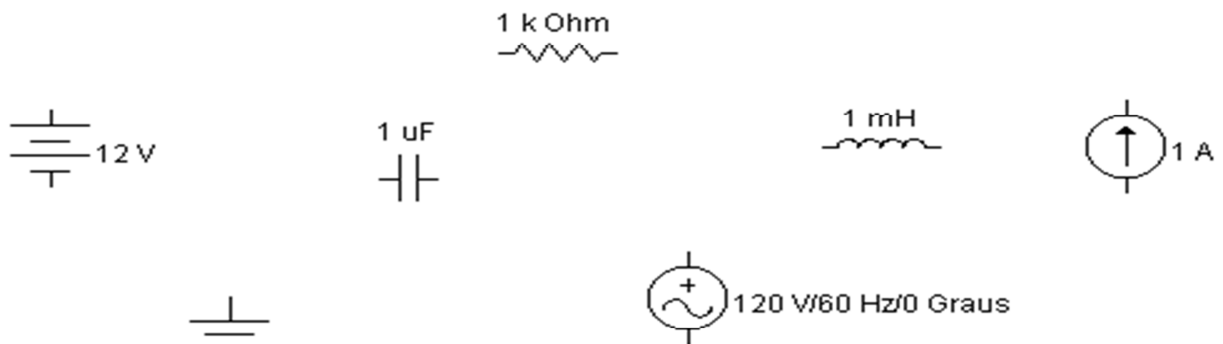


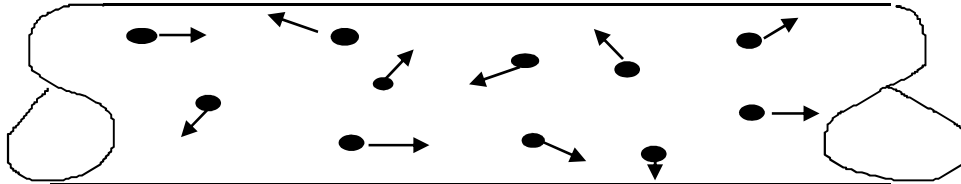
Conhecimentos e Habilidades em ELETRICIDADE



Prof. Márcio Michels

1.1- Condutores e isolantes

Os metais em geral apresentam em seus átomos poucos elétrons na última camada (exemplo:cobre:2,8,18,1 e alumínio:2,8,3), e uma grande facilidade de liberação desses elétrons. Com isso, ocorre nas condições ambientais grande quantidade de elétrons livres em movimento desordenado no interior desses materiais.



Elétrons livres num fio de cobre

Por essa razão os metais são classificados como bons condutores elétricos, pois permitem a circulação de **corrente elétrica**, que consiste do movimento ordenado de elétrons livres através do condutor, produzido por ação de uma fonte de energia elétrica.

Classificação Elétrica dos Materiais:

Assim sendo, o grau de facilidade de liberação de elétrons de seus átomos permite se classificar eletricamente os materiais em:

- **Materiais condutores**

São materiais que apresentam grande facilidade de liberação de elétrons.

Exemplos: prata, cobre, ouro, alumínio.

- **Materiais isolantes**

São materiais que apresentam extrema dificuldade de liberação de elétrons.

Exemplos: vidro, borracha, plástico.

- **Materiais semicondutores**

São materiais intermediários, no seu estado natural se localizam entre condutores e isolantes, mas podem se tornar melhores condutores através da mistura (dopagem) com outros elementos (fósforo, alumínio...), ou pelo aquecimento.

Exemplos: silício, germânio, carbono (nanotubos) etc.

Na prática são utilizadas as propriedades “condutividade” e “resistividade” para se fazer a distinção dos materiais quanto a sua facilidade ou sua dificuldade de condução de corrente elétrica. Segue tabela com exemplos de materiais e suas respectivas resistividades.

Material	Classificação	Resistividade à 20° C ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
Cobre	condutor	0,0172
Silício	semicondutor	0,10
Mica	isolante	90000000000

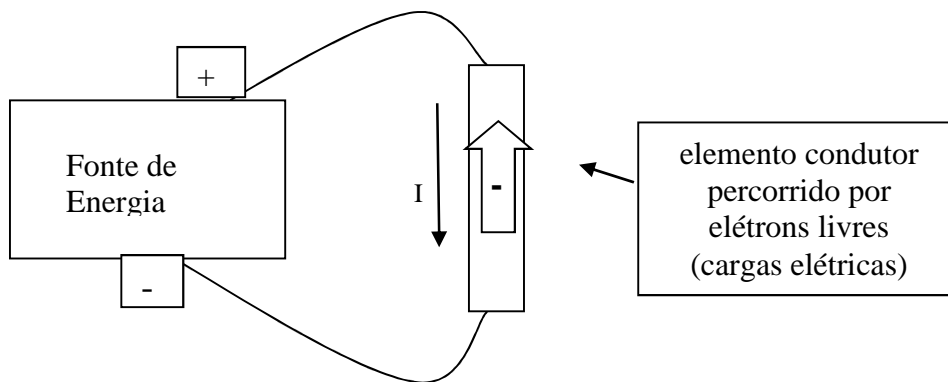
(resistividade de alguns materiais)

A **resistividade de um material** é a resistência ou dificuldade que esse mesmo material apresenta à passagem de corrente eléctrica num fio com **1 metro de comprimento** ($1m$) e **1 milímetro quadrado de secção** (1mm^2), a uma **determinada temperatura** (*normalmente a 20°C*).

1.2 – A corrente elétrica: I, i

Inicialmente, vamos recordar dos estudos de Física de que prótons e elétrons são partículas atômicas portadoras de uma propriedade que não pode ser criada nem destruída denominada carga elétrica, medida em coulomb (C), de igual valor para ambos ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C), sendo uma do tipo positiva (próton) e outra do tipo negativa (elétron), que se atraem na diferença (positivo e negativo) e se repelem na igualdade entre si (negativo e negativo - positivo e positivo).

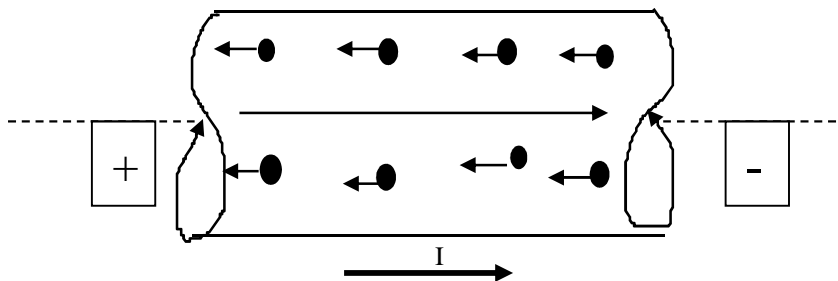
Assim sendo, quando um elemento condutor é ligado aos polos de uma fonte de energia elétrica, (ex. bateria), ocorre atração e aceleração dos elétrons livres (cargas negativas) no sentido do polo positivo, produzindo-se um fluxo contínuo de cargas ao longo do caminho fechado, fenômeno este chamado de corrente elétrica.



Portanto, de uma forma geral,

Corrente Elétrica é um movimento ordenado*de cargas elétricas.

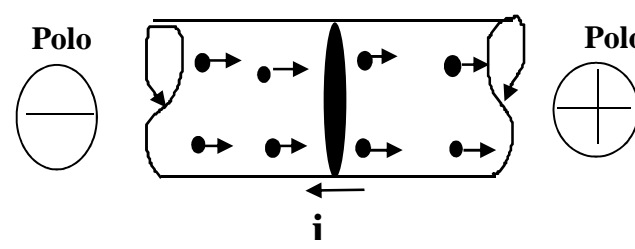
Note que a corrente elétrica é indicada por meio de seta associada à letra “I” ou “i”, que simboliza a sua intensidade, sendo o seu sentido indicado, por razões históricas, de modo oposto ao sentido real de movimentação dos elétrons.



(*)A bem da verdade, esse “movimento ordenado” é uma simplificação, pois na realidade a movimentação dos elétrons é acelerada pela ação de um campo elétrico e marcada por choques entre si e contra os átomos do próprio material, resultando numa arrastada progressão, no sentido contrário ao campo, no sentido do polo positivo da fonte.

A intensidade de corrente elétrica: I, i

Até aqui a corrente elétrica foi analisada como sendo o fenômeno da movimentação ordenada de cargas elétricas. A grandeza corrente elétrica se caracteriza por completo quando se considera o seu aspecto quantitativo, ou seja, a sua intensidade, que pode ser definida, medida e expressa através de uma unidade do SI (Sistema Internacional de Unidades).

<p>A intensidade de corrente elétrica é definida como sendo a razão entre a quantidade de carga que atravessa o condutor, e o intervalo de tempo considerado.</p> <p>Resumidamente:</p> <p>Corrente elétrica é taxa de carga no tempo.</p> <p>Então, por definição, intensidade de corrente é:</p> $i = q / t \quad (\text{A})$ <p>(onde $q = n \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, sendo “n” o número de partículas)</p> <p>Unidade (SI): Ampère (A) onde $1\text{A} = 1\text{C/s}$</p>	 <p>O diagrama mostra um condutor retangular com dois polos: um negativo (círculo com uma linha horizontal) à esquerda e um positivo (círculo com uma cruz) à direita. Dentro do condutor, setas indicam o movimento das cargas positivas para a direita e das cargas negativas para a esquerda. Uma seta centralizada abaixo do condutor aponta para a esquerda e é rotulada com o símbolo 'i', representando a intensidade da corrente elétrica.</p> <p>Observe que:</p> <p>1- O sentido da corrente, indicado por seta, é oposto ao sentido real de movimento dos elétrons, ocorrendo do polo positivo para o polo negativo da fonte. Este sentido inverso tem origem no tempo em que se achava que corrente era fluxo de cargas positivas.</p> <p>2- O valor de corrente será <u>médio</u>, no caso de corrente variável. Mas, se o intervalo de tempo considerado tender a zero, o valor será <u>instantâneo</u>.</p>
--	---

Aplicação 1

Calcule a intensidade de corrente elétrica que atravessa um condutor, se por sua seção transversal passam, a cada 5 s, uma quantidade de $2 \cdot 10^{20}$ elétrons. (**Resp.: $i = 6,4 \text{ A}$**)

