$$I_e = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

$$U_e(BE) = U_{BC} + U_{CD} + \dots + U_{DE}$$

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$U_e = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

$$I_e = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

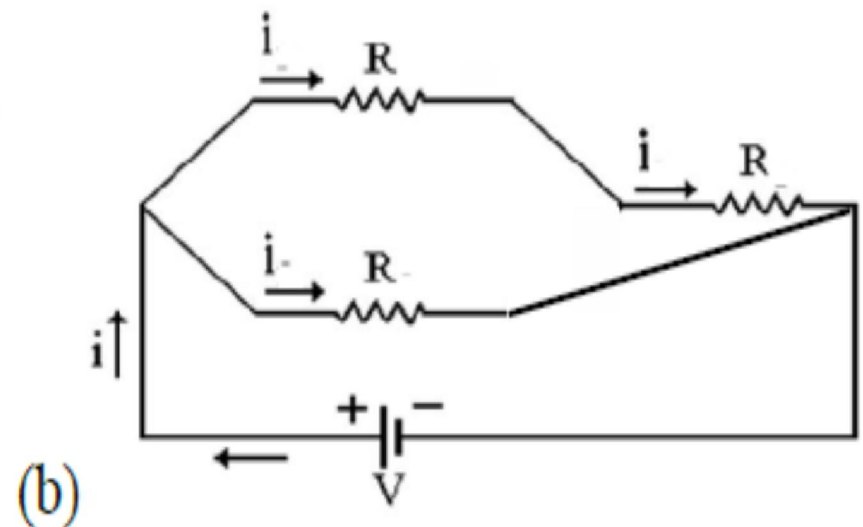
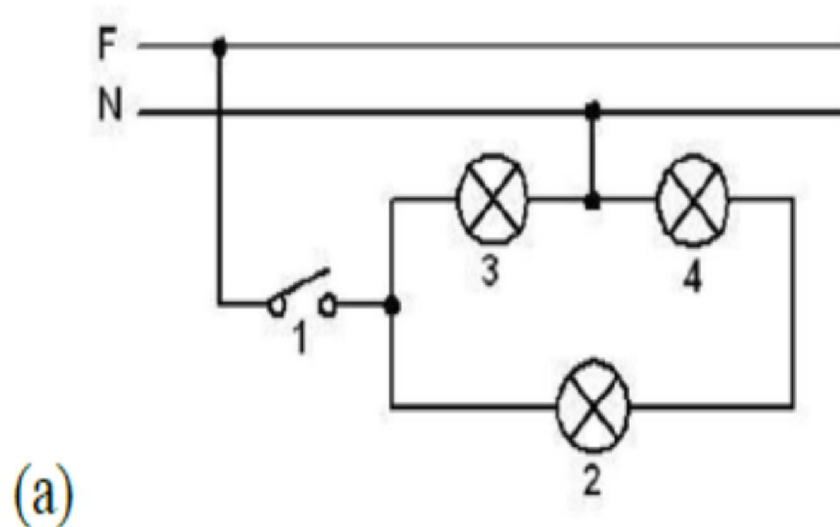


Figura 2.19 – Circuitos elétrico misto, com esquemas: a) Multifilar; e, b) Unifilar.

Exemplo 2.13 – Um condutor de níquel-cromo, com bitola B & S nº 20 (0,813 mm) e 8,3 m de comprimento, é usado como resistência para aquecimento de água. A tensão é de 127 V. O reservatório contém 150 litros de água a 20°C. Dados: 1 kWh = 860 kcal, $\rho_{\text{massa específica da água}} = 1000 \text{ kg m}^{-3}$ e $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Determine:

i) A potência do aquecedor:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{L} \Rightarrow R = \frac{\rho \cdot L}{S} = \frac{1 \cdot 8,3}{0,52} = 15,96 \Omega$$

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,813^2}{4} = 0,52 \text{ mm}^2$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{127}{15,96} = 7,96 \text{ A} \quad P = U \cdot I = 127 \cdot 7,96 = 1010,5 \text{ W ou } 1,01 \text{ kW}$$

ii) A energia consumida após 3 h de aquecimento:

$$W = P \cdot t = 1,01 \text{ kW} \cdot 3 \text{ h} = 3,03 \text{ kWh ou}$$

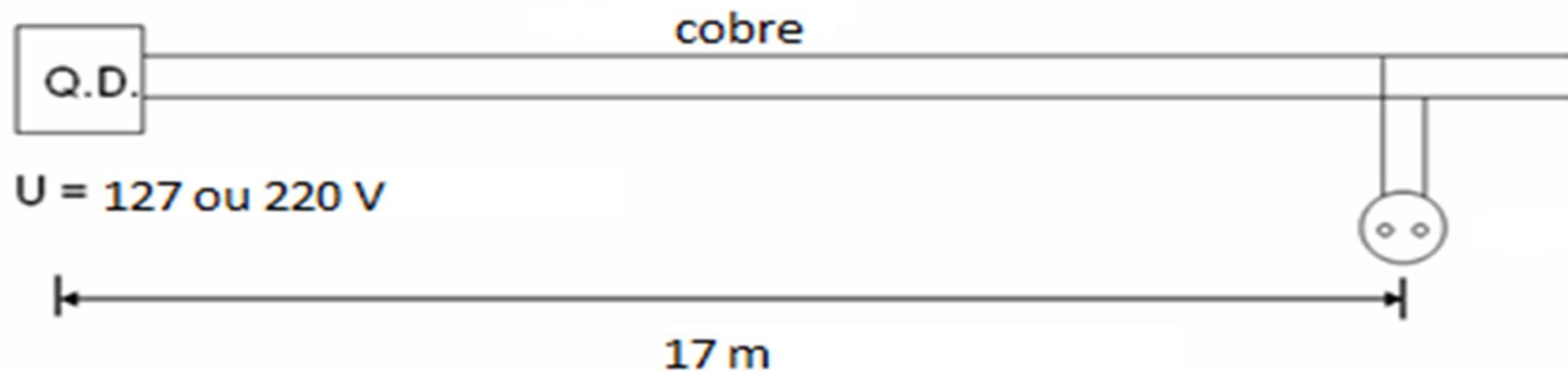
$$\text{Como } 1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal tem-se } Q = 2605,8 \text{ kcal}$$

iii) A temperatura da água após 3 horas de aquecimento.

$$Q = m \cdot c \cdot (T_f - T_i) \Rightarrow 2605,8 \text{ kcal} = 150 \text{ kg} \cdot 1000 \text{ cal kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (T_f - 20 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$$

$$T_f = \frac{2605800 \text{ cal}}{150 \text{ kg} \cdot 1000 \text{ cal kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}} + 20 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 17,4 \text{ } ^\circ\text{C} + 20 \text{ } ^\circ\text{C} = 37,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Exemplo 2.14 – Um secador elétrico de 5400 W será ligado em circuito contendo condutor alimentador de cobre de 4 mm², e encontra-se à 17 m de distância do quadro de distribuição (Q.D.) da instalação. A resistência do secador é de níquel-cromo e possui comprimento de 2,5 m. Supondo que o equipamento possa ser adquirido nas tensões 127 V ou 220 V, mencione para o dono da instalação as diferenças que existem nos dois aparelhos quanto: *i)* A corrente (I); *ii)* Resistência elétrica do secador (R); *iii)* Resistência elétrica dos fios de alimentação (r); *iv)* Queda de tensão proporcionada nos fios quando o secador é ligado (ΔU); *v)* Diâmetro da resistência do secador (D); *vi)* O valor gasto com a energia (trabalho; W). Obs.: Supor o equipamento trabalhando duas horas por dia, em um mês de 30 dias, e o preço do 1 kWh = R\$ 0,3879.



i) $I = ??$

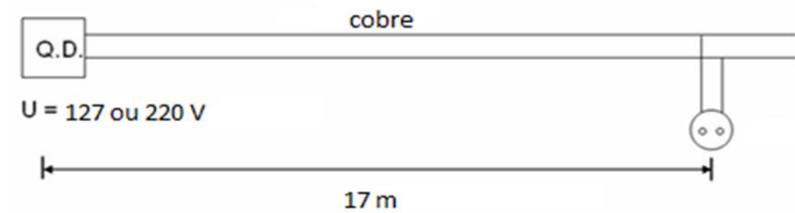
$$I_{220} = \frac{P_a}{U_{220}} = \frac{5400}{220} = 24,54 \text{ A}$$

$$I_{127} = \frac{P_a}{U_{127}} = \frac{5400}{127} = 42,52 \text{ A}$$

ii) $R = ??$

$$R_{220} = \frac{U_{220}}{I_{220}} = \frac{220}{24,54} = 8,96 \Omega$$

$$R_{127} = \frac{U_{127}}{I_{127}} = \frac{127}{42,52} = 2,99 \Omega$$



iii) $R_{fios} = ??$

$$\rho_{fios} = \frac{R_{fios} \cdot S_{fios}}{L_{fios}} \quad \Rightarrow \quad R_{fios} = \frac{\rho_{fios} \cdot L_{fios}}{S_{fios}} = \frac{0,0178 \cdot (2 \cdot 17)}{4} = 0,1513 \Omega$$

iv) $\Delta U_{fios} = ??$

$$\Delta U_{fios(220)} = I_{220} \cdot R_{fios} = 24,54 \cdot 0,1513 = 3,71 V \text{ ou } 1,69\%$$

$$\Delta U_{fios(127)} = I_{127} \cdot R_{fios} = 42,52 \cdot 0,1513 = 6,43 V \text{ ou } 5,07\%$$

$$v) D_{Res.} = ??$$

$$\rho_{Res.} = \frac{R_{Res.(220)} \cdot S_{Res.(220)}}{L_{fios}} \Rightarrow S_{Res.(220)} = \frac{\rho_{Res.} \cdot L_{Res.}}{R_{Res.(220)}} = \frac{1 \cdot 2,5}{8,96} = 0,2790 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{Res.} = \frac{R_{Res.(127)} \cdot S_{Res.(127)}}{L_{fios}} \Rightarrow S_{Res.(127)} = \frac{\rho_{Res.} \cdot L_{Res.}}{R_{Res.(127)}} = \frac{1 \cdot 2,5}{2,99} = 0,837 \text{ mm}^2$$

$$\text{Como } S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$D_{Res.(220)} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{Res.(220)}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,2790}{\pi}} = 0,56 \text{ mm}$$

$$D_{Res.(127)} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{Res.(127)}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,837}{\pi}} = 1,03 \text{ mm}$$

$$vi) \text{ Custo com energia} = ??$$

$$W = P \cdot t = 5400 \text{ W} \cdot \left(2 \frac{\text{h}}{\text{dia}} \cdot 30 \frac{\text{dia}}{\text{mês}} \right) = 324000 \frac{\text{Wh}}{\text{mês}} \quad \text{ou} \quad 324 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}}$$

$$\text{Custo} = 324 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}} \cdot 0,3879 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} = \text{R\$ } 125,68 \text{ por mês}$$

4 Características elétricas dos circuitos

4.1 Tipos de cargas que podem ser ligadas em um circuito

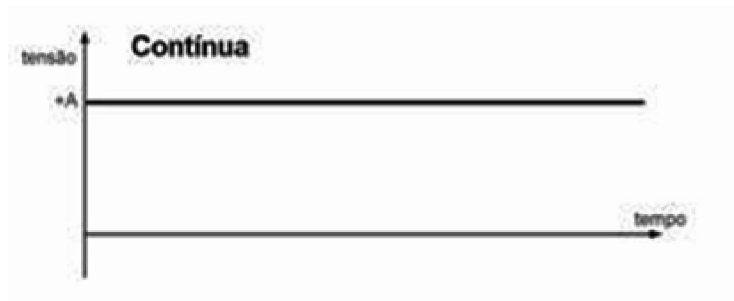


Figura 2.20– Tipos de cargas que podem ser ligadas em um circuito: a) resistências (R); b) bobinas (L); e, c) capacitores (C).

