



## APRESENTAÇÃO

Acreditamos que, como nós, você lute “por um Brasil melhor” na perspectiva do desenvolvimento da Educação Profissional

Você encontrará um material inovador que orientará o seu trabalho na realização das atividades propostas. Além disso, perceberá por meio de recursos diversos como é fascinante o mundo da “Educação Profissional”. Gradativamente, dominará competências e habilidades para que seja um **profissional de sucesso**.

Participe de direito e de fato deste Curso de Educação a Distância, que prioriza as habilidades necessárias para execução de seu plano de estudo:

- Você precisa ler todo o material de Ensino;
- Você deve realizar toda as atividades propostas;
- Você precisa organizar-se para estudar

Abra, leia, aproveite e acredite que “as chaves estão sendo entregues, logo as portas se abriram”.

Esta disposto a aceitar o convite?

Contamos com a sua participação para tornar este objetivo em realidade.

Equipe Polivalente



## SUMÁRIO

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| SUMÁRIO .....                   | 2  |
| INTRODUÇÃO .....                | 3  |
| UNIDADE I .....                 | 4  |
| CARGA ELÉTRICA .....            | 4  |
| EXERCÍCIOS: .....               | 5  |
| UNIDADE II .....                | 6  |
| CAMPO ELÉTRICO. ....            | 6  |
| UNIDADE III .....               | 9  |
| CIRCUITO ELÉTRICO: .....        | 9  |
| UNIDADE IV .....                | 11 |
| RESISTÊNCIA ELÉTRICA .....      | 11 |
| UNIDADE V .....                 | 14 |
| ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES .....  | 14 |
| AMPERÍMETRO .....               | 18 |
| VOLTÍMETRO .....                | 18 |
| DIVISOR DE TENSÃO .....         | 20 |
| EXERCÍCIO .....                 | 20 |
| DIVISOR DE CORRENTE .....       | 20 |
| ASSOCIAÇÃO DE GERADORES .....   | 21 |
| O TEOREMA DA SUPERPOSIÇÃO ..... | 21 |
| GLOSSÁRIO .....                 | 26 |



# COLÉGIO INTEGRADO POLIVALENTE

## *“Qualidade na Arte de Ensinar”*

### ELETRICIDADE

#### INTRODUÇÃO

Você está iniciando o estudo do **Módulo – ELETRICIDADE**. Você terá contato com teorias importantes que vão proporcionar um desempenho eficiente durante o seu Curso.

O módulo está **dividido em 5 Unidades**: UNIDADE I: Carga Elétrica; UNIDADE II: Campo Elétrico. UNIDADE III: Circuito Elétrico, UNIDADE IV: resistência Elétrica. UNIDADE V: Associação de Resistores, Amperímetro, Voltímetro, Divisor de Tensão, Divisor de Corrente, Associação de Geradores, O Teorema da Superposição.

Nossa linha de trabalho abre um caminho atraente e seguro pela seqüência das atividades – leitura, interpretação, reflexão, e pela variedade de propostas que mostram maneiras de pensar e agir, e que recriam situações de aprendizagem.

As aprendizagens teóricas são acompanhadas de sua contrapartida prática, pois se aprende melhor fazendo. Tais praticas são momentos de aplicação privilegiados, oportunidades por excelência, de demonstrar o saber adquirido.

Nessa perspectiva, dois objetivos principais serão perseguidos neste material. De um lado, torná-lo habilitado a aproveitar os frutos da aprendizagem, desses saberes que lhe são oferecidos de muitas maneiras, em seu estudo, ou até pela mídia – jornais, revistas, rádio, televisão e outros - pois sabendo como foram construídos poderá melhor julgar o seu valor. Por outro lado, capacitando-se para construir novos saberes. Daí a necessidade do seu estágio para aliar a teoria à prática.

*A soma de esforços para que estes módulos respondessem as suas necessidades, só foi possível mediante a ação conjunta da Equipe Polivalente.*

*Nossa intenção é conduzir um dialogo para o ensino aprendizagem com vistas a conscientização, participação para ação do aluno sobre a realidade em que vive.*

A Coordenação e Tutores/Professores irá acompanhá-lo em todo o seu percurso de estudo, onde as suas dúvidas serão sanadas, bastando para isso acessar o nosso site: [www.colegiopolivalente.com.br](http://www.colegiopolivalente.com.br)

Equipe Polivalente

## UNIDADE I

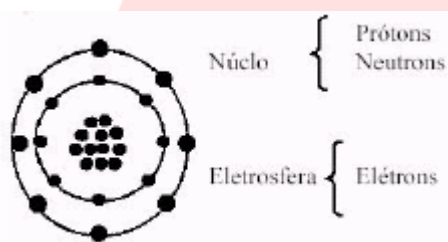
### CARGA ELÉTRICA



Note que as forças observadas podem ser de atração ou repulsão. Essas forças são, portanto, de natureza diferentes das forças gravitacionais, que são sempre atrativas.

Os antigos gregos já haviam observado essas forças ao atritarem o âmbar com outros corpos, como, em grego, **âmbar é elektron**, posteriormente foi dado a essas forças os nomes de forças elétricas.

### TEORIA ATÔMICA



Os prótons se repelem, o mesmo acontecendo com os elétrons. Entre um próton e um elétron há atração. Esses comportamentos são idênticos aos observados entre os bastões e o vidro e os panos de lã. Para explicá-los, associa-se aos prótons e aos elétrons uma propriedade física denominada carga elétrica, sendo que os prótons e elétrons apresentam efeitos elétricos opostos.

### Condutores, Isolantes e semi Condutores e Elétron Livre



Fig. No bastão de vidro, as cargas em excesso se localizam na região atritada. O vidro é um isolante.

Os materiais, como o vidro, que conservam as cargas nas regiões onde elas surgem são chamadas isolantes ou **dielétricos**®. Os materiais nos quais as cargas se espalham imediatamente são chamados condutores. É o caso dos metais. Nos condutores metálicos, os elétrons mais

® **dielétricos** – diz-se de, ou substancia ou objeto isolador da eletricidade.

afastados do núcleo estão fracamente ligados a ele e, quando sujeito a força, mesmo de pequena intensidade, abandonam o átomo e move-se pelos espaços interatômicos. Esses são os elétrons livres, responsáveis pela condução de eletricidade nos metais. Os isolantes não apresentam elétrons livres, pois todos os elétrons estão fortemente ligados aos respectivos núcleos. Ressalta-se ainda uma classe de materiais que têm propriedades intermediárias entre os condutores e os isolantes: a dos semicondutores. Exemplos: Silício, germânio etc. muito importantes na fabricação de **transistores**® e circuitos integrados e fundamentais para a montagem de aparelhos eletrônicos, dentre os quais os computadores.

### UNIDADE DE CARGA ELÉTRICA

Experimentalmente concluiu-se que as quantidades de cargas elétrica do elétron e do prótons são iguais em valores absolutos. A este valor deu-se o nome de quantidade de carga elétrica elementar(e)

$$C = 1.602 \cdot 10^{-19} C$$

Onde a unidade de medida é C (coulomb)

Só para ter uma noção, são necessários pouco menos de 6 quintilhões e 250 quatrilhões de prótons para somar um total de 1 C de carga elétrica.

Um exemplo prático: por uma lâmpada incandescente comum, passam da ordem de 20 seis trilhões de elétrons, por hora.

### ELETRIZAÇÃO DE UM CORPO

$$Q = ne$$

Q = carga elétrica de um corpo (coulomb)

n = n de elétrons

e = carga elementar de um elétron

Exemplo : Determinar o número de elétrons existentes em uma carga de 1 coulomb

Dados

$$\begin{cases} Q = 1,0 C \\ e = 1,6 \times 10^{-19} C \end{cases}$$

Q = ne . logo

$$1,0 = 1,6 \times 10^{-19} n$$

Coulomb (C) – representa a quantidade de carga deslocada até um determinado ponto quando o fluxo de corrente por esse ponto for de 1 ampère por segundo. Assim 1 coulomb é equivalente à carga deslocada por  $6,25 \times 10^{18}$  elétrons. O coulomb é análogo à quantidade de

® **transistores** – dispositivo eletrônico que substitui vantajosamente as válvulas termiônicas dos aparelhos.



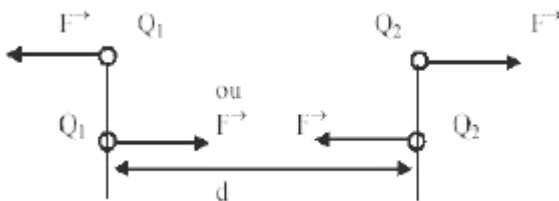
fluido (litro) em um processo hidráulico. O símbolo para o coulomb é Q e este está relacionado com a corrente por.

$$\Delta Q = I \Delta T$$

$$\Delta Q = n \times e$$

$$E = 1,602 \times 10^{-19} \text{C}$$

$n$  = n de elétrons perdidos ou recebidos  
 $e$  = quantidade de carga elétrica elementar  
 Lei de Coulomb



"O módulo da força de interação eletrostática entre duas partículas carregadas é diretamente proporcional ao produto dos valores absolutos de suas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa".

$$F = \frac{K \times Q_1 \times Q_2}{d^2}$$

$K$  - Constante eletrostática depende do meio em que estão imersas as partículas.

O valor de  $K$  no vácuo ( $k_0$ ) foi determinado empiricamente\*:

$$K_0 = 9,0 \times 10^9 \text{N} \times \text{m}^2/\text{C}^2 \quad (\text{no SI})$$

## EXERCÍCIOS:

1) - Duas cargas Puntiformes,  $Q_1 = 5 \times 10^{-6} \text{C}$  e  $Q_2 = -4 \times 10^{-6} \text{C}$ , no vácuo, estão separadas por uma distância de 0,3m. determinar a força elétrica entre elas.

Dado  $K_0 = 9 \times 10^9 \text{N} \text{m}^2/\text{C}^2$

Resolução:

Dados

$$\begin{cases} Q_1 = 5 \times 10^{-6} \text{C} \\ Q_2 = -4 \times 10^{-6} \text{C} \\ D = 0,3 \text{m} \\ K_0 = 9 \times 10^9 \text{N} \text{m}^2/\text{C}^2 \end{cases}$$

$$F = \frac{K_0 Q_1 \times Q_2}{d^2} \quad F = 9 \times 10^9 \times \frac{5 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(0,3)^2}$$

$$F = 0,2 \text{N}$$

Resposta: Força de atração de 0,2N.

2) Duas cargas Puntiformes,  $Q_1$  e  $Q_2$ , são fixadas nos pontos A e B, Distantes entre si de 0,4m, no vácuo. Sendo  $Q_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{C}$ ,  $Q_2 = 8 \cdot 10^{-6} \text{C}$  e  $K_0 = 9 \cdot 10^9$ , determinar a intensidade da força elétrica resultante sobre uma carga  $Q_3 = -3 \cdot 10^{-6}$ , colocada a 0,1m de A, sobre a reta AB.

Resolução:

Dados

$$\begin{aligned} Q_1 &= 2 \cdot 10^{-6} \text{C} \\ Q_2 &= 8 \cdot 10^{-6} \text{C} \\ Q_3 &= -3 \cdot 10^{-6} \\ d_1 &= 0,1 \text{m} \\ d_2 &= 0,3 \text{m} \\ K_0 &= 9 \times 10^9 \text{N} \text{m}^2/\text{C}^2 \end{aligned}$$



Cálculo da força de atração  $F_1$ :

$$F_1 = \frac{K_0 Q_1 Q_3}{d_2^2} \Rightarrow F_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{(0,1)^2}$$

$$\Rightarrow F_1 = 5,4 \text{N}$$

Cálculo da força resultante sobre  $Q_3$   $F_2$

$$F_2 = \frac{K_0 Q_2 Q_3}{d_2^2} \Rightarrow F_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{(0,1)^2}$$

$$\Rightarrow F_2 = 2,4 \text{N}$$

Cálculo da força de atração  $F_2$

$$F_R = F_1 - F_2 \Rightarrow F_R = 5,4 - 2,4 \quad \text{N} \quad (0,1)^2$$

$$\Rightarrow F_R = 3 \text{N}$$

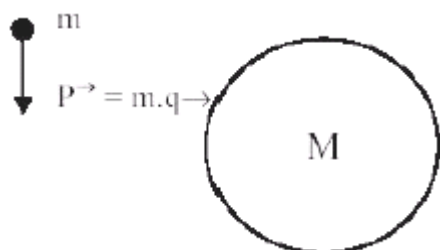
Resposta: 3N



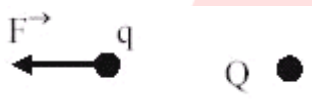
## UNIDADE II

### CAMPO ELÉTRICO.

#### INTRODUÇÃO



A massa  $M$  da terra cria um campo gravitacional  $g$ , que exerce uma força de atração  $P$  sobre a massa  $m$ .



A carga  $Q$  cria um campo elétrico que exerce uma força elétrica  $F$  sobre a carga  $q$ .

Existe uma região de influência da carga  $Q$  onde qualquer carga de prova  $q$ , nela colocada estará sob a ação de uma força origem elétrica. A essa região chamamos de campo elétrico.

#### VETOR CAMPO ELÉTRICO

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{[q]} \quad \text{ou} \quad \vec{F} = [q] \cdot \vec{E}$$

As características do vetor campo elétrico são:

#### INTENSIDADE

É dada por:  $E = F/[q]$

A unidade de medida de  $E$  no sistema Internacional é o N/C

#### DIREÇÃO

O vetor  $E$  tem mesma direção da força  $F$ .

#### SENTIDO

Analisando a expressão  $F = q \cdot E$ , podemos associar o sentido do campo elétrico como o da força elétrica da seguinte forma:

#### PROBLEMA DE APLICAÇÃO.

Um campo elétrico apresenta em um ponto  $p$  de uma região a intensidade de  $6 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ , direção horizontal e sentido da esquerda para direita. Determinar a intensidade, a direção e o sentido da força elétrica que atua sobre uma carga

puntiforme  $q$ , colocada no ponto  $p$ , nos seguintes casos:

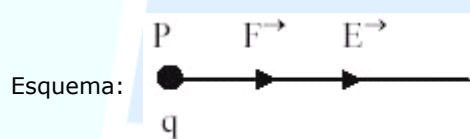
a)  $q = 2 \mu\text{C}$

b)  $q = -3 \mu\text{C}$

$$\begin{cases} E = 6 \cdot 10^5 \text{ N/C} \\ q = 2 \mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C} \end{cases}$$

Resolução:

Dados



intensidade =  $F = qE = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^5 = 1,2 \text{ N}$

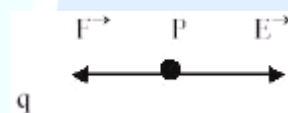
Direção: horizontal

Sentido: como  $q > 0$ ,  $F$  tem o mesmo sentido de  $E$

Dados:

$$\begin{cases} E = 6 \cdot 10^5 \text{ N/C} \\ q = -3 \mu\text{C} = -3 \cdot 10^{-6} \text{ C} \end{cases}$$

Esquema:



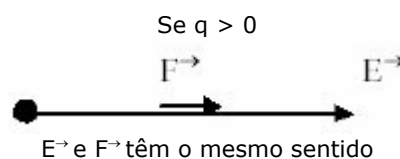
intensidade

=  $F = qE \Rightarrow F = -3 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^5 \Rightarrow F = -1,8 \text{ N}$  ou  $|F| = 1,8 \text{ N}$

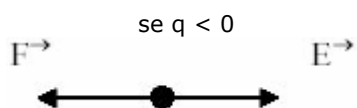
Direção : horizontal

Sentido : como  $q < 0$ ,  $F$  tem sentido contrário ao de  $E$

Obs.:



$E$  e  $F$  têm o mesmo sentido



$E$  e  $F$  têm sentidos contrários

## CAMPO ELÉTRICO DE UMA CARGA PUNTEFORME

O campo elétrico no ponto P é dado por:

### INTENSIDADE

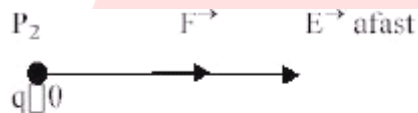
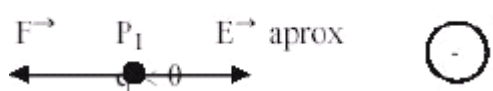
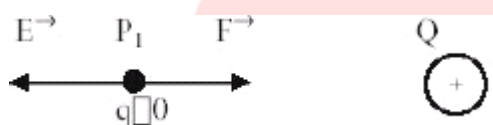
é dada por:  $E = K_0 Q/d^2$

### DIREÇÃO

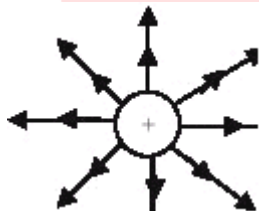
Da reta que une o ponto p à carga.

### SENTIDO

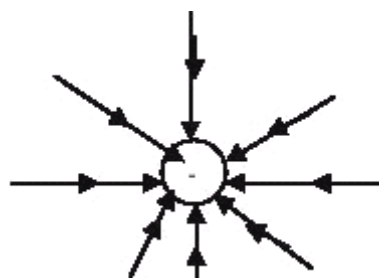
O sentido do vetor campo elétrico depende do sinal da carga que origina o campo.



Quando a carga criadora do campo for positiva, o campo elétrico será sempre de afastamento e quando a carga criadora do campo for negativa, o campo elétrico será sempre de aproximação.



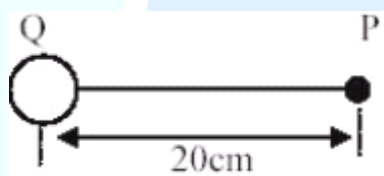
Vetores campo de afastamento



Vetores campo de aproximação.

### PROBLEMAS DE APLICAÇÃO:

Uma carga  $Q = -4\mu C$ , fixa, encontra-se no vácuo, conforme indica a figura abaixo. Determinar, num ponto P, a 20cm da carga



- a) a intensidade, a direção e o sentido do campo elétrico.
- b) a intensidade, a direção e o sentido da força elétrica que atua numa carga  $q = 5\mu C$ , colocada no ponto P.

Resolução:

Dados

$$\begin{cases} Q = -4\mu C = -4 \cdot 10^{-6} C \therefore |Q| = 4 \cdot 10^{-6} C \\ d = 20cm = 0.2m \\ K_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \end{cases}$$

Esquema:



Intensidade:

$$E = K_0 \frac{Q}{d^2} \quad E = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6}}{(0.2)^2} = 9 \cdot 10^5 N/C$$

Direção: da reta que passa por Q e P.

Sentido: o campo é de aproximação, isto é, para a esquerda.

b) Dado

$q = 5\mu C = 5 \cdot 10^{-6} C$

Esquema :



Intensidade:

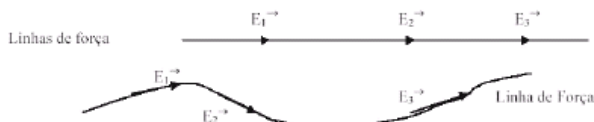
$$F = qE \quad F = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 9 \cdot 10^5 \quad F = 4,5N$$

Direção: a mesma de  $E$

Sentido: o mesmo de  $E$

## LINHAS DE FORÇA

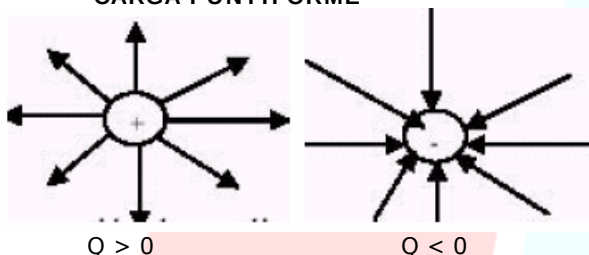
É uma linha imaginária, tangente ao vetor elétrico em cada um de seus pontos. É orientada no mesmo sentido do vetor  $E \rightarrow$



Por um ponto p. de um campo elétrico não podem passar duas linhas de força, portanto, duas linhas não podem se cruzar.

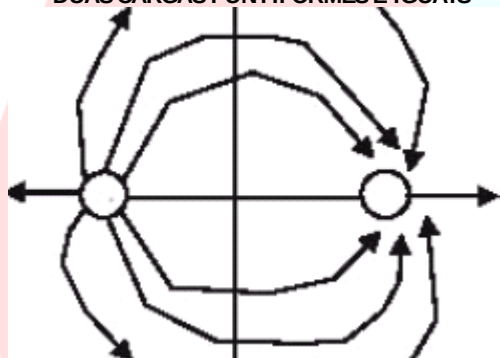
As figuras a seguir mostram alguns tipos de campo elétrico e seus espectros.

## CARGA PUNTIFORME

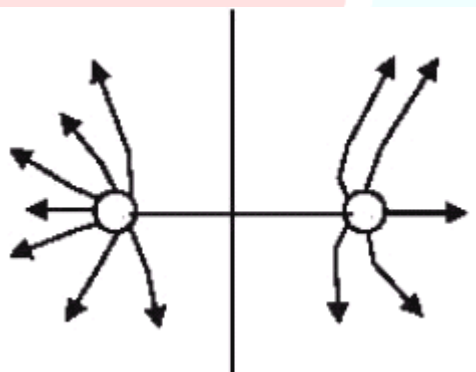


É um campo elétrico variável que diminui à medida que se afasta da carga criadora do campo.

## DUAS CARGAS PUNTIFORMES E IGUAIS



Sinais contrários



Sinais iguais

## CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

É aquela em que o vetor campo elétrico  $E$  é constante em todos os pontos do campo, isto é,

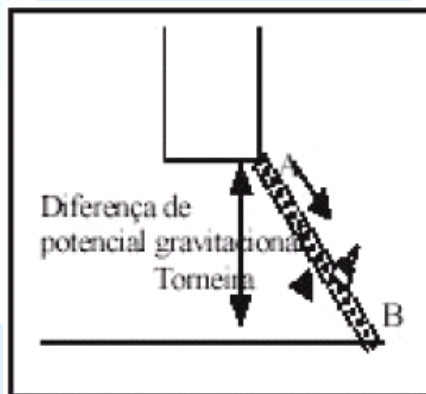
tem sempre a mesma intensidade, a mesma direção e o mesmo sentido.



As linhas de força são orientadas no sentido das placas positivas para a placa negativa e igualmente espaçadas.

## DIFERENÇA DE POTENCIAL ELÉTRICO (U) - ddp

Sabe-se, da Mecânica, que certa quantidade de água escoar através do tubo AB, desde que haja uma diferença de potencial gravitacional entre suas extremidades B.



Estando a torneira da extremidade B aberta, ocorre o movimento espontâneo do líquido no sentido de A (de maior potencial) para B (de menor potencial).

A corrente de água será interrompida, obviamente, se a torneira for fechada. Analogamente, na Eletrodinâmica, certa quantidade de carga elétrica também se movimenta ordenadamente, desde que se estabeleça uma diferença de potencial elétrico na extremidade de um condutor.

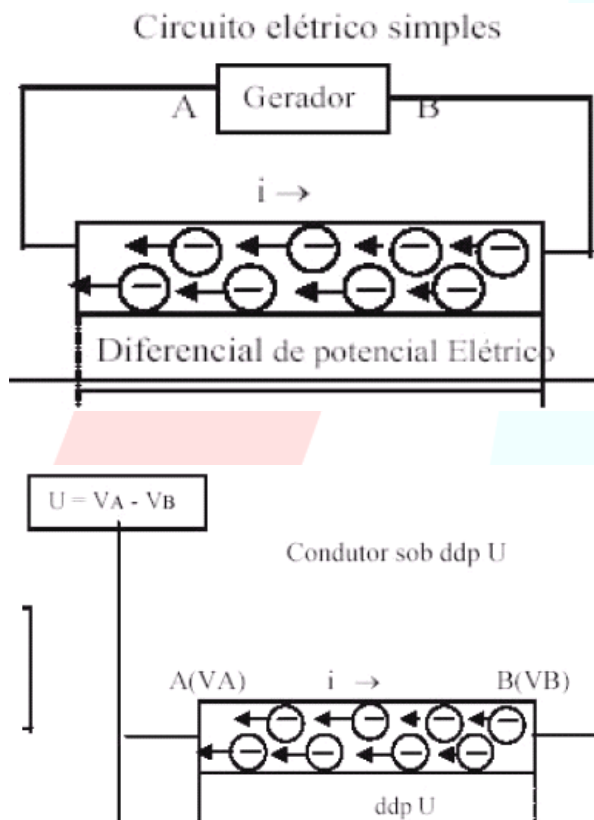
O dispositivo que fornece esta diferença (que causa o movimento das cargas) é uma fonte elétrica ou gerador (bateria, pilha, tomada etc.). A diferença de potencial elétrico (ddp), também chamada de tensão elétrica, representada pela letra U, tem como unidade, no SI, o volt (V).

### UNIDADE III

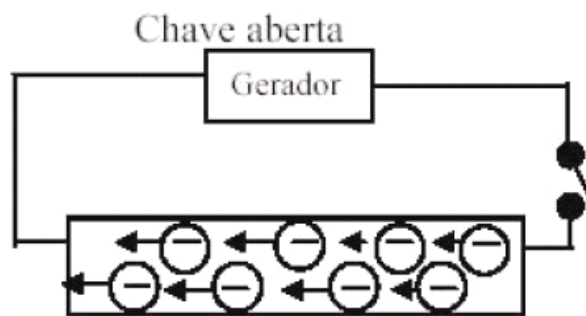
#### CIRCUITO ELÉTRICO:

Ao se ligar um condutor a um gerador, ocorre um movimento ordenado e simultâneo dos elétrons livres no sentido de B (de menor potencial) para A (de maior potencial), sendo que a corrente elétrica ( $i$ ) possui sentido convencional oposto. O conjunto formado pelo gerador e condutor, eletricamente ligados, denomina-se circuito elétrico simples.

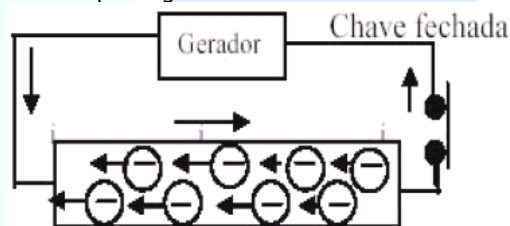
A extremidade A está num potencial elétrico ( $V_A$ ) maior que o potencial elétrico ( $V_B$ ) da extremidade B. Assim, a ddp  $U$  é:



Obs.: Da mesma maneira que, fechando-se a torneira, interrompe-se a corrente se água, também num circuito elétrico pode-se interromper a passagem da corrente elétrica. Para isso, deve-se intercalar num trecho do circuito, uma chave (Ch) ou um interruptor.



Não há passagem de corrente elétrica.



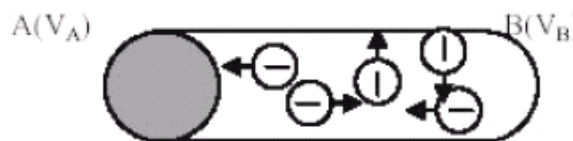
Há passagem de corrente elétrica.

#### INTRODUÇÃO

Sabe-se que no interior de um condutor metálico em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico resultante é nulo e o potencial elétrico é constante.

Disto resulta que os elétrons livres se apresentam em movimento desordenado em seu interior.

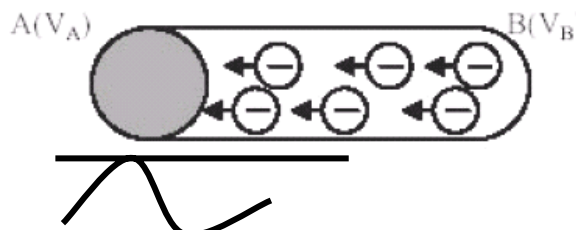
Considerando-se um condutor metálico filiforme (em forma de fio), inicialmente em equilíbrio eletrostático, ao se estabelecer uma diferença de potencial elétrico entre suas extremidades, surge no seu interior um campo elétrico  $E$ . Assim, cada elétron livre fica sujeito a uma força elétrica, de intensidade  $F = q \times E$ , que causa um movimento ordenado destes elétrons, no sentido contrário ao do vetor  $E$ , constituindo a corrente elétrica. O estudo da corrente elétrica denominasse Eletrodinâmica.



Condutor em equilíbrio

$E \rightarrow = 0$ ;  $V_A = V_B = \text{constante}$

Elétrons livre em movimento desordenado.





Condutor elétrico sob diferencial:

$$E \neq 0; V_A - V_B$$

Elétrons livres em movimento ordenado

**CORRENTE ELÉTRICA:** movimento ordenado de elétrons livres no interior de um condutor metálico.

Elétrons livres são aqueles fracamente ligados ao núcleo do átomo.

O movimento dos elétrons no interior do condutor, além de ser ordenado e simultâneo, isto é, todos os elétrons se movimentam ao mesmo tempo.

Um condutor elétrico não precisa ser necessariamente metálico e sólido. Existem condutores líquidos (soluções eletrolíticas) e gasosos (gases ionizados).

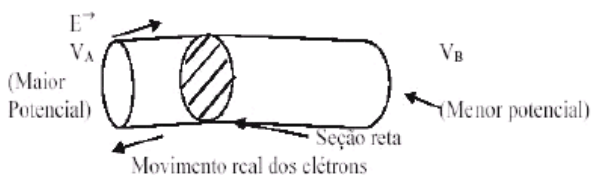
Materiais que não conduzem cargas elétricas (madeira, vidro, plásticos, etc.) são chamados de isolantes elétricos.

Os elétrons livres, por terem cargas negativas, movimentam-se no sentido do aumento de potencial, ou seja, da extremidade de menor potencial para extremidade de maior potencial elétrico. Na prática, existem dispositivos que fornecem diferença de potencial elétrico, como as baterias as pilhas e as tomadas residenciais.

## INTENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA

Considerando-se, um condutor metálico, já sob certa diferença de potencial, define-se como intensidade média de corrente elétrica ( $i_m$ ) o quociente entre a quantidade de carga ( $q$ ) que passa por uma seção reta do condutor e o respectivo intervalo de tempo ( $Dt$ ) gasto.

$$i_m = q/Dt \quad \text{Ou} \quad i_m = n \times e / Dt$$



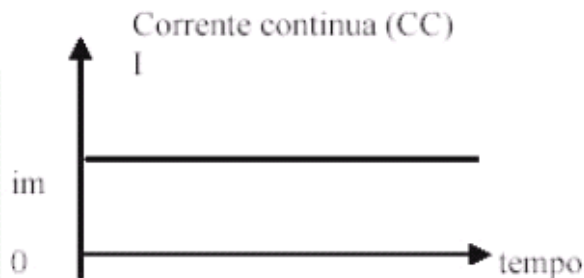
pois  $q = n \times e$  onde  $n$  é o número de elétrons que passam pela seção reta do condutor, num intervalo de tempo  $Dt$  e  $e$  é o valor absoluto da carga de um elétron ( $e = 1,6 \times 10^{-19} C$ )

## Sentido da corrente elétrica:

Convencionou-se que o sentido da corrente elétrica é contrário ao do movimento real dos elétrons livres, ou mesmo sentido do vetor campo elétrico  $E$  no interior do condutor.

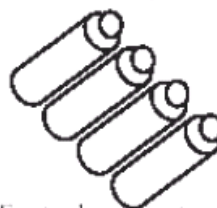
## Tipos de corrente elétrica:

Quando o vetor campo elétrico  $E$ , no interior do condutor é constante com o tempo, a corrente é denominada contínua (CC) e, quando varia **senoidalmente** corrente alternada (CA).

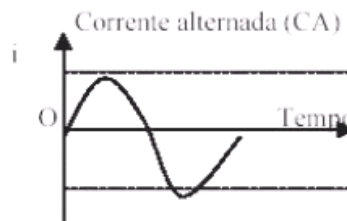


A corrente contínua possui sempre Intensidade constante com o tempo Assim:

$$i_m = i$$



Fonte de corrente contínua



A corrente alternada varia senoidalmente a sua intensidade com o tempo.

No Brasil, a alternância tem frequência de 60Hz (60 cps)



Fonte de corrente alternada.

Neste curso, todas as correntes elétricas citadas serão contínuas, quando não especificadas.

♦ **senoidalmente** – representação gráfica do movimento vibratório



## UNIDADE IV

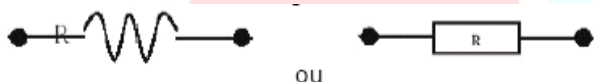
### RESISTÊNCIA ELÉTRICA

#### RESISTOR

Todo condutor que tem exclusivamente a seguinte função converter energia elétrica em energia térmica efeito Joule.

#### RESISTÊNCIA ELÉTRICA (R)

Como o resistor é essencialmente um condutor de elétrons, existem os bons e os maus condutores, isto é, aqueles que facilitam ou dificultam a passagem de corrente elétrica. A medida do grau de dificuldade à passagem dos elétrons denomina-se resistência elétrica (R). Em circuitos elétricos, representa-se um resistor de resistência elétrica R da seguinte forma:

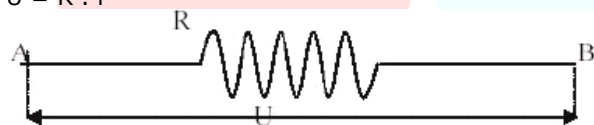


São exemplos de resistores: lâmpada incandescente (sua resistência é o filamento de tungstênio), chuveiro e torneira elétrica (resistências de níquelcromo em forma de espiral), ferro elétrico (resistência de mica) etc. Esses dispositivos elétricos foram construídos aproveitando-se a ocorrência do efeito Joule; mas os fios condutores, que apenas transmitem energia elétrica, devem ter baixa resistência elétrica para evitar perda sob forma de calor.

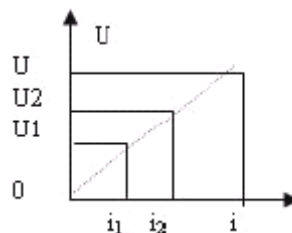
#### PRIMEIRA LEI DE OHM

Aplicando-se uma ddp U nos terminais de um resistor, verifica-se que ele é percorrido por uma corrente elétrica i. Ohm demonstrou experimentalmente que, mantida constante a temperatura do resistor, a corrente i é diretamente proporcional à ddp U aplicada, ou seja:

$$U = R \cdot i$$



Essa expressão é conhecida como 1ª Lei de Ohm. Onde R é a constante de proporcionalidade, característica do resistor, e denominada resistência elétrica. Um resistor ôhmico é aquele que obedece à seguinte curva característica:



Nota-se que:

$$TG \propto \frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \dots = \frac{U}{i} = R$$

#### UNIDADE DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

No SI, a unidade de resistência elétrica é o ohm (símbolo:  $\Omega$ )

$$U = 1 \text{ V (volt)}$$

Sendo:  $i = 1 \text{ A (ampère)}$

Tem-se

$$R = 1 \text{ V} / 1 \text{ A} = 1 \Omega$$

$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$$

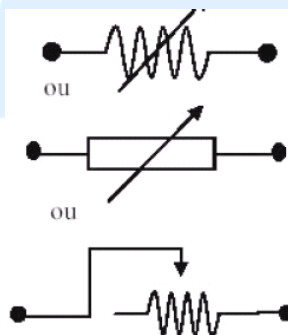
Múltiplo: quilo-ohm (k $\Omega$ ):

#### REOSTATOS

Denominam-se reostatos os resistores que possuem resistências elétricas variáveis. Pela 1ª Lei de Ohm, aumentando-se a resistência do resistor, sob ddp constante, ocorre uma diminuição da intensidade de corrente e vice-versa.

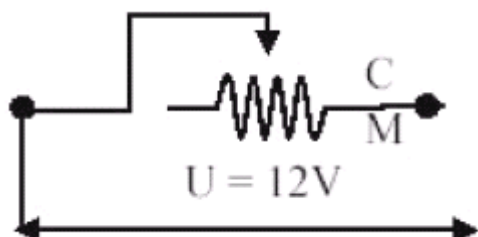
Assim, ao se girar o botão de um rádio para aumentar ou diminuir a intensidade sonora, está ocorrendo a diminuição ou o aumento da resistência elétrica no interior do aparelho.

#### REPRESENTAÇÃO DE UM REOSTATOS



Exemplo:

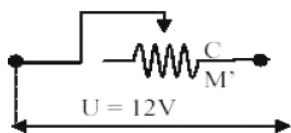
Com o cursor C em M, a intensidade de corrente vale 1 A;



Portanto, a resistência resistor vale:

$$R = \frac{U}{i} = \frac{12V}{1A} = 12\Omega$$

Como o cursor C em M', a intensidade de corrente vale 0,75A



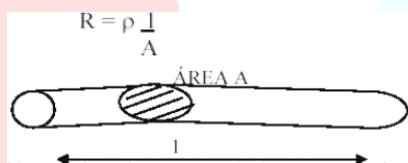
Portanto, a resistência resistor vale:

$$R = \frac{U}{i} = \frac{12V}{0,75A} = 16\Omega$$

## RESISTIVIDADE: ( ) – SEGUNDA LEI DE OHM

A resistividade é uma grandeza característica de material de que é feito o resistor e também da sua temperatura.

Tendo-se um resistor em forma de fio, Ohm verificou experimentalmente que sua resistência elétrica  $R$  é diretamente proporcional ao comprimento  $l$  e inversamente proporcional à área  $A$  de secção transversal do fio, ou seja:



Essa expressão representa a 2ª Lei de Ohm, onde  $\rho$  (letra grega ró) é a constante de proporcionalidade denominada resistividade, grandeza que depende de material e da temperatura do resistor.

Denomina-se condutividade elétrica  $\sigma$  (letra grega sigma) de um material o inverso da sua resistividade:

Unidade SI:  $\sigma = \frac{1}{\rho}$

$$\sigma = \frac{1}{1\Omega \cdot m} = \frac{1\Omega^{-1}}{m} = \frac{1S}{m}$$

(siemens por metro)

## Variação da resistividade com a temperatura.

A resistividade de um material varia com a sua temperatura, pois aumentando-a ocorre um aumento na agitação dos átomos do resistor. Isso faz com que os elétrons livres da corrente tenham maior número de colisões, ocasionando um aumento na resistividade. Sendo  $\rho_0$  resistividade do resistor na temperatura  $\theta_0$  (ambiente), o seu valor na temperatura  $\theta$  (de até 400°C) é expresso por:

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha (\theta - \theta_0)]$$

Onde  $\alpha$  é uma constante que depende da natureza do material, denominada coeficiente de temperatura (unidade: °C<sup>-1</sup>).

A tabela seguinte fornece a resistividade (a 20° C) e o coeficiente de temperatura de alguns metais:

| Material   | Resistividade (em $\Omega \cdot m$ ) | Coeficiente de temperatura em °C <sup>-1</sup> |
|------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| Cobre      | $1,7 \cdot 10^{-8}$                  | $3,9 \cdot 10^{-3}$                            |
| Alumínio   | $2,8 \cdot 10^{-8}$                  | $3,9 \cdot 10^{-3}$                            |
| Ferro      | $1,0 \cdot 10^{-7}$                  | $5,0 \cdot 10^{-3}$                            |
| Prata      | $1,6 \cdot 10^{-8}$                  | $3,8 \cdot 10^{-3}$                            |
| Tungstênio | $5,6 \cdot 10^{-8}$                  | $4,5 \cdot 10^{-3}$                            |

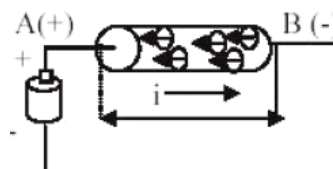
Desprezando-se a dilatação térmica do resistor, sua resistência elétrica, como depende da resistividade, também varia a temperatura, de acordo com a seguinte expressão:

$$R = R_0 [1 + \alpha (\theta - \theta_0)]$$

Sob ddp constante, um resistor metálico, ao ser aquecido, aumenta sua resistividade e, portanto, a sua resistência elétrica também aumenta. Assim, de acordo com a 1ª Lei de Ohm, há uma diminuição da corrente elétrica.

## TRABALHO ENERGIA E POTÊNCIA ELÉTRICA

(T, E e P)



Supondo-se que, num intervalo de tempo  $\Delta t$ , passe Simultaneamente, tanto na extremidade A com na B uma quantidade de carga  $q$ , o trabalho da força elétrica é expressa por:

$$T_{AB} = q \cdot U$$

(U = V<sub>A</sub> - V<sub>B</sub>)

Tem-se:  $T_{AB} = q (V_A - V_B) = q V_A - q V_B$   
onde:



$$E_{PA} = q V_A$$

Energia potencial elétrica no ponto A

$$E_{PB} = q V_B$$

Energia potencial elétrica no ponto B.

Assim:

$$T_{AB} = E_{PA} - E_{PB}$$

Trabalho da força elétrica (consumo de energia elétrica)

Pela Definição de Potência:

$$T_{AB} \Rightarrow P = \frac{qU}{\Delta t}$$

$$\text{mas } \frac{q}{\Delta t} = i, \text{ logo}$$

$$P = U \cdot i$$

Potência elétrica Consumida

A fórmula  $p = Ui$  representa nessas condições, em potência elétrica fornecida pelo gerador  $U$ . a d.d.p no gerador e  $i$  a intensidade de corrente que o atravessa.

## UNIDADE DE POTÊNCIA ELÉTRICA



$$1w = 1v \cdot 1A$$

No SI

$$P = U \cdot i$$

$$P = IV \cdot IA.$$

No SI, as unidades são

P - Watt (w)  
U - Volt (v)  
i - Ampére (a)

Múltiplos

$$1Mw = 10^6w$$

$$1Kw = 10^3w$$

Submúltiplos

$$1mw = 10^{-3}w$$

$$1\mu w = 10^{-6}w$$

Em eletricidade mede-se a potência consumida em quilowatt (1 kW = 1000 W) e, a energia elétrica, em quilowatt (kWh). Um kWh é a quantidade de energia que é trocada no intervalo de tempo de 1 h com potência de 1 kW. Portanto:

$$1 \text{ kwh} = 1 \text{ kw} \cdot 1h = 1000 \text{ w} \cdot 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6.10^6J$$

## ENERGIA ELÉTRICA

Existe uma unidade prática de consumo de energia elétrica (trabalho): o quilowatt - hora

(kWh). Essas unidades, que aparece nas contas de luz, é derivada da seguinte forma:

Potência em quilowatt (kW) e o tempo em hora (h).

O consumo é calculado pela expressão:

$$\text{Relação: } 1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6J$$

$$T = P \Delta t$$

$$T = PAT$$

Nas residências o consumo de energia elétrica fica registrado num medidor (relógio).

## EFEITO JOULE

Quando um resistor se aquece devido à passagem da corrente elétrica, diz-se que ocorre o efeito Joule. Num dado intervalo de tempo, a energia elétrica que o resistor consome é dissipada na forma de calor. Então, a potência elétrica consumida é igual à potência elétrica dissipada, ou seja:

$$P = U \cdot i$$

Substituindo-se, nesta expressão, a d d p por  $U = R \cdot i$

ou a corrente por  $i = U/R$ , tem-se:

$$P = (R \cdot i) \cdot i = R \cdot i^2 \quad \square$$

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

A potência de um resistor aumenta se a corrente aumenta

$$P = U(U/R) = U^2/R \quad \square$$

$$P = U^2/R$$

Resumindo, a potência elétrica dissipada, por efeito

Joule, num resistor é dada por:

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

Das igualdades:

$$P = R \cdot i^2 = P = W/Dt \text{ ou } W = R \cdot i^2 \cdot t$$

A expressão da Lei de Joule permite calcular a energia elétrica convertida em energia térmica num intervalo de tempo.

## APLICAÇÕES DO EFEITO JOULE

O aquecimento de um condutor - embora seja prejudicial ao Transporte da energia elétrica, pois, há perda em forma de calor - é extremamente útil quando aproveitado em dispositivos elétricos, como rios aquecedores, lâmpadas de filamento e nos. a. Aquecedores elétricos: ferro de engomar. chuveiro, torneira elétrica, torradeira, fogão elétrico, secador de cabelo etc.

Representação:





## UNIDADE V

### ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

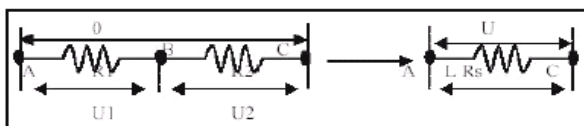
#### INTRODUÇÃO

Em muitos casos práticos tem-se a necessidade de uma resistência maior do que a fornecida por um único resistor. Em outros casos, um resistor não suporta a intensidade da corrente que deve atravessá-lo. Nessas associações situações utilizam-se vários resistores associados entre si.

Os resistores podem ser associados em série, em paralelo ou numa combinação de ambas, a qual denominamos associação mista. O resistor que substitui todos os resistores de qualquer associação e produz o mesmo efeito é chamado resistor equivalente.

#### ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE

Um circuito elétrico com resistores ligados um em seguida ao outro, de modo a oferecer um único trajeto para a corrente, é chamado de circuito em série.



As características dessa associação são as seguintes:

- 1º) - a intensidade da corrente  $i$  é a mesma em todos os resistores;
- 2º) - a tensão  $U$  na associação é igual à soma das tensões em cada resistor.

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Aplicando-se a 1ª lei de Ohm a cada um dos resistores. Podemos calcular a resistência equivalente da associação da seguinte forma:

$$R_3 = R_1 - i + R_2 - i + R_3 - i \quad R_s \times i = i (R_1 + R_2 + R_3)$$

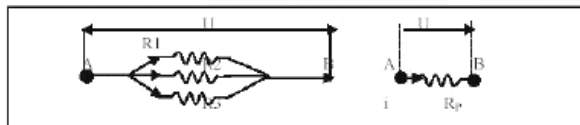
$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

Numa associação em série observamos que, quanto mais resistivos os resistores componentes, maior a resistência total e menor a corrente do circuito.

#### ASSOCIAÇÃO EM PARALELO

Quando dois ou mais resistores estão ligados através de dois pontos em comum no circuito, de modo a oferecer trajetos separados para a corrente, temos um circuito em paralelo.

As características dessa associação são as seguintes:



- 1º) - a tensão  $U$  é a mesma em todos os resistores, pois estão ligados aos mesmos terminais A e B;
- 2º) - a corrente  $i$  na associação é igual à soma das correntes em cada resistor.

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

Aplicando-se a 1ª lei de Ohm a cada um dos resistores, podemos determinar a resistência do resistor equivalente:

$$I = i_1 + i_2 + i_3$$

$$\frac{U}{R_p} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \quad \frac{U}{R_p} = U \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Observações:

- a) A resistência do resistor equivalente de dois resistores em paralelo,  $R_1$  e  $R_2$ , pode ser calculada diretamente fazendo-se:

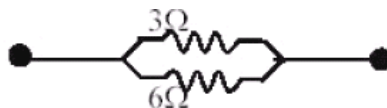
$$R_{eg} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

- b) A resistência do resistor equivalente de  $n$  resistores  $R$ , iguais, pode ser calculada fazendo-se:

$$R_{eg} = \frac{R}{n}$$

#### PROBLEMAS DE APLICAÇÃO

Dada a associação da figura, calcular a resistência equivalente.



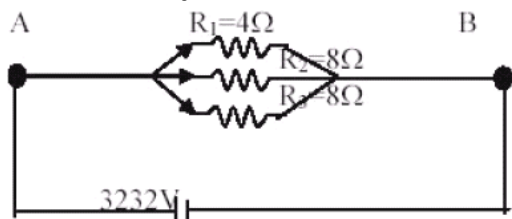
Resolução:

$$R_p = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = \frac{18}{9} = 2\Omega$$

Resposta:  $2\Omega$



Dada a associação:



Calcular:

- a resistência do resistor equivalente entre A e B;
- a intensidade da corrente total do circuito;
- a intensidade da corrente em cada resistor.

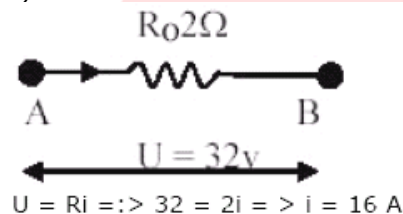
Resolução:

- Os resistores entre A e B estão associados em paralelo; logo:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} \Rightarrow R = 2\Omega$$

- 



- Os três resistores da associação estão sob a mesma tensão de 32 V; logo:

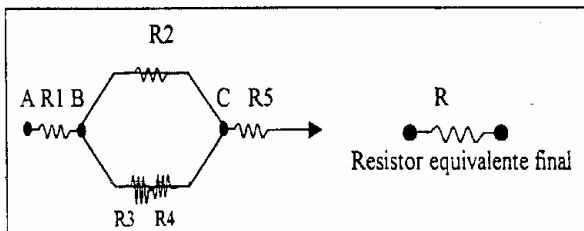
$$\begin{array}{lll} U = R_1 i_1 & 32 = 4i_1 & i_1 = 8 \text{ A} \\ U = R_2 i_2 & 32 = 8i_2 & i_2 = 4 \text{ A} \\ U = R_3 i_3 & 32 = 8i_3 & i_3 = 4 \text{ A} \end{array}$$

Resposta:

- 2      b) 16 A      c) 8A, 4A e 4A

#### ASSOCIAÇÃO MISTA

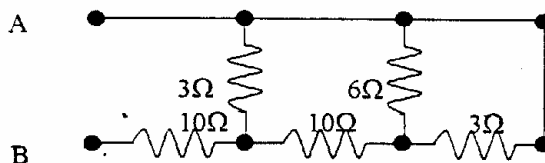
É aquela na qual encontramos, ao mesmo tempo, resistores associados em série e em paralelo, como na figura esquemática.



A determinação do resistor equivalente final é feita a partir da substituição de cada uma das associações em série ou em paralelo, que compõem o circuito pela sua respectiva resistência equivalente.

#### PROBLEMAS DE APLICAÇÃO

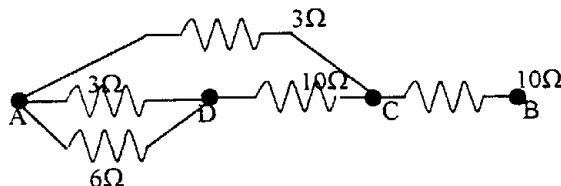
Achar o resistor equivalente entre A e B da associação de resistores indicada na figura.



Resolução

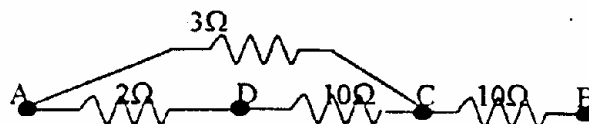
Inicialmente vamos colocar letras em todos os pontos em que achamos que a corrente pode se dividir.

Os pontos E, F, G, H e A estão em curto circuito; portanto, são pontos coincidentes. isto é.  $A = E = F = G = H$ . Em vista disso, efetuamos uma mudança na associação dada, fixando os pontos A e B como seus extremos. e C e D entre tais extremos. Após essa mudança, marcamos as respectivas resistências entre esses pontos.

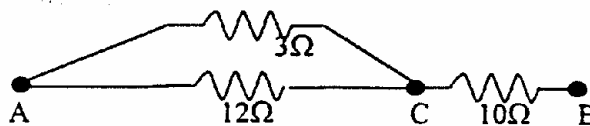


Resolvendo a associação em paralelo entre A e D, temos:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{2+1}{6} = \frac{3}{6} = 2\Omega$$



Resolvendo a associação em série entre A e C, temos:  $R_5 = 2 + 10 = 12\Omega$





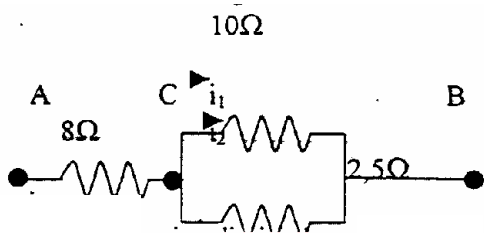
Resolvendo a associação em série entre A e C, temos:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3} + \frac{1}{12} = \frac{4+1}{12} = \frac{5}{12} \Rightarrow R = \frac{12}{5}$$

$$R = \frac{12+10}{5} = \frac{22}{5} = 4,4 \Omega$$

Resposta:  $62/5 \Omega$

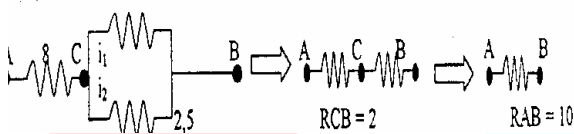
No circuito elétrico da figura .  $U_{AB} = 20 \text{ V}$ .



Determine

- a potência térmica dissipada entre C e B.
- a intensidade das correntes  $i_1$  e  $i_2$ .

#### Resolução



- Cálculo da resistência equivalente  $R_{CB}$

$$R_{CB} = \frac{10 \times 2,5}{10 + 2,5} = \frac{25}{12,5} = 2 \Omega$$

$$R_{AB} = 8 + 2 = 10 \Omega$$

Cálculo da corrente:

$$U_{AB} = R_{AB} \times i \Rightarrow 20 = 10 \times i \Rightarrow i = 2 \text{ A}$$

Resposta: a) 8w b)  $i_1 = 0,4 \text{ A}$ ;  $i_2 = 1,6 \text{ A}$

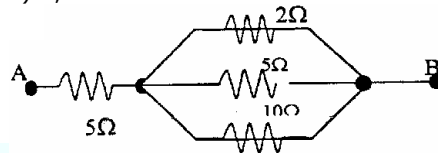
Cálculo da potência dissipada em CB:

|                               |                       |                        |
|-------------------------------|-----------------------|------------------------|
| $P = R_{CB} \times i^2$       | $P = 2 \times 2^2$    | $P = 8 \text{ w}$      |
| b) $U_{CB} = R_{CB} \times i$ | $U_{CB} = 2 \times 2$ | $U_{CB} = 4 \text{ v}$ |
| $U_{CB} = 10 \times i_1$      | $4 = 10i_1$           | $i_1 = 0,4 \text{ v}$  |
| $U_{CB} = 2,5 \times i_2$     | $4 = 2,5 \times i_2$  | $i_2 = 1,6 \text{ A}$  |

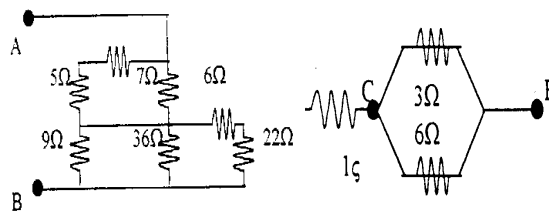
#### PROBLEMAS PROPOSTOS

- 1) Calcule a resistência entre os pontos A e B das seguintes associações:

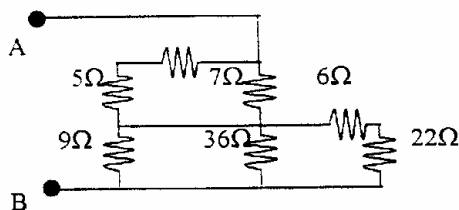
- a)  $6,25 \Omega$



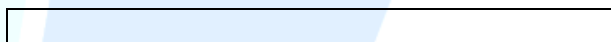
- b)  $4 \Omega$



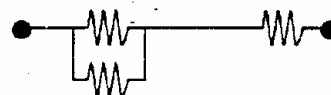
- a)  $10 \Omega$



- 2) Determine a resistência entre os pontos A e B na associação da figura a seguir.  $3 \Omega$



- 3) Um estudante recebeu de seu professor dois resistores de resistências  $12 \Omega$  cada um. Calcule a resistência do resistor equivalente em cada caso.

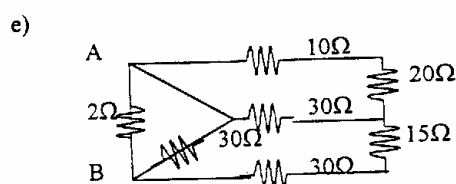
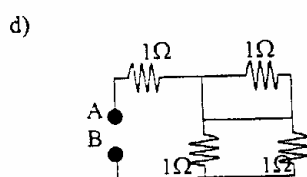
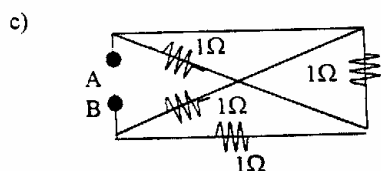
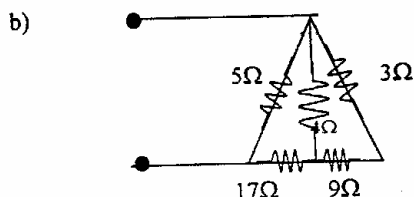
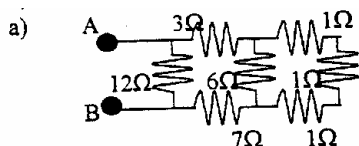


- b)  $4 \Omega$





4) Calcule a resistência do resistor entre os pontos A e B dos circuitos da figuras.



5) (UFPEl) A estudante Rosimeri dispõe de três fios condutores, iguais entre si, cada uma com a resistência elétrica  $R$ . Sugira a Rosemari uma forma de ligar dois ou três destes resistores entre si, de modo a obter:

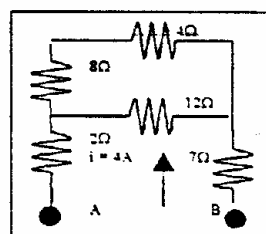
- a menor resistência elétrica possível: **os 3 em paralelo;**
- a maior resistência elétrica possível: **os 3 em série;**
- uma resistência elétrica igual a  $R/2$ : **2 em paralelo;**
- uma resistência elétrica igual a  $1,5R$ : **2 em paralelo e 1 em série.**

6) (Unicamp-SP) Dispõe-se de vários resistores iguais de resistência  $R = 1\ \Omega$ .

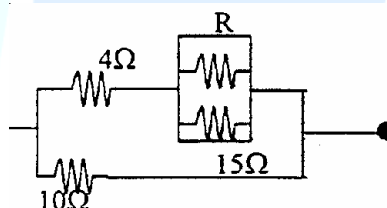
- Faça um esquema mostrando o número de resistores necessários e a maneira como eles devem ser associados para se obter uma resistência equivalente a  $1,5\ \Omega$ ;
- Mostre o esquema de outra associação dos resistores disponíveis que também tenha uma resistência equivalente a  $1,5\ \Omega$ .

7) (Fatec-SP) Para o trecho de circuito abaixo, calcule:

- A diferença de potencial entre E e B;
- A potência elétrica dissipada, no resistor de  $7\ \Omega$ .



Considere o circuito abaixo e determine o valor de  $R$  de forma que as correntes nos resistores de  $4\ \Omega$  e  $10\ \Omega$  sejam iguais.  **$10\ \Omega$**

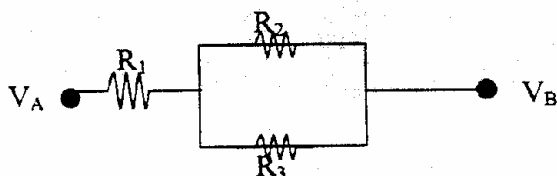


8) (Fuvest-SP) Várias lâmpadas idênticas estão legação em paralelo a uma rede de alimentação de 110 volts. Sabendo-se que a corrente elétrica que percorre cada lâmpada é de  $6/11$  ampéres, pergunta-se:

- Qual a potência dissipada em cada lâmpada?
- Se a instalação das lâmpadas estiver protegida por um fusível que suporta até 15 A, quantas lâmpadas, no máximo, podem ser ligadas?



9) (UFPR) No circuito elétrico mostrado na figura, calcule, em watts, a potência dissipada no resistor  $R_1$ . Dados:  $R_1=8\Omega$ ,  $R_2=6\Omega$ ,  $R_3=6\Omega$  e  $V_A - V_B=33V$ .

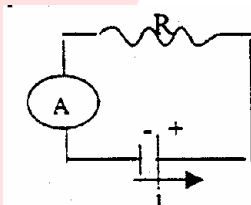


10) Um circuito elétrico contém 3 resistores ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) e uma bateria de 12V cuja resistência interna é desprezível. As correntes que percorrem os resistores  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  são, respectivamente, 20mA, 80mA e 100mA. Sabendo-se que o resistor  $R_2$  tem a resistência igual a 25ohms, faça o que se pede.

- Esquematize o circuito elétrico;
- Calcule os valores das outras duas resistências.

## AMPERÍMETRO

Os dispositivos de segurança tais como os fusíveis, devem ser colocados em série nos circuitos pois, quando a corrente se torna elevada, eles se fundem, causando a interrupção da



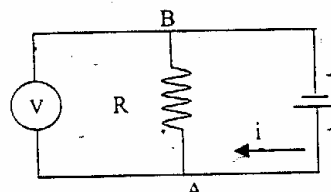
corrente elétrica e evitando que os aparelhos se danifiquem.

Assim, também, quando se deseja medir a intensidade da corrente num condutor, deve-se ligar o amperímetro em série com o condutor, pois a corrente que o atravessa é a mesma que passa pelo condutor.

A resistência do amperímetro deve ser muito pequena para não modificar a corrente no circuito. O amperímetro que tem resistência praticamente nula é chamado de amperímetro ideal.

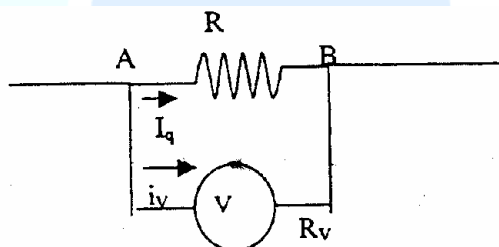
## VOLTÍMETRO

A medida da diferença de potencial entre dois pontos de um circuito é realizada por um, voltímetro, que deve ser colocado em paralelo com o trecho a ser medido.



Para que a presença do voltímetro não interfira no circuito, este deve receber a menor intensidade de corrente possível, o que se consegue fazendo com que sua resistência interna seja a maior possível.

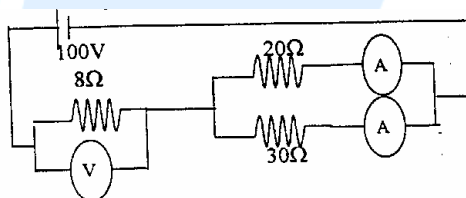
Na associação, a ddp entre os pontos A e B



é dada por:  $U_{AB} = R_v \times i_v$ . Então, quanto maior a resistência interna  $R_v$  do voltímetro, menor a corrente  $i_v$  desviada para ele.

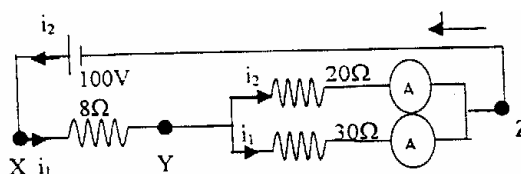
## PROBLEMA DE APLICAÇÃO

Determinar, no circuito a seguir, as leituras do voltímetro V e dos amperímetros  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ ;



## SOLUÇÃO

Simplificando o circuito, temos:



A resistência equivalente em YZ é:

$$R_{yz} = \frac{20 \times 30}{20 + 30} = \frac{600}{50} = 12\Omega$$

A resistência equivalente da associação é:

$$R_{xz} = 8 + 12 = 20\Omega$$



$$U = R_{xz} \times i \quad 100 = 20 \times i \quad = 5A \therefore A1 = 5A$$

A ddp entre Y e Z é:

$$U_{yz} = 12 \times 5$$

$$U_{yz} = 60V$$

Cálculo de  $i_2$  e  $i_3$ :

$$U_{yz} = 20 \times i_2 \quad 60 = 20 \quad i_2 = 3A \therefore A_2 = 3A$$

$$U_{yz} = 30 \times i_3 \quad 60 = 30 \times i_3 \quad i_3 = 2A \therefore A_3 = 2A$$

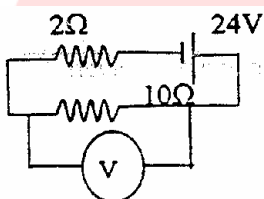
A leitura em (V) corresponde a  $U_{xy}$ :

$$U_{yz} = 8 \cdot i_1 \quad = U_{yz} \Rightarrow 8 \cdot 5 = 40V$$

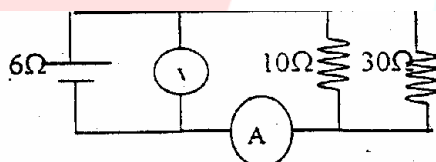
Resposta: 40V, 5A, 3A e 2A

### PROBLEMAS PROPOSTOS:

1. No circuito da figura, calcule a leitura do voltímetro ideal V.

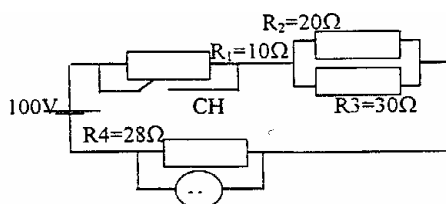


2. No circuito da figura determine:  
a) a leitura do amperímetro ideal;  
b) a indicação do voltímetro ideal.

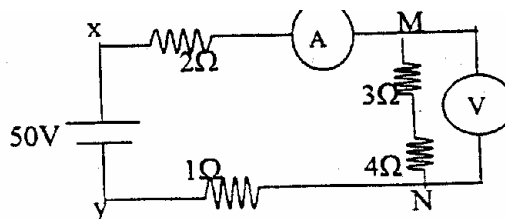


3. (Vunesp - SP) No circuito esquematizado, determine o valor da voltagem indicada pelo voltímetro V quando:

- a) a chave CH está aberta;  
b) a chave CH está fechada, 70 V  
Hipótese:  $R_v$  é muito maior q e  $R_1$



4. Quais as leituras do amperímetro e do voltímetro no circuito indicado? 5.A e 35v



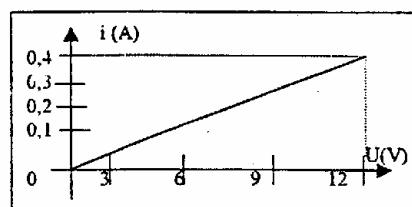
5. (Mack - SP) Para se determinar a resistência elétrica de um resistor, foram realizadas duas experiências:

1°. Um amperímetro de resistência interna  $2\Omega$  foi ligado em série ao resistor, medindo-se uma corrente de 1,0A.

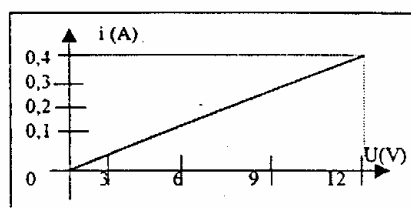
2°. O mesmo amperímetro da primeira experiência foi ligado em paralelo ao resistor, medindo-se, então, uma corrente de 5,0A.

Sabendo-se que a d d p entre os terminais das associações foi a mesma, determinar a resistência do resistor.

6. (Acafe - SC) Dois resistores, cujos gráficos ( $i$  U) estão representados abaixo, estão ligados em série entre os terminais de um gerador.



Resistor  $R_1$



Resistor  $R_2$

Um voltímetro ligado entre os terminais de  $R_1$  indica 4,0V. Determine:

- a) o valor de  $R_1$  e  $R_2$ ;  
b) a resistência equivalente;  
c) a tensão entre os terminais de  $R_2$ .

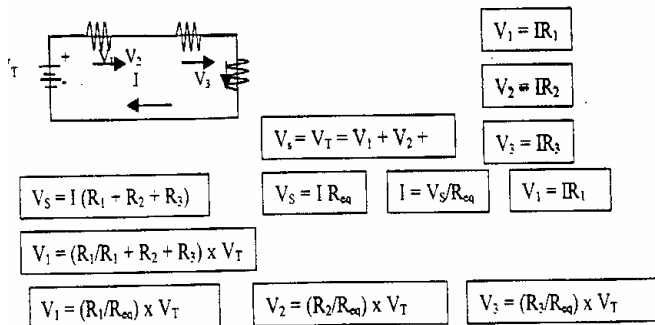


## DIVISOR DE TENSÃO

Aplica-se à resistores em série.

Essa lei fornece a tensão sobre qualquer resistor em função da resistência e da tensão sobre todos os resistores em série.

A etapa de se encontrar a corrente no resistor é eliminada.



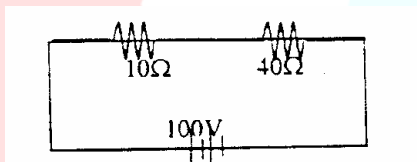
$V_s$  e  $V_x$  devem ter polaridades opostas, isto é, em caminho fechado uma deve ser queda e a outra elevação.

Se ambas forem queda ou elevação, a formula deverá ter um sinal negativo.

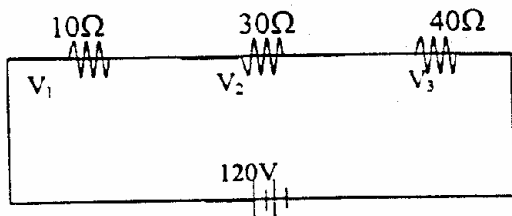
A tensão  $V_s$  não é uma fonte, mas a tensão total sobre os resistores.

### EXERCÍCIO

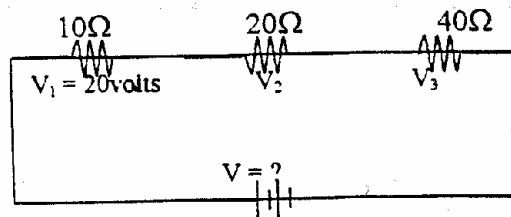
1. Encontre as tensões  $V$  e  $V_2$  aplicando divisor de tensão.



2. Encontre as tensões  $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$  aplicando divisor de tensão.



3. Encontre as tensões  $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$  aplicando divisor de tensão.

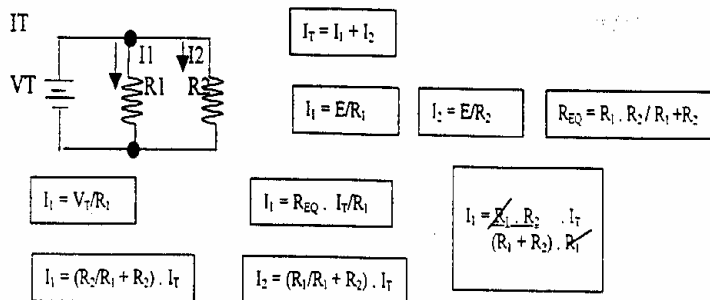


## DIVISOR DE CORRENTE

Aplica-se à resistores em paralelo.

Essa lei fornece a corrente através de qualquer resistor em função da condutância e da corrente na combinação paralela.

A etapa de se encontrar a tensão sobre o resistor é eliminada.



Essas formulas são aplicadas à apenas dois resistores em paralelo.

Se o problema tiver resistores em paralelo, calcule a resistência equivalente entre dois resistores, depois aplique divisor de corrente nos dois resistores restantes.

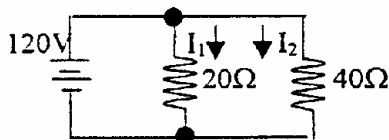
Existe uma formula para aplicar divisor de corrente em uma associação de mais de dois resistores em paralelo mas, vamos trabalhar apenas com as formulas acima apresentadas.

$$I_2 = \frac{R_1 \cdot R_3 \cdot R_4}{(R_1 \cdot R_2 \cdot R_4) + R_2} \cdot I_T$$

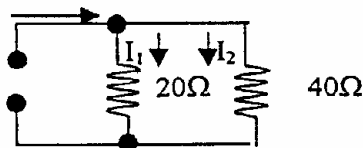


## EXERCÍCIOS

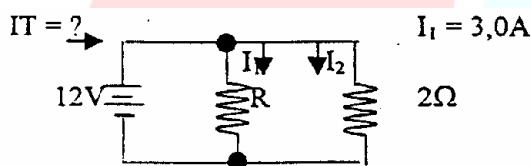
1. Encontre as correntes  $I_1$  e  $I_2$  aplicando divisor de corrente.



2. Encontre as correntes  $I_1$  e  $I_2$  aplicando divisor de corrente.



3. Encontre as correntes  $I_1$  e  $I_2$  aplicando divisor de corrente.



## ASSOCIAÇÃO DE GERADORES

Gerador equivalente à associação é aquele que, percorrido pela corrente da associação, mantém entre seus terminais uma d.d.p igual àquela mantida pela associação.

### ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE DE GERADORES

Na associação em série de geradores, o pólo positivo de cada gerador é ligado ao pólo negativo do seguinte, de modo que todos os geradores são percorridos pela mesma corrente.

Figura pág. 35

### ASSOCIAÇÃO EM PARALELO

Na associação em paralelo, os pólos positivos de cada gerador são ligados entre si, assim como os pólos negativos.

Não se devem associar em paralelo geradores de f e m diferentes.

Vamos analisar o caso em que os geradores são iguais, isto é, têm mesma f e m e mesma resistência interna.

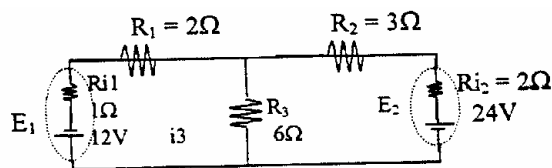
Figura pág 35

## EXERCÍCIOS

1. Associam-se 9 geradores iguais em série, de f e m  $1,5V$  e resistência interna  $0,5\Omega$  cada um. Determine a f e m a resistência interna e a corrente de curto-circuito do gerador equivalente.
2. Um gerador de f e m  $E_1 = 3V$  e resistência interna  $r = 0,6\Omega$  e outro de f e m  $E_2 = 6V$  e resistência interna  $r_2 = 1,2\Omega$  são associados em série. Determine a f e m, a resistência interna e a corrente de curto-circuito do gerador equivalente.
3. Cinco geradores de  $4,5V$  e corrente de curto-circuito igual a  $500mA$  são associados em paralelo. Qual a f e m e a resistência interna do gerador equivalente?
4. Dez baterias de  $9V$  e  $5\Omega$  cada uma, são associadas em paralelo, para alimentar um resistor de  $4\Omega$ . Qual a d.d.p. e a corrente nesse resistor?
5. Associam-se em paralelo 3 séries, cada uma contendo 4 geradores iguais, que apresentam individualmente  $E_1 = 1,5V$  e  $r_1 0,6\Omega$ . Essa associação é ligada a um resistor de  $4\Omega$ . Qual a intensidade de corrente através desse resistor?

## O TEOREMA DA SUPERPOSIÇÃO

Freqüentemente encontramos circuitos que têm mais de uma fonte de voltagem. A corrente resultante que flui em determinada parte do circuito está todavia relacionada com (isto é, é uma função) essas fontes de voltagem. Pôr exemplo, consideremos a figura abaixo. Suponhamos que queremos determinar  $I_3$ . A solução não é óbvia.



FIC. -1a

- 1 Como veremos adiante, isto também inclui fontes de corrente.

Nós não podemos ter certeza de, que  $I_3$  fluirá no sentido suposto. Tudo o que podemos dizer é que  $I_3$  deve estar relacionada com  $E_1$ ,  $E_2$ , e com a localização e valores dos resistores. É para problemas dessa natureza, onde mais de uma fonte estão presentes, que o teorema da superposição se apresenta de muita utilidade. Não é necessário que

as fontes sejam sempre baterias. Em estudos mais avançados veremos que uma das fontes, por exemplo, pode ser uma voltagem que varia de uma determinada maneira com o tempo.

O teorema da superposição estabelece que em qualquer sistema linear bilateral contendo uma ou mais fontes de voltagem (e/ou corrente), a corrente em qualquer ponto do sistema é a soma algébrica das correntes que seriam causadas por cada fonte individualmente, estando as demais substituídas por suas respectivas resistências internas.

Observamos duas restrições neste teorema. O sistema deve ser linear e bilateral. Por linear, entendemos que todas as resistências são lineares. As suas características volt-ampère não são curvas, de forma que a corrente é sempre proporcional à voltagem. É possível, entretanto, aplicar o teorema da superposição a um dispositivo não linear, se as condições do circuito forem tais que o dispositivo seja operado em uma parte razoavelmente linear de sua característica volt-ampère (curva v-i).

Um elemento de circuito bilateral é aquele pelo qual passa uma mesma corrente, independente da polaridade da voltagem aplicada. Por exemplo, um resistor comum não faz distinção de polaridade em seus terminais. Muitos dispositivos eletrônicos (diodos, válvulas, transistores) não deixam entretanto passar corrente, igualmente, em ambos os sentidos. Tais dispositivos são chamados de **unilaterais**\*. Por enquanto, estas duas restrições não nos interessam, mas elas devem ficar na memória.

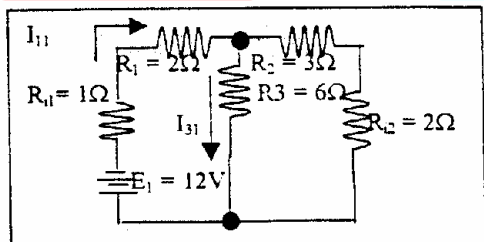


fig. 9 – 1b

Para mostrar a aplicação do teorema da superposição, vamos voltar a figura – 1ª. se considerarmos apenas  $E_1$  e substituímos  $E_2$  pela sua resistência interna  $r_2 = 2$  ohms, chegamos ao circuito da figura – 1b.

Uma vez que a corrente (fluxo de elétrons) tende a fluir do negativo para o positivo, a corrente através de  $R_3$  devida a  $E_1$  designada como  $I_{31}$ , fluirá conforme mostrado. Para determinarmos esta corrente  $I_{31}$ , devemos resolver o circuito série paralelo da figura – 1b. Como primeiro passo, determinaremos  $R_{eq}$  para a combinação paralelo de  $R_3$  com a combinação série de  $R_2$  e  $R_{i2}$ . Então:

$$R_{eq} = \frac{R_3}{R_3 + R_2 + R_{i2}} + R_{i2} = \frac{6}{6 + 3 + 2} + 2 = 2,73 \text{ ohms}$$

A resistência total apresentada a  $E_1$  é então

$$R_T = R_{i1} + R_1 + R_{eq} = 1 + 2 + 2,73 \text{ ohms} = 5,73 \text{ ohms}$$

Portanto, a corrente que flui para fora de  $E_1$  na figura 9 – 1b é

$$I_{11} = \frac{E_1}{R_T} = \frac{12 \text{ volts}}{5,73 \text{ ohms}} = 2,09 \text{ amp}$$

Usando a relação do divisor de corrente desenvolvida na unidade anterior, podemos escrever:

$$I_{31} = \frac{R_2 + R_{i2}}{R_3 + R_2 + R_{i2}} I_{11} = \frac{3 + 2}{6 + 3 + 2} (2,09 \text{ A}) = 0,952 \text{ A}$$

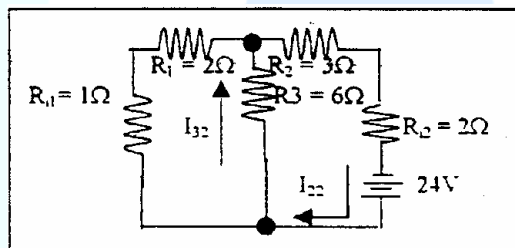


fig 9-1c

Na figura 9-1c procuramos a corrente  $I_{32}$ , que representa a contribuição de  $E_2$  para  $I_3$ . A fonte  $E_1$  é substituída pela sua resistência interna  $R_{i1} = 1$  ohm. Outra vez, usando um método similar, encontramos primeiro.

$$R_{eq} = R_3 / (R_{i1} + R_1) =$$

$$= \frac{R_3 (R_{i1} + R_1)}{R_3 + R_{i1} + R_1} = \frac{6(1 + 3)}{6 + 1 + 2} = 2 \text{ ohms} \text{ e então}$$

$$R_T = R_{eq} + R_2 + R_{i2} = 2 + 3 + 2 = 7 \text{ ohms}$$

Portanto

$$I_{22} = \frac{E_2}{R_T} = \frac{24 \text{ volt}}{7 \text{ ohms}} = 3,43 \text{ amp}$$

$$I_{32} = \frac{R_{i1} + R_1}{R_3 + R_{i1} + R_1} I_{22} = \frac{1 + 2}{6 + 1 + 2} (3,43 \text{ amp}) = 1,14 \text{ amp}$$

\* **unilaterais** – situado em um único lado; que vem de um lado só.

A corrente resultante  $I_{31}$  como mostrado na fig. 90d é então a soma algébrica (superposição de  $I_{31}$  e  $I_{32}$ ).

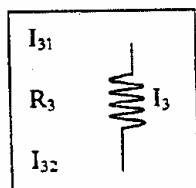


Fig. 1d

Então:

$$I_3 = I_{32} = -I_{31} = 1,14 \text{ amp} - 0,952 \text{ amp} = 0,191 \text{ amp}$$

Nota-se que  $I_{31}$  na equação anterior leva o sinal negativo porque ela flui em oposição ao sentido de referencia de  $I_3$ .

Uma aplicação mais importante do teorema da superposição é para circuitos Contendo fontes mistas tal como na fig. 2ª. Aqui temos uma fonte de potencial  $C_c$  de 5 volts, que não varia com o tempo e uma fonte de voltagem  $e_1$  é o valor instantâneo desta forma de onda periódica, que assume valores positivos e negativos. A forma de onda mostrada na figura 9-2b é chamada de curva de seno.

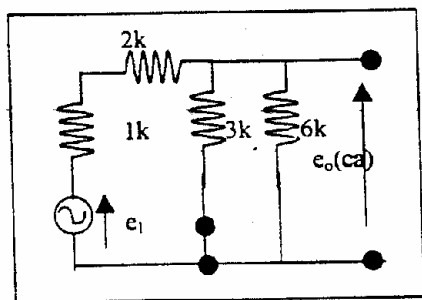


fig. 2a

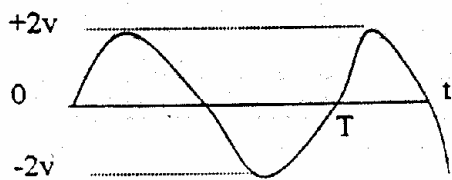


fig 2b

Freqüentemente constitui o que referimos como um sinal de ca (**corrente alternada**\*). Em vários casos principalmente no estudo de válvulas e transistores, nosso interesse particular é voltado para a característica do sinal ca de saída. Isto é possível através da substituição de todas as fontes, exceto a fonte de sinal (e algo dependente dela) por suas resistências internas. O circuito resultante é chamado de circuito  $c_a$ , ou equivalente dinâmico. O circuito ca ou circuito equivalente dinâmico para a figura 9.2a, está mostrado na figura 9-2c. Da figura 9.2c podemos notar que os resistores de 3 e 6 kilohms em paralelo formam um divisor de voltagem em com os resistores de 1 e 2 kilohms. Usando a relação do divisor de voltagem, podemos então escrever.

$$\frac{3\text{quilohms} // 6\text{quilohms}}{1\text{quilohms} + 2\text{quilohms} + (3\text{quilohms} // 6\text{quilohms})} e_i = 0,4 e_i$$

$$= \frac{2\text{quilohms}}{5\text{quilohms}} e_i = 0,4 e_i$$

Onde  $e_0(c_a)$  é a componente variável como o tempo do sinal total de saída  $e_0$ . Assim, para um valor  $e$ , em qualquer instante, é igual a quatro décimos dele. A forma de onda de  $e_0(c_a)$  aparecerá então como mostra a figura 9-d

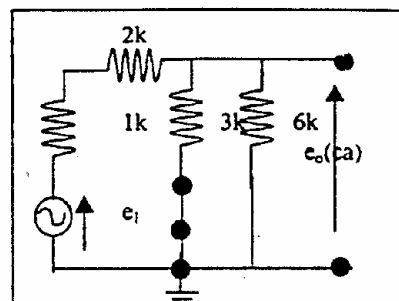


fig. 2c

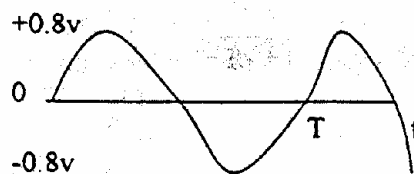


fig. 2d

\* **corrente alternada** – O termo voltagem alternada é o apropriado. Entretanto, o adjetivo ca é usado em sentido geral para indicar uma voltagem ou corrente periódica (repetitiva).

A contribuição da fonte de 8 volts  $e_c$  para  $e$ , é indicada como  $E_o(c_c)$  e pode ser derivada do circuito equivalente cc mostrado na figura 9-2e. Usando a relação do divisor de voltagem.

$$\begin{aligned} E_o(c_c) &= \frac{6\text{quilohms} // (2\text{quilohms} + 1\text{quilohm})}{3\text{quilohms} + [6\text{quilohms} // (2\text{quilohms} + 1\text{quilohm})]} (-8\text{volts}) \\ &= \frac{2\text{quilohms}}{3\text{quilohms} + 2\text{quilohms}} (-8\text{volts}) \\ &= -3,2\text{volts} \end{aligned}$$

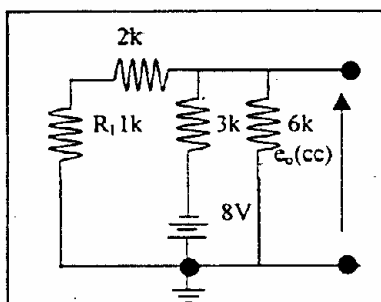


Fig. 2e

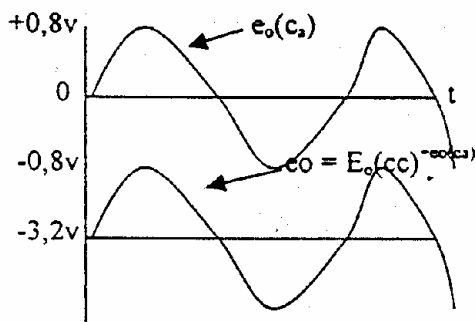


Fig. 2f

A forma de onda total de saída consistirá então de  $e_0(c_c) + e_0(c_a)$  como mostra a figura 2f. Nota-se que a saída  $e$ , consiste de uma componente,  $c_c$  (-3,2 volts) com uma componente  $c_a$  (0,8 volt de valor de pico) superposta à primeira. Outras formas de onda similares a esta são comumente encontradas em circuitos eletrônicos contendo válvulas transistores etc. As baterias em um rádio transistorizado fornecem a componente  $c_c$ , enquanto que o sinal cantado pela antena e subsequentemente amplificado fornece a componente  $c_a$ .

## PROBLEMAS COM SOLUÇÕES

1. Determine  $I$  usando o teorema da superposição na figura abaixo.

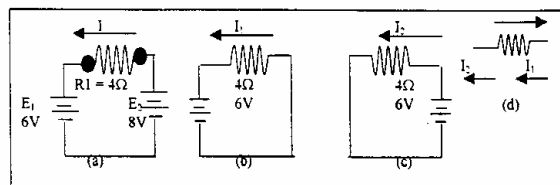


Fig. PS-1

### Solução:

A figura PS-1b - mostra que a contribuição da fonte de 6 volts é  $I_1 = (6\text{volts})/(4\text{ ohms}) = 1,5\text{amp}$  no sentido oposto àquele admitido para  $I$ . A figura PS-1c - mostra que a fonte de 8 volts contribui com  $I_2 = (8\text{volts})/(4\text{ ohms}) = 2\text{ amp}$  no mesmo sentido admitido para  $I$ . Assim, da figura PS-1d -  $I = -I_1 + I_2 = -1,5\text{amp} + 2\text{amp} = 0,5\text{amp}$ .

Este resultado é o mesmo que obteríamos considerando a voltagem resultante 8 volts - 6 volts = 2 volts. Uma vez que as fontes estão em oposição e, uma vez que a fonte de 8 volts é maior, esta tenderá a forçar a corrente no mesmo sentido de referencia assumindo para  $I$ . Então  $I$  terá um valor positivo de (+0,5 amp). A corrente deve ser, pela lei de Ohm,  $I = (8\text{volts} - 6\text{volts})/(4\text{ohms}) = 0,5\text{amp}$ , que confirma o resultado anterior.

2. Determine  $I$  usando, o Teorema da superposição na figura PS-2a.

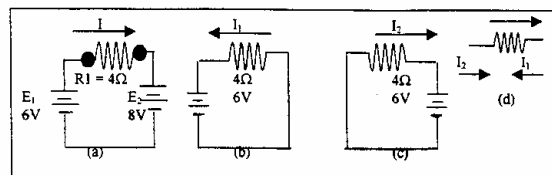


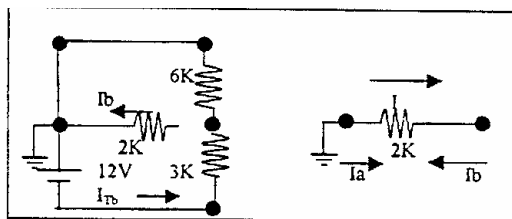
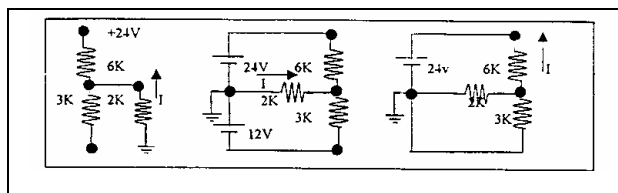
Fig. PS-2

### Solução:

A figura PS-2b - mostra a contribuição da fonte de 6 volts para  $I$ , que é  $I_1 = 6\text{volts}/(4\text{ohms}) = 1,5\text{ amp}$ , no mesmo sentido assumindo para  $I$ . A figura PS-2c - mostra a contribuição da fonte de 8 volts  $I_2 = (8\text{volts})/(4\text{ohms}) = 2\text{ amp}$ . no mesmo sentido de  $I$ . A figura OS-2d - mostra que as correntes  $I_1$  e  $I_2$ , são aditivas (fluem no mesmo sentido de referencia). Assim,  $I = I_1 + I_2 = 1,5\text{ amp} + 2\text{ amp} = 3,5\text{ amp}$ .



3. Determine I na figura PS-3a.



**Solução:**

O circuito completo da figura PS-3 a está mostrado na figura PS-3b. Os terminais marcados com + 24volts e -12 volts na figura PS-3<sup>a</sup> são respectivamente mantidos nestes potenciais pelas duas diagramas esquemáticos de circuitos, parecem como mostra a figura PS-3a. A configuração mostrada na figura PS-3b apresenta o circuito completo, facilitando a compreensão. A contribuição da fonte de 24 volts para I está mostrada na figura OS-3e. A resistência interna da fonte de 12 volts é considerada desprezível, em relação ao resistor de 3 quilohms, em série com a i-ti-2srria. Da figura OS-3 e a resistência total apresentada à fonte de 24 volts é

$$R_{T_s} = 6\text{quilohms} + (3\text{quilohms} // 2\text{quilohms})$$

$$= 6\text{quilohms} + \frac{3\text{quilohms} \times 2\text{quilohms}}{3\text{quilohms} + 2\text{quilohms}}$$

$$= 7,2\text{quilohms}$$

t = 0 temos  $e_0 = e_{01} + E_{02} + e_{03} = 0 \text{ volt} + 3,27 \text{ volts} - 3,37 \text{ volts} = 0 \text{ volts}$ . O próximo ponto de interesse na forma de onda  $e_0$  ocorrerá do lado esquerdo de t = 0,5s, que é precisamente o momento quando a forma de onda  $e_3$  retorna a zero.

Para determinarmos  $e_0$  neste instante devemos conhecer qual o nível  $e_{01}$  atingindo em 0,5s. Isto pode ser feito observando que  $e_{01}$  atinge 2,18 volts em 2s, o que implica que em 0,5s a voltagem atingiu apenas  $(2,18\text{volts})/4 = 0,545\text{volt}$ . Matematicamente, poderíamos estabelecer a proporção

$$\frac{2,18\text{volts}}{2\text{s}} = \frac{x}{0,5\text{s}}$$

e resolver para x = 0,54 volt. Assim, do lado esquerdo de instante 0,5s teríamos  $e_{01} + E_{02} + e_{03} = 0,545 + 3,27 - 3,27 = 0,545 \text{ volt}$

Do lado direito de t = 0,5s teríamos

$$E_0 = e_{01} + E_{02} + e_{03} = 0,545\text{volt} + 3,27\text{volts} + 0 \text{ volt} = 3,82 \text{ volt}$$

Para t = 2s teríamos:

$$e_0 = e_{01} + E_{02} + e_{03} = 2,18\text{volts} + 3,27 \text{ volts} + 0 \text{ volt} = 5,45 \text{ volts.}$$



### GLOSSÁRIO

- ♦ **corrente alternada** – O termo voltagem alternada é o apropriado. Entretanto, o adjetivo ca é usado em sentido geral para indicar uma voltagem ou corrente periódica (repetitiva).
- ♦ **dielétricos** – diz-se de, ou substancia ou objeto isolador da eletricidade.
- ♦ **Empiricamente** - que se guia só pela experiência
- ♦ **transistores** – dispositivo eletrônico que substitui vantajosamente as válvulas termiônicas dos aparelhos.
- ♦ **unilaterais** – situado em um único lado; que vem de um lado só



### CONSIDERAÇÕES FINAIS

**Neste módulo**, você encontrou conteúdo, textos e interpretações para apoiá-lo no seu Curso. Aqui, a teoria é acompanhada da sua contrapartida – estágio – que será de grande valor para o seu enriquecimento profissional.

Não pretendemos de forma alguma ditar receitas infalíveis. Nossa intenção é conduzir um diálogo direcionado a você e dessa forma, ajudá-lo a desenvolver habilidades de estudo – consultas a dicionário, enciclopédia e leitura de textos – tornando-o apto a superar os limites que esse material encerra.

Agora, vamos ao seu desempenho. Se você acertou tudo, passará para o próximo módulo. Caso contrário, esclareça suas dúvidas com o seu **professor/tutor**, de acordo com a sua disponibilidade de tempo e esteja você onde estiver, seja por telefone, fax ou internet ([www.colegiopolivalente.com.br](http://www.colegiopolivalente.com.br).)

O desafio de toda Equipe Polivalente é saber articular um ensino profissionalizante de modo a ser compreendido pela comunidade. O único modo para articulá-lo e vivê-lo, é dando testemunho de vida.

*O seu sucesso é também sucesso do CIP.*

*Afinal, o CIP é você!!!!*