Tipos de corrente elétrica:

a) Quanto a origem ou natureza

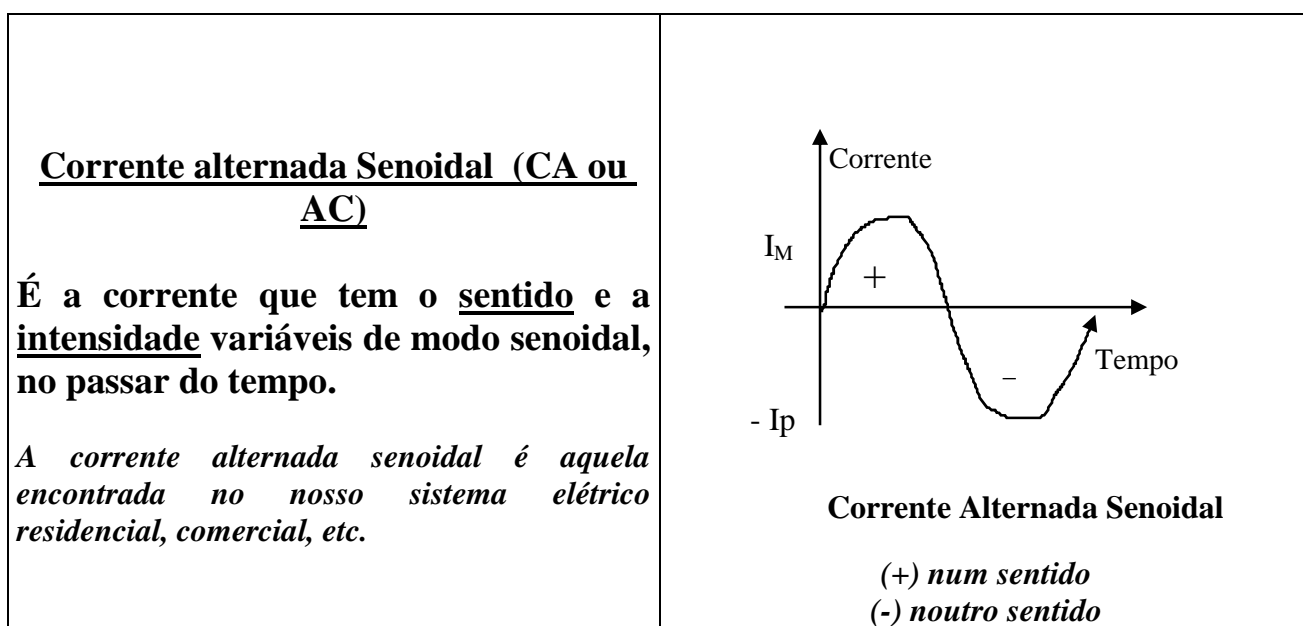
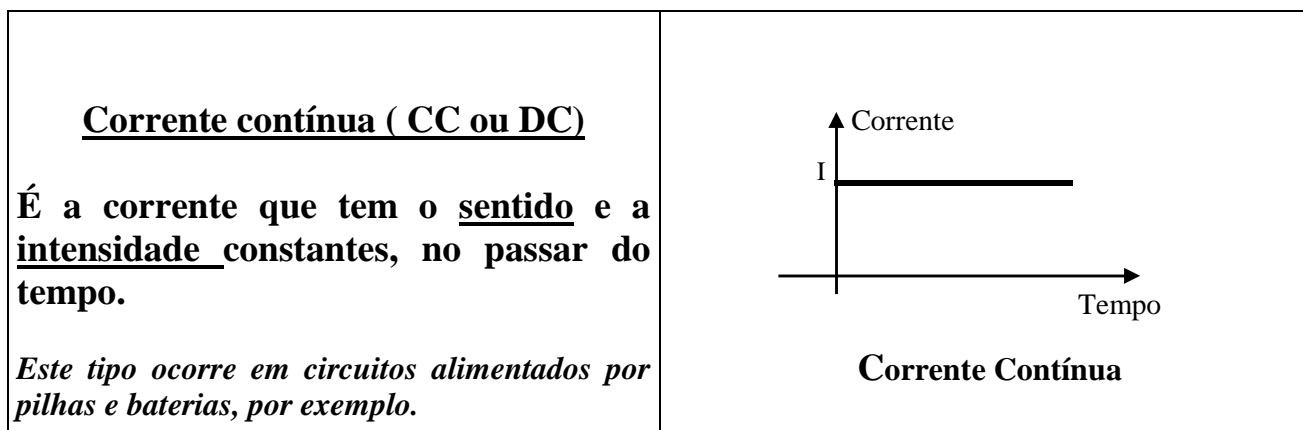
Corrente eletrônica – É a corrente elétrica formada por elétrons livres em movimento ordenado através de um metal.

É o tipo mais comum, sendo chamada simplesmente de “corrente elétrica”

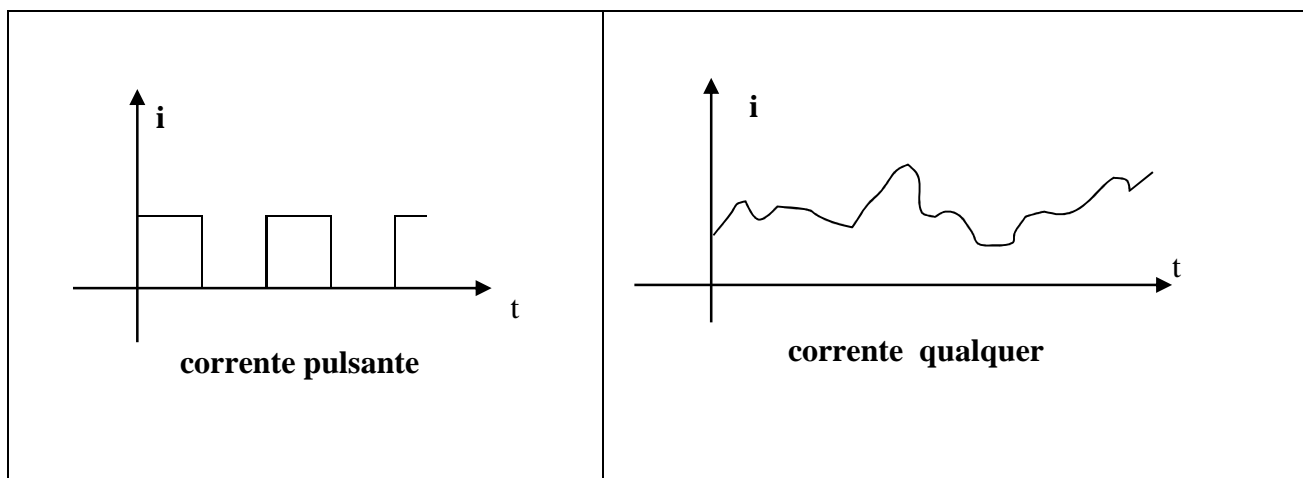
Corrente iônica – É a corrente elétrica formada por íons em movimento ordenado através de uma solução condutora.

Não será estudada aqui. Note que Íons são átomos carregados eletricamente, pela doação ou recebimento de elétrons.

b) Quanto ao regime ou comportamento:



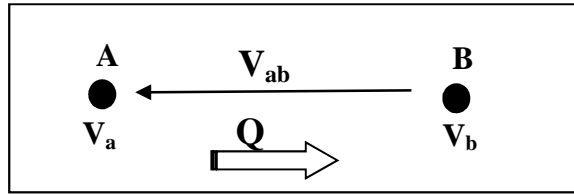
Existem outros tipos de correntes, quanto ao comportamento, como por exemplo as mostradas nos gráficos abaixo:



1.3 – A Tensão Elétrica: V,v

a- Definição

Considere um sistema elétrico qualquer, onde são identificados dois pontos A e B.



Se uma carga elétrica for colocada no ponto A e tender a se deslocar espontaneamente para o ponto B (ou vice-versa), concluí-se que:

O ponto A apresenta um potencial elétrico V_a ;

O ponto B apresenta um potencial elétrico V_b ;

Entre os dois pontos existe uma Diferença de Potencial ou Tensão Elétrica igual a

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

Neste contexto, define-se a tensão elétrica:

A tensão elétrica entre dois pontos A e B de um sistema elétrico é a razão entre o trabalho de uma força externa para deslocar uma carga de B até A e o valor da carga deslocada.

Ou seja: $V_{ab} = W_{ba}/q$ Ou, de modo geral: $V = W/q$

- Símbolo de Tensão Elétrica: V, v, U, u
- Unidade de Tensão Elétrica (SI): **volt (V)** onde **1V = 1 J/C**
- Note que, a tensão elétrica, por ser uma grandeza relativa, pode assumir valores positivos e negativos.

Por exemplo:

Se uma força externa realiza um trabalho $W_{ba} = 20 \text{ J}$, para deslocar uma carga elétrica $q = 2 \text{ C}$, de B até A, então, $V_{ab} = 10 \text{ V}$.

Neste caso, como $10 \text{ V} = 10 \text{ J/C}$, verifica-se que cada unidade de carga (1 C) exigirá 10 J de energia para se deslocar de B até A.

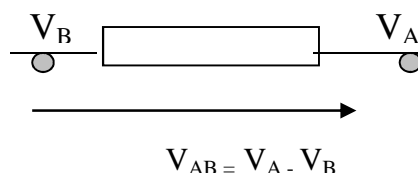
Ou seja, como trabalho é energia:

A Tensão Elétrica entre dois pontos indica a energia necessária para mover uma unidade de carga (1 C) entre os dois pontos considerados.

Sinônimos: A tensão elétrica é também denominada: **diferença de potencial elétrico (ddp), força eletromotriz (fem)**, ou, simplesmente, **potencial elétrico**, neste último caso quando medido em relação à terra, que tem potencial zero de referência.

• Representação da Tensão:

É feita com o auxílio de sinais positivo/negativo, ou por meio de seta. Abaixo, observa-se a indicação da tensão existente entre os terminais A e B de um elemento elétrico, sendo o ponto B a referência.



b. Conceito prático de Tensão Elétrica

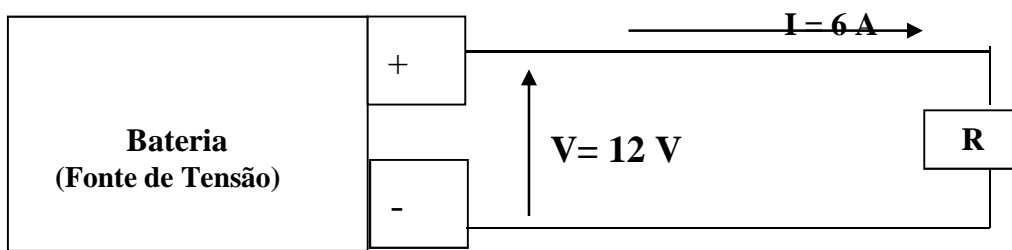
Vimos que, se existe uma tensão elétrica (ou diferença de potencial) entre dois pontos de um sistema elétrico, cargas elétricas tendem a se mover entre esses pontos.

Cabe acrescentar que, se a carga for negativa (elétron), o deslocamento se dará do ponto de potencial mais baixo (polo negativo) para o de potencial mais alto (polo positivo).

Assim, ao se ligar, por meio condutor, os polos positivo e negativo de uma bateria (fonte de tensão) aos terminais de um resistor (receptor ou carga), formando-se o que se chama de circuito elétrico, ocorre a movimentação de cargas, ou seja, a circulação de uma **corrente elétrica**.

Vejam os um exemplo:

Na figura abaixo, uma bateria de 12 V produz uma corrente de 6 A num circuito elétrico. Nesse mesmo circuito, uma bateria de 24 V produziria uma corrente de 12 A .



Ou seja, na prática observa-se que quanto maior a tensão da fonte, maior a intensidade de corrente no circuito.

Então, no contexto de circuitos elétricos, pode-se dizer que:

Tensão elétrica é a capacidade de produção de corrente elétrica.

A rigor, observa-se num circuito elétrico, de modo geral que:

- ***Na fonte**, ocorre a transferência de energia para a corrente na taxa correspondente a sua tensão entre seus terminais (por ex.: 12 J/C). Ou seja, a tensão (elevação de tensão) indica a taxa de transferência de energia da fonte para a corrente.*
- ***No receptor**, ocorre a retirada de energia da corrente, na taxa correspondente a sua tensão entre seus terminais (por ex.: 12 J/C); Ou seja, a tensão (queda de tensão) indica a taxa de transferência de energia da corrente para o receptor.*

c- Tipos de Tensão Elétrica

Uma tensão elétrica pode ser produzida pela simples separação mecânica entre cargas positivas e negativas.

Dependendo de sua fonte ou gerador, a tensão produzida pode ser do tipo **contínua** ou **alternada**, ou ter um comportamento qualquer, no passar do tempo:

- **Tensão Contínua: (Vcc ou Vdc)**

É o tipo de tensão que apresenta polaridade e intensidade constantes (fig. a).

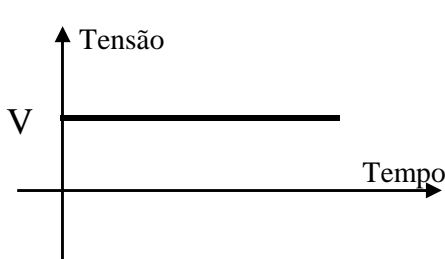
É aquela produzida por pilha, bateria e dínamo.

- **Tensão Alternada: (Vac ou Vca)**

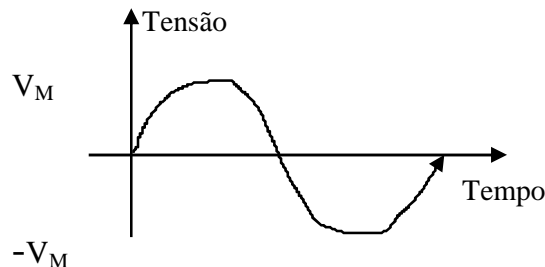
É o tipo de tensão que apresenta variação alternada de polaridade e de intensidade.

Quando essa variação assume comportamento senoidal, tem-se a **tensão alternada senoidal** (fig. b).

Este tipo é produzido nos alternadores, estando presente em instalações residenciais, comerciais, etc....



a - Tensão contínua



b - Tensão alternada senoidal

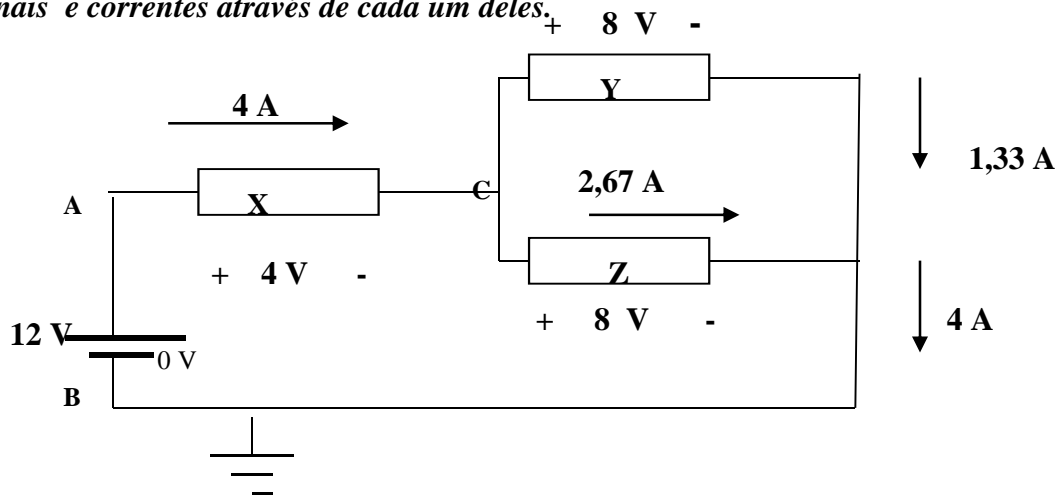
Como existe uma relação direta de causa-efeito entre a tensão (a causa) e a corrente (o efeito), então, conclui-se que:

- **Tensão contínua produz corrente contínua;**
- **Tensão alternada produz corrente alternada.**

A tensão presente nas tomadas elétricas é do tipo alternada senoidal, cujos máximo e mínimo são aproximadamente +311 V e (-)311 V, muito embora os multímetros indiquem uma medida contínua de 220 V. Essa tensão contínua, que corresponde a 70,7 % do valor máximo, é chamada de tensão eficaz.

Representações de tensões e correntes nos diagramas elétricos – Exemplo Comentado

O diagrama seguinte mostra um esquema de um circuito elétrico, onde uma fonte de tensão 12 V_{dc} alimenta um conjunto de 3 componentes receptores (X,Y,Z), com indicações das tensões entre seus terminais e correntes através de cada um deles.

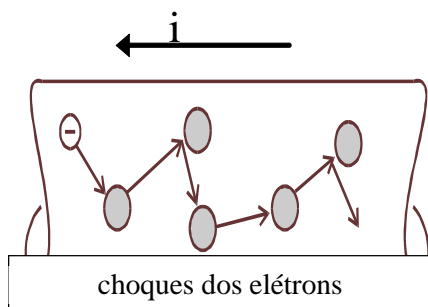


Observa-se que:

- Na simbologia adotada para a fonte, o traço maior indica o polo positivo (potencial $+12\text{ V}$) e o traço menor o polo negativo ligado ao terra (0V). Na fonte é indicada a sua ddp ou tensão (12 V). Outras simbologias são adotadas para fontes de tensão, como círculo (fontes independentes) e losangos (fontes dependentes). Essa simbologia de modo semelhante ocorre para fontes de correntes;
- As tensões estão indicadas por meio de polaridades positivo-negativas, em lugar de setas, sendo que a polaridade positiva está associada ao polo positivo da fonte e indica o lado de maior potencial e a polaridade negativa indica o contrário, o de menor potencial
- Sendo “potencial elétrico” sinônimo de tensão ou ddp em relação ao terra, então, $V_A = 12\text{ V}$, $V_B = 0\text{ V}$ e $V_C = 8\text{ V}$;
- A corrente elétrica na fonte tem seu sentido indicado de modo a entrar pelo lado de menor potencial (negativo) e sair pelo de maior (positivo), indicando um ganho de energia, enquanto que nos demais elementos, do maior para o menor potencial, indicando uma queda de energia da corrente
- Uma “queda de tensão” ocorre quando há uma variação negativa de potencial, e “elevação de tensão” quando ocorre o inverso . Assim, seguindo-se a corrente, na fonte observa-se uma variação positiva de 0 V para 12 V (elevação de 12 V), e, ao se atravessar o elemento “X” o potencial varia negativamente de 12 V para 8 V (queda de 4 V). Ao se atravessar os elementos (Y e Z), o potencial cai de 8 V para 0 V , chegando-se ao nível do polo negativo da fonte, cujo potencial é zero, por conta de seu aterramento;
- Em análise de circuitos normalmente se está interessado nessa variação de potencial (ddp) observada nos elementos. Daí ocorrer o uso das expressões “ elevação de tensão ” e “ queda de tensão ”, respectivamente, para indicar variação positiva e negativa de potencial observada.
- Note que o potencial cai de 12 V para 0 V para manter a corrente em 4 A , ao longo do circuito: de 12 V para 8 V através do elemento “X”; de 8 V para 0 V através de “Y” e “Z”.

• 1.4 – Resistência Elétrica e Resistor elétrico

No fenômeno da corrente elétrica, os elétrons livres em movimento ordenado realizam sucessivos choques entre si e contra os átomos do material, resultando numa certa dificuldade ou atrito para a passagem da corrente .



Então, num condutor,

A Resistência Elétrica é a grandeza que mede a dificuldade oferecida à passagem da corrente elétrica.

Por definição, num condutor,

Resistência Elétrica é a razão entre a tensão aplicada e a corrente resultante.

$$(R = V/I) .$$

Símbolo de resistência elétrica: R , r

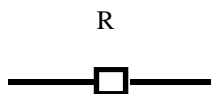
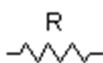
Unidade (SI): ohm (Ω)

Isolando-se a corrente na expressão matemática acima ($I = V/R$) observa-se que a resistência elétrica produz efeito limitador da intensidade de corrente num condutor, de modo que: quanto maior a resistência, menor será a intensidade de corrente ($I = V/R$), desde que mantida a tensão constante.

Resistor Elétrico

É todo elemento condutor elétrico (componente) que tem por finalidade a produção de uma determinada resistência elétrica.

Símbolos:



Cálculo da Resistência

O valor de uma resistência elétrica varia com as dimensões e com o material do próprio condutor, de acordo com a expressão seguinte, além de depender da temperatura do elemento considerado:

$$R = \rho \cdot l / A \quad (\Omega)$$

Onde:

“ ρ ” (rô) é a resistência específica, ou resistividade do material (veja quadro que segue)

“ l ” é o comprimento do condutor (m);

“ A ” é bitola ou seção transversal do condutor (mm^2)

A rigor, nos metais a resistência elétrica cresce com a temperatura do condutor, que por sua vez cresce com o aumento da corrente que o percorre.

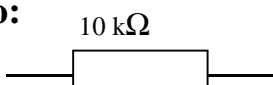
Nota-se na sua expressão de cálculo que a resistência de um elemento condutor depende diretamente do seu comprimento e inversamente de sua bitola, e varia também de material para material, através de sua resistência própria ou resistividade (veja o quadro).

Material Condutor	Resistividade a 20° C ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
Prata	0,0164
Cobre	0,0172
Ouro	0,0230
Alumínio	0,0289

(resistividade de alguns materiais condutores)

É comum, em Eletricidade e em outras áreas do conhecimento, a adoção de múltiplos e submúltiplos das unidades SI, formados pela associação de prefixos métricos decimais às unidades, como kW, mA, MHz, etc.

Exemplo:



Segue quadro com os principais prefixos utilizados.

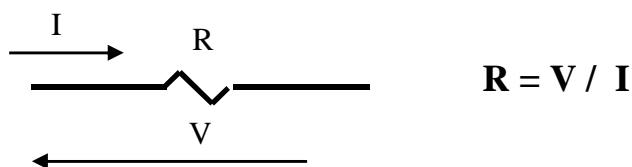
prefixo	valor associado	prefixo	valor associado
quilo (k)	10^3	mili (m)	10^{-3}
mega (M)	10^6	micro (μ)	10^{-6}
giga (G)	10^9	nano (n)	10^{-9}
tera (T)	10^{12}	pico (p)	10^{-12}

(prefixos métricos decimais do SI)

1.5- Relação Tensão x Corrente no Resistor : Lei de Ohm

Convém lembrar de que a tensão entre os terminais de um resistor é comumente designada **queda de tensão**, que corresponde a uma variação negativa entre os potenciais de entrada e saída. Mas, pode-se também chamar simplesmente de **tensão**.

No resistor, a razão entre a sua queda de tensão e a sua intensidade de corrente é igual a sua resistência elétrica. Ou seja:



Por ex.: Se a queda for de 12 V e a corrente de 2A, a resistência será $12 / 2 = 6 \Omega$.

Assim, essa relação entre tensão e corrente expressa na forma $V = R \cdot I$ aparenta uma proporcionalidade entre ambas, que em geral não ocorre devido a variação da resistência elétrica com temperatura, que por sua vez depende da corrente elétrica.

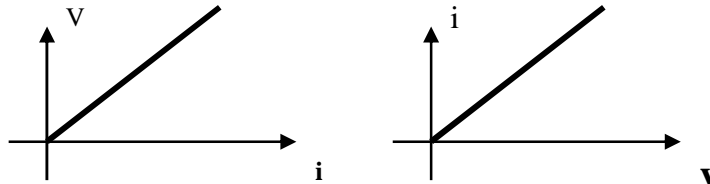
Portanto, se eliminada a influência da temperatura, a resistência elétrica de um resistor teria valor constante em qualquer situação de seu funcionamento e sua **tensão e corrente seriam diretamente proporcionais**. Vejamos o que ensina a “chamada” lei de Ohm.

A lei de Ohm:

*“ Num resistor, à temperatura constante,
a tensão e a corrente são diretamente proporcionais ”*

Matematicamente: $V = R I$ Onde: $R = \text{constante}$

Graficamente :



Expressando-se a lei de Ohm de uma outra forma:

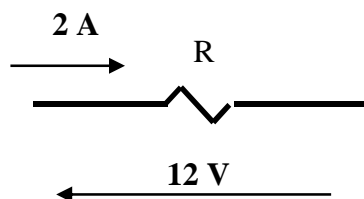
*“ Mantida a temperatura constante,
a resistência elétrica de um resistor se mantém constante,
para qualquer valor de tensão ou corrente ”*

Na prática, como não se consegue manter a temperatura constante:

- O resistor que apresentar pouca variação da resistência com a temperatura terá **sua resistência** considerada **constante** e será considerado **Ôhmico (ou linear)**, ou seja, nele a **tensão e corrente serão considerada diretamente proporcionais**.
- Caso contrário, serão considerados **Não ôhmicos (ou não lineares)**.

Aplicação 2 - lei de Ohm:

Um resistor **ôhmico** percorrido por uma corrente de 2A apresenta uma queda de 12 V.

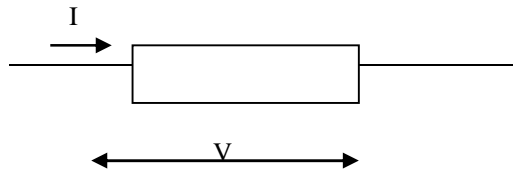


a - Calcule o valor de sua resistência elétrica;

b - Calcule o novo valor da corrente, se for dobrado o valor da tensão aplicada (**24 V**).

1.6 – Potência Elétrica: P

Considere um elemento elétrico qualquer, onde se observa uma tensão nos terminais e uma circulação de corrente.



Define-se:

Potência Elétrica é igual ao produto da tensão pela corrente.

Isto é:

$$P = V \cdot I$$

Unidade (SI): **watt (W)**, onde $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

Note que: Como tensão elétrica expressa a energia por unidade de carga ($V = W/q$) e corrente a taxa de carga no tempo ($i = q/t$), então o produto **tensão x corrente** representará uma **taxa de energia** na unidade de tempo, taxa esta denominada **potência elétrica**.

A potência média de um sinal periódico pode ser calculada por: $P_{md} = \frac{1}{T} \int v(t) \cdot i(t) dt$

Conceito de Potência Elétrica

Num elemento qualquer,

Potência Elétrica é a taxa de fornecimento (ou de consumo) de energia, na unidade de tempo.

Ou então: “capacidade de consumo ou de fornecimento de energia”.

Num elemento passivo (carga), a **potência elétrica representa a sua taxa de consumo de energia elétrica, no tempo**, ou seja, a **velocidade de consumo** de energia.

Tomemos por exemplo uma lâmpada incandescente de 100 W/ 220 V.

Como 1 W corresponde a 1 J/s, pode-se dizer que 100 W é a velocidade de consumo de energia dessa lâmpada, uma vez que 100 W representa 100 J/s .

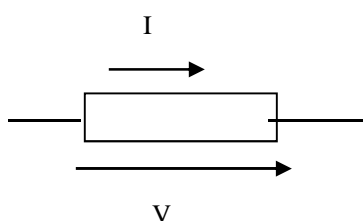
No elemento resistor essa potência é denominada potência dissipada

Num elemento ativo (fonte), a **potência elétrica representa a sua taxa de fornecimento de energia elétrica, no tempo**, ou seja, a **velocidade de fornecimento** de energia.

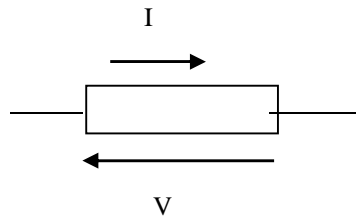
Assim, uma bateria de 12 V, fornecendo uma corrente de 5A, estará fornecendo energia na razão de 60 W ou 60 J/s.

No elemento fonte essa potência é denominada potência fornecida.

Note que a potência elétrica (consumida ou fornecida) está condicionada a existência simultânea (ao mesmo tempo) da tensão e da corrente no elemento.



elemento ativo



elemento passivo

Outras formas de cálculo da potência elétrica dissipada no resistor

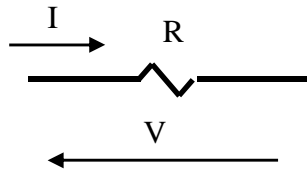
Potência dissipada é sinônimo de potência consumida, ou seja, é a taxa de transformação de energia elétrica em energia térmica, que se dispersa no meio em forma de calor. Basicamente essa potência pode ser calculada pela expressão $p = vi$.

Combinando-se as expressões:

$$V = R \cdot I$$

e

$$P = V \cdot I$$

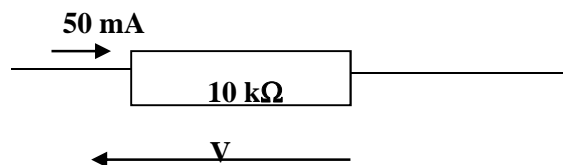


Obtêm-se duas novas expressões para o cálculo da potência dissipada no resistor:

$$P = R I^2 \qquad P = V^2 / R$$

Aplicação 3:

Um resistor de **10 kΩ** é percorrido por uma corrente de **50 mA**. Calcule a sua potência dissipada nessa situação.



1.7 – Energia elétrica: E

Ao produzir sua tensão elétrica, uma fonte estará gerando sua capacidade de produzir corrente elétrica. Ligando-se a fonte aos terminais de um resistor ocorrerá a transferência de energia aos elétrons livres, na taxa correspondente ao valor da tensão produzida (ex.: 12 V = 12 J/C), resultando no aparecimento da corrente elétrica, cuja intensidade dependerá diretamente da tensão e inversamente da resistência encontrada no resistor.

Essa corrente elétrica ao atravessar um resistor transformará a energia recebida em energia térmica, por conta do fenômeno chamado **efeito joule**, na taxa representada por sua potência elétrica.

Essa energia transferida pela fonte à corrente elétrica, e transformada em energia térmica nos resistores, será aqui denominada energia elétrica.

Assim, nesse contexto, pode-se adotar o seguinte **conceito** para **energia elétrica**:

Energia elétrica é a energia presente na corrente elétrica.

Futuramente, no estudo do capacitor e do indutor, elementos que idealmente não dissipam energia, o conceito de energia poderá ser: Energia elétrica é a energia associada a presença da tensão e/ ou da corrente elétrica. Assim se contemplará a energia potencial que acontece nesses componentes.

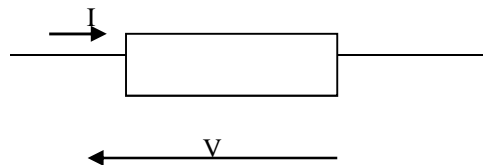
Entrando em detalhes: A fonte e sua tensão fornece energia às cargas representadas pelos elétrons livres do condutor (energia potencial), que ao se movimentarem produzem a corrente elétrica (energia cinética). Assim, ambas, energia potencial e cinética presentes nos elétrons livres em movimento, ou seja na corrente elétrica, são modalidades de energia elétrica.

Comparação (Analogia)

Pode-se fazer a comparação com a energia mecânica de um corpo que cai, onde em cada ponto aparece a energia potencial se transformando em energia cinética, sendo a potencial associada à posição e a cinética associada à velocidade e sendo ambas energia mecânica.

Efeito Joule

No resistor, essa energia elétrica é transformada em energia térmica, devido ao atrito provocado pelos sucessivos choques de elétrons entre si e contra os átomos do material, resultando na produção de calor, luz etc,



Esse fenômeno da transformação de energia elétrica em energia térmica, no resistor, é conhecido por Efeito Joule e tem importantes aplicações práticas, como lâmpada incandescente e chuveiro elétrico.

Definição de Energia Elétrica: E

Em qualquer elemento,

Energia Elétrica é igual ao produto da potência pelo tempo considerado.

Ou seja:

$$E = P \cdot t \quad (\text{J})$$

Onde : “P” é a potência (W); “t” é o tempo (s)

Unidade (SI) = joule (J)

Note que para haver consumo ou fornecimento de energia, deve haver ocorrência simultânea da tensão e da corrente, pois $P = V \cdot I$ e $E = V \cdot I \cdot t$

Aplicação 4:

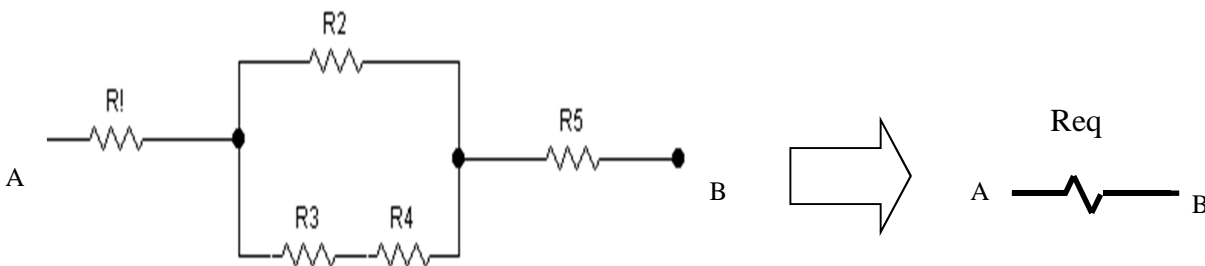
Calcule a energia consumida pelo resistor de 10 kΩ da **Aplicação 3**, considerando o tempo de **24 h** de funcionamento, expressando o resultado:

- a- Em joule;
- b- Em kWh .

(kWh é uma unidade prática adotada pelas concessionárias de energia, resultante da multiplicação da potência em kW pelo tempo expresso em hora).

1.8 – Associações de resistores

<p>Resistores podem ser interligados formando associações diversas.</p>	<p>Uma associação de resistores pode ser reduzida a um único resistor que produza o mesmo efeito (a mesma potência) que o conjunto, cuja resistência é denominada resistência equivalente (Req) ou total (RT).</p> <p><i>Ou, por definição, resistência equivalente é a razão entre a tensão e a corrente na entrada da associação (Req = V/I)</i></p>
---	---

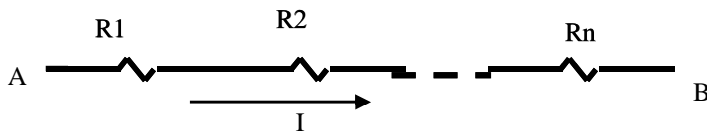


Exemplo de Associação de Resistores do tipo Mista

Resistência Equivalente

Associações de Resistores e cálculo da Resistência Equivalente:

a – Associação em Série



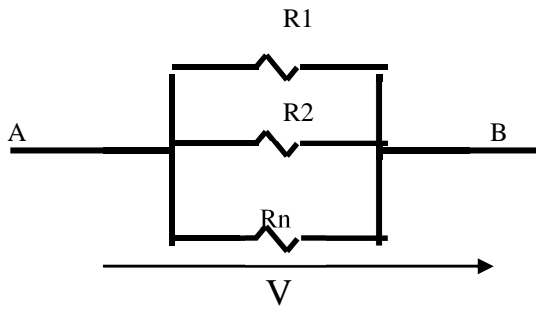
Dois ou mais resistores estão em série quando são percorridos pela mesma corrente.

Neste caso, a tensão total aplicada se divide pelos resistores associados, cujas quedas serão proporcionais aos valores de suas resistências.



$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

b – Associação em Paralelo



Dois ou mais resistores estão em paralelo quando são submetidos à mesma tensão.

Neste caso, a corrente total se divide nos caminhos formados pelos resistores, de modo inversamente proporcional aos valores de suas resistências.



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

Casos particulares!!!

Dois resistores em paralelo (n = 2)..... $R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

Três resistores em paralelo (n = 3)..... $R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$

Notas:

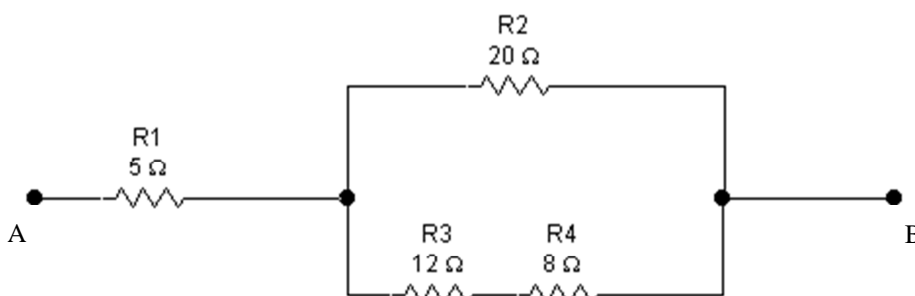
- A resistência de dois ou mais resistores em paralelo é sempre menor que a menor delas.
- Para o caso de dois ou mais resistores iguais, em paralelo, a resistência equivalente pode ser obtida pela divisão do valor de um deles pela quantidade existente de resistores iguais. Por exemplo, 3 resistores iguais de 12 ohms ligados em paralelo terão resistência equivalente igual a $12 / 3 = 4$ ohm.

c - Associação Mista

É toda associação resultante de combinações **série** e **paralelo** de resistores.

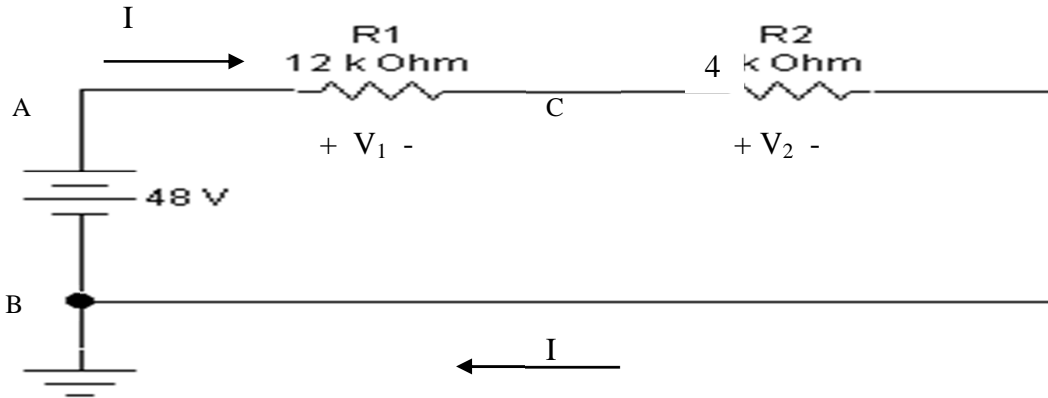
Aplicação 5:

Calcule a resistência equivalente entre os extremos A e B da associação mista abaixo.



Exemplo Integrador:

Para fins de integração dos estudos realizados, e para a introdução do que vem por aí, segue-se um diagrama de um circuito elétrico, alimentado por tensão contínua e percorrido por uma corrente contínua, com intensidade limitada por dois resistores associados em série.



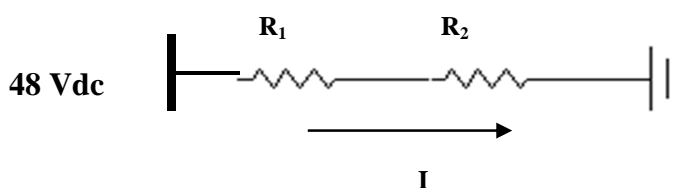
Pode-se observar que:

- 1- O potencial no ponto “B” vale zero volts ($V_B = 0 \text{ V}$), devido ao seu aterramento. Assim, $V_A = 48 \text{ V}$ e $V_C = 12 \text{ V}$ são potenciais medidos em relação ao ponto “B”.
- 2- O potencial no ponto “A”, medido em relação à terra, corresponde a ddp entre “A” e a terra (B). Ou seja, $V_{AB} = V_A - V_B = V_A - 0 = V_A = 48 \text{ V}$.
- 3- Como a tensão é uma grandeza relativa, medida em relação a um valor de referência, pode assumir valores positivos ou negativos, como por exemplo:

$$V_{AB} = V_A - V_B = 48 - 0 = 48 \text{ V}$$

$$V_{BA} = V_B - V_A = 0 - 48 = -48 \text{ V}$$

- 4- A resistência total ou equivalente “vista” da fonte vale $16 \text{ k}\Omega$;
- 5- A corrente total no circuito (3 mA), percorre igualmente todos os resistores que estão associados em série ($I = I_{R1} = I_{R2}$).
- 6- No resistor R_1 ocorre uma queda de tensão de 36 V ($V_1 = V_{AC} = 36 \text{ V}$);
No resistor R_2 ocorre uma queda de tensão de 12 V ($V_2 = V_{CB} = 12 \text{ V}$);
Somando-todas as quedas (em série) obtém-se a tensão aplicada pela fonte ($36 + 12 = 48 \text{ V}$);
- 7- Da potência fornecida pela fonte (144 mW), R_1 dissipa 108 mW e R_2 dissipa os restantes 36 mW , pois não há armazenamento de energia num circuito puramente resistivo;
- 8- Em 1 hora de funcionamento o circuito consumirá uma energia igual a $518,45 \text{ J}$.
- 9- O mesmo circuito poderia ser representado no formato aparente aberto seguinte:



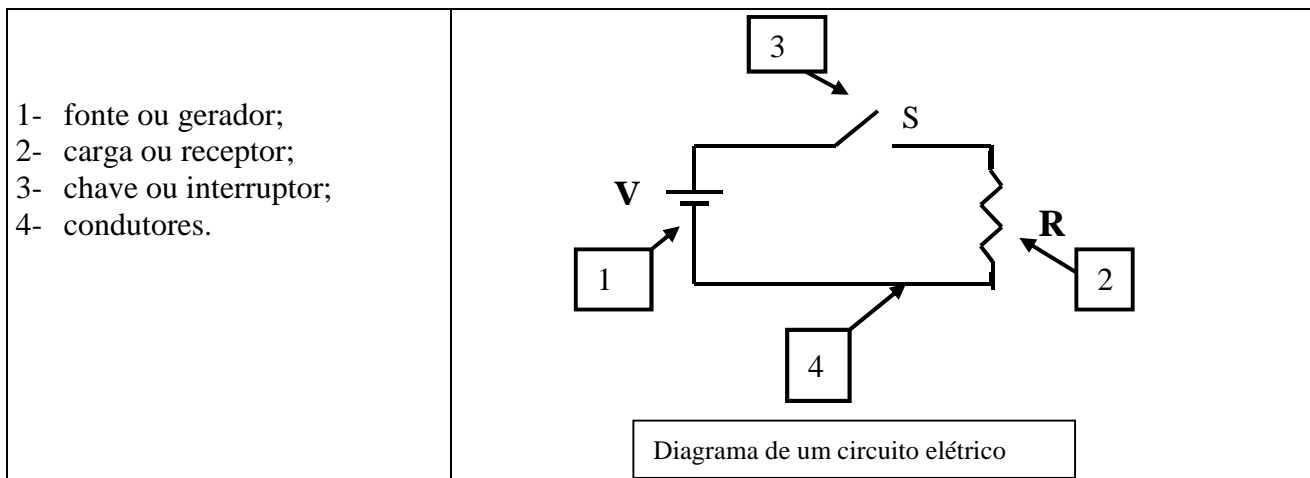
2.1 – Circuito elétrico resistivo simples, em DC

a) Circuito Elétrico

Pode-se dizer que **circuito elétrico é um conjunto de elementos elétricos interligados por meio de condutores, de forma a possibilitar a circulação de corrente elétrica.**

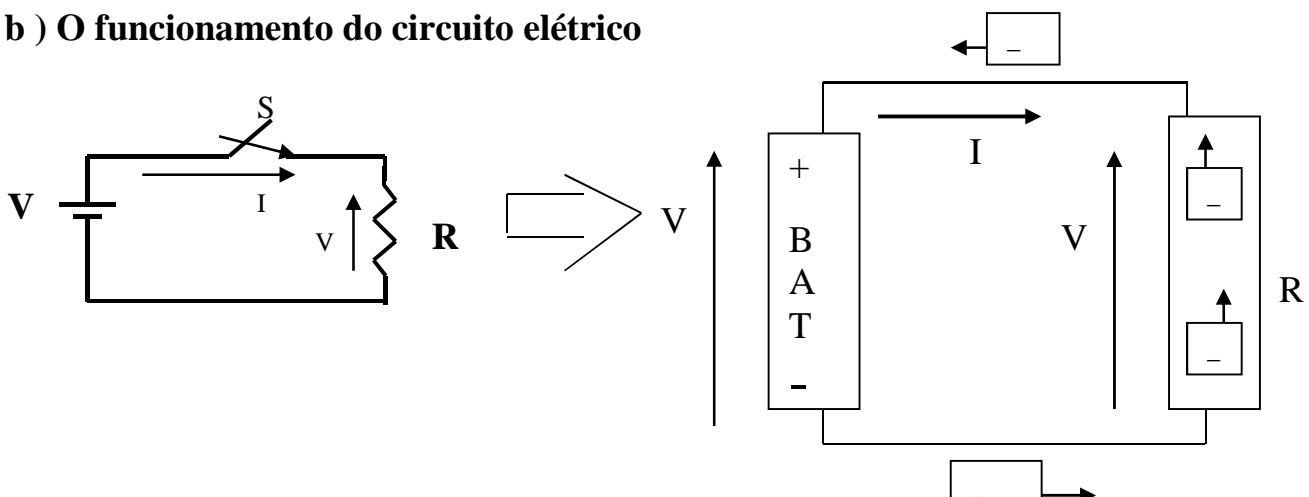
Nos diagramas (desenhos) de circuitos, os elementos reais são representados por seus modelos matemáticos, através de símbolos e relações matemáticas., como por exemplo o resistor, com seu conhecido símbolo e sua relação tensão-corrente $V=RI$.

Um circuito elétrico, na sua mais forma básica, consiste de:



Outros elementos podem fazer parte de um circuito elétrico, tais como: dispositivos de proteção (fusível, disjuntor,), de medição (amperímetro, voltímetro, multímetro) etc.

b) O funcionamento do circuito elétrico

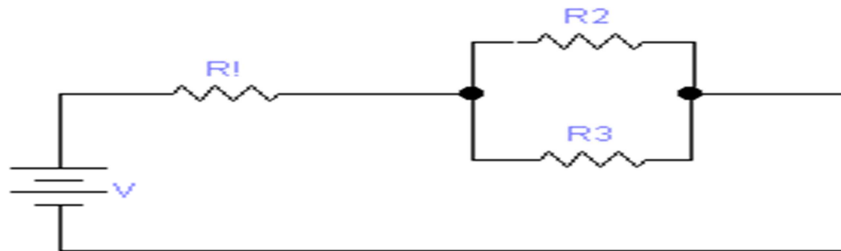


Ao se fechar a chave “S”, por ação da tensão elétrica entre os polos da bateria, elétrons livres do condutor/resistor são levados ao polo positivo da fonte. Na mesma taxa elétrons são fornecidos pelo polo negativo, fechando o ciclo. A repetição sucessiva deste ciclo forma a corrente contínua.

c) Circuito elétrico resistivo simples, em DC

É todo circuito composto de resistores e de uma única fonte de tensão DC.

Esse tipo de circuito pode ser ainda caracterizado como série, paralelo ou misto. Por exemplo:



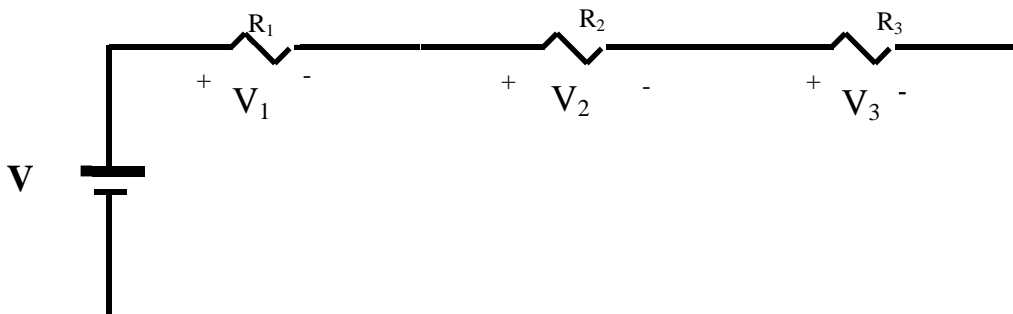
Circuito resistivo misto, simples, em DC

2.2 – Regras dos divisores de tensão e de corrente

a - Circuito Divisor de Tensão

Todo circuito resistivo **tipo série** é considerado um **circuito divisor de tensão**, pois a tensão aplicada se divide nos resistores, proporcionalmente aos valores de suas resistências elétricas.

Observe abaixo que a tensão aplicada se divide nos três resistores, de modo que $V = V_1 + V_2 + V_3$. Note que no fundo o que ocorre é um balanço energético!



(Circuito Divisor de Tensão)

O problema normalmente consiste em se determinar a queda de tensão em cada resistor, o que poderá ser feito através da seguinte regra:

Regra do Divisor de Tensão

Considere o circuito anterior.

Aplicando-se a relação $V = R \cdot I$ ao resistor R_1 , obtém-se:

$$V_1 = R_1 \cdot I \quad \text{Onde: } I = V/R_{eq} \quad \text{ou} \quad I = V / (R_1 + R_2 + R_3)$$

Fazendo-se a substituição do valor de " I ", obtém-se:

$$V_1 = R_1 V / (R_1 + R_2 + R_3) \quad \text{ou} \quad V_1 = \frac{R_1 \cdot V}{R_{EQ}}$$

Procedendo-se da mesma forma, em relação aos demais resistores, obtém-se:

$$V_2 = \frac{R_2 \cdot V}{R_{EQ}} \qquad V_3 = \frac{R_3 \cdot V}{R_{EQ}}$$

Generalizando-se as expressões de V_1 , V_2 e V_3 , e considerando R_{eq} igual a R_s , obtém-se, para um número qualquer de resistores:

$$V_X = \frac{R_X \cdot V}{R_s} \qquad \text{(Regra do Divisor de Tensão)}$$

Onde :

- V_X é a queda de tensão no resistor "x";
- R_X é a resistência do resistor considerado;
- R_s é a resistência equivalente do conjunto série considerado;
- V é a tensão total aplicada à associação série considerada.

Note que a Regra do Divisor de Tensão permite que se obtenha a queda de tensão em cada resistor, a partir do valor de sua resistência, da resistência equivalente à uma associação série considerada e do valor da tensão aplicada, sem, portanto, utilizar o valor da corrente.

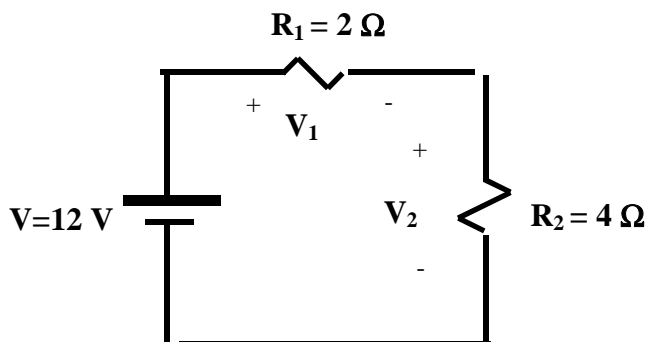
Veja que, quanto maior o valor da resistência, maior será a queda de tensão no resistor.

Caso Particular: Divisor de Tensão com 2 Resistores (R_1 e R_2)

$$V_1 = \frac{R_1 \cdot V}{R_1 + R_2} \qquad V_2 = \frac{R_2 \cdot V}{R_1 + R_2}$$

Aplicação 1

Utilizando a Regra do Divisor de Tensão, determine a queda de tensão em cada resistor, no circuito a seguir:

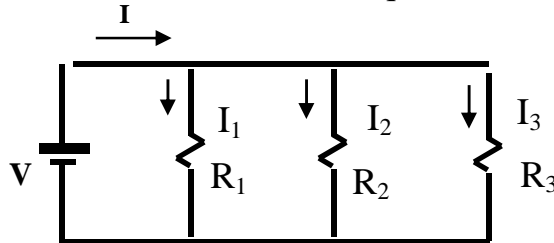


b - Circuito Divisor de Corrente

Todo circuito resistivo do **tipo paralelo** é denominado **circuito divisor de corrente**, pois a corrente total aplicada se divide nos resistores, com valores inversamente proporcionais às suas resistências elétricas.

Observe o circuito divisor de corrente abaixo:

A corrente total se divide de forma que : $I = I_1 + I_2 + I_3$



(Circuito Divisor de Corrente)

O problema geralmente consiste em se determinar o valor da corrente em cada resistor, a partir da corrente total "I", o que poderá ser feito pela regra que segue:

Regra do divisor de corrente

Aplicando-se a relação $I = V/R$ ao resistor R_1 do circuito anterior, resulta:

$$I_1 = V/R_1 \quad \text{onde } V = R_{EQ} \cdot I$$

Fazendo-se a substituição do valor de V, tem-se : $I_1 = R_{eq} \cdot I / R_1$

Procedendo- se da mesma forma, em relação aos demais resistores, obtêm-se:

$$I_2 = R_{eq} \cdot I / R_2$$

$$I_3 = R_{eq} \cdot I / R_3$$

Generalizando-se as expressões de I_1 , I_2 e I_3 , e considerando R_{eq} igual a R_p , obtêm-se:

$$I_X = \frac{R_p}{R_X} \cdot I \quad \text{(Regra do Divisor de Corrente)}$$

Onde:

“ I_X ” é a corrente no resistor “x”;

“ R_X ” é a resistência do resistor “x”;

“ R_p ” é a resistência equivalente da associação paralelo;

“ I ” é a corrente total na associação paralelo;

O uso da Regra do Divisor de Corrente permite se obter a corrente em cada resistor, a partir de sua resistência, da resistência equivalente da associação paralelo considerada e do valor da corrente aplicada, sem, portanto, utilizar o valor da tensão.

Observe que quanto maior a resistência do resistor, menor a corrente que o atravessa.

Caso Particular: Divisor de corrente com dois resistores (R_1 e R_2)

Sendo nesse caso: $R_p = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$

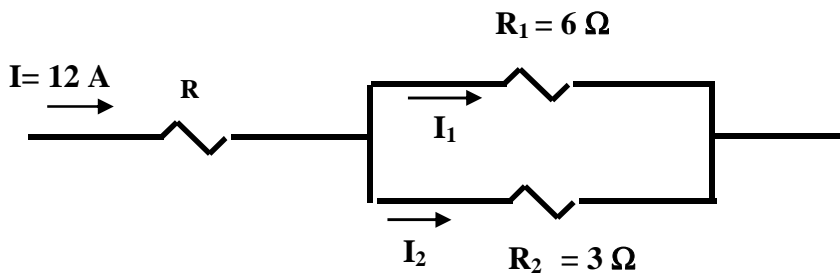
Substituindo-se na regra do divisor, tem-se:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I$$

Aplicação 2

Utilizando a Regra do Divisor de Corrente, determine a corrente em cada resistor do trecho divisor de corrente que segue:



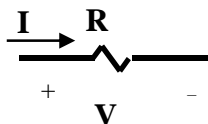
2.3 – A análise de circuitos elétricos resistivos simples (uma fonte), de corrente contínua

a – Convenções: escolha de sentidos e polaridades

Ao se analisar um circuito elétrico deve-se considerar que correntes e tensões estão associadas a **sentidos** e **polaridades**. Vejamos alguns cuidados importantes:

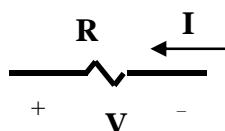
Calculo da (queda de) tensão no resistor:

No resistor, se a corrente indicada entrar pelo lado marcado com sinal positivo, aplica-se a relação $V = R \cdot I$, na determinação da sua (queda de) tensão. Ou seja:



$$V = R I$$

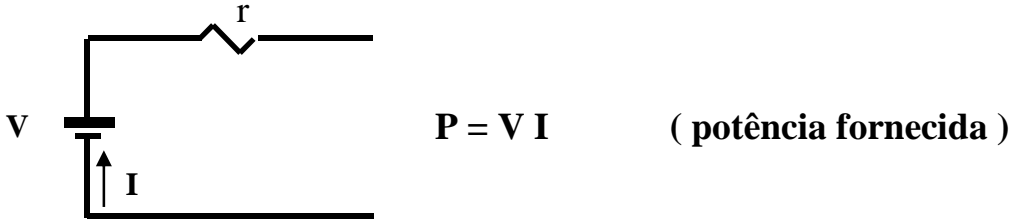
Caso contrário, deve-se atribuir um sinal negativo na relação $V = R \cdot I$. Isto é :



$$V = (-) R I$$

Cálculo da potência fornecida na fonte:

Na fonte de tensão (ou de corrente), se a corrente indicada entrar pelo polo negativo, então se aplica $P = V \cdot I$, no cálculo da **potência fornecida pela fonte**, ou seja:



Caso contrário, deve-se atribuir um sinal negativo para a potência fornecida, isto é,

$$P = (-)V \cdot I$$

b – Procedimento geral de análise

A análise de circuitos simples, na sua forma mais geral, consiste na redução do circuito a uma fonte ligada a um único resistor, para então se fazer a determinação da corrente elétrica total produzida pela fonte. A partir dessa corrente total pode-se determinar as demais grandezas de interesse.

Ou seja:

- 1) Cálculo de resistência total vista pela fonte;
- 2) Cálculo da corrente total do circuito;
- 3) Cálculo das tensões, correntes etc.

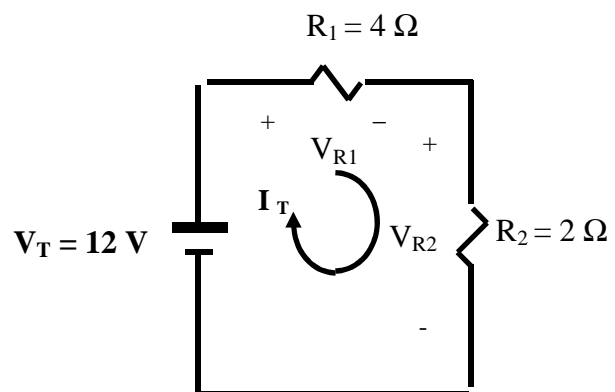
c – Exemplos de análise

Seguem-se três exemplos completos de análise de circuito, abordando-se os três tipos de circuitos resistivos simples: série, paralelo e misto.

1 - Dado o circuito série, determine:

- a) A resistência total “vista” da fonte (R_T);
- b) A corrente total através do circuito (I_T);
- c) A queda de tensão em cada resistor (V_{R1} , V_{R2});
- d) A potência em cada resistor (P_{R1} , P_{R2});
- e) A potência fornecida pela fonte (P_T).

Note que a corrente é a mesma em todos os seus elementos.



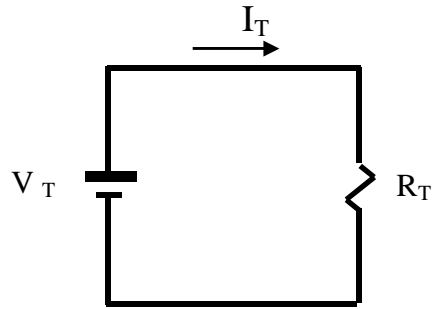
Solução:

(a)

$$R_T = R_1 + R_2$$

$$R_T = 4 + 2$$

$$R_T = 6 \Omega$$



(b)

$$I_T = \frac{V_T}{R_T}$$

$$I_T = \frac{12}{6}$$

$$I_T = 2 \text{ A}$$

(c)

$$V = R \cdot I$$

$$V_{R1} = R_1 \cdot I_T$$

$$V_{R1} = 4 \cdot 2$$

$$V_{R1} = 8 \text{ V}$$

$$V_{R2} = R_2 \cdot I_T$$

$$V_{R2} = 2 \cdot 2$$

$$V_{R2} = 4 \text{ V}$$

Note que:

1 - $V_{R1} + V_{R2} = V_T$ (propriedade do circuito série)

2 - As tensões V_{R1} e V_{R2} poderiam ser determinadas através da regra do divisor de tensão.

(d)

$$P = V \cdot I$$

$$P_{R1} = V_{R1} \cdot I_T$$

$$P_{R1} = 8 \cdot 2$$

$$P_{R1} = 16 \text{ W}$$

$$P_{R2} = V_{R2} \cdot I_T$$

$$P_{R2} = 4 \cdot 2$$

$$P_{R2} = 8 \text{ W}$$

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

$$P_{R1} = R_1 \cdot I_T^2$$

$$P_{R1} = 4 \cdot 2^2$$

$$P_{R1} = 16 \text{ W}$$

$$P_{R2} = R_2 \cdot I_T^2$$

$$P_{R2} = 2 \cdot 2^2$$

$$P_{R2} = 8 \text{ W}$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$P_{R1} = \frac{V_{R1}^2}{R_1}$$

$$P_{R1} = \frac{8^2}{4} = 16 \text{ W}$$

$$P_{R2} = \frac{V_{R2}^2}{R_2}$$

$$P_{R2} = \frac{4^2}{2} = 8 \text{ W}$$

(e)

$$P_T = V_T \cdot I_T$$

$$P_T = 12 \cdot 2$$

$$P_T = 24 \text{ W}$$

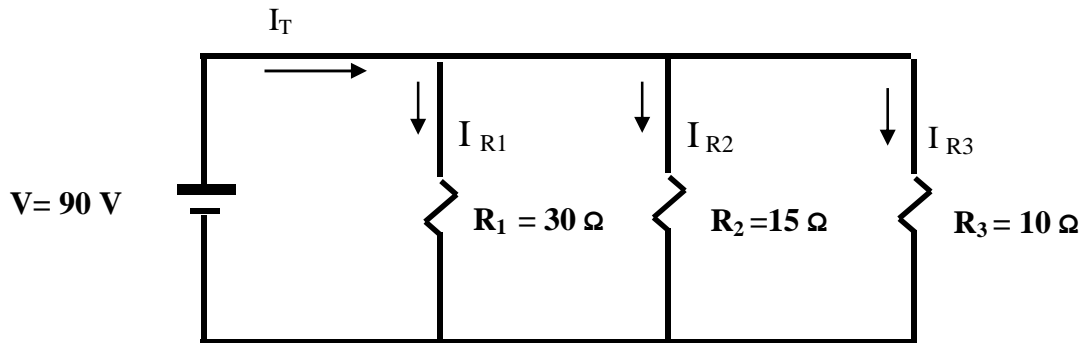
Obs: A potência total poderia ser obtida fazendo-se a soma:

$$P_T = P_{R1} + P_{R2}$$

$$P_T = 16 + 8$$

$$P_T = 24 \text{ W}$$

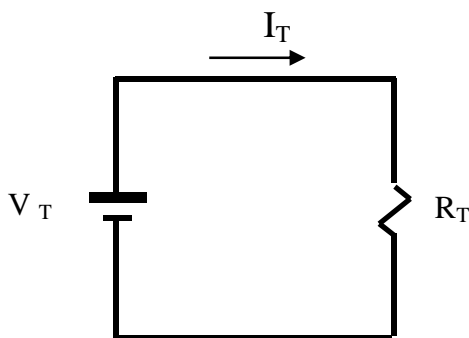
2- Dado o circuito paralelo, determine:



- A resistência total do circuito (R_T);
- A corrente total através do circuito (I_T);
- A corrente através de cada resistor (I_{R1} , I_{R2} , I_{R3});
- A potência dissipada em cada resistor (P_{R1} , P_{R2} , P_{R3});
- A potência total fornecida pela fonte (P_T).

Note que no circuito paralelo a tensão é a mesma em todos os elementos. Neste caso 90 V.

SOLUÇÃO



a)

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

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{30} + \frac{1}{15} + \frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{6}{30}$$

$$R_T = 5\Omega$$

b)

$$I_T = \frac{V_T}{R_T}$$

$$V_T = 90V$$

$$R_T = 5\Omega$$

$$I_T = 90/5$$

$$I_T = 18 A$$

c)

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{90}{30} = 3A$$

$$I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{90}{15} = 6A$$

$$I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{90}{10} = 9A$$

d) $P = V \cdot I$

$$P_{R1} = V_{R1} \cdot I_{R1}$$

$$P_{R1} = 90 \cdot 3$$

$$P_{R1} = 270 W$$

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

$$P_{R1} = R_1 \cdot I_{R1}^2$$

$$P_{R1} = 30 \cdot 3^2$$

$$P_{R1} = 270 W$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$P_{R1} = \frac{90^2}{30} = 270W$$

$$P_{R1} = \frac{V_{R1}^2}{R_1}$$

$$P_{R1} = 270 W$$

$$P_{R2} = V_{R2} \cdot I_{R2}$$

$$P_{R2} = 90.6$$

$$P_{R2} = 540 \text{ W}$$

$$P_{R2} = R_2 \cdot I_{R2}^2$$

$$P_{R2} = 15 \cdot 6^2$$

$$P_{R2} = 540 \text{ W}$$

$$P_{R2} = \frac{V_{R2}^2}{R_2}$$

$$P_{R2} = \frac{90^2}{15}$$

$$P_{R2} = 540 \text{ W}$$

$$P_{R3} = V_{R3} \cdot I_{R3}$$

$$P_{R3} = 90.9$$

$$P_{R2} = 810 \text{ W}$$

$$P_{R3} = R_3 \cdot I_{R3}^2$$

$$P_{R2} = 15 \cdot 9^2$$

$$P_{R2} = 810 \text{ W}$$

$$P_{R3} = \frac{V_{R3}^2}{R_3}$$

$$P_{R3} = \frac{90^2}{10}$$

$$P_{R2} = 810 \text{ W}$$

e) $P_T = V_T \cdot I_T$
 $P_T = 90.18$
 $P_T = 1620 \text{ W}$

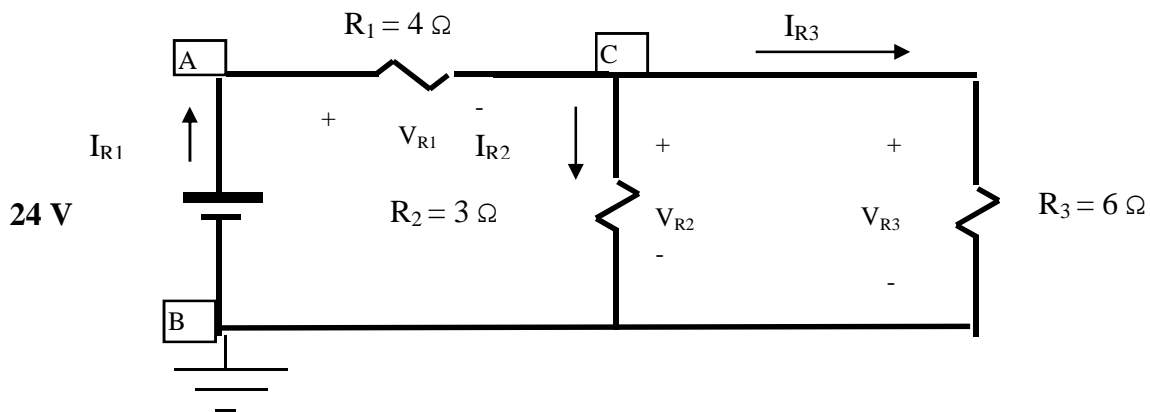
A potência total pode também ser determinada fazendo-se:

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3}$$

$$P_T = 270 + 540 + 810$$

$$P_T = 1620 \text{ W}$$

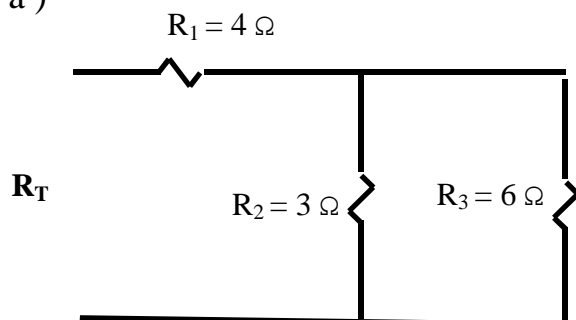
3 - Dado o circuito misto, determine:



- A resistência total do circuito;
- A corrente total mantida pela fonte;
- A corrente que atravessa cada resistor;
- A queda tensão em cada resistor;
- A tensão de cada ponto em relação à terra.

SOLUÇÃO

a)



$$R_T = R_{AC} + R_{CB} \quad (\text{em série})$$

$$R_{AC} = R_1 = 4 \Omega$$

$$R_{CB} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6 \times 3}{6 + 3} = 2 \Omega$$

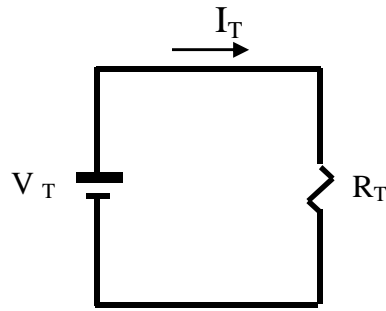
$$R_{CB} = 2 \Omega$$

$$R_T = 4 + 2$$

$$R_T = 6 \Omega$$

b)

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{24}{6} = 4 \text{ A}$$



c) $I_{R1} = I_T = 4 \text{ A}$, pois R_1 está em série com a fonte.

• Para a determinação das correntes I_{R2} e I_{R3} , vamos aplicar a regra do divisor de corrente.

$$I_X = \frac{R_{EQ} \cdot I_T}{R_X}$$

$$I_X = I_{R2}$$

$$R_{EQ} = R_{CB} = 2 \Omega$$

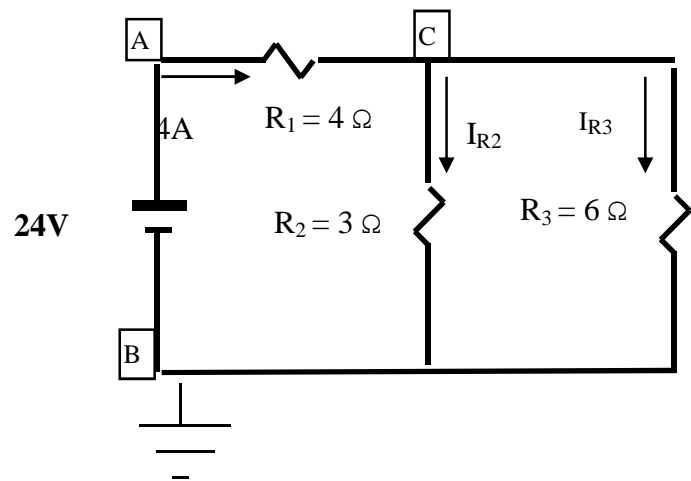
$$I_T = 4 \text{ A}$$

$$R_X = R_2 = 3 \Omega$$

$$I_{R2} = \frac{R_{EQ} \cdot I_T}{R_2} = \frac{2 \cdot 4}{3} = \frac{8}{3} = 2,67 \text{ A}$$

$$I_{R2} = 2,67 \text{ A}$$

Analogamente: $I_{R3} = 1,33 \text{ A}$



d)

$$V_{R1} = R_1 \cdot I_{R1}$$

$$V_{R1} = 4 \cdot 4$$

$$V_{R1} = 16 \text{ V}$$

$$V_{R2} = R_2 \cdot I_{R2}$$

$$V_{R2} = 3 \cdot 2,67$$

$$V_{R2} = 8 \text{ V}$$

e)

$$V_B = 0 \text{ V (aterrado)}$$

$$V_A = V_B + 24 \text{ V}$$

$$V_A = 0 + 24 \text{ V} = 24 \text{ V}$$

$$V_C = V_A - V_{R1}$$

$$V_C = 24 - 16$$

$$V_C = 8 \text{ V}$$

$$V_B = V_C - V_{CB}$$

$$V_B = 8 - 8$$

$$V_B = 0 \text{ V}$$

$$V_{R3} = R_3 \cdot I_{R3}$$

$$V_{R3} = 6 \cdot 1,33$$

$$V_{R3} = 8 \text{ V}$$

Note que:

$$V_{R2} = V_{R3} = V_{CB} = 8 \text{ V} \quad (\text{estão em paralelo})$$