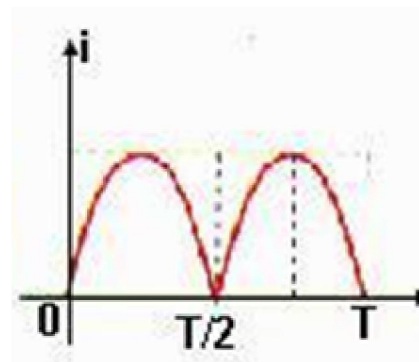
4.2 Ligação das cargas resistivas (R), indutivas (L) e capacitivas (C)

a) Circuito em corrente contínua (CC)

- Independentemente do tipo de carga (R, L ou C) o cálculo da resistência equivalente (R_e) do circuito segue os procedimentos tratados anteriormente para circuitos série, paralelo e misto.



(a)



(b)

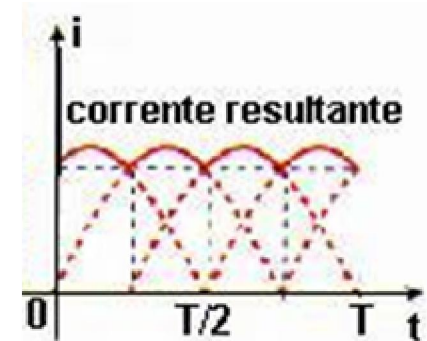
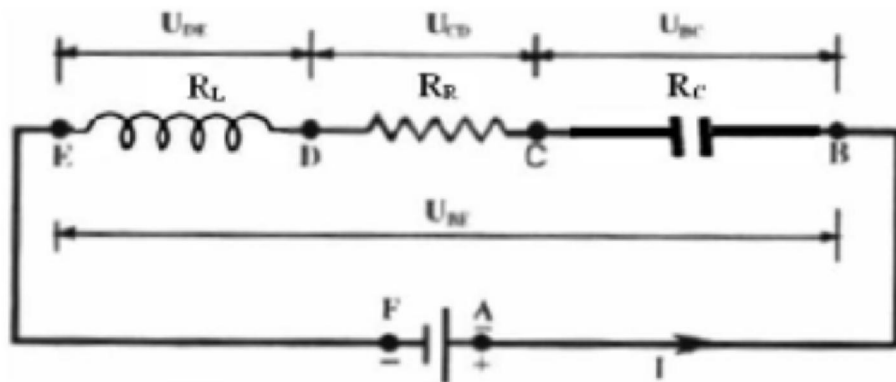


Figura – Corrente contínua: (a) bateria; e, (b) dínamo.

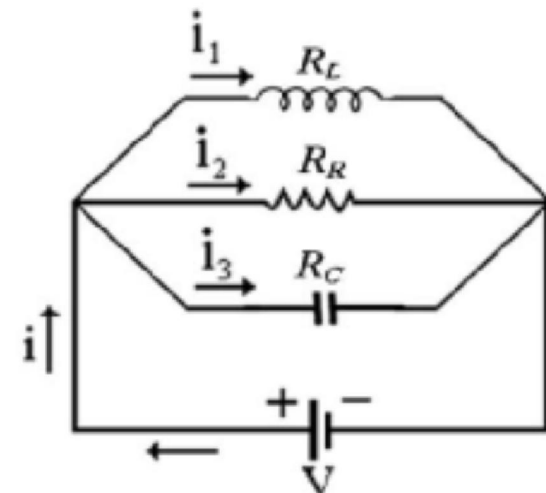
4.2 Ligação das cargas resistivas (R), indutivas (L) e capacitivas (C)

b) Circuito de corrente alternada (CA), contendo somente resistência (R)

- O cálculo da resistência equivalente segue os procedimentos tratados anteriormente para circuitos série, paralelo e misto. Tensão e corrente permanecem em fase ([Figura 2.21a](#))



$$R_e = R_L + R_R + R_C$$



$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Figura – Cálculo da resistência equivalente quando existe resistência, indutor e capacitor em circuito CC.

4.2 Ligação das cargas resistivas (R), indutivas (L) e capacitivas (C)

c) Circuito de corrente alternada (CA) contendo cargas resistivas, indutivas e capacitivas

- O cálculo da resistência equivalente (R_e) **difere** dos procedimentos tratados anteriormente para circuitos série, paralelo e misto, pois ocorre um defasamento entre tensão e corrente.

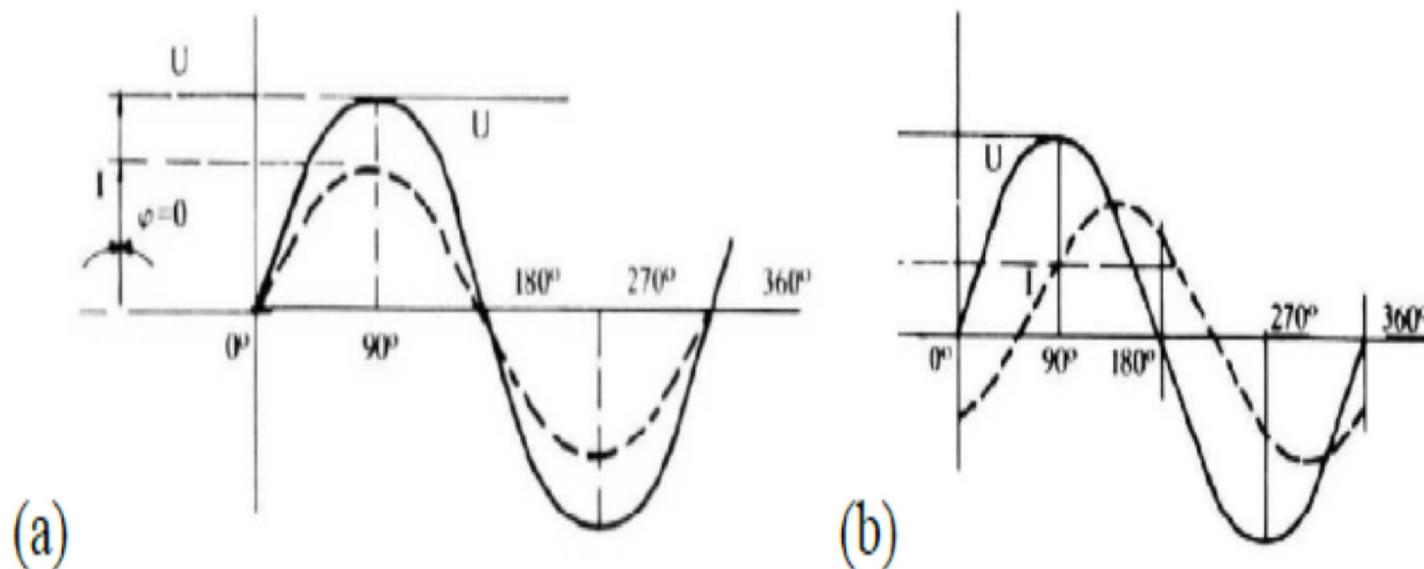
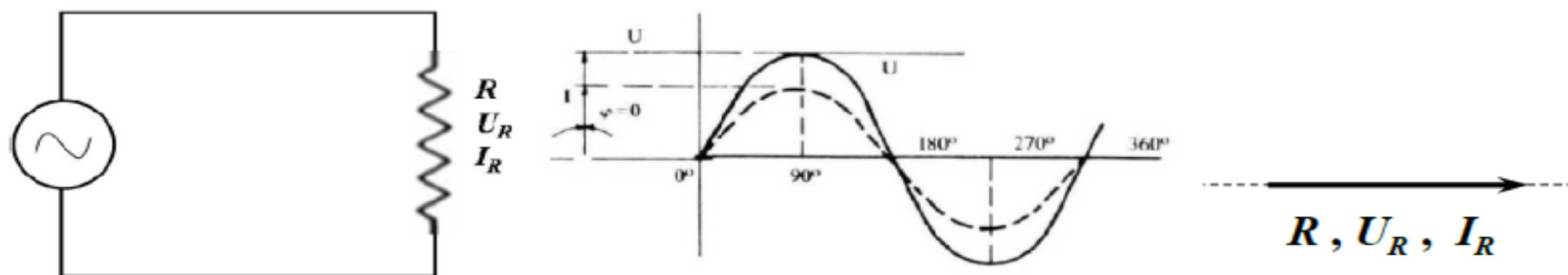
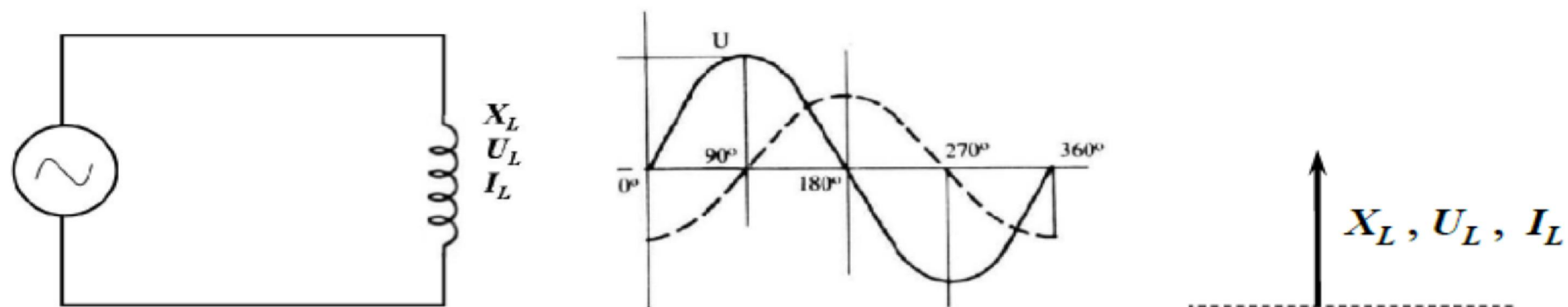


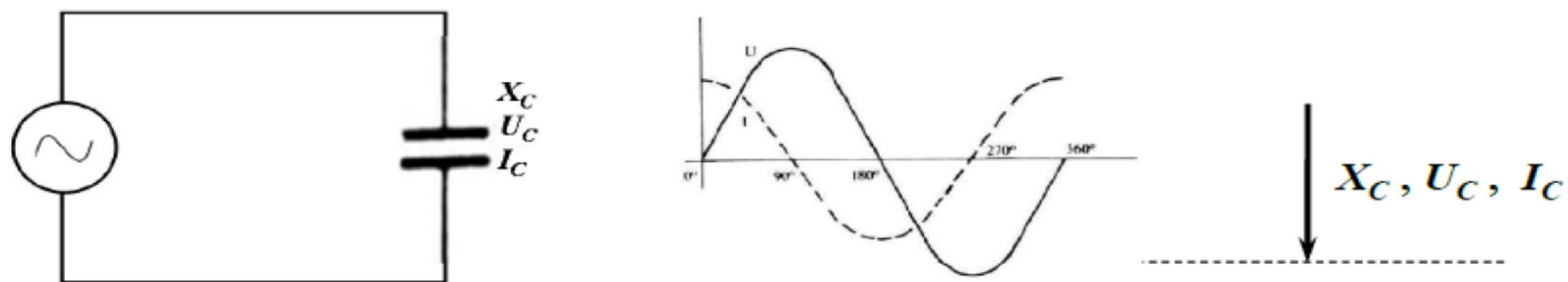
Figura 2.21 – Diagrama fasorial de circuitos contendo: a) apenas resistência; e, b) resistência, indutores ou capacitores.



(a) Circuito contendo apenas resistência (resistivo puro)



(b) Circuito contendo apenas indutor (indutivo puro)



(c) Circuito contendo apenas capacitor (capacitivo puro)

Figura 2.22 – Ligação CA, diagrama fasorial e representação vetorial para circuitos contendo apenas: a) Resistência; b) Indutor; e, c) capacitor.

- Circuito RLC (possui resistência, indutor e capacitor)
 - Dificilmente tem-se circuitos R, L ou C puro;
 - O mais comum é que ocorra uma associação entre eles;
- Circuito RLC: Triângulo da Impedância (resistência equivalente)

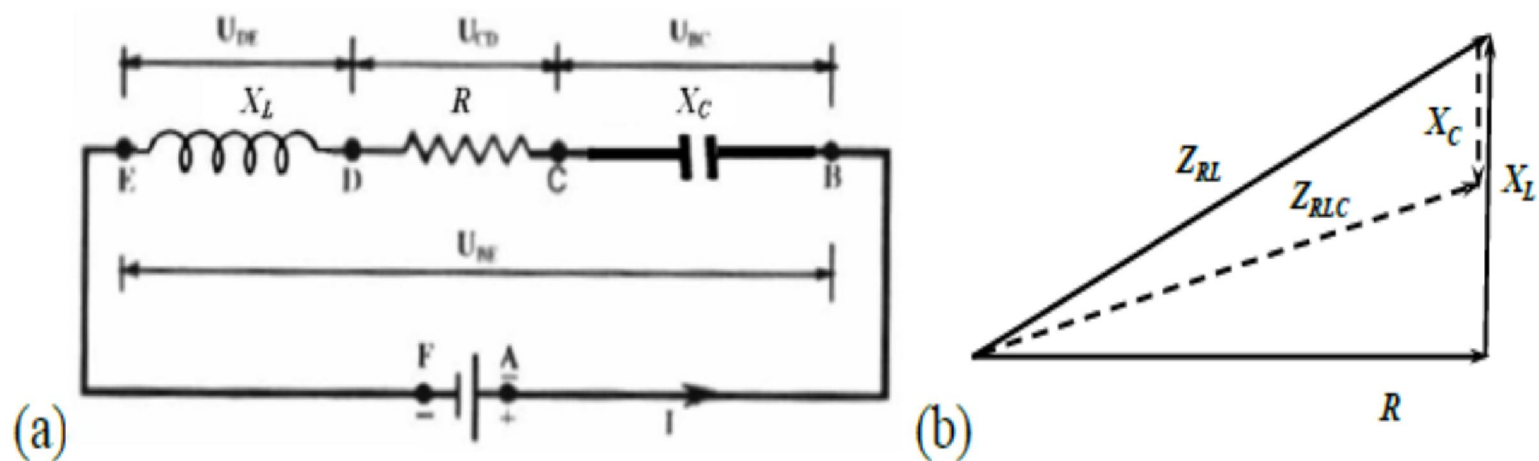
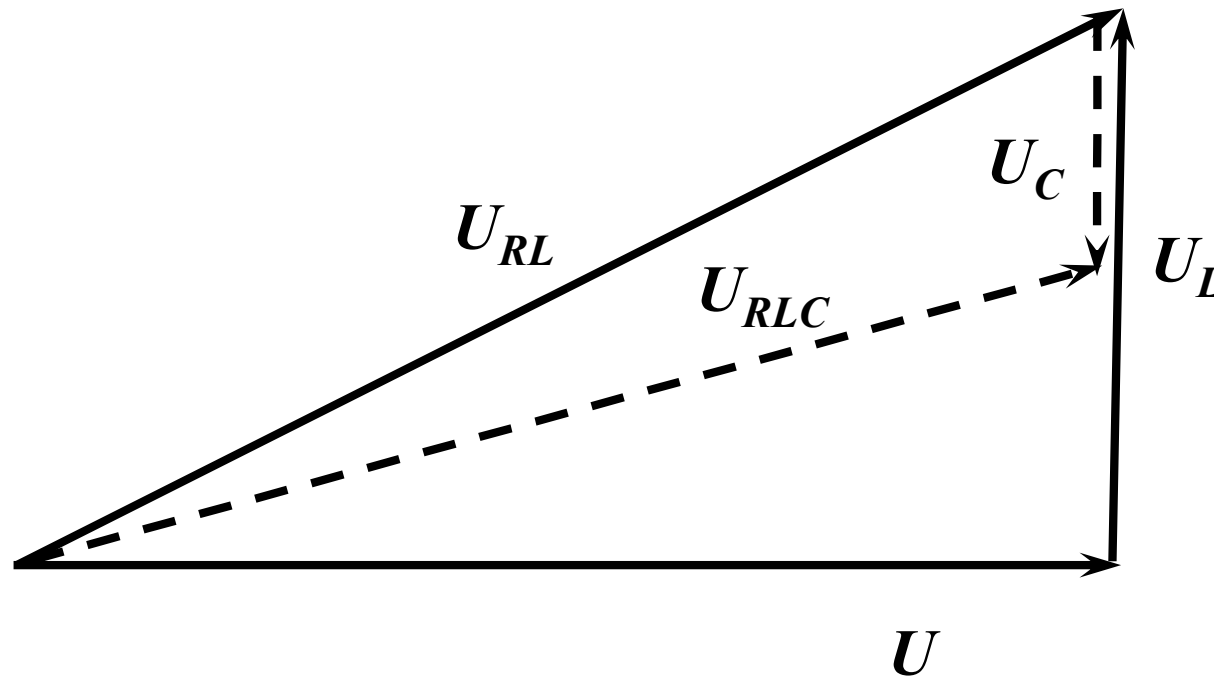


Figura 2.23 – Circuito CA contendo resistência, capacitor e indutor (RCL): a) circuito; b) representação vetorial do triângulo da impedância.

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2 \quad \rightarrow \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Sendo: Z – impedância do circuito (Ω); R – resistência do resistor (Ω); X_L – reatância indutiva (Ω); X_C – reatância capacitiva (Ω).

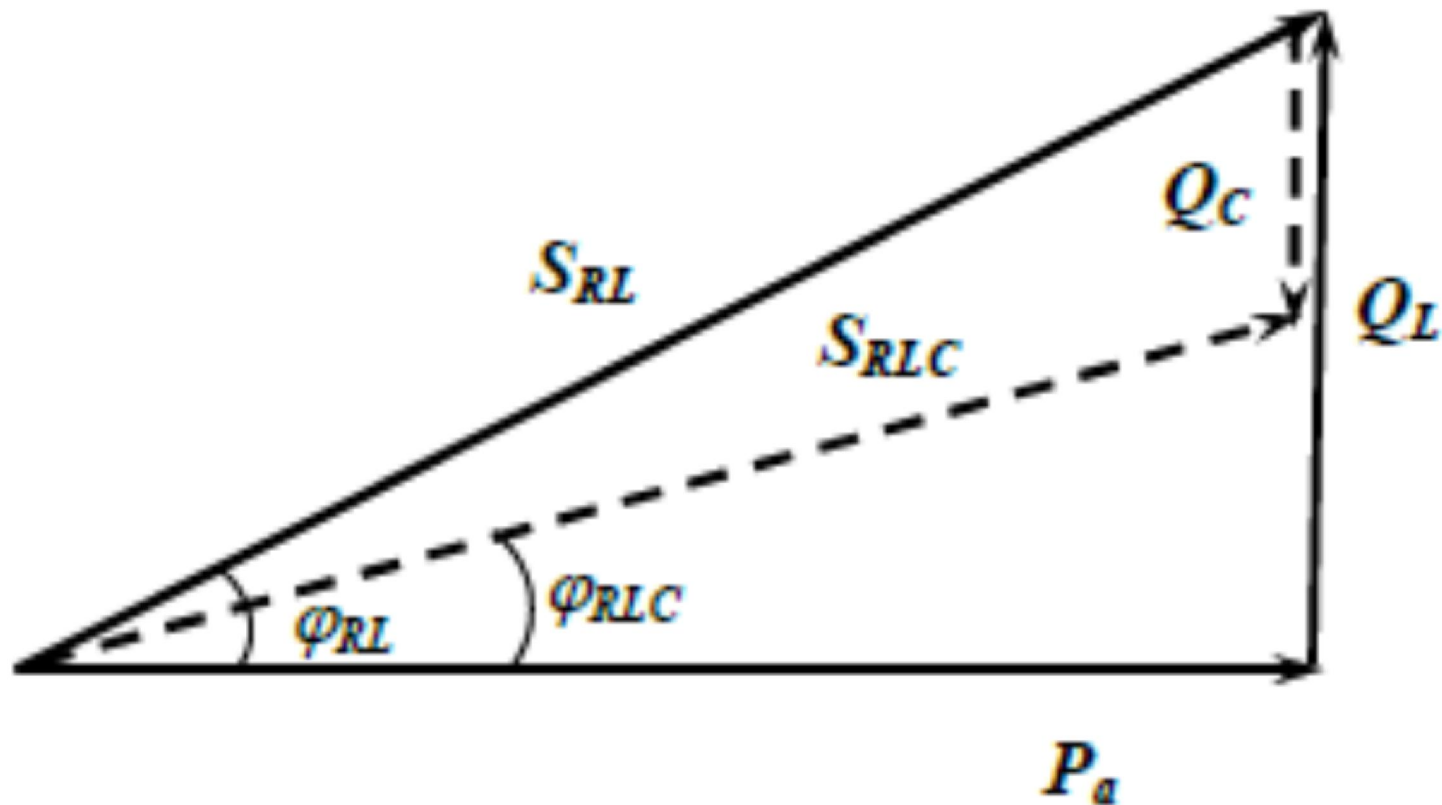
➤ Circuito RLC: Triângulo das Tensões



$$U_Z^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2 \quad \rightarrow \quad U_Z = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

Sendo: U_Z – tensão resultante (V); U_R – tensão no resistor (V); U_L – tensão no indutor (V);
 U_C – tensão no capacitor (V).

➤ Circuito RLC: Triângulo das Potências



$$S^2 = P_a^2 + (Q_L - Q_C)^2 \quad \rightarrow \quad S = \sqrt{P_a^2 + (Q_L - Q_C)^2}$$

Sendo: S – potência aparente (kVA); P_a – potência ativa (kW); Q_L – potência reativa indutiva (kVAr); Q_C – potência reativa capacitiva (kVAr).

➤ Triângulo das potências

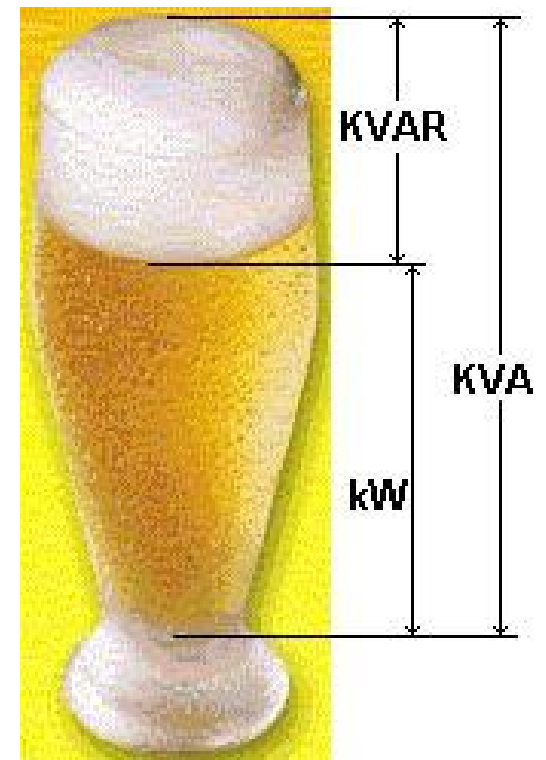
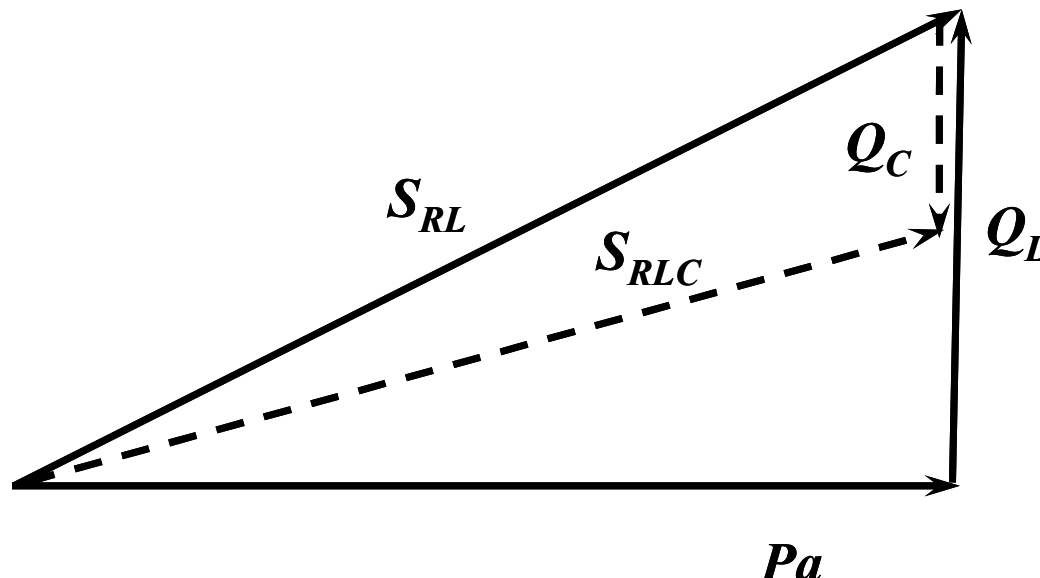
- Significado e causas das potências apresentadas no triângulo das potências

S – potência aparente (kVA)

P_a – potência ativa (kW)

Q_L – potência reativa indutiva (kVAr)

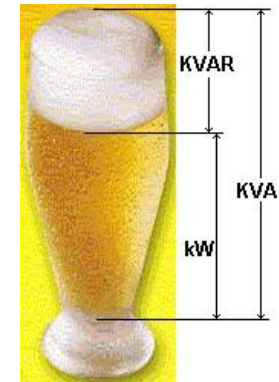
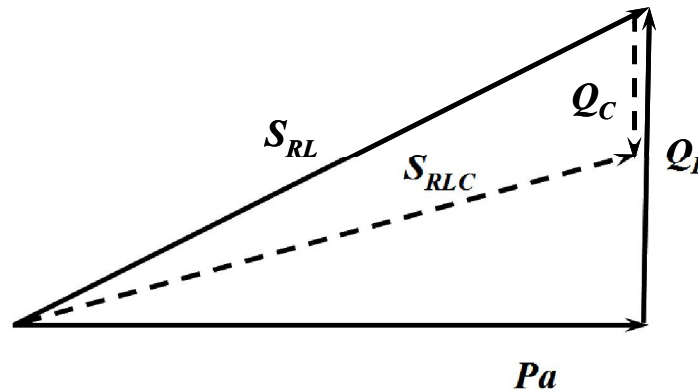
Q_C – potência reativa capacitiva (kVAr).



➤ Triângulo das potências

- Fator de potência ($\cos \varphi$)

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{S}$$



Sendo: $\cos \varphi$ – fator de potência (adimensional); P_a – potência ativa (kW); S – potência aparente (kVA).

Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE)

Portaria N° 1569 de 1993: $\cos \varphi \geq 0,92$

Se $\cos \varphi < 0,92$ o consumidor estará sujeito ao pagamento de um ajuste por baixo fator de potência

Considerações

$\cos \varphi = 1 \Rightarrow$ circuito puramente resistivo

$\cos \varphi < 1 \Rightarrow$ circuito contendo indutância

Exemplo 2.15 – Um motor trifásico de um sistema de irrigação, possui potência nominal (P_n) de 60 CV, 1.800 rpm e trabalha a 100% de carga ($\eta = 90\%$ e $\cos \varphi = 0,88$). Desta forma, pergunta-se: *i)* Haverá problema de baixo fator de potência ($\cos \varphi$), sabendo que existe somente este motor na instalação? Explique; *ii)* Qual é o valor da potência ativa do motor (P_a)? *iii)* Qual é o valor da potência reativa indutiva (Q_L)? *iv)* Qual seria o tamanho mínimo do transformador a ser adquirido? Obs.: Considere que ainda não houve a correção do fator de potência ($\cos \varphi$) da instalação.

i) Conforme Tabela do motor, tem-se: $\eta = 0,9$ e $\cos \varphi = 0,88$

Sim, pois o $\cos \varphi$ do motor ($\cos \varphi = 0,88$) é inferior ao estabelecido nos decretos do DNAEE ($\cos \varphi \geq 0,92$).

$$ii) \quad \eta = \frac{P_n}{P_a} \quad \Rightarrow \quad P_a = \frac{736 \cdot P_n}{\eta} \quad \text{para } P_a \text{ em CV}$$

$$P_a = \frac{736 \cdot P_n}{\eta} = \frac{736 \cdot 60}{0,9} = 49066,67 \text{ W} \quad \text{ou} \quad 49,07 \text{ kW}$$

$$iii) \quad \cos \varphi = 0,88 \quad \Rightarrow \quad \text{inverso } \cos 0,88 = 28,36$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{Q_L}{P_a} \quad \Rightarrow \quad Q_L = P_a \cdot \text{tg } \varphi = 49,07 \cdot \text{tg } 28,36 = 26,49 \text{ kVAr}$$

$$iv) \quad \cos \varphi = \frac{P_a}{S} \quad \Rightarrow \quad S = \frac{49,07}{0,88} = 55,76 \text{ kVA} \quad \text{ou}$$

$$S = \sqrt{P_a^2 + (Q_L - Q_C)^2} = \sqrt{49,07^2 + (26,49 - 0)^2} = 55,76 \text{ kVA}$$

Tabela – Características típicas de motores assíncronos de indução trifásicos da WEG, 1.800 rpm. (pg. 169)

POTÊNCIA		CARCAÇA ABNT	rpm	CORRENTE NOMINAL EM 220 V A	CORRENTE COM ROTOR BLOQUEADO Ip/In	CONJUGADO NOMINAL Cn kgfm	CONJUGADO COM ROTOR BLOQUEADO Cp/Cn	CONJUGADO MÁXIMO Cmax/Cn	RENDIMENTO η %			FATOR DE POT. COS φ			FATOR DE SERVIÇO FS	MOMENTO DE INÉRCIA J kgm ²	TEMPO MÁX. COM ROTOR BLOQUEADO s	PESO APROXIMADO kg
CV	kW								% DA POT. NOMINAL		% DA POT. NOMINAL							
									50	75	100	50	75	100				
— 1800 RPM — 60 Hz.																		
0,16	0,12	63	1710	1,0	4,6	0,06	3,2	3,4	42	51	57	0,45	0,56	0,67	1,35	0,0004	10	6,0
0,25	0,18	63	1710	1,4	4,8	0,10	3,1	2,9	48	55	60	0,53	0,58	0,67	1,35	0,0005	7,7	6,5
0,33	0,25	63	1710	1,5	4,8	0,14	2,8	3,0	52	56	61	0,55	0,65	0,72	1,35	0,0006	11	7,0
0,50	0,37	71	1720	2,4	4,6	0,20	3,2	3,5	49	59	64	0,49	0,56	0,64	1,25	0,0008	12	9,5
0,75	0,55	71	1685	3,4	5,0	0,30	3,6	3,8	52	60	63	0,47	0,55	0,65	1,25	0,0013	7,4	11
1,0	0,75	80	1730	3,8	5,2	0,40	2,5	2,8	60	66	70	0,51	0,63	0,75	1,15	0,0015	6,0	13
1,5	1,1	80	1700	5,0	5,0	0,60	2,3	2,4	70	72	73	0,58	0,72	0,81	1,15	0,0016	6,0	14
2,0	1,5	90S	1725	6,5	6,3	0,84	3,0	3,0	71	74	76	0,56	0,70	0,78	1,15	0,0063	6,0	20
3,0	2,2	90L	1700	9,2	6,2	1,2	3,3	2,9	73	75	76	0,61	0,73	0,84	1,15	0,0080	6,0	24
4,0	3,0	100L	1730	12	6,2	1,7	2,9	3,0	72	76	78	0,71	0,78	0,83	1,15	0,0084	6,4	32
5,0	3,7	100L	1715	15	7,1	2,0	2,8	2,6	72	74	76	0,76	0,82	0,87	1,15	0,0091	6,0	35
6,0	4,4	112M	1740	17	7,5	2,5	3,7	3,2	77	79	80	0,71	0,80	0,85	1,15	0,0177	6,0	46
7,5	5,5	112M	1720	21	7,7	3,0	2,8	2,9	77	78	81	0,70	0,78	0,88	1,15	0,0177	6,0	46
10	7,5	132S	1730	28	7,0	4,1	2,6	3,0	75	77	81	0,80	0,84	0,86	1,15	0,0328	8,3	63
12,5	9,2	132M	1735	34	7,4	5,1	2,6	3,0	81	82	84	0,76	0,83	0,86	1,15	0,0365	8,1	74
15	11	132M	1750	41	8,0	6,0	3,0	3,0	83	84	85	0,67	0,78	0,83	1,15	0,0433	7,0	82
20	15	160M	1755	50	8,7	8,0	2,5	3,3	81	84	86	0,76	0,84	0,88	1,15	0,0900	6,0	125
25	18,5	160L	1776	65	8,7	10	3,6	3,4	82	86	88	0,79	0,82	0,88	1,15	0,101	6,0	130
30	22	180M	1770	75	7,0	12	3,0	2,4	80	86	88	0,82	0,87	0,89	1,15	0,263	9,0	175
40	30	200M	1770	96	7,6	16	2,5	2,6	80	87	90	0,80	0,86	0,88	1,15	0,405	10	240
50	37	200L	1770	125	7,0	20	3,0	2,8	84	87	89	0,80	0,87	0,88	1,15	0,444	12	260
60	45	225S/M	1780	145	6,2	24	2,8	3,0	87	88	90	0,80	0,87	0,88	1,00	0,790	12	330
75	55	225S/M	1775	180	5,6	30	2,4	2,8	87	88	90	0,85	0,88	0,89	1,00	0,900	15	370
100	75	250S/M	1780	240	7,4	40	3,4	3,4	88	89	90	0,83	0,88	0,90	1,00	1,06	8,3	430
125	90	280S/M	1780	300	6,4	50	2,0	2,5	88	90	90	0,85	0,89	0,90	1,00	2,10	14	640
150	110	280S/M	1785	360	7,0	60	2,3	2,7	89	90	90	0,86	0,90	0,90	1,00	2,51	13	720
175	130	315S/M	1785	420	8,0	70	2,4	3,9	88	90	91	0,77	0,85	0,89	1,00	2,93	11	840
200	150	315S/M	1780	470	6,8	80	2,3	2,6	90	92	92	0,84	0,88	0,90	1,00	2,93	17	850
250	185	315S/M	1780	600	7,8	100	2,8	2,9	89	90	91	0,81	0,87	0,89	1,00	3,69	15	990
300	220	355M/L	1790	700	7,1	120	2,0	2,9	91	91	92	0,84	0,90	0,90	1,00	6,66	24	1390
350	260	355M/L	1790	800	7,3	140	2,3	2,8	92	93	93	0,84	0,88	0,91	1,00	7,36	27	1490
425	315	355M/L	1790	1000	7,0	170	2,3	2,7	92	93	93	0,82	0,87	0,90	1,00	8,80	27	1680

5 Referências

ANZENHOFER, K.; HEIM, T.; SCHULTHEISS, A.; WEBER, W. **Eletrotécnica para escolas profissionais**. 3o ed. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1980.127p.

GOLDEMBERG, J. Energia, meio ambiente & desenvolvimento. São Paulo: USP, 2001. 234p.

NISKIER, J.; MACINTYRE, A.J. **Instalações elétricas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora. 1996. 530p.

SOUZA, J. M. L. **Conceitos básicos de energia e eletricidade voltados às instalações elétricas (apresentação)**. Plataforma Moretti/DSEA/SCA/UFPR, 2019. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao_rural/U02_conceitos_basico_de_eletricidade_voltados_as_instalacoes_eletricas.pdf> Acesso em 13/02/2019.

SOUZA, J. M. L. **Ciclo da água na agricultura**: fundamentos para o estudo do sistema solo-planta-atmosfera. Curitiba: Plataforma Moretti/DSEA/SCA/UFPR, 2017.

SOUZA, J. L. M. **Manual de eletrificação rural**. Curitiba: Plataforma Moretti/DSEA/SCA/UFPR, 1997. 109p. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes.htm#5manual_didatico> Acesso em 13/02/2019.

FIM