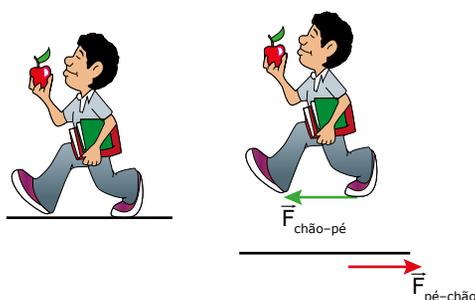


## Forças de Atrito

O estudo matemático das forças de atrito entre os corpos sólidos é posterior aos trabalhos de Newton. No entanto, podemos utilizar a mecânica newtoniana para analisar macroscopicamente o efeito das forças de atrito sobre os corpos sólidos, e é o que faremos neste módulo. Mesmo uma superfície aparentemente lisa, como a do papel desta página que você está lendo, apresenta rugosidades. Quando tentamos mover os objetos, de modo a fazer com que uns deslizem sobre os outros, forças microscópicas de origem elétrica fazem com que esse movimento não ocorra de maneira desimpedida, criando o que denominamos, macroscopicamente, de força de atrito ( $F_A$ ). Vejamos um exemplo simples, em que representaremos as forças de interação entre o chão e o pé de uma pessoa caminhando, como mostra a figura seguinte.



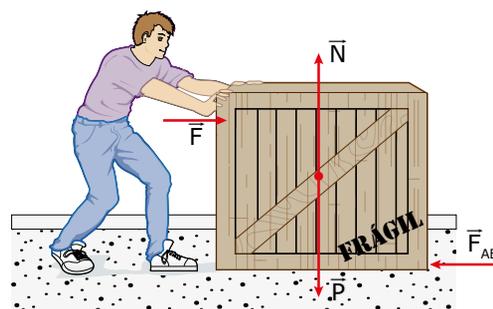
Para a pessoa andar, é necessário que seu pé empurre o chão para trás. Então, de acordo com a 3ª Lei de Newton, o chão deve empurrar o pé para frente – ação e reação. Essas forças têm o mesmo módulo, a mesma direção e sentidos opostos. O resultado disso é que o corpo se desloca para frente. Essa é a explicação newtoniana para o ato de andar. Se não houvesse as forças de interação entre o nosso pé e o solo, ou seja, se não houvesse força de atrito, nós não nos locomoveríamos. É o que ocorre quando uma superfície lisa está ensaboada ou com óleo.

### ATRITO DE DESLIZAMENTO

Você já deve ter notado que é mais fácil empurrar um objeto sobre o chão, de forma a manter o movimento, do que iniciar o movimento. Isso ocorre porque o módulo da força de atrito que atua sobre um corpo na iminência de movimento é maior que o módulo da força de atrito que atua sobre o corpo quando ele está deslizando sobre o chão.

A força de atrito que se manifesta sobre o objeto quando tentamos colocá-lo em movimento é chamada de força de atrito estático. Quando o objeto desliza sobre a superfície, a força de atrito é chamada de força de atrito cinético.

Experimentalmente, observa-se que a força de atrito entre os corpos sólidos depende de dois fatores: o par de superfícies em contato e a força de compressão normal entre elas. Vejamos o que ocorre com uma caixa que se encontra inicialmente em repouso sobre uma superfície horizontal e é empurrada por uma força horizontal, cujo módulo aumenta progressivamente a partir de zero. À medida que essa força aumenta, a força de atrito estático sobre a caixa, que é oposta ao empurrão, aumenta na mesma taxa, de forma que a caixa continua em repouso. A figura a seguir mostra as quatro forças que agem na caixa: o peso  $\vec{P}$ , a normal  $\vec{N}$ , o empurrão  $\vec{F}$  e a força de atrito estático  $\vec{F}_{AE}$  exercida pelo solo.



Subitamente, quando o empurrão atinge certo valor, ocorre uma ruptura no equilíbrio, e o bloco entra em movimento. Isso ocorre porque o módulo da força de atrito estático aumenta até um valor limite. Esse valor é dado por:

$$F_{AE\text{MÁX}} = \mu_E N$$

Nessa equação,  $\mu_E$  é o coeficiente de atrito estático, cujo valor depende do par de superfícies em contato. Valores típicos de  $\mu_E$  são apresentados na tabela a seguir. O fator  $N$  é o módulo da força normal. Quanto maior for o valor de  $N$ , maior será a força de compressão da caixa sobre a superfície, e, conseqüentemente, o efeito do atrito decorrente da interação entre a caixa e a superfície será mais evidente.

Coefficientes de atrito para alguns pares de superfícies

Superfícies de contato	$\mu_E$	$\mu_C$
Aço e aço	0,7	0,6
Aço e madeira	0,7	0,5
Vidro sobre vidro	0,9	0,4
Borracha sobre concreto (seco)	1,0	0,8
Borracha sobre concreto (molhado)	0,3	0,25
Gelo sobre gelo	0,1	0,03
Articulação humana	0,01	0,003

Assim que a força do empurrão torna-se ligeiramente maior que a força de atrito estático máximo, o bloco entra em movimento e fica sujeito a uma força de atrito cinético de módulo menor que o da força de atrito estático máximo conforme visto anteriormente. O módulo da força de atrito cinético é constante e não depende da velocidade do corpo nem do esforço aplicado para empurrá-lo. O módulo da força de atrito cinético é dado por:

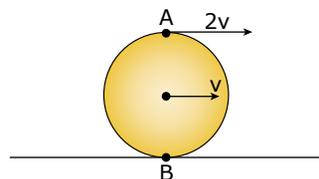
$$F_{AC} = \mu_C N$$

Aqui,  $\mu_C$  é o coeficiente de atrito cinético, também listado na tabela anterior. Observe que, para um mesmo par de superfícies,  $\mu_C < \mu_E$ .

A título de exemplo, vamos considerar que os coeficientes de atrito entre a caixa e o solo da figura anterior sejam  $\mu_E = 0,60$  e  $\mu_C = 0,20$ . Vamos considerar ainda que a massa da caixa seja  $m = 30$  kg. Então, a força normal, que é anulada pelo peso da caixa, vale  $N = m \cdot g = 300$  N. As forças de atrito estático máximo e de atrito cinético valem  $F_{AE_{MAX}} = 0,60 \cdot 300 = 180$  N e  $F_{AC} = 0,20 \cdot 300 = 60$  N. Esses números indicam que a pessoa deve exercer uma força ligeiramente maior que 180 N para fazer a caixa entrar em movimento. Depois disso, o módulo da força de atrito diminui drasticamente para 60 N. Se a pessoa reduzir o seu esforço e passar a empurrar a caixa com uma força exatamente igual a esse valor, a resultante das forças que atuam sobre a caixa será nula. Como ela já está em movimento, assim ela permanecerá em linha reta e com velocidade constante. Se a pessoa empurrá-la com uma força maior que 60 N, o movimento da caixa será acelerado e, se a empurrar com uma força de módulo menor que 60 N, o movimento será retardado.

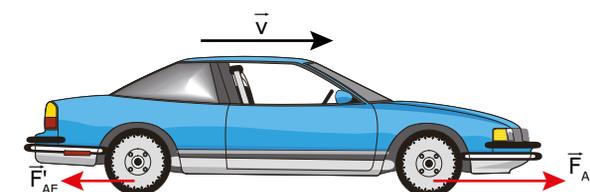
## ATRITO DE ROLAMENTO

Outra forma de a força de atrito se manifestar é atuando em objetos redondos que rolam sobre superfícies sólidas, como o pneu de um carro ou os roletes de um pé de geladeira em movimento sobre o solo. Desde que não exista deslizamento entre o objeto redondo e o solo, a força de atrito entre eles é do tipo estático. Para uma pessoa em repouso sobre o solo, a velocidade do ponto do objeto que toca o solo é zero. Na figura a seguir, representamos um cilindro rolando para a direita sobre uma superfície. O eixo central do cilindro apresenta uma velocidade de módulo  $v$  para a direita em relação ao solo. Desde que não haja deslizamento entre o cilindro e o solo, todos os pontos na sua periferia apresentam uma velocidade tangencial de módulo  $v$  em relação ao eixo de rotação. Por isso, a velocidade do ponto A (topo do objeto) vale  $2v$  ( $v + v$ ) em relação ao solo. Já a velocidade do ponto B (ponto de contato do cilindro com o solo) vale zero ( $v - v$ ) em relação ao solo.



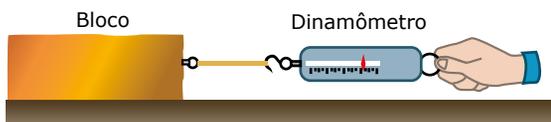
Quando a superfície de rolamento é mais dura, como uma estrada asfaltada ou um pátio cimentado, o efeito do atrito é muito pequeno. Por isso, conseguimos empurrar com facilidade uma geladeira e um fogão dotados de pés com roletes.

Nem sempre a força de atrito sobre um objeto é oposta ao seu movimento. No caso de um carro, as rodas de tração (aquelas cujos eixos recebem um torque motor) giram exercendo sobre o solo uma força no sentido para trás do carro (ação). O solo responde e aplica nas rodas de tração uma força para frente (reação). Essa reação é uma força de atrito estático, voltada para o sentido do movimento. Nas rodas sem tração, a força de atrito é também do tipo estático, porém de sentido oposto ao movimento. A figura a seguir representa as forças de atrito estático atuantes nas rodas traseiras e dianteiras de um carro que se move para a direita e que possui tração nas rodas dianteiras.

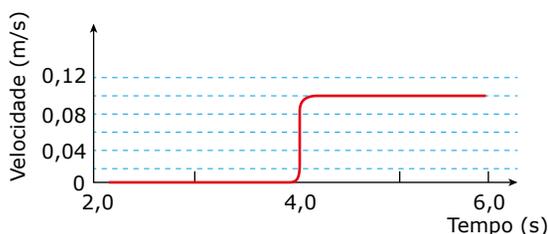
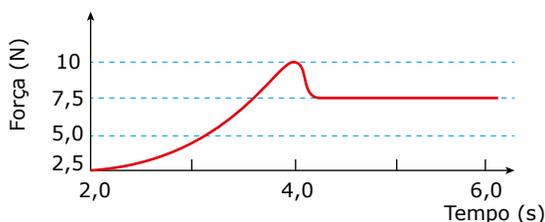


## EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. (UFMG) Observe esta figura:



Um bloco de 5,0 kg está conectado a um dinamômetro por meio de um fio. O dinamômetro é puxado sobre uma superfície plana e horizontal, para a direita, em linha reta. A força medida por esse dinamômetro e a velocidade do bloco, ambas em função do tempo, estão mostradas nestes gráficos:



Considerando essas informações,

- determine o módulo da resultante das forças sobre o bloco no instante  $t = 3,5$  s e no instante  $t = 5,0$  s. Justificar sua resposta.
- calcule o coeficiente de atrito estático entre a superfície e o bloco. Explicar seu raciocínio.
- calcule o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e o bloco. Explicar seu raciocínio.
- calcule o valor aproximado da distância percorrida pelo bloco entre os instantes 2,0 s e 5,0 s.

### Resolução:

- Em  $t = 3,5$  s, a velocidade do bloco é nula, e, em  $t = 5,0$  s, ela tem módulo de 0,10 m/s; no entanto, o fato relevante é que a velocidade se mantém constante "em torno" desses instantes, e, portanto, a aceleração é nula. Sendo assim, a força resultante é, também, nula nesses instantes.
- De acordo com os gráficos, a força máxima exercida pelo dinamômetro sobre o bloco, sem que este entre em movimento, ocorre no instante  $t = 4,0$  s, e sua intensidade é de 10 N.

Como o bloco está em equilíbrio nesse instante, tal força tem o mesmo módulo que a força de atrito estático máximo,  $F_{AE_{MÁX}}$ , e sentido contrário a esta. O módulo da força de atrito estático máximo é igual ao produto do coeficiente de atrito estático  $\mu_E$  pela força normal  $N$ . A força normal à superfície, nesse caso, é igual ao peso do bloco. Assim:

$$F_{AE_{MÁX}} = \mu_E N = \mu_E mg$$

$$\mu_E = \frac{F_{AE_{MÁX}}}{mg} = \frac{10}{5,0 \cdot 10} = 0,20$$

- Após o instante  $t = 4,0$  s, a velocidade do bloco mantém-se constante e, portanto, a força resultante que atua sobre ele é nula. De acordo com o gráfico de força *versus* tempo, após esse instante, a força medida pelo dinamômetro é de 7,5 N. Essa força tem o mesmo módulo que a força de atrito cinético que atua sobre o bloco e sentido oposto a ela. Assim:

$$F_{AC} = \mu_C N = \mu_C mg$$

$$\mu_C = \frac{F_{AC}}{mg} = \frac{7,5}{5,0 \cdot 10} = 0,15$$

Em que  $\mu_C$  é o coeficiente de atrito cinético.

- A distância percorrida pelo bloco corresponde à área sob a curva do gráfico de velocidade *versus* tempo, no intervalo desejado. No intervalo  $2,0 \text{ s} < t < 4,0 \text{ s}$ , a velocidade do bloco é nula, e, portanto, a distância percorrida por ele é nula. Falta, então, estimar a distância percorrida no intervalo de 4,0 s a 5,0 s; de  $t = 4,0 \text{ s}$  a  $t = 5,0 \text{ s}$ , o bloco tem velocidade constante de 0,10 m/s e percorre uma distância  $d$  dada por:

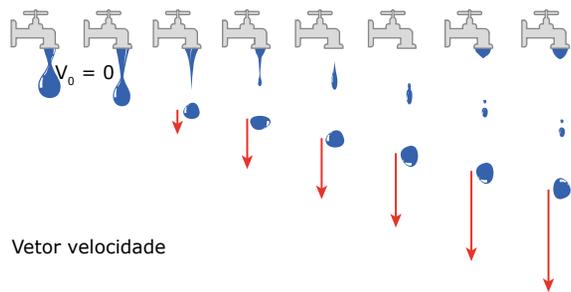
$$d = vt = 0,10 \cdot 1,0 = 0,10 \text{ m}$$

## QUEDA COM RESISTÊNCIA DO AR

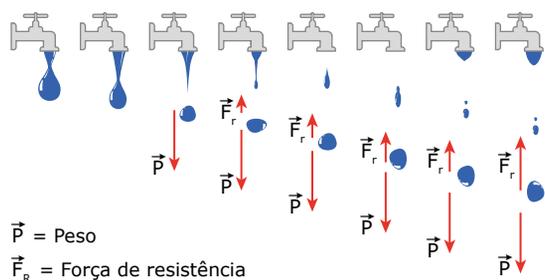
Um corpo encontra-se em queda livre quando os efeitos da resistência do ar sobre ele são desprezíveis, ou seja, quando a única força que atua sobre o corpo em queda é seu próprio peso. Entretanto, para a maioria das situações, os efeitos da resistência do ar sobre o movimento dos corpos não podem ser desprezados. Experimentalmente, verifica-se que o módulo da força de resistência do ar que atua sobre um objeto depende de fatores como a velocidade do objeto, a área efetiva de contato deste com o ar, a forma desse objeto, etc. Podemos simplificar o estudo da força de resistência do ar ( $F_{Ar}$ ) dizendo que o módulo desta é diretamente proporcional ao módulo da velocidade do corpo em movimento.

$$F_{Ar} \propto v; F_{Ar} = -bv$$

Em que  $b$  é uma constante que depende do meio no qual ocorre o movimento. O sinal negativo na equação indica que o sentido da força de resistência do ar é sempre oposto ao da velocidade do corpo. Apesar de simples, a relação anterior, por exemplo, pode ser utilizada para explicar por que não morremos quando uma gota de chuva nos atinge, caindo de uma altura de centenas de metros. A figura a seguir mostra os vetores velocidade, peso e força de resistência do ar que atuam em uma gota que acaba de se desprender de uma torneira.



Vetor velocidade

 $\vec{P}$  = Peso $\vec{F}_r$  = Força de resistência

Observe, na representação feita na figura anterior, que a velocidade da gota, ao desprender-se da torneira, é zero. Assim, não há força de resistência do ar atuando sobre a gota naquele instante. Porém, à medida que a velocidade da gota aumenta, a força de resistência do ar passa a atuar sobre ela. Observe atentamente a figura e veja que

- no início do movimento, a força resultante que atua sobre a gota apresenta módulo máximo, igual ao módulo da força peso. Ao longo do movimento de queda, a força resultante que atua sobre a gota pode se tornar nula.
- o módulo da força de resistência do ar varia ao longo da queda, desde um valor nulo (no início do movimento), até um valor máximo (igual ao módulo do peso).
- o módulo da aceleração que atua sobre a gota varia da mesma forma que o módulo da força resultante, ou seja, inicialmente, a aceleração é máxima e, ao longo da queda, pode se tornar nula. Esse é um resultado esperado, pois, de acordo com a 2ª Lei de Newton, a aceleração que atua sobre um corpo é diretamente proporcional à força resultante que atua sobre ele.

- o módulo da velocidade da gota aumenta durante a queda, porém, em um ritmo cada vez menor, até assumir um valor constante, atingido no momento em que a aceleração torna-se nula. Esse valor de velocidade, módulo da velocidade final de queda, é denominado velocidade terminal ou velocidade limite.

Quando uma gota de chuva se forma, seu movimento é, inicialmente, acelerado, porém, à medida que sua velocidade aumenta, o módulo da força de resistência do ar também aumenta, e isso reduz o ritmo no qual a velocidade cresce. Depois de, aproximadamente, 1 s de formada, a gota de chuva atinge sua velocidade limite (poucos metros por segundo) e nos atinge, inofensivamente.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

**02.** (UFMG) Durante um voo, um avião lança uma caixa presa a um paraquedas. Após esse lançamento, o paraquedas abre-se, e uma força, devido à resistência do ar, passa a atuar sobre o conjunto – caixa e paraquedas. Considere que o módulo dessa força é dado por  $F = bv$ , em que  $b$  é uma constante, e  $v$  é o módulo da velocidade do conjunto. Observa-se que, depois de algum tempo, o conjunto passa a cair com velocidade constante.

- A) Com base nessas informações, explique por que, depois de algum tempo, o conjunto passa a cair com velocidade constante.
- B) Considere que a massa do conjunto é 50 kg e a sua velocidade final é 10 m/s. Calcule a constante de proporcionalidade  $b$ .

### Resolução:

- A) Durante certo intervalo de tempo do movimento de queda, a velocidade do conjunto aumenta, e, necessariamente, o valor da força de resistência do ar também aumenta, o que faz com que o módulo da força resultante diminua, tendendo a um valor nulo após certo tempo. Assim, a velocidade tende para um valor constante, pois a força resultante tende para um valor nulo.
- B) Quando o conjunto atinge a velocidade limite, o módulo da força de resistência do ar se iguala ao módulo do peso, e a resultante das forças que atuam sobre o conjunto é nula. Para esse instante:

$$F_{Ar} = P \Rightarrow bv = mg \Rightarrow b = mg/v = 50 \cdot 10/10 = 50 \text{ kg/s}$$

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



**01.** (UFSJ-MG) Um carro é acelerado, sem derrapar, a partir do repouso, em uma pista horizontal plana e retilínea. Existe atrito entre os pneus do carro e a pista. Nessas condições, é correto afirmar que a natureza e o sentido da força de atrito nos pneus do carro são, respectivamente,

- A) estático, apontando no sentido contrário ao movimento do carro.
- B) estático, apontando no sentido do movimento do carro.
- C) cinético, apontando no sentido do movimento do carro.
- D) cinético, apontando no sentido contrário ao movimento do carro.

**02.** (UECE–2020) Em um campeonato de futebol, como o Brasileiro, de 2019, bolas são chutadas e arremessadas milhares de vezes, quase todas como lançamentos oblíquos ou variações mais elaboradas. De modo simplificado, lances de longo alcance podem ser tratados como massas puntiformes lançadas sob a ação da gravidade e da força de atrito do ar. Essa força de atrito pode, dentro de certos limites, ser tratada como proporcional ao módulo da velocidade da bola. Dado isso, é correto afirmar que

- A) mesmo com a força de atrito, a trajetória continua parabólica.
- B) a força de atrito tem sempre direção horizontal.
- C) o alcance de um dado lançamento é reduzido pela força de atrito.
- D) a força de atrito tem sempre direção vertical.

**03.** (UERJ–2019) Uma força  $F$  constante atua igualmente em quatro corpos distintos, de acordo com o esquema a seguir:



Observe na tabela as massas dos corpos, além dos coeficientes de atrito entre cada um deles e a superfície de apoio.

Corpo	Massa	Coefficiente de atrito
I	$m$	$\mu$
II	$2m$	$\frac{\mu}{2}$
III	$3m$	$\frac{\mu}{3}$
IV	$4m$	$\frac{\mu}{4}$

O corpo que apresenta maior aceleração é:

- A) I
- B) II
- C) III
- D) IV

**04.** RI8C



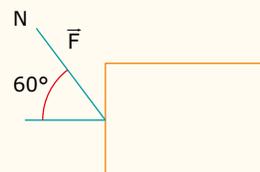
(UFSM-RS) Devido à resistência do ar, as gotas de chuva caem com velocidade constante a partir de certa altura. O módulo da força resistiva do ar é dado por  $F = Av^2$ , em que  $A$  é uma constante de valor  $8 \cdot 10^{-6} \text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$  e  $v$  é o módulo da velocidade. Nessas circunstâncias, uma gota cujo módulo do peso vale  $3,2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$  atinge o solo com velocidade, em  $\text{m/s}$ , de módulo

- A)  $4 \cdot 10^{-2}$ .
- B)  $2 \cdot 10^{-1}$ .
- C)  $4 \cdot 10^{-1}$ .
- D) 2.
- E) 4.

**05.** G5P5



(UNITAU-SP) Um bloco, com dimensões desprezíveis e cuja massa é de  $10 \text{ kg}$ , desloca-se apoiado sobre uma superfície horizontal plana. A trajetória descrita pelo bloco é retilínea, e o movimento é devido à ação de uma força constante, cuja intensidade é de  $200 \text{ N}$ , e a direção forma um ângulo de  $60^\circ$  com a superfície horizontal sobre a qual o bloco desliza. O movimento do bloco é do tipo retilíneo uniformemente acelerado, sendo o módulo da aceleração igual a  $4,5 \text{ m/s}^2$ . Considere o módulo da aceleração gravitacional terrestre igual a  $10 \text{ m/s}^2$ ,  $\cos(60^\circ) = 0,50$  e  $\sin(60^\circ) = 0,87$ .



A intensidade da força de atrito entre o bloco e a superfície é igual a

- A)  $8,4 \text{ N}$ .
- B)  $12,5 \text{ N}$ .
- C)  $24,8 \text{ N}$ .
- D)  $55,0 \text{ N}$ .
- E)  $16,0 \text{ N}$ .

**06.** (UFSJ-MG) Carlos dirige seu carro numa estrada plana com uma velocidade de 90 km/h. De repente, ele avista um cavalo na estrada e instantaneamente pisa no freio. Se o coeficiente de atrito estático entre os pneus e a estrada vale 0,5 e o cavalo estava a 50 m de distância do carro, é correto afirmar que ele



- A) atropela o cavalo, pois ele só conseguiria parar seu carro em 62,5 m.
- B) não atropela o cavalo, pois conseguiria parar seu carro em 50 m.
- C) não colide com o cavalo, pois ele para seu veículo em 40 m.
- D) atropela o cavalo, pois ele só conseguiria parar seu carro em 125 m.

**07.** (UFRRJ) Dois carros de corrida são projetados de forma a aumentar o atrito entre os pneus e a pista. Os projetos são idênticos, exceto que em um deles os pneus são mais largos e, no outro, há um aerofólio. Nessas condições, podemos dizer que



- A) em ambos os projetos o atrito será aumentado em relação ao projeto original.
- B) em ambos os projetos o atrito será diminuído em relação ao projeto original.
- C) o atrito será maior no carro com aerofólio.
- D) o atrito será maior no carro com pneus mais largos.
- E) nenhum dos projetos alterará o atrito.

**08.** (Mackenzie-SP) Em uma experiência de Física, abandonam-se do alto de uma torre duas esferas A e B, de mesmo raio e massas  $m_A = 2m_B$ . Durante a queda, além da atração gravitacional da Terra, as esferas ficam sujeitas à ação da força de resistência do ar, cujo módulo é  $F = k \cdot v^2$ , em que  $v$  é a velocidade de cada uma delas e  $k$ , uma constante de igual valor para ambas. Após certo tempo, as esferas adquirem velocidades constantes, respectivamente iguais a  $v_A$  e  $v_B$ , cuja relação  $v_A/v_B$  é



- A) 2.
- B)  $\sqrt{3}$ .
- C)  $\sqrt{2}$ .
- D) 1.
- E)  $\frac{\sqrt{2}}{2}$ .

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

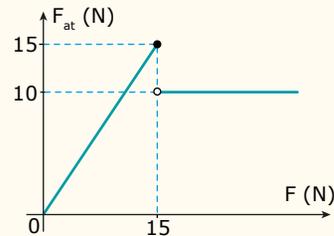


**01.** (PUC RS) Sobre uma caixa de massa 120 kg, atua uma força horizontal constante  $F$  de intensidade 600 N. A caixa encontra-se sobre uma superfície horizontal em um local no qual a aceleração gravitacional é  $10 \text{ m/s}^2$ . Para que a aceleração da caixa seja constante, com módulo igual a  $2 \text{ m/s}^2$ , e tenha a mesma orientação da força  $F$ , o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e a caixa deve ser de



- A) 0,1.
- B) 0,2.
- C) 0,3.
- D) 0,4.
- E) 0,5.

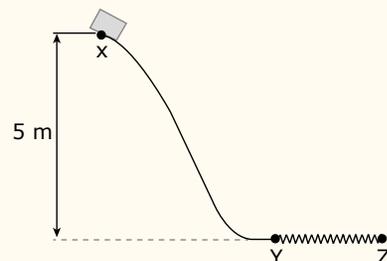
**02.** (PUC-SP) Um bloco de borracha de massa 5,0 kg está em repouso sobre uma superfície plana e horizontal. O gráfico representa como varia a força de atrito sobre o bloco quando atua sobre ele uma força  $F$  de intensidade variável paralela à superfície.



O coeficiente de atrito estático entre a borracha e a superfície e a aceleração adquirida pelo bloco quando a intensidade da força  $F$  atinge 30 N são, respectivamente, iguais a

- A) 0,3;  $4,0 \text{ m/s}^2$ .
- B) 0,2;  $6,0 \text{ m/s}^2$ .
- C) 0,3;  $6,0 \text{ m/s}^2$ .
- D) 0,5;  $4,0 \text{ m/s}^2$ .
- E) 0,2;  $3,0 \text{ m/s}^2$ .

**03.** (PUC RS-2020) A figura mostra um bloco no ponto X. No trecho entre X e Y, não há atrito entre o bloco e a superfície e, no trecho entre Y e Z, a superfície encontra-se em um plano horizontal e é rugosa.



O bloco parte do repouso e desliza entre X e Y. A partir do ponto Y, a velocidade do bloco diminui até parar no ponto Z. O bloco leva 1,25 s para se deslocar entre os pontos Y e Z. Considerando a aceleração da gravidade constante e igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , qual é o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a superfície rugosa?

- A) 0,25
- B) 0,33
- C) 0,80
- D) 0,92

**04.** (UERN) Uma força horizontal constante é aplicada num corpo de massa 3 kg que se encontra sobre uma mesa cuja superfície é formada por duas regiões: com e sem atrito. Considere que o corpo realiza um movimento retilíneo e uniforme na região com atrito cujo coeficiente de atrito dinâmico é igual a 0,2 e se dirige para a região sem atrito. A aceleração adquirida pelo corpo ao entrar na região sem atrito é igual a



- A)  $2 \text{ m/s}^2$ .
- B)  $4 \text{ m/s}^2$ .
- C)  $6 \text{ m/s}^2$ .
- D)  $8 \text{ m/s}^2$ .

05. (CEFET-MG) Um bloco de massa  $M$  é puxado por uma força  $F$  sobre uma superfície horizontal com atrito cinético de coeficiente igual a  $\mu$ , conforme a figura a seguir.



Se a aceleração da gravidade for igual a  $g$ , então, o módulo da aceleração do bloco será expresso por:

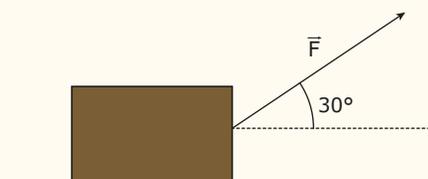
- A)  $F + \mu Mg$                       C)  $F/(M - \mu Mg)$   
 B)  $M(F + \mu g)$                   D)  $(F - \mu Mg)/M$

06. (UFGD-MS) Um bloco está parado sobre um disco horizontal em repouso a uma distância de 0,1 metro de seu centro. A velocidade angular do disco é aumentada gradativamente, chegando a 5 rad/s, quando o bloco começa a deslizar. Qual é o valor máximo do coeficiente de atrito que atua sobre o bloco?

(Adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

- A) 0,10                      C) 0,50                      E) 1,00  
 B) 0,25                      D) 0,75

07. (UNITAU-SP) Um bloco retangular, cuja massa é igual a 8 kg, é arrastado ao longo de uma superfície horizontal, devido à ação da força sobre ele aplicada, conforme a figura.



O deslocamento do bloco é um movimento somente de translação. O módulo da força aplicada é de 40 N, e a direção da força forma um ângulo de  $30^\circ$  com a superfície horizontal.

**Dados:**  $\cos(30^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2}$  e  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

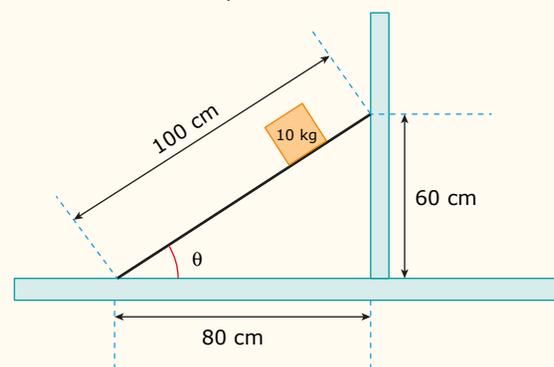
Sabendo-se que o coeficiente de atrito dinâmico (cinético) entre o bloco e a superfície é  $\mu_c = 0,4$ , é correto afirmar:

- A) A intensidade da força de interação entre a superfície do bloco e a superfície horizontal (força normal) é maior do que 80 N.  
 B) A intensidade da força de interação entre a superfície do bloco e a superfície horizontal é igual 80 N.  
 C) A intensidade da força de interação entre a superfície do bloco e a superfície horizontal (força normal) é maior do que 80 N, pois depende do atrito.  
 D) A intensidade da força de interação entre a superfície do bloco e a superfície horizontal (força normal) é menor do que 80 N, pois depende do atrito.  
 E) A intensidade da força de interação entre a superfície do bloco e a superfície horizontal (força normal) é menor do que 80 N e independe do atrito.

08. (UFLA-MG) Em uma pista horizontal utilizada para teste de frenagem, três veículos A, B e C, de massas  $m_A$ ,  $m_B$  e  $m_C$ , respectivamente, testam seus freios nas mesmas condições de pneus e piso, de modo que o coeficiente de atrito cinético  $\mu_c$  possa ser considerado igual para todos os veículos. Sendo  $m_A = m_B < m_C$ ,  $g$  o valor da aceleração da gravidade no local dos testes e desconsiderando a ação do ar sobre os veículos, pode-se afirmar que

- A) se A e C possuem a mesma velocidade inicial  $v_0$ , ao acionarem seus freios, o veículo C percorrerá uma distância maior que o veículo A até alcançarem o repouso.  
 B) se A e C possuem a mesma velocidade inicial  $v_0$ , ao acionarem seus freios, os veículos percorrerão a mesma distância até alcançarem o repouso.  
 C) se A possui velocidade inicial duas vezes maior que a velocidade inicial de B, ao acionarem seus freios, o veículo A percorrerá o dobro da distância percorrida pelo veículo B até alcançarem o repouso.  
 D) independente das velocidades iniciais dos veículos A, B e C, ao acionarem seus freios, os veículos percorrerão as mesmas distâncias até alcançarem o repouso.

09. (ACAFE-SC) Um professor de Física utiliza uma rampa móvel para verificar o valor do coeficiente de atrito estático entre ela e um bloco. Foi alterando o ângulo da rampa em relação à horizontal, até que o bloco atingiu a eminência do movimento. Nesse exato instante, tirou uma foto da montagem e acrescentou com os valores de algumas grandezas, como mostra a figura. Chegando à sala, explicou a situação a seus alunos e pediu que determinassem o valor do coeficiente de atrito estático entre o bloco e a rampa.

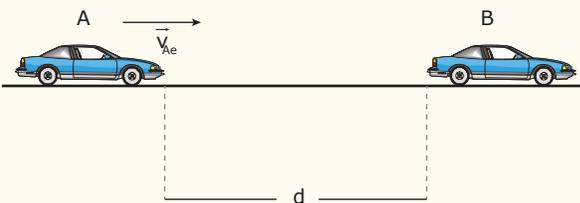


O valor correto do coeficiente de atrito estático e da força de atrito, em N, que os alunos devem encontrar é

- A) 0,65 e 45.  
 B) 0,75 e 45.  
 C) 0,65 e 60.  
 D) 0,75 e 60.

10. (Unifor-CE)

589F

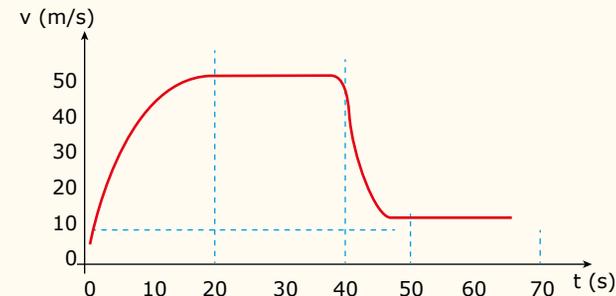


Um estudante de engenharia, passando por uma movimentada avenida de Fortaleza, testemunha um acidente em que um carro A em movimento se choca contra outro carro B parado no sinal. O estudante descobre que a distância entre os carros era  $d = 30$  m, quando o motorista do carro A acionou os freios bruscamente, travando as rodas, e que a massa do carro A é cerca de  $M_A = 1\ 000$  kg.

Considerando que a velocidade do carro A era  $20$  m/s na hora que ele acionou os freios e que o coeficiente de atrito cinético entre os pneus do carro A e o asfalto era  $\mu_c = 0,4$ , a velocidade do carro A calculada pelo estudante no momento da colisão é, considerando  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>, aproximadamente,

- A) 2,4 m/s.
- B) 5,6 m/s.
- C) 10,7 m/s.
- D) 12,7 m/s.
- E) 15,9 m/s.

11. (UFV-MG) Um paraquedista salta de uma altura  $H$ . O gráfico a seguir relaciona o módulo de sua velocidade vertical com o tempo.



Os instantes  $t = 0$  s,  $t = 40$  s e  $t = 70$  s correspondem, respectivamente, aos instantes do salto, de abertura do paraquedas e do contato com o solo.

- É correto afirmar, então, que entre os instantes
- A)  $t = 20$  s e  $t = 40$  s, a força resultante sobre o paraquedista é nula.
  - B)  $t = 0$  s e  $t = 20$  s, há uma força resultante para cima atuando no paraquedista.
  - C)  $t = 40$  s e  $t = 50$  s, há uma força resultante para baixo atuando no paraquedista.
  - D)  $t = 0$  s e  $t = 70$  s, o paraquedista sempre esteve sujeito a uma força resultante.

12. (UCS-RS)

LZ41



Na série *Batman & Robin*, produzida entre os anos 1966 e 1968, além da música de abertura que marcou época, havia uma cena muito comum: Batman e Robin escalando uma parede com uma corda. Para conseguirem andar subindo na vertical, eles não usavam apenas os braços puxando a corda, mas caminhavam pela parede contando também com o atrito estático. Suponha que Batman, escalando uma parede nessas condições, em linha reta e com velocidade constante, tenha  $90$  kg, mas o módulo da tração na corda que ele está segurando seja de  $750$  N e esteja direcionada (para fins de simplificação) totalmente na vertical.

Qual é o módulo da força de atrito estática entre seus pés e a parede? Considere a aceleração da gravidade como  $10$  m/s<sup>2</sup>.

- A) 15 N.
- B) 90 N.
- C) 150 N.
- D) 550 N.
- E) 900 N.

13. (IFSul-RS)

N5IH



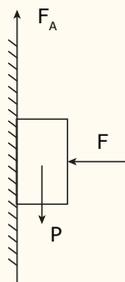
Uma caixa encontra-se em repouso em relação a uma superfície horizontal. Pretende-se colocar essa caixa em movimento em relação a essa superfície. Para tal, será aplicada uma força de módulo  $F$  que forma  $53^\circ$  acima da direção horizontal. Considerando que o coeficiente de atrito estático entre a superfície da caixa e a superfície horizontal é igual a  $0,25$ , que o coeficiente de atrito dinâmico entre a superfície da caixa e a superfície horizontal é igual a  $0,10$ , que a massa do objeto é igual  $2$  kg e que a aceleração da gravidade no local é igual a  $10$  m/s<sup>2</sup>, o menor módulo da força  $F$  que deverá ser aplicado para mover a caixa é um valor mais próximo de

**Dados:**  $\sin 53^\circ = 0,8$  e  $\cos 53^\circ = 0,6$ .

- A) 6,25 N.
- B) 8,33 N.
- C) 12,50 N.
- D) 20,00 N.

14. (CEFET-MG)

O bloco da figura a seguir está em repouso. Além do que está indicado, considere  $\mu^e$  o coeficiente de atrito estático entre as superfícies e  $N$  a reação normal da parede sobre o bloco.



Analisando essa situação, é correto afirmar que a(o)

- A) reação normal da parede é dada por  $N = P$ .
- B) reação normal da parede é obtida por  $N = \mu_e \cdot F$ .
- C) força de atrito é sempre calculada por  $F_A = \mu_e \cdot P$ .
- D) força  $F$  é maior que a reação normal da parede.
- E) produto  $\mu_e \cdot F$  pode ser maior do que o peso do bloco.

## SEÇÃO ENEM

**01.** (Enem) Num sistema de freio convencional, as rodas do carro travam e os pneus derrapam no solo, caso a força exercida sobre o pedal seja muito intensa. O sistema ABS evita o travamento das rodas, mantendo a força de atrito no seu valor estático máximo, sem derrapagem. O coeficiente de atrito estático da borracha em contato com o concreto vale  $\mu_e = 1,0$  e o coeficiente de atrito cinético para o mesmo par de materiais é  $\mu_c = 0,75$ . Dois carros, com velocidades iniciais iguais a 108 km/h, iniciam a frenagem numa estrada perfeitamente horizontal de concreto no mesmo ponto. O carro 1 tem sistema ABS e utiliza a força de atrito estática máxima para a frenagem; já o carro 2 trava as rodas, de maneira que a força de atrito efetiva é a cinética. Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

As distâncias, medidas a partir do ponto em que iniciam a frenagem, que os carros 1 ( $d_1$ ) e 2 ( $d_2$ ) percorrem até parar são, respectivamente,

- A)  $d_1 = 45 \text{ m}$  e  $d_2 = 60 \text{ m}$ .
- B)  $d_1 = 60 \text{ m}$  e  $d_2 = 45 \text{ m}$ .
- C)  $d_1 = 90 \text{ m}$  e  $d_2 = 120 \text{ m}$ .
- D)  $d_1 = 5,8 \cdot 10^2 \text{ m}$  e  $d_2 = 7,8 \cdot 10^2 \text{ m}$ .
- E)  $d_1 = 7,8 \cdot 10^2 \text{ m}$  e  $d_2 = 5,8 \cdot 10^2 \text{ m}$ .

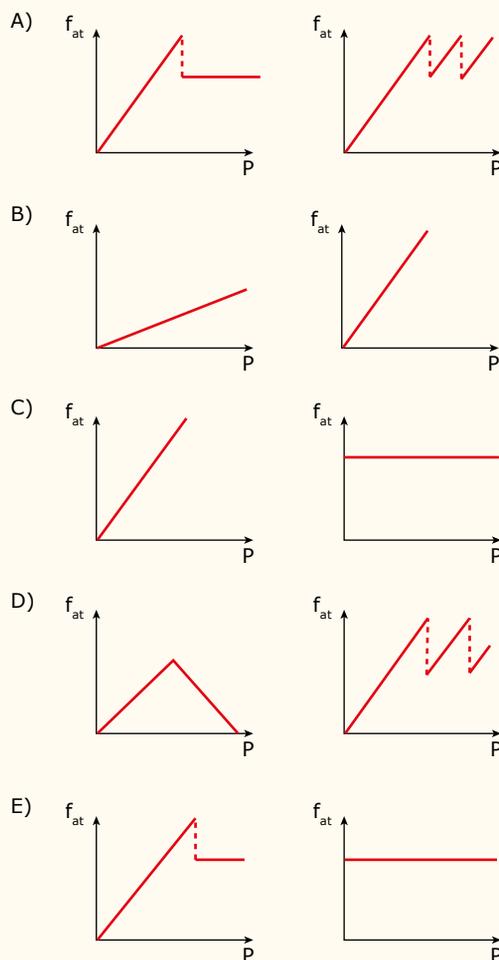
**02.** (Enem) Uma pessoa necessita da força de atrito em seus pés para se deslocar sobre uma superfície. Logo, uma pessoa que sobe uma rampa em linha reta será auxiliada pela força de atrito exercida pelo chão em seus pés.

Em relação ao movimento dessa pessoa, quais são a direção e o sentido da força de atrito mencionada no texto?

- A) Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- B) Paralelo ao plano e no sentido contrário ao movimento.
- C) Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- D) Horizontal e no mesmo sentido do movimento.
- E) Vertical e sentido para cima.

**03.** (Enem) Os freios ABS são uma importante medida de segurança no trânsito, os quais funcionam para impedir o travamento das rodas do carro quando o sistema de freios é acionado, liberando as rodas quando estão no limiar do deslizamento. Quando as rodas travam, a força de frenagem é governada pelo atrito cinético.

As representações esquemáticas da força de atrito  $f_{at}$  entre os pneus e a pista, em função da pressão  $p$  aplicada no pedal de freio, para carros sem ABS e com ABS, respectivamente, são:



04. Nas competições sul-americanas, quando os times brasileiros jogam na Bolívia, o que mais se comenta são os efeitos da altitude nos chutes dos atletas. Segundo especialistas, a bola viaja mais rápido devido à pouca resistência oferecida pelo ar mais rarefeito, o que torna as cobranças de falta mais perigosas. Para a velocidade usual de uma bola de futebol em lances de bola parada, a intensidade da força de resistência  $F$  é dada pela Lei de Newton para a força de arrasto:

$$F = \frac{1}{2} k A \rho v^2$$

Em que  $A$  é a área da seção transversal da bola,  $\rho$  é a densidade do ar,  $v$  é a velocidade da bola em relação ao ar e  $k$  é o coeficiente de arrasto que depende da forma do objeto que se deseja estudar.

Sobre a força de arrasto que atua em uma bola, podemos afirmar que

- A) bolas de futebol de diâmetros diferentes estão sujeitas a forças de resistências iguais caso sejam lançadas com a mesma velocidade e no mesmo local.
- B) o módulo da força de arrasto que atua sobre uma bola lançada com velocidade  $v$  é duas vezes menor que o módulo da força que atua sobre uma bola lançada com velocidade  $2v$ .
- C) bolas de futebol com diferentes formatos (como as de futebol americano, que são ovaladas) apresentam o mesmo valor para o coeficiente de resistência  $C$ .
- D) dois chutes realizados à mesma distância, na mesma bola e com esta atingindo a mesma velocidade final, devem ser dados com forças de intensidades diferentes caso os locais apresentem diferentes densidades do ar.
- E) duas bolas perfeitamente redondas, de raios diferentes, movendo-se no mesmo local, podem estar sujeitas a forças de arrasto de mesma intensidade quando se movem a iguais velocidades.

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



## GABARITO

Meu aproveitamento 

### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

01. B
02. C
03. A

04. B
05. D
06. A
07. C
08. C

## Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

01. C
02. A
03. C
04. A
05. D
06. B
07. E
08. B
09. D
10. D
11. A
12. C
13. A
14. E

## Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

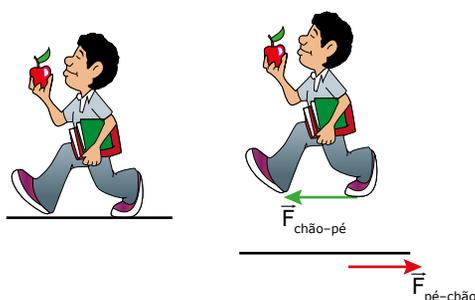
01. A
02. C
03. A
04. D



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## Forças de Atrito

O estudo matemático das forças de atrito entre os corpos sólidos é posterior aos trabalhos de Newton. No entanto, podemos utilizar a mecânica newtoniana para analisar macroscopicamente o efeito das forças de atrito sobre os corpos sólidos, e é o que faremos neste módulo. Mesmo uma superfície aparentemente lisa, como a do papel desta página que você está lendo, apresenta rugosidades. Quando tentamos mover os objetos, de modo a fazer com que uns deslizem sobre os outros, forças microscópicas de origem elétrica fazem com que esse movimento não ocorra de maneira desimpedida, criando o que denominamos, macroscopicamente, de força de atrito ( $F_A$ ). Vejamos um exemplo simples, em que representaremos as forças de interação entre o chão e o pé de uma pessoa caminhando, como mostra a figura seguinte.



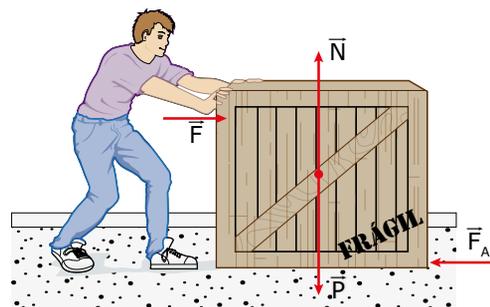
Para a pessoa andar, é necessário que seu pé empurre o chão para trás. Então, de acordo com a 3ª Lei de Newton, o chão deve empurrar o pé para frente – ação e reação. Essas forças têm o mesmo módulo, a mesma direção e sentidos opostos. O resultado disso é que o corpo se desloca para frente. Essa é a explicação newtoniana para o ato de andar. Se não houvesse as forças de interação entre o nosso pé e o solo, ou seja, se não houvesse força de atrito, nós não nos locomoveríamos. É o que ocorre quando uma superfície lisa está ensaboada ou com óleo.

### ATRITO DE DESLIZAMENTO

Você já deve ter notado que é mais fácil empurrar um objeto sobre o chão, de forma a manter o movimento, do que iniciar o movimento. Isso ocorre porque o módulo da força de atrito que atua sobre um corpo na iminência de movimento é maior que o módulo da força de atrito que atua sobre o corpo quando ele está deslizando sobre o chão.

A força de atrito que se manifesta sobre o objeto quando tentamos colocá-lo em movimento é chamada de força de atrito estático. Quando o objeto desliza sobre a superfície, a força de atrito é chamada de força de atrito cinético.

Experimentalmente, observa-se que a força de atrito entre os corpos sólidos depende de dois fatores: o par de superfícies em contato e a força de compressão normal entre elas. Vejamos o que ocorre com uma caixa que se encontra inicialmente em repouso sobre uma superfície horizontal e é empurrada por uma força horizontal, cujo módulo aumenta progressivamente a partir de zero. À medida que essa força aumenta, a força de atrito estático sobre a caixa, que é oposta ao empurrão, aumenta na mesma taxa, de forma que a caixa continua em repouso. A figura a seguir mostra as quatro forças que agem na caixa: o peso  $\vec{P}$ , a normal  $\vec{N}$ , o empurrão  $\vec{F}$  e a força de atrito estático  $\vec{F}_{AE}$  exercida pelo solo.



Subitamente, quando o empurrão atinge certo valor, ocorre uma ruptura no equilíbrio, e o bloco entra em movimento. Isso ocorre porque o módulo da força de atrito estático aumenta até um valor limite. Esse valor é dado por:

$$F_{AE\text{MÁX}} = \mu_E N$$

Nessa equação,  $\mu_E$  é o coeficiente de atrito estático, cujo valor depende do par de superfícies em contato. Valores típicos de  $\mu_E$  são apresentados na tabela a seguir. O fator  $N$  é o módulo da força normal. Quanto maior for o valor de  $N$ , maior será a força de compressão da caixa sobre a superfície, e, conseqüentemente, o efeito do atrito decorrente da interação entre a caixa e a superfície será mais evidente.

Coefficientes de atrito para alguns pares de superfícies

Superfícies de contato	$\mu_E$	$\mu_C$
Aço e aço	0,7	0,6
Aço e madeira	0,7	0,5
Vidro sobre vidro	0,9	0,4
Borracha sobre concreto (seco)	1,0	0,8
Borracha sobre concreto (molhado)	0,3	0,25
Gelo sobre gelo	0,1	0,03
Articulação humana	0,01	0,003

Assim que a força do empurrão torna-se ligeiramente maior que a força de atrito estático máximo, o bloco entra em movimento e fica sujeito a uma força de atrito cinético de módulo menor que o da força de atrito estático máximo conforme visto anteriormente. O módulo da força de atrito cinético é constante e não depende da velocidade do corpo nem do esforço aplicado para empurrá-lo. O módulo da força de atrito cinético é dado por:

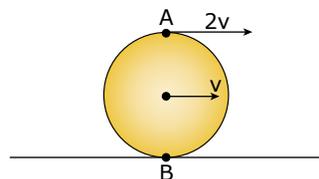
$$F_{AC} = \mu_C N$$

Aqui,  $\mu_C$  é o coeficiente de atrito cinético, também listado na tabela anterior. Observe que, para um mesmo par de superfícies,  $\mu_C < \mu_E$ .

A título de exemplo, vamos considerar que os coeficientes de atrito entre a caixa e o solo da figura anterior sejam  $\mu_E = 0,60$  e  $\mu_C = 0,20$ . Vamos considerar ainda que a massa da caixa seja  $m = 30$  kg. Então, a força normal, que é anulada pelo peso da caixa, vale  $N = m \cdot g = 300$  N. As forças de atrito estático máximo e de atrito cinético valem  $F_{AE_{MAX}} = 0,60 \cdot 300 = 180$  N e  $F_{AC} = 0,20 \cdot 300 = 60$  N. Esses números indicam que a pessoa deve exercer uma força ligeiramente maior que 180 N para fazer a caixa entrar em movimento. Depois disso, o módulo da força de atrito diminui drasticamente para 60 N. Se a pessoa reduzir o seu esforço e passar a empurrar a caixa com uma força exatamente igual a esse valor, a resultante das forças que atuam sobre a caixa será nula. Como ela já está em movimento, assim ela permanecerá em linha reta e com velocidade constante. Se a pessoa empurrá-la com uma força maior que 60 N, o movimento da caixa será acelerado e, se a empurrar com uma força de módulo menor que 60 N, o movimento será retardado.

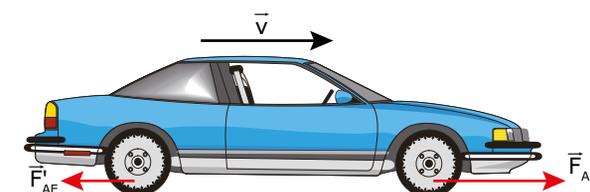
## ATRITO DE ROLAMENTO

Outra forma de a força de atrito se manifestar é atuando em objetos redondos que rolam sobre superfícies sólidas, como o pneu de um carro ou os roletes de um pé de geladeira em movimento sobre o solo. Desde que não exista deslizamento entre o objeto redondo e o solo, a força de atrito entre eles é do tipo estático. Para uma pessoa em repouso sobre o solo, a velocidade do ponto do objeto que toca o solo é zero. Na figura a seguir, representamos um cilindro rolando para a direita sobre uma superfície. O eixo central do cilindro apresenta uma velocidade de módulo  $v$  para a direita em relação ao solo. Desde que não haja deslizamento entre o cilindro e o solo, todos os pontos na sua periferia apresentam uma velocidade tangencial de módulo  $v$  em relação ao eixo de rotação. Por isso, a velocidade do ponto A (topo do objeto) vale  $2v$  ( $v + v$ ) em relação ao solo. Já a velocidade do ponto B (ponto de contato do cilindro com o solo) vale zero ( $v - v$ ) em relação ao solo.



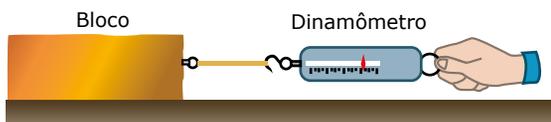
Quando a superfície de rolamento é mais dura, como uma estrada asfaltada ou um pátio cimentado, o efeito do atrito é muito pequeno. Por isso, conseguimos empurrar com facilidade uma geladeira e um fogão dotados de pés com roletes.

Nem sempre a força de atrito sobre um objeto é oposta ao seu movimento. No caso de um carro, as rodas de tração (aquelas cujos eixos recebem um torque motor) giram exercendo sobre o solo uma força no sentido para trás do carro (ação). O solo responde e aplica nas rodas de tração uma força para frente (reação). Essa reação é uma força de atrito estático, voltada para o sentido do movimento. Nas rodas sem tração, a força de atrito é também do tipo estático, porém de sentido oposto ao movimento. A figura a seguir representa as forças de atrito estático atuantes nas rodas traseiras e dianteiras de um carro que se move para a direita e que possui tração nas rodas dianteiras.

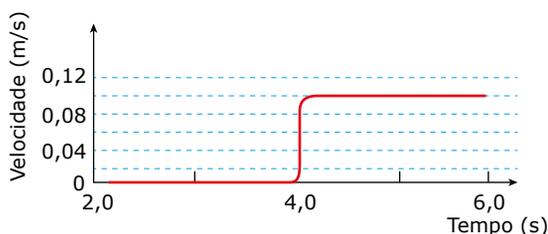
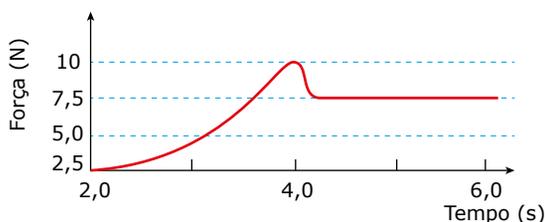


## EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. (UFMG) Observe esta figura:



Um bloco de 5,0 kg está conectado a um dinamômetro por meio de um fio. O dinamômetro é puxado sobre uma superfície plana e horizontal, para a direita, em linha reta. A força medida por esse dinamômetro e a velocidade do bloco, ambas em função do tempo, estão mostradas nestes gráficos:



Considerando essas informações,

- determine o módulo da resultante das forças sobre o bloco no instante  $t = 3,5$  s e no instante  $t = 5,0$  s. Justificar sua resposta.
- calcule o coeficiente de atrito estático entre a superfície e o bloco. Explicar seu raciocínio.
- calcule o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e o bloco. Explicar seu raciocínio.
- calcule o valor aproximado da distância percorrida pelo bloco entre os instantes 2,0 s e 5,0 s.

**Resolução:**

- Em  $t = 3,5$  s, a velocidade do bloco é nula, e, em  $t = 5,0$  s, ela tem módulo de 0,10 m/s; no entanto, o fato relevante é que a velocidade se mantém constante "em torno" desses instantes, e, portanto, a aceleração é nula. Sendo assim, a força resultante é, também, nula nesses instantes.
- De acordo com os gráficos, a força máxima exercida pelo dinamômetro sobre o bloco, sem que este entre em movimento, ocorre no instante  $t = 4,0$  s, e sua intensidade é de 10 N.

Como o bloco está em equilíbrio nesse instante, tal força tem o mesmo módulo que a força de atrito estático máximo,  $F_{AE_{MÁX}}$ , e sentido contrário a esta. O módulo da força de atrito estático máximo é igual ao produto do coeficiente de atrito estático  $\mu_E$  pela força normal  $N$ . A força normal à superfície, nesse caso, é igual ao peso do bloco. Assim:

$$F_{AE_{MÁX}} = \mu_E N = \mu_E mg$$

$$\mu_E = \frac{F_{AE_{MÁX}}}{mg} = \frac{10}{5,0 \cdot 10} = 0,20$$

- Após o instante  $t = 4,0$  s, a velocidade do bloco mantém-se constante e, portanto, a força resultante que atua sobre ele é nula. De acordo com o gráfico de força *versus* tempo, após esse instante, a força medida pelo dinamômetro é de 7,5 N. Essa força tem o mesmo módulo que a força de atrito cinético que atua sobre o bloco e sentido oposto a ela. Assim:

$$F_{AC} = \mu_C N = \mu_C mg$$

$$\mu_C = \frac{F_{AC}}{mg} = \frac{7,5}{5,0 \cdot 10} = 0,15$$

Em que  $\mu_C$  é o coeficiente de atrito cinético.

- A distância percorrida pelo bloco corresponde à área sob a curva do gráfico de velocidade *versus* tempo, no intervalo desejado. No intervalo  $2,0 \text{ s} < t < 4,0 \text{ s}$ , a velocidade do bloco é nula, e, portanto, a distância percorrida por ele é nula. Falta, então, estimar a distância percorrida no intervalo de 4,0 s a 5,0 s; de  $t = 4,0 \text{ s}$  a  $t = 5,0 \text{ s}$ , o bloco tem velocidade constante de 0,10 m/s e percorre uma distância  $d$  dada por:

$$d = vt = 0,10 \cdot 1,0 = 0,10 \text{ m}$$

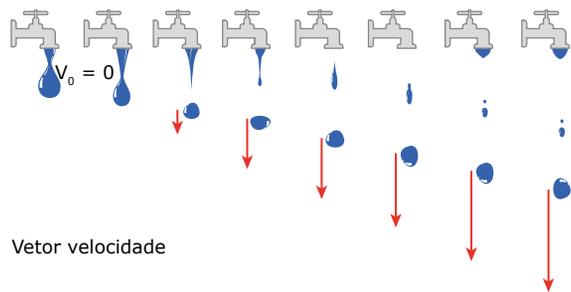
## QUEDA COM RESISTÊNCIA DO AR



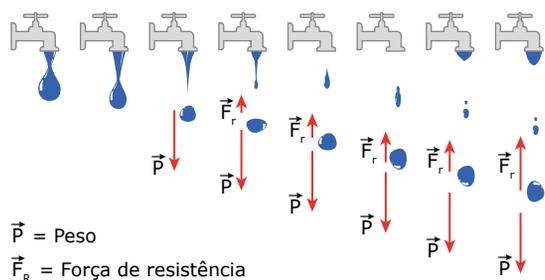
Um corpo encontra-se em queda livre quando os efeitos da resistência do ar sobre ele são desprezíveis, ou seja, quando a única força que atua sobre o corpo em queda é seu próprio peso. Entretanto, para a maioria das situações, os efeitos da resistência do ar sobre o movimento dos corpos não podem ser desprezados. Experimentalmente, verifica-se que o módulo da força de resistência do ar que atua sobre um objeto depende de fatores como a velocidade do objeto, a área efetiva de contato deste com o ar, a forma desse objeto, etc. Podemos simplificar o estudo da força de resistência do ar ( $F_{Ar}$ ) dizendo que o módulo desta é diretamente proporcional ao módulo da velocidade do corpo em movimento.

$$F_{Ar} \propto v; F_{Ar} = -bv$$

Em que  $b$  é uma constante que depende do meio no qual ocorre o movimento. O sinal negativo na equação indica que o sentido da força de resistência do ar é sempre oposto ao da velocidade do corpo. Apesar de simples, a relação anterior, por exemplo, pode ser utilizada para explicar por que não morremos quando uma gota de chuva nos atinge, caindo de uma altura de centenas de metros. A figura a seguir mostra os vetores velocidade, peso e força de resistência do ar que atuam em uma gota que acaba de se desprender de uma torneira.



Vetor velocidade

 $\vec{P}$  = Peso $\vec{F}_r$  = Força de resistência

Observe, na representação feita na figura anterior, que a velocidade da gota, ao desprender-se da torneira, é zero. Assim, não há força de resistência do ar atuando sobre a gota naquele instante. Porém, à medida que a velocidade da gota aumenta, a força de resistência do ar passa a atuar sobre ela. Observe atentamente a figura e veja que

- no início do movimento, a força resultante que atua sobre a gota apresenta módulo máximo, igual ao módulo da força peso. Ao longo do movimento de queda, a força resultante que atua sobre a gota pode se tornar nula.
- o módulo da força de resistência do ar varia ao longo da queda, desde um valor nulo (no início do movimento), até um valor máximo (igual ao módulo do peso).
- o módulo da aceleração que atua sobre a gota varia da mesma forma que o módulo da força resultante, ou seja, inicialmente, a aceleração é máxima e, ao longo da queda, pode se tornar nula. Esse é um resultado esperado, pois, de acordo com a 2ª Lei de Newton, a aceleração que atua sobre um corpo é diretamente proporcional à força resultante que atua sobre ele.

- o módulo da velocidade da gota aumenta durante a queda, porém, em um ritmo cada vez menor, até assumir um valor constante, atingido no momento em que a aceleração torna-se nula. Esse valor de velocidade, módulo da velocidade final de queda, é denominado velocidade terminal ou velocidade limite.

Quando uma gota de chuva se forma, seu movimento é, inicialmente, acelerado, porém, à medida que sua velocidade aumenta, o módulo da força de resistência do ar também aumenta, e isso reduz o ritmo no qual a velocidade cresce. Depois de, aproximadamente, 1 s de formada, a gota de chuva atinge sua velocidade limite (poucos metros por segundo) e nos atinge, inofensivamente.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

**02.** (UFMG) Durante um voo, um avião lança uma caixa presa a um paraquedas. Após esse lançamento, o paraquedas abre-se, e uma força, devido à resistência do ar, passa a atuar sobre o conjunto – caixa e paraquedas. Considere que o módulo dessa força é dado por  $F = bv$ , em que  $b$  é uma constante, e  $v$  é o módulo da velocidade do conjunto. Observa-se que, depois de algum tempo, o conjunto passa a cair com velocidade constante.

- A) Com base nessas informações, explique por que, depois de algum tempo, o conjunto passa a cair com velocidade constante.
- B) Considere que a massa do conjunto é 50 kg e a sua velocidade final é 10 m/s. Calcule a constante de proporcionalidade  $b$ .

### Resolução:

- A) Durante certo intervalo de tempo do movimento de queda, a velocidade do conjunto aumenta, e, necessariamente, o valor da força de resistência do ar também aumenta, o que faz com que o módulo da força resultante diminua, tendendo a um valor nulo após certo tempo. Assim, a velocidade tende para um valor constante, pois a força resultante tende para um valor nulo.
- B) Quando o conjunto atinge a velocidade limite, o módulo da força de resistência do ar se iguala ao módulo do peso, e a resultante das forças que atuam sobre o conjunto é nula. Para esse instante:

$$F_{Ar} = P \Rightarrow bv = mg \Rightarrow b = mg/v = 50 \cdot 10/10 = 50 \text{ kg/s}$$

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



**01.** (UFSJ-MG) Um carro é acelerado, sem derrapar, a partir do repouso, em uma pista horizontal plana e retilínea. Existe atrito entre os pneus do carro e a pista. Nessas condições, é correto afirmar que a natureza e o sentido da força de atrito nos pneus do carro são, respectivamente,

- A) estático, apontando no sentido contrário ao movimento do carro.
- B) estático, apontando no sentido do movimento do carro.
- C) cinético, apontando no sentido do movimento do carro.
- D) cinético, apontando no sentido contrário ao movimento do carro.

**02.** (UECE-2020) Em um campeonato de futebol, como o Brasileiro, de 2019, bolas são chutadas e arremessadas milhares de vezes, quase todas como lançamentos oblíquos ou variações mais elaboradas. De modo simplificado, lances de longo alcance podem ser tratados como massas puntiformes lançadas sob a ação da gravidade e da força de atrito do ar. Essa força de atrito pode, dentro de certos limites, ser tratada como proporcional ao módulo da velocidade da bola. Dado isso, é correto afirmar que

- A) mesmo com a força de atrito, a trajetória continua parabólica.
- B) a força de atrito tem sempre direção horizontal.
- C) o alcance de um dado lançamento é reduzido pela força de atrito.
- D) a força de atrito tem sempre direção vertical.

**03.** (UERJ-2019) Uma força  $F$  constante atua igualmente em quatro corpos distintos, de acordo com o esquema a seguir:



Observe na tabela as massas dos corpos, além dos coeficientes de atrito entre cada um deles e a superfície de apoio.

Corpo	Massa	Coefficiente de atrito
I	$m$	$\mu$
II	$2m$	$\frac{\mu}{2}$
III	$3m$	$\frac{\mu}{3}$
IV	$4m$	$\frac{\mu}{4}$

O corpo que apresenta maior aceleração é:

- A) I
- B) II
- C) III
- D) IV

**04.** RI8C



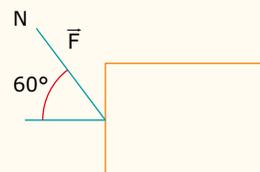
(UFSM-RS) Devido à resistência do ar, as gotas de chuva caem com velocidade constante a partir de certa altura. O módulo da força resistiva do ar é dado por  $F = Av^2$ , em que  $A$  é uma constante de valor  $8 \cdot 10^{-6} \text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$  e  $v$  é o módulo da velocidade. Nessas circunstâncias, uma gota cujo módulo do peso vale  $3,2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$  atinge o solo com velocidade, em  $\text{m/s}$ , de módulo

- A)  $4 \cdot 10^{-2}$ .
- B)  $2 \cdot 10^{-1}$ .
- C)  $4 \cdot 10^{-1}$ .
- D) 2.
- E) 4.

**05.** G5P5



(UNITAU-SP) Um bloco, com dimensões desprezíveis e cuja massa é de 10 kg, desloca-se apoiado sobre uma superfície horizontal plana. A trajetória descrita pelo bloco é retilínea, e o movimento é devido à ação de uma força constante, cuja intensidade é de 200 N, e a direção forma um ângulo de  $60^\circ$  com a superfície horizontal sobre a qual o bloco desliza. O movimento do bloco é do tipo retilíneo uniformemente acelerado, sendo o módulo da aceleração igual a  $4,5 \text{ m/s}^2$ . Considere o módulo da aceleração gravitacional terrestre igual a  $10 \text{ m/s}^2$ ,  $\cos(60^\circ) = 0,50$  e  $\sin(60^\circ) = 0,87$ .



A intensidade da força de atrito entre o bloco e a superfície é igual a

- A) 8,4 N.
- B) 12,5 N.
- C) 24,8 N.
- D) 55,0 N.
- E) 16,0 N.

**06.** (UFSJ-MG) Carlos dirige seu carro numa estrada plana com uma velocidade de 90 km/h. De repente, ele avista um cavalo na estrada e instantaneamente pisa no freio. Se o coeficiente de atrito estático entre os pneus e a estrada vale 0,5 e o cavalo estava a 50 m de distância do carro, é correto afirmar que ele



- A) atropela o cavalo, pois ele só conseguiria parar seu carro em 62,5 m.
- B) não atropela o cavalo, pois conseguiria parar seu carro em 50 m.
- C) não colide com o cavalo, pois ele para seu veículo em 40 m.
- D) atropela o cavalo, pois ele só conseguiria parar seu carro em 125 m.

**07.** (UFRRJ) Dois carros de corrida são projetados de forma a aumentar o atrito entre os pneus e a pista. Os projetos são idênticos, exceto que em um deles os pneus são mais largos e, no outro, há um aerofólio. Nessas condições, podemos dizer que



- A) em ambos os projetos o atrito será aumentado em relação ao projeto original.
- B) em ambos os projetos o atrito será diminuído em relação ao projeto original.
- C) o atrito será maior no carro com aerofólio.
- D) o atrito será maior no carro com pneus mais largos.
- E) nenhum dos projetos alterará o atrito.

**08.** (Mackenzie-SP) Em uma experiência de Física, abandonam-se do alto de uma torre duas esferas A e B, de mesmo raio e massas  $m_A = 2m_B$ . Durante a queda, além da atração gravitacional da Terra, as esferas ficam sujeitas à ação da força de resistência do ar, cujo módulo é  $F = k \cdot v^2$ , em que  $v$  é a velocidade de cada uma delas e  $k$ , uma constante de igual valor para ambas. Após certo tempo, as esferas adquirem velocidades constantes, respectivamente iguais a  $v_A$  e  $v_B$ , cuja relação  $v_A/v_B$  é



- A) 2.
- B)  $\sqrt{3}$ .
- C)  $\sqrt{2}$ .
- D) 1.
- E)  $\frac{\sqrt{2}}{2}$ .

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

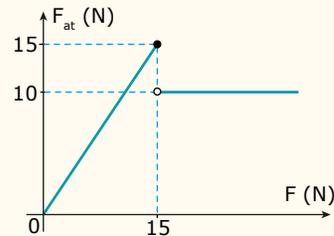


**01.** (PUC RS) Sobre uma caixa de massa 120 kg, atua uma força horizontal constante  $F$  de intensidade 600 N. A caixa encontra-se sobre uma superfície horizontal em um local no qual a aceleração gravitacional é  $10 \text{ m/s}^2$ . Para que a aceleração da caixa seja constante, com módulo igual a  $2 \text{ m/s}^2$ , e tenha a mesma orientação da força  $F$ , o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e a caixa deve ser de



- A) 0,1.
- B) 0,2.
- C) 0,3.
- D) 0,4.
- E) 0,5.

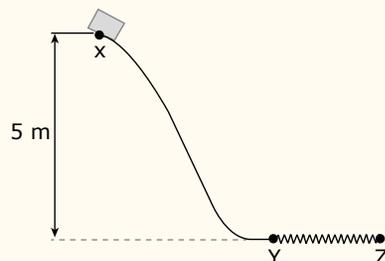
**02.** (PUC-SP) Um bloco de borracha de massa 5,0 kg está em repouso sobre uma superfície plana e horizontal. O gráfico representa como varia a força de atrito sobre o bloco quando atua sobre ele uma força  $F$  de intensidade variável paralela à superfície.



O coeficiente de atrito estático entre a borracha e a superfície e a aceleração adquirida pelo bloco quando a intensidade da força  $F$  atinge 30 N são, respectivamente, iguais a

- A) 0,3;  $4,0 \text{ m/s}^2$ .
- B) 0,2;  $6,0 \text{ m/s}^2$ .
- C) 0,3;  $6,0 \text{ m/s}^2$ .
- D) 0,5;  $4,0 \text{ m/s}^2$ .
- E) 0,2;  $3,0 \text{ m/s}^2$ .

**03.** (PUC RS-2020) A figura mostra um bloco no ponto X. No trecho entre X e Y, não há atrito entre o bloco e a superfície e, no trecho entre Y e Z, a superfície encontra-se em um plano horizontal e é rugosa.



O bloco parte do repouso e desliza entre X e Y. A partir do ponto Y, a velocidade do bloco diminui até parar no ponto Z. O bloco leva 1,25 s para se deslocar entre os pontos Y e Z. Considerando a aceleração da gravidade constante e igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , qual é o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a superfície rugosa?

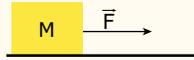
- A) 0,25
- B) 0,33
- C) 0,80
- D) 0,92

**04.** (UERN) Uma força horizontal constante é aplicada num corpo de massa 3 kg que se encontra sobre uma mesa cuja superfície é formada por duas regiões: com e sem atrito. Considere que o corpo realiza um movimento retilíneo e uniforme na região com atrito cujo coeficiente de atrito dinâmico é igual a 0,2 e se dirige para a região sem atrito. A aceleração adquirida pelo corpo ao entrar na região sem atrito é igual a



- A)  $2 \text{ m/s}^2$ .
- B)  $4 \text{ m/s}^2$ .
- C)  $6 \text{ m/s}^2$ .
- D)  $8 \text{ m/s}^2$ .

05. (CEFET-MG) Um bloco de massa  $M$  é puxado por uma força  $F$  sobre uma superfície horizontal com atrito cinético de coeficiente igual a  $\mu$ , conforme a figura a seguir.



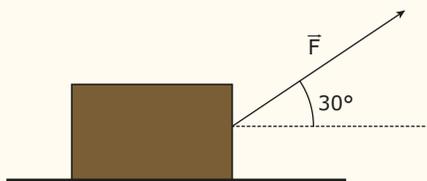
Se a aceleração da gravidade for igual a  $g$ , então, o módulo da aceleração do bloco será expresso por:

- A)  $F + \mu Mg$                                   C)  $F/(M - \mu Mg)$   
 B)  $M(F + \mu g)$                                 D)  $(F - \mu Mg)/M$

06. (UFGD-MS) Um bloco está parado sobre um disco horizontal em repouso a uma distância de 0,1 metro de seu centro. A velocidade angular do disco é aumentada gradativamente, chegando a 5 rad/s, quando o bloco começa a deslizar. Qual é o valor máximo do coeficiente de atrito que atua sobre o bloco?

- (Adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )  
 A) 0,10                                  C) 0,50                                  E) 1,00  
 B) 0,25                                  D) 0,75

07. (UNITAU-SP) Um bloco retangular, cuja massa é igual a 8 kg, é arrastado ao longo de uma superfície horizontal, devido à ação da força sobre ele aplicada, conforme a figura.



O deslocamento do bloco é um movimento somente de translação. O módulo da força aplicada é de 40 N, e a direção da força forma um ângulo de  $30^\circ$  com a superfície horizontal.

**Dados:**  $\cos(30^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2}$  e  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

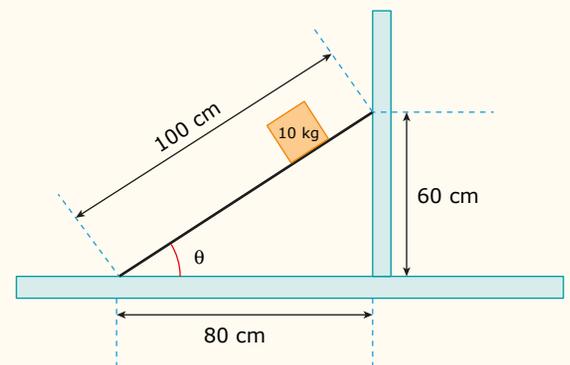
Sabendo-se que o coeficiente de atrito dinâmico (cinético) entre o bloco e a superfície é  $\mu_c = 0,4$ , é correto afirmar:

- A) A intensidade da força de interação entre a superfície do bloco e a superfície horizontal (força normal) é maior do que 80 N.  
 B) A intensidade da força de interação entre a superfície do bloco e a superfície horizontal é igual 80 N.  
 C) A intensidade da força de interação entre a superfície do bloco e a superfície horizontal (força normal) é maior do que 80 N, pois depende do atrito.  
 D) A intensidade da força de interação entre a superfície do bloco e a superfície horizontal (força normal) é menor do que 80 N, pois depende do atrito.  
 E) A intensidade da força de interação entre a superfície do bloco e a superfície horizontal (força normal) é menor do que 80 N e independe do atrito.

08. (UFLA-MG) Em uma pista horizontal utilizada para teste de frenagem, três veículos A, B e C, de massas  $m_A$ ,  $m_B$  e  $m_C$ , respectivamente, testam seus freios nas mesmas condições de pneus e piso, de modo que o coeficiente de atrito cinético  $\mu_c$  possa ser considerado igual para todos os veículos. Sendo  $m_A = m_B < m_C$ ,  $g$  o valor da aceleração da gravidade no local dos testes e desconsiderando a ação do ar sobre os veículos, pode-se afirmar que

- A) se A e C possuem a mesma velocidade inicial  $v_0$ , ao acionarem seus freios, o veículo C percorrerá uma distância maior que o veículo A até alcançarem o repouso.  
 B) se A e C possuem a mesma velocidade inicial  $v_0$ , ao acionarem seus freios, os veículos percorrerão a mesma distância até alcançarem o repouso.  
 C) se A possui velocidade inicial duas vezes maior que a velocidade inicial de B, ao acionarem seus freios, o veículo A percorrerá o dobro da distância percorrida pelo veículo B até alcançarem o repouso.  
 D) independente das velocidades iniciais dos veículos A, B e C, ao acionarem seus freios, os veículos percorrerão as mesmas distâncias até alcançarem o repouso.

09. (ACAFE-SC) Um professor de Física utiliza uma rampa móvel para verificar o valor do coeficiente de atrito estático entre ela e um bloco. Foi alterando o ângulo da rampa em relação à horizontal, até que o bloco atingiu a eminência do movimento. Nesse exato instante, tirou uma foto da montagem e acrescentou com os valores de algumas grandezas, como mostra a figura. Chegando à sala, explicou a situação a seus alunos e pediu que determinassem o valor do coeficiente de atrito estático entre o bloco e a rampa.

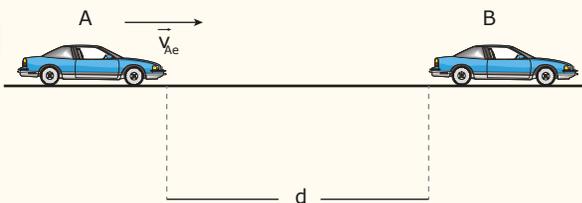


O valor correto do coeficiente de atrito estático e da força de atrito, em N, que os alunos devem encontrar é

- A) 0,65 e 45.  
 B) 0,75 e 45.  
 C) 0,65 e 60.  
 D) 0,75 e 60.

10. (Unifor-CE)

589F



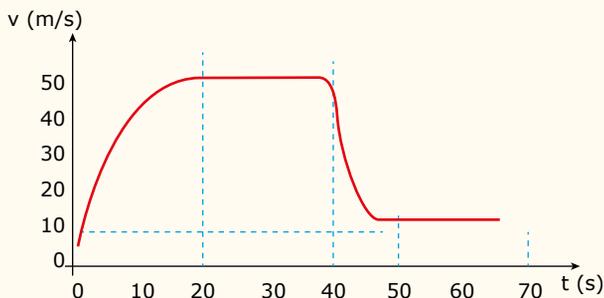
Um estudante de engenharia, passando por uma movimentada avenida de Fortaleza, testemunha um acidente em que um carro A em movimento se choca contra outro carro B parado no sinal. O estudante descobre que a distância entre os carros era  $d = 30$  m, quando o motorista do carro A acionou os freios bruscamente, travando as rodas, e que a massa do carro A é cerca de  $M_A = 1\,000$  kg.

Considerando que a velocidade do carro A era  $20$  m/s na hora que ele acionou os freios e que o coeficiente de atrito cinético entre os pneus do carro A e o asfalto era  $\mu_c = 0,4$ , a velocidade do carro A calculada pelo estudante no momento da colisão é, considerando  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>, aproximadamente,

- A) 2,4 m/s.
- B) 5,6 m/s.
- C) 10,7 m/s.
- D) 12,7 m/s.
- E) 15,9 m/s.

11. (UFV-MG) Um paraquedista salta de uma altura H. O gráfico a seguir relaciona o módulo de sua velocidade vertical com o tempo.

9JH1



Os instantes  $t = 0$  s,  $t = 40$  s e  $t = 70$  s correspondem, respectivamente, aos instantes do salto, de abertura do paraquedas e do contato com o solo.

É correto afirmar, então, que entre os instantes

- A)  $t = 20$  s e  $t = 40$  s, a força resultante sobre o paraquedista é nula.
- B)  $t = 0$  s e  $t = 20$  s, há uma força resultante para cima atuando no paraquedista.
- C)  $t = 40$  s e  $t = 50$  s, há uma força resultante para baixo atuando no paraquedista.
- D)  $t = 0$  s e  $t = 70$  s, o paraquedista sempre esteve sujeito a uma força resultante.

12. (UCS-RS)

LZ41



Na série *Batman & Robin*, produzida entre os anos 1966 e 1968, além da música de abertura que marcou época, havia uma cena muito comum: Batman e Robin escalando uma parede com uma corda. Para conseguirem andar subindo na vertical, eles não usavam apenas os braços puxando a corda, mas caminhavam pela parede contando também com o atrito estático. Suponha que Batman, escalando uma parede nessas condições, em linha reta e com velocidade constante, tenha  $90$  kg, mas o módulo da tração na corda que ele está segurando seja de  $750$  N e esteja direcionada (para fins de simplificação) totalmente na vertical.

Qual é o módulo da força de atrito estática entre seus pés e a parede? Considere a aceleração da gravidade como  $10$  m/s<sup>2</sup>.

- A) 15 N.
- B) 90 N.
- C) 150 N.
- D) 550 N.
- E) 900 N.

13. (IFSul-RS)

N5IH



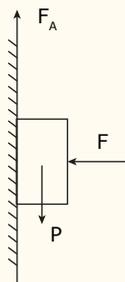
Uma caixa encontra-se em repouso em relação a uma superfície horizontal. Pretende-se colocar essa caixa em movimento em relação a essa superfície. Para tal, será aplicada uma força de módulo  $F$  que forma  $53^\circ$  acima da direção horizontal. Considerando que o coeficiente de atrito estático entre a superfície da caixa e a superfície horizontal é igual a  $0,25$ , que o coeficiente de atrito dinâmico entre a superfície da caixa e a superfície horizontal é igual a  $0,10$ , que a massa do objeto é igual  $2$  kg e que a aceleração da gravidade no local é igual a  $10$  m/s<sup>2</sup>, o menor módulo da força  $F$  que deverá ser aplicado para mover a caixa é um valor mais próximo de

**Dados:**  $\text{sen } 53^\circ = 0,8$  e  $\text{cos } 53^\circ = 0,6$ .

- A) 6,25 N.
- B) 8,33 N.
- C) 12,50 N.
- D) 20,00 N.

14. (CEFET-MG)

O bloco da figura a seguir está em repouso. Além do que está indicado, considere  $\mu^e$  o coeficiente de atrito estático entre as superfícies e  $N$  a reação normal da parede sobre o bloco.



Analisando essa situação, é correto afirmar que a(o)

- A) reação normal da parede é dada por  $N = P$ .
- B) reação normal da parede é obtida por  $N = \mu_e \cdot F$ .
- C) força de atrito é sempre calculada por  $F_A = \mu_e \cdot P$ .
- D) força  $F$  é maior que a reação normal da parede.
- E) produto  $\mu_e \cdot F$  pode ser maior do que o peso do bloco.

## SEÇÃO ENEM

**01.** (Enem) Num sistema de freio convencional, as rodas do carro travam e os pneus derrapam no solo, caso a força exercida sobre o pedal seja muito intensa. O sistema ABS evita o travamento das rodas, mantendo a força de atrito no seu valor estático máximo, sem derrapagem. O coeficiente de atrito estático da borracha em contato com o concreto vale  $\mu_e = 1,0$  e o coeficiente de atrito cinético para o mesmo par de materiais é  $\mu_c = 0,75$ . Dois carros, com velocidades iniciais iguais a 108 km/h, iniciam a frenagem numa estrada perfeitamente horizontal de concreto no mesmo ponto. O carro 1 tem sistema ABS e utiliza a força de atrito estática máxima para a frenagem; já o carro 2 trava as rodas, de maneira que a força de atrito efetiva é a cinética. Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

As distâncias, medidas a partir do ponto em que iniciam a frenagem, que os carros 1 ( $d_1$ ) e 2 ( $d_2$ ) percorrem até parar são, respectivamente,

- A)  $d_1 = 45 \text{ m}$  e  $d_2 = 60 \text{ m}$ .
- B)  $d_1 = 60 \text{ m}$  e  $d_2 = 45 \text{ m}$ .
- C)  $d_1 = 90 \text{ m}$  e  $d_2 = 120 \text{ m}$ .
- D)  $d_1 = 5,8 \cdot 10^2 \text{ m}$  e  $d_2 = 7,8 \cdot 10^2 \text{ m}$ .
- E)  $d_1 = 7,8 \cdot 10^2 \text{ m}$  e  $d_2 = 5,8 \cdot 10^2 \text{ m}$ .

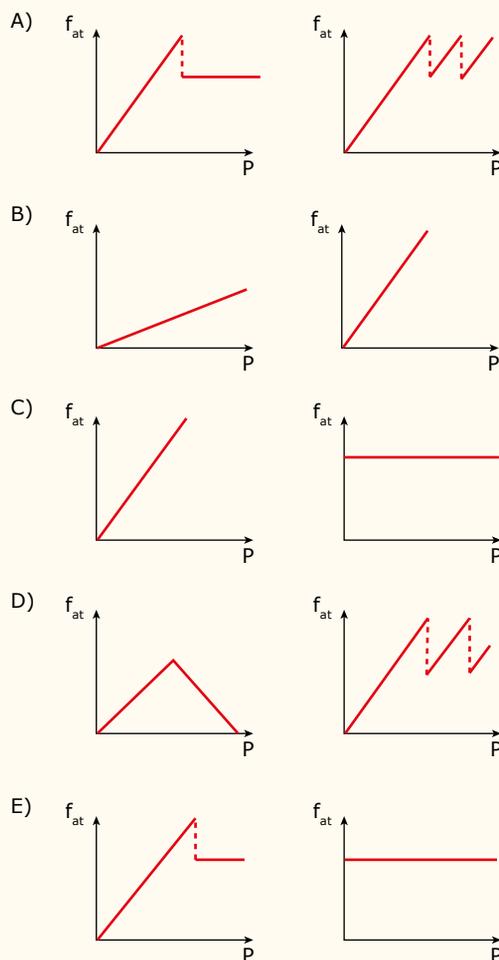
**02.** (Enem) Uma pessoa necessita da força de atrito em seus pés para se deslocar sobre uma superfície. Logo, uma pessoa que sobe uma rampa em linha reta será auxiliada pela força de atrito exercida pelo chão em seus pés.

Em relação ao movimento dessa pessoa, quais são a direção e o sentido da força de atrito mencionada no texto?

- A) Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- B) Paralelo ao plano e no sentido contrário ao movimento.
- C) Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- D) Horizontal e no mesmo sentido do movimento.
- E) Vertical e sentido para cima.

**03.** (Enem) Os freios ABS são uma importante medida de segurança no trânsito, os quais funcionam para impedir o travamento das rodas do carro quando o sistema de freios é acionado, liberando as rodas quando estão no limiar do deslizamento. Quando as rodas travam, a força de frenagem é governada pelo atrito cinético.

As representações esquemáticas da força de atrito  $f_{at}$  entre os pneus e a pista, em função da pressão  $p$  aplicada no pedal de freio, para carros sem ABS e com ABS, respectivamente, são:



04. Nas competições sul-americanas, quando os times brasileiros jogam na Bolívia, o que mais se comenta são os efeitos da altitude nos chutes dos atletas. Segundo especialistas, a bola viaja mais rápido devido à pouca resistência oferecida pelo ar mais rarefeito, o que torna as cobranças de falta mais perigosas. Para a velocidade usual de uma bola de futebol em lances de bola parada, a intensidade da força de resistência  $F$  é dada pela Lei de Newton para a força de arrasto:

$$F = \frac{1}{2} k A \rho v^2$$

Em que  $A$  é a área da seção transversal da bola,  $\rho$  é a densidade do ar,  $v$  é a velocidade da bola em relação ao ar e  $k$  é o coeficiente de arrasto que depende da forma do objeto que se deseja estudar.

Sobre a força de arrasto que atua em uma bola, podemos afirmar que

- A) bolas de futebol de diâmetros diferentes estão sujeitas a forças de resistências iguais caso sejam lançadas com a mesma velocidade e no mesmo local.
- B) o módulo da força de arrasto que atua sobre uma bola lançada com velocidade  $v$  é duas vezes menor que o módulo da força que atua sobre uma bola lançada com velocidade  $2v$ .
- C) bolas de futebol com diferentes formatos (como as de futebol americano, que são ovaladas) apresentam o mesmo valor para o coeficiente de resistência  $C$ .
- D) dois chutes realizados à mesma distância, na mesma bola e com esta atingindo a mesma velocidade final, devem ser dados com forças de intensidades diferentes caso os locais apresentem diferentes densidades do ar.
- E) duas bolas perfeitamente redondas, de raios diferentes, movendo-se no mesmo local, podem estar sujeitas a forças de arrasto de mesma intensidade quando se movem a iguais velocidades.

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



## GABARITO

Meu aproveitamento 

### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

01. B
02. C
03. A

04. B
05. D
06. A
07. C
08. C

## Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

01. C
02. A
03. C
04. A
05. D
06. B
07. E
08. B
09. D
10. D
11. A
12. C
13. A
14. E

## Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

01. A
02. C
03. A
04. D



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

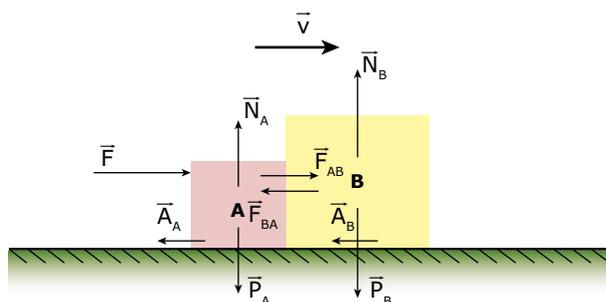
## Aplicações das Leis de Newton

Anteriormente, estudamos os fundamentos das Leis de Newton para o movimento dos corpos. Utilizando essas leis, os homens puderam interpretar e compreender grande parte dos fenômenos da natureza e também desenvolver dispositivos que permitiram ao ser humano visitar e / ou enviar sondas espaciais a outros astros do Sistema Solar. Descobriremos neste módulo algumas das aplicações das Leis de Newton para situações simples, mas nem por isso menos importantes, como os sistemas de blocos, o plano inclinado, a dinâmica do elevador e as forças sobre polias em movimento circular.

### SISTEMAS DE BLOCOS

Quando uma força  $\vec{F}$  atua sobre um sistema de blocos, os blocos que compõem esse sistema ficam sujeitos a deslocamentos iguais em um mesmo intervalo de tempo desde que permaneçam em contato uns com os outros e que não haja deslizamento entre eles. Assim, instante após instante, os blocos estão sujeitos a velocidades e a acelerações de mesmo módulo. Essa é uma condição essencial que deve ser observada na análise de situações desse tipo.

A figura seguinte mostra um sistema de blocos apoiado sobre uma superfície horizontal rugosa e colocado em movimento devido à ação da força  $\vec{F}$  horizontal.



As forças que atuam em cada um dos blocos A e B, respectivamente, são:

- $\vec{P}_A$  e  $\vec{P}_B$  → forças peso, exercidas pela Terra sobre os blocos.
- $\vec{N}_A$  e  $\vec{N}_B$  → forças normais, exercidas pela superfície sobre os blocos.
- $\vec{A}_A$  e  $\vec{A}_B$  → forças de atrito cinético, exercidas pela superfície sobre os blocos.

- $\vec{F}_{BA}$  e  $\vec{F}_{AB}$  → forças internas do sistema; forças que os blocos exercem um sobre o outro e que apresentam módulos iguais.
- $\vec{F}$  → força aplicada sobre o bloco A por um agente externo.

Nessa situação, as forças peso e normal que atuam sobre o bloco A anulam-se mutuamente; o mesmo ocorre com as forças peso e normal que atuam sobre o bloco B. Logo, a resultante das forças que atuam na direção vertical é zero. Temos, então, que a força resultante que atua sobre cada um dos blocos é dada por:

$$F_{R_A} = F - (A_A + F_{BA}) \Rightarrow m_A a = F - A_A - F_{BA}$$

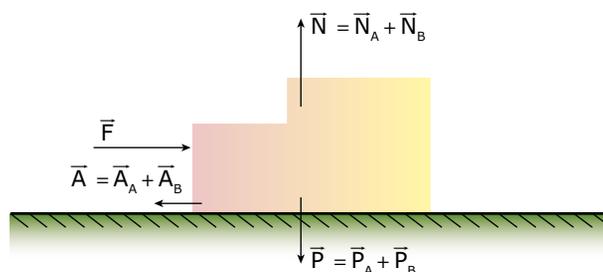
$$F_{R_B} = F_{AB} - A_B \Rightarrow m_B a = F_{AB} - A_B$$

Lembrando que  $F_{AB} = F_{BA}$  e somando as duas equações anteriores, chegamos a uma equação que nos permite determinar a aceleração comum aos dois blocos:

$$m_A a + m_B a = F - A_A - A_B$$

$$(m_A + m_B) a = F - (A_A + A_B)$$

Se considerarmos o sistema dos dois blocos como um bloco único, teremos o seguinte diagrama de forças para a situação:



A partir desse diagrama de forças, temos que a força resultante que atua sobre o sistema é dada por:

$$F_R = F - A_A - A_B$$

$$(m_A + m_B) a = F - (A_A + A_B)$$

Observe que esse resultado é idêntico ao resultado que obtivemos quando realizamos a análise das forças que atuam sobre cada um dos blocos isoladamente.

Na análise de situações desse tipo, devemos considerar três casos:

- Se o módulo da força  $\vec{F}$  for maior que a soma dos módulos das forças de atrito que atuam sobre os blocos A e B, estes estarão em movimento acelerado e com a mesma aceleração.

- Se o módulo da força  $\vec{F}$  for menor que a soma dos módulos das forças de atrito que atuam sobre os blocos A e B, estes estarão em movimento retardado, os dois com a mesma aceleração.
- Se o módulo da força  $\vec{F}$  for igual à soma dos módulos das forças de atrito que atuam sobre os blocos A e B, estes estarão em Movimento Retilíneo Uniforme ou em repouso.

## POLIA

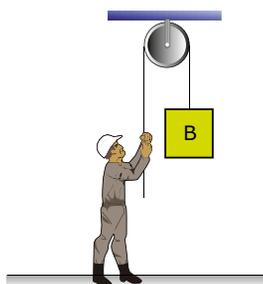
As polias ou roldanas são dispositivos indispensáveis às máquinas, pois permitem reduzir a intensidade das forças necessárias para mover um corpo, permitindo, também, mudar a direção e / ou o sentido dessas forças. As roldanas também são utilizadas, frequentemente, em obras da construção civil.



Há dois tipos básicos de roldanas: as fixas e as móveis.

### Roldanas fixas

Observe a figura a seguir.



Nela, vemos um homem erguendo um bloco por meio de uma roldana fixa. Iremos considerar, nessa situação, que o bloco está sendo erguido com velocidade constante, ou seja, iremos considerar que a força resultante que atua sobre o bloco é nula. Dessa forma, temos que a força peso do bloco deve ser anulada pela força de tensão exercida pela corda. Assim, temos:

$$T - P = 0 \Rightarrow T = P$$

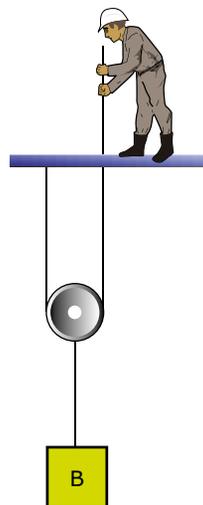
Temos também que, estando o sistema em equilíbrio, a força exercida pelo homem possui a mesma intensidade que a tensão. Logo:

$$F = T \Rightarrow F = P$$

Ou seja, a força que o homem deve exercer para erguer o bloco com velocidade constante, utilizando uma roldana fixa, possui a mesma intensidade que a força peso do bloco. Isso ocorre sempre que uma roldana fixa é utilizada. As roldanas fixas têm a função de mudar a direção e / ou o sentido das forças que devem ser exercidas para realizar certo trabalho. No entanto, elas não alteram a intensidade dessas forças.

### Roldanas móveis

A figura seguinte mostra um bloco sendo erguido por meio de uma roldana móvel. Vamos considerar que o bloco esteja em equilíbrio, ou seja, a força resultante que atua sobre o bloco é zero.



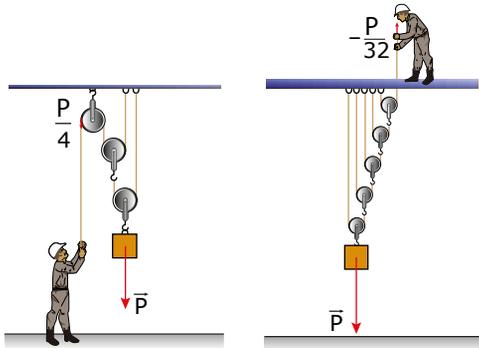
Nessa situação, a força peso do bloco deve ser anulada por uma força de mesma intensidade, mesma direção e sentido oposto. Observe que a roldana móvel é sustentada por uma corda "dobrada", ou seja, a corda exerce uma força de tração  $T$  sobre os dois lados da roldana, o direito e o esquerdo. Assim, temos que o peso do bloco é anulado por uma força  $2T$ . Logo:

$$2T = P \Rightarrow T = P/2$$

Ou seja, a utilização de uma roldana móvel permitiu que o bloco fosse erguido com uma força que possui metade da intensidade da força peso do bloco. Sempre que uma roldana móvel for utilizada para realizar certa tarefa, haverá uma redução na intensidade da força necessária para a sua realização.

A utilização de um sistema de roldanas pode reduzir consideravelmente o módulo da força necessária para elevar um objeto; porém, existe um custo para essa redução de força. Quanto maior for a redução da força, maior será a distância ao longo da qual a força deverá agir. Por exemplo, se o módulo da força aplicada for reduzido à metade, teremos de puxar um comprimento de corda duas vezes maior que a altura de subida do objeto; se o módulo da força for reduzido a um terço, teremos de puxar um comprimento três vezes maior, e assim por diante. Essa relação entre força aplicada e comprimento de corda a ser puxado pode ser mais facilmente entendida se pensarmos em apenas uma roldana móvel, como aquela da figura anterior. Para a pessoa elevar o bloco de uma altura  $h$ , ela deverá puxar um comprimento  $2h$  de corda, porque metade desse valor refere-se à elevação da corda no lado direito da roldana, e a outra metade é devido à parte da corda que se movimentou para baixo, no lado esquerdo da roldana. De uma forma geral, como dissemos, o comprimento de corda puxado aumenta na razão inversa do esforço feito. Por exemplo, na primeira situação da figura a seguir, em que identificamos duas roldanas móveis (a roldana mais à esquerda é fixa), o operário exerce uma força de intensidade igual a  $1/4$  do peso do bloco para sustentar este. Para erguê-lo 1 metro, contudo, ele deverá puxar 4 metros de corda.

E, na outra situação, em que todas as roldanas são móveis, você saberia dizer quantos metros de corda o operário deve puxar para levantar o bloco em 1 metro?



P7TV

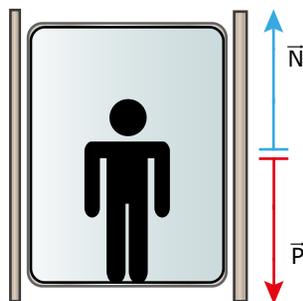
Máquinas simples – Polias

Esse vídeo explica o funcionamento das roldanas e de sistemas com uma roldana fixa e uma móvel e uma fixa e duas móveis. Também mostra os vetores força e a relação entre o deslocamento do corpo e o comprimento de corda necessário para realizar esse deslocamento. Utilize o recurso de pausar a imagem para visualizar, detalhadamente, a distribuição das forças no sistema.

## DINÂMICA NO ELEVADOR

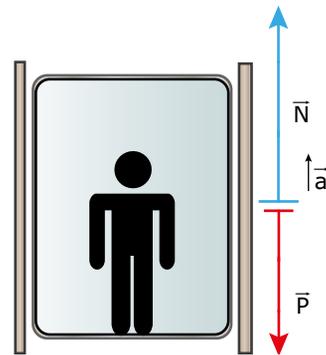
Vimos que o módulo da força peso de um objeto depende exclusivamente da massa do objeto e do local em que esse objeto se encontra em um campo gravitacional ( $P = mg$ ). Na prática, utilizamos aparelhos, como uma balança de banheiro, para medir, de maneira indireta, o módulo do peso dos objetos. Ao subirmos em uma balança, estamos, a rigor, medindo o valor da força de compressão que nosso corpo exerce sobre o piso da balança (força de compressão normal).

Imagine que uma pessoa, de massa  $m$ , entre em um elevador que se encontra inicialmente em repouso. Nesse caso, a resultante das forças que atuam sobre a pessoa é zero ( $F_R = 0$ ), pois ela se encontra em equilíbrio, indicando que o módulo da força normal é igual ao módulo da força peso ( $P = N$ ). O mesmo aconteceria se o elevador estivesse subindo ou descendo com velocidade constante. O corpo ainda estaria em equilíbrio, e as forças peso e normal se anulariam, como mostra a figura seguinte.



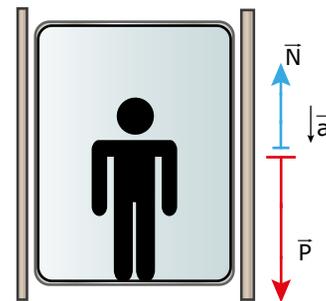
MRU ou repouso  $\Rightarrow F_R = 0 \Rightarrow N = P \Rightarrow a = 0$

Sabemos que, quando estamos dentro de um elevador e ele inicia seu movimento de subida, ou quando está descendo e freia, temos a sensação de que estamos mais “pesados”, isto é, comprimimos o solo com uma força maior que a usual. Nessas duas situações, a resultante das forças que atuam sobre nosso corpo está voltada para cima, pois o módulo da força normal é maior que o módulo da força peso.



Iniciar o movimento de subida ou frear quando desce  $\Rightarrow F_R > 0 \Rightarrow N > P \Rightarrow a > 0$

Agora, quando o elevador inicia o movimento de descida, ou quando ele está subindo e freia, temos a sensação de que estamos mais “leves” que o usual, isto é, comprimimos o solo com uma força de menor intensidade. Nessas duas situações, a resultante das forças que atuam sobre o corpo está para baixo, pois o módulo da força normal é menor que o módulo da força peso.

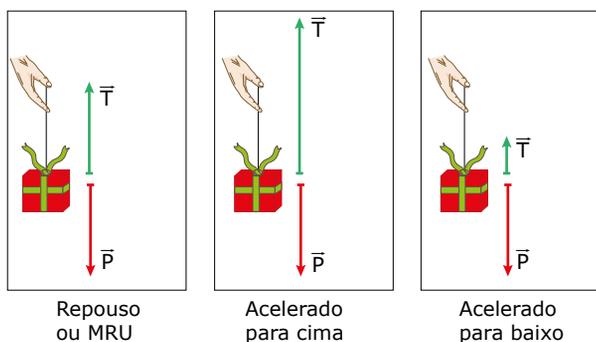


Iniciar o movimento de descida ou frear quando sobe  $\Rightarrow F_R < 0 \Rightarrow N < P \Rightarrow a < 0$

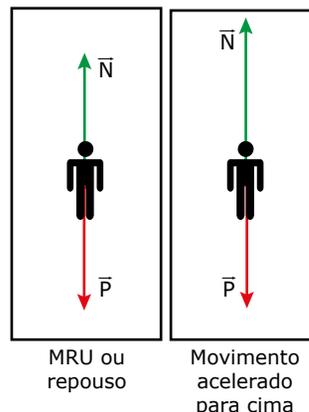
Observe que, na análise dos dois últimos casos, sempre mencionamos a variação no módulo da força normal, aumentando ou diminuindo, pois o módulo da força peso não varia. Ele permanece constante em qualquer situação, desde que os valores da massa do corpo e do campo gravitacional da Terra não variem.

Um caso extremo é aquele no qual o cabo do elevador se rompe e este cai em queda livre. Nessa situação, não há compressão do solo, portanto, não há força normal. Se você subisse em uma balança que se encontra dentro do elevador, nessa situação, ela registraria um valor nulo, pois todos os objetos dentro do elevador cairiam com a mesma aceleração da gravidade  $g$ .

O mesmo raciocínio que apresentamos para a relação entre a força peso e a força normal em um elevador também se aplica na relação entre a força peso e a força de tensão que uma corda exerce sobre um corpo suspenso por ela dentro de um elevador. A figura a seguir mostra casos semelhantes aos discutidos anteriormente, em que o elevador acha-se em equilíbrio ou em movimento acelerado. Observe que, para qualquer situação, o peso do pacote não se altera. A força que muda de valor e que se adapta à situação em questão é a força exercida pelo fio sobre o pacote (e que tem o mesmo módulo da tensão na corda). A seguir, apresentamos um exercício resolvido para exemplificar, quantitativamente, uma análise das forças que atuam sobre corpos no interior de um elevador.



Quando o elevador inicia seu movimento de ascensão, uma força resultante para cima deve atuar sobre o garoto, pois ele também é acelerado para cima. Logo, o módulo da força normal deve ser maior que o módulo da força peso, como mostra o diagrama da direita. Nessa situação, com o módulo da velocidade do elevador aumentando, a balança registra um peso aparente para o garoto maior que o peso real, pois a força normal é maior que a força peso.



Para calcular a aceleração de arranque do elevador, podemos aplicar a 2ª Lei de Newton, de forma que:

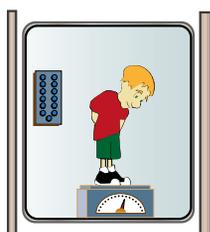
$$F_r = ma \Rightarrow N - P = ma$$

No arranque do elevador,  $N = 650 \text{ N}$ . O peso do garoto é  $P = 600 \text{ N}$ , e a sua massa, portanto, vale  $m = 60 \text{ kg}$  (admitindo  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ). Substituindo esses dados na equação anterior, obtemos:

$$650 - 600 = 60a \Rightarrow a = 0,83 \text{ m/s}^2$$

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 01.** Um garoto entra em um elevador que se encontra em repouso no andar térreo de um edifício. Dentro do elevador, há uma balança que registra um valor de 600 N para o peso do garoto. Ao acionar o botão para se deslocar para o 5º andar, ele nota que a marcação da balança aumentou para 650 N e, posteriormente, voltou aos 600 N. Explique por que os valores registrados pela balança para o peso do garoto apresentaram tal variação. Calcule a aceleração de arranque do elevador.



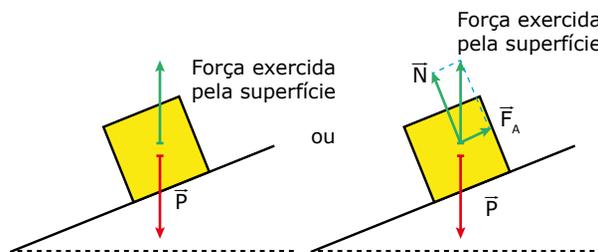
### Resolução:

O esquema a seguir representa as forças que atuam no garoto antes e durante o momento em que o elevador inicia sua ascensão. Lembre-se de que o diagrama de forças do garoto, na situação em que ele se encontra em MRU, é idêntico ao diagrama de forças do garoto quando este se encontra em repouso. Nessas situações, a força resultante sobre o garoto é nula; logo, a força normal e a força peso possuem a mesma intensidade. Dessa forma, a balança marca o peso real do menino.

## PLANO INCLINADO

Um dos sistemas mais simples utilizados para elevar objetos é o plano inclinado. A vantagem em sua utilização, para elevar um objeto até uma altura  $h$ , consiste no fato de realizarmos uma força menor do que a que é necessária para elevar esse objeto, até a altura  $h$ , diretamente na vertical.

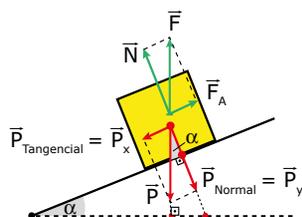
Consideremos um bloco em repouso, em um plano inclinado com atrito. Sabe-se que a resultante das forças que atuam sobre o bloco deve ser nula. Logo, deve haver uma força vertical para cima atuando sobre o bloco, de modo a anular-se com a força peso, vertical e para baixo.



A força que a superfície exerce sobre o bloco pode ser decomposta em duas componentes perpendiculares, a força normal e a força de atrito.

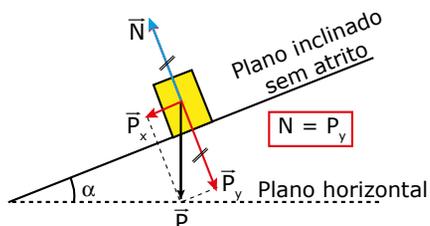
De modo semelhante, a força peso que atua sobre o bloco pode ser decomposta em duas componentes perpendiculares: uma paralela à superfície ( $P_x$ ) e outra perpendicular a esta ( $P_y$ ). Os valores dessas componentes podem ser calculados utilizando-se relações trigonométricas. Considerando a condição de equilíbrio do bloco, podemos deduzir que:

$$P_x = F_A \text{ e } P_y = N$$



Nessa figura, observe que o ângulo entre o plano inclinado e o solo e o ângulo entre  $\vec{P}$  e  $\vec{P}_y$  são formados por lados perpendiculares entre si. Por isso, esses ângulos são congruentes. Assim, os módulos de  $P_x$  e de  $P_y$  podem ser calculados por meio das relações  $P_x = P \cdot \text{sen } \alpha$  e  $P_y = P \cdot \text{cos } \alpha$ .

Uma situação interessante é aquela na qual um objeto desce ou sobe um plano inclinado sem atrito, como mostra a figura a seguir.



Ao decompor as forças que atuam sobre o bloco, percebemos que a componente ( $P_x$ ) é a força resultante que atua sobre ele, ou seja, é a força responsável pela aceleração do bloco. O módulo dessa aceleração pode ser facilmente determinado. Veja:

Direção Y:  $P_y = N \Rightarrow$  equilíbrio ( $F_R = 0$ )

Direção X:  $F_R = P_x \Rightarrow$  movimento acelerado

Desenvolvendo a igualdade  $F_R = P_x$ , teremos:

$$P_x = ma \Rightarrow P \cdot \text{sen } \alpha = ma \Rightarrow mg \cdot \text{sen } \alpha = ma \Rightarrow$$

$$a = g \cdot \text{sen } \alpha \text{ (plano inclinado sem atrito)}$$

Observe que a equação anterior é uma relação geral para o plano inclinado sem atrito. Ela permite calcular a aceleração que atua sobre um objeto quando o ângulo do plano inclinado varia de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . Para esses valores, encontramos os seguintes resultados:

$$\alpha = 0^\circ \Rightarrow a = g \cdot \text{sen } 0^\circ = g \cdot 0 = 0 \text{ (repouso ou MRU)}$$

$$\alpha = 90^\circ \Rightarrow a = g \cdot \text{sen } 90^\circ = g \cdot 1 = g \text{ (queda livre)}$$

Observe que o valor da aceleração que atua sobre o objeto não depende do valor de sua massa.



**Corte certo**

Nesse divertido jogo é possível trabalhar com as componentes ortogonais de um vetor, controlando a inclinação do vetor força aplicado em um cortador de grama, a fim de variar sua velocidade e a altura do corte. Perceba que a inclinação do vetor  $F$  ocasiona a variação de suas componentes  $F_x$  e  $F_y$ , aumentando ou diminuindo sua intensidade de acordo com o ângulo escolhido.

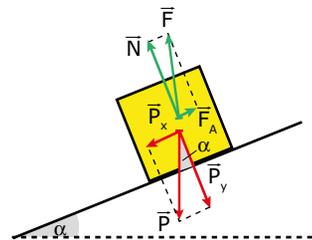


## EXERCÍCIO RESOLVIDO

**02.** Um bloco de massa  $m$  é solto em um plano inclinado, cuja superfície apresenta atrito. Sabe-se que o movimento apresentado pelo bloco é acelerado. Determine uma expressão que nos permita calcular o módulo da aceleração do bloco, em função de  $\alpha$ ,  $\mu$  e  $g$  ( $\alpha$  é o ângulo entre o plano inclinado e a horizontal, e  $\mu$  é o coeficiente de atrito cinético).

**Resolução:**

A situação pode ser representada pela figura seguinte.



Como o movimento é acelerado na direção do plano inclinado, podemos escrever que:

$$F_R = ma \Rightarrow P_x - F_A = ma$$

Sabemos que  $P_x = P \cdot \text{sen } \alpha$  e  $F_A = \mu N$ . Sabemos também que  $N = P_y = P \cdot \text{cos } \alpha$ .

Realizando as substituições, temos:

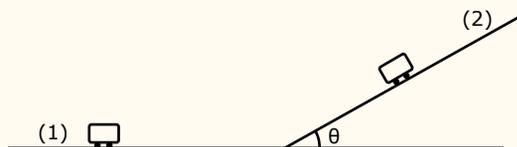
$$\begin{aligned} P_x - F_A &= ma \\ P \cdot \text{sen } \alpha - \mu N &= ma \\ mg \cdot \text{sen } \alpha - \mu P_y &= ma \\ mg \cdot \text{sen } \alpha - \mu P \cdot \text{cos } \alpha &= ma \\ mg \cdot \text{sen } \alpha - \mu mg \cdot \text{cos } \alpha &= ma \\ g \cdot \text{sen } \alpha - \mu g \cdot \text{cos } \alpha &= a \\ a &= g(\text{sen } \alpha - \mu \text{cos } \alpha) \end{aligned}$$

**Comentário:** Se o bloco for lançado de baixo para cima, o seu movimento será retardado. Nesse caso, a força de atrito  $\vec{F}_A$  e a componente  $\vec{P}_x$  do peso do bloco estarão no mesmo sentido. Por isso, seus efeitos se somarão, de forma que a desaceleração de frenagem é maior do que a aceleração de descida. Faça você mesmo os cálculos e verifique que, nesse caso, a desaceleração é dada por  $a = g(\text{sen } \alpha + \mu \text{cos } \alpha)$ . Observe ainda que, fazendo  $\mu = 0$  nessa equação ou na expressão da aceleração de descida, obtemos a expressão  $a = g \cdot \text{sen } \alpha$ , que, conforme vimos, fornece a aceleração em um plano inclinado liso.

# EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (Mackenzie-SP-2017)



Um automóvel movimenta-se por uma pista plana horizontal e a seguir por uma pista plana em acive formando um ângulo  $\theta$  em relação à horizontal, como mostra a figura. Na situação (1), a força de reação normal da pista sobre o automóvel é  $\vec{N}_H$  e, na situação (2), a força de reação normal da pista sobre o automóvel é  $\vec{N}_I$ . Considerando que  $0 < \theta < 90^\circ$  pode-se afirmar que:

- A)  $|\vec{N}_H| < |\vec{N}_I|$       C)  $|\vec{N}_H| = |\vec{N}_I|$       E)  $|\vec{N}_H| \leq |\vec{N}_I|$   
 B)  $|\vec{N}_H| > |\vec{N}_I|$       D)  $|\vec{N}_H| \geq |\vec{N}_I|$

02. (UECE) Duas forças atuam sobre um disco de massa  $m$ , que inicialmente repousa com uma face sobre uma mesa horizontal e pode deslizar sem atrito. Considere que as forças sejam paralelas ao plano da mesa, tenham módulos iguais e direções diferentes, e que sejam aplicadas no centro do disco. Nessas circunstâncias, é correto afirmar que o vetor aceleração do disco

- A) tem módulo diferente de zero.  
 B) tem módulo igual a zero.  
 C) tem direção perpendicular ao plano do disco e sentido para cima.  
 D) tem direção perpendicular ao plano do disco e sentido para baixo.

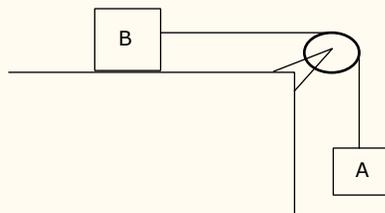
03. (UFLA-MG) Um estudante com massa de 70 kg, a fim de verificar as leis da Física, sobe em uma balança dentro de um elevador. O elevador entra em movimento, e a balança passa a indicar o valor de 60 kg. O estudante conclui que o elevador está

- A) descendo com velocidade constante.  
 B) subindo e aumentando sua velocidade.  
 C) descendo e aumentando sua velocidade.  
 D) subindo com velocidade constante.

04. (UFV-MG) Um atleta de massa  $m$  sobe uma corda leve vertical com seus próprios braços. A aceleração do atleta é constante e vale  $a$ . Se  $g$  é a aceleração da gravidade, a tensão na corda vale

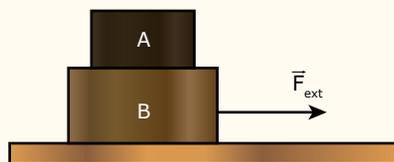
- A)  $m(g - a)$ .      C)  $ma$ .  
 B)  $mg$ .      D)  $m(g + a)$ .

05. (FASEH-MG-2020) Dois corpos, A e B, de massas diferentes  $m_A = 3 m_B$  são unidos por um fio de massa desprezível e inextensível que passa por uma roldana ideal. O corpo B se encontra apoiado sobre uma superfície de coeficiente de atrito 0,5. De acordo com o esquema, é possível afirmar que a aceleração do sistema vale: (Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .)



- A) 5,25      C) 7,25  
 B) 6,25      D) 7,50

06. (UFV-MG) Sabe-se, pela 2ª Lei de Newton, que, quando sujeito a uma resultante de forças externas, um sistema tem um movimento dotado de aceleração. Assim sendo, considere a situação ilustrada a seguir, na qual um sistema constituído de dois blocos, A e B, move-se sem que um bloco deslize em relação ao outro.



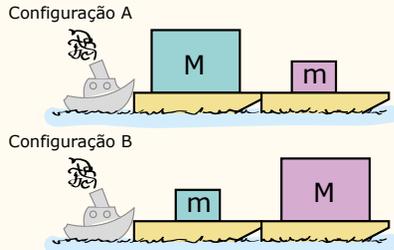
O bloco B está apoiado no bloco A que, por sua vez, é puxado sobre uma mesa horizontal por uma força externa  $\vec{F}_{ext}$ . Não há atrito entre o bloco A e a mesa.

Em relação a essa situação, é correto afirmar:

- A) O bloco B tem aceleração em relação à mesa, pois sobre ele atua uma força resultante, decorrente do atrito entre ele e o bloco A.  
 B) O bloco B tem velocidade constante em relação à mesa, pois sobre ele atua uma força resultante, decorrente do atrito entre ele e o bloco A.  
 C) O bloco A tem velocidade constante em relação à mesa, pois a força resultante de atrito entre ele e o bloco B anula a força externa  $\vec{F}_{ext}$ .  
 D) O bloco A tem aceleração em relação à mesa, pois sobre ele atua uma força resultante cujo módulo é o mesmo da força externa  $\vec{F}_{ext}$ .

07. (UFPA) Na Amazônia, devido ao seu enorme potencial hídrico, o transporte de grandes cargas é realizado por balsas que são empurradas por rebocadores potentes. Suponha que se quer transportar duas balsas carregadas, uma maior de massa  $M$  e outra menor de massa  $m$  ( $m < M$ ), que devem ser empurradas juntas por um mesmo rebocador, e considere a figura a seguir, que mostra duas configurações (A e B) possíveis para este transporte.

Na configuração A, o rebocador exerce sobre a balsa uma força de intensidade  $F_A$ , e a intensidade das forças exercidas mutuamente entre as balsas é  $f_A$ . Analogamente, na configuração B, o rebocador exerce sobre a balsa uma força de intensidade  $F_B$ , e a intensidade das forças exercidas mutuamente entre as balsas é  $f_B$ .



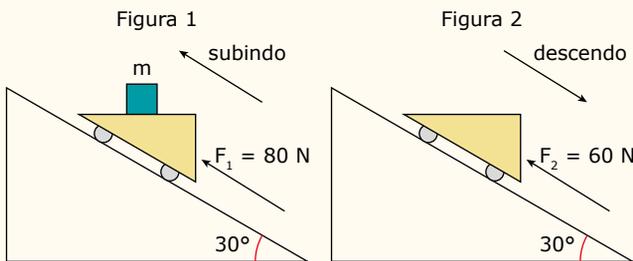
Considerando uma aceleração constante impressa pelo rebocador e desconsiderando quaisquer outras forças, é correto afirmar que:

- A)  $F_A = F_B$  e  $f_A = f_B$
- B)  $F_A > F_B$  e  $f_A = f_B$
- C)  $F_A < F_B$  e  $f_A > f_B$
- D)  $F_A = F_B$  e  $f_A < f_B$
- E)  $F_A = F_B$  e  $f_A > f_B$

08. PLX8



(UFTM-MG) A figura 1 mostra um carrinho transportando um corpo de massa  $m$  por um plano sem atrito, inclinado em  $30^\circ$  com a horizontal. Ele é empurrado para cima, em linha reta e com velocidade constante, por uma força constante de intensidade  $F_1 = 80$  N. A figura 2 mostra o mesmo carrinho, já sem o corpo de massa  $m$ , descendo em linha reta, e mantido com velocidade constante por uma força também constante de intensidade  $F_2 = 60$  N.



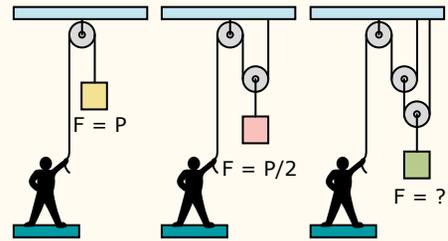
Adotando  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>, pode-se afirmar que a massa  $m$  vale, em kg,

- A) 2.
- B) 4.
- C) 6.
- D) 8.
- E) 10.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



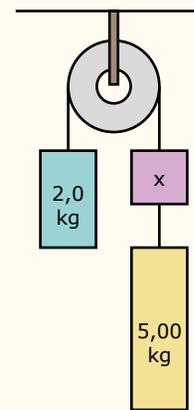
01. (UFV-MG) As três figuras a seguir apresentam um mesmo bloco de peso de módulo  $P$  suspenso por roldana(s). As roldanas e as cordas ilustradas têm massas desprezíveis, e o equilíbrio estático é mantido, em cada caso, por um homem que exerce uma força de módulo  $F$  na extremidade livre da corda.



Com base nas observações das duas primeiras situações de equilíbrio, é correto afirmar que, na terceira situação, o módulo da força  $F$  exercida pelo homem é

- A)  $P$ .
- B)  $P/2$ .
- C)  $P/3$ .
- D)  $P/4$ .

02. (CEFET-MG) Dispondo-se de uma régua milimetrada, uma roldana fixa e de um cronômetro, um estudante realizou o seguinte experimento para determinar o valor de uma massa desconhecida, conforme mostrado a seguir.



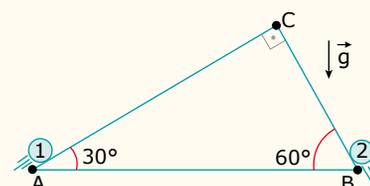
Nessa montagem, o estudante liberou os corpos, mediu a distância percorrida pela massa de 5,00 kg e o correspondente intervalo de tempo, calculou a aceleração e encontrou 5,00 m/s<sup>2</sup>. A partir desses resultados, e desprezando os atritos e a massa da roldana, o valor da massa  $x$  encontrado, em kg, foi igual a

- A) 0,50.
- B) 1,00.
- C) 1,50.
- D) 2,00.
- E) 2,50.

03. 1605



(AFA-SP-2020) Em um local onde a aceleração da gravidade é  $g$ , as partículas idênticas, 1 e 2, são lançadas simultaneamente, e sobem sem atrito ao longo dos planos inclinados AC e BC, respectivamente, conforme figura a seguir.

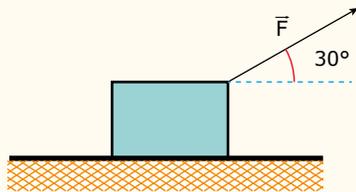


A partícula 2 é lançada do ponto B com velocidade  $v_0$  e gasta um tempo  $t$  para chegar ao ponto C. Considerando que as partículas 1 e 2 colidem no vértice C, então a velocidade de lançamento da partícula 1 vale:

- A)  $\sqrt{3} \cdot v_0 - 5t$                       C)  $2v_0 + t$   
 B)  $\sqrt{3} \cdot v_0 - t$                       D)  $v_0 + 5t$

**04.** (PUC Rio) Um bloco de massa 10 kg se move com velocidade constante sobre uma superfície horizontal pela ação de uma força  $F$  de módulo 40 N, que faz um ângulo de  $30^\circ$  com a horizontal, como mostrado na figura. Qual é o valor do coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a superfície?

**Dado:**  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

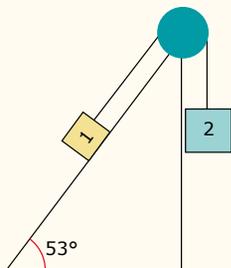


- A)  $2\sqrt{3}/3$                       C) 0,4                      E)  $\sqrt{3}/2$   
 B)  $\sqrt{3}/5$                       D)  $\sqrt{3}/4$

**05.** (IFCE) Há dois momentos no salto de paraquedas em que a velocidade do paraquedista torna-se constante: quando atinge velocidade máxima, que é de aproximadamente 200 km/h, e no momento do pouso. Com base nas Leis da Física, a força de arrasto do ar

A) é maior quando o paraquedista encontra-se em velocidade de pouso.  
 B) é a mesma, seja na velocidade máxima ou no momento do pouso.  
 C) é maior quando o paraquedista encontra-se em velocidade máxima.  
 D) é zero nesses dois momentos.  
 E) depende da posição do corpo do paraquedista nesses dois momentos.

**06.** (CEFET-MG) A figura mostra os blocos 1 e 2, com massas iguais a 8,0 kg e 10 kg, respectivamente, ligados por um cordel em um plano inclinado. Desprezando-se as massas da polia e do cordel, assim como os atritos, a aceleração dos blocos, em  $\text{m/s}^2$ , é igual a



- Dados:**  $\text{sen } 53^\circ = 0,8$  e  $\text{cos } 53^\circ = 0,6$ .
- A) 1,0.                      C) 3,0.                      E) 5,0.  
 B) 2,0.                      D) 4,0.

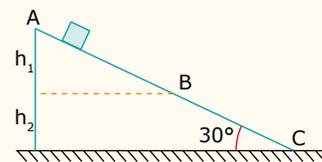
**07.** (CEFET-MG) Um estudante, desejando medir o coeficiente de atrito estático entre um plano inclinado e um bloco feitos do mesmo material, executa os seguintes procedimentos:

- Coloca o bloco sobre o plano horizontal;
- Inclina, lentamente, o plano.

Ao perceber que o bloco começa a escorregar, quando o plano forma um ângulo  $\theta$  com a horizontal, o estudante deduz que o coeficiente de atrito estático é expresso corretamente por

- A)  $\text{cossec } \theta$ .                      C)  $\text{sen } \theta$ .                      E)  $\text{tg } \theta$ .  
 B)  $\text{cos } \theta$ .                      D)  $\text{sec } \theta$ .

**08.** (EPCAR-MG-2017) Um bloco escorrega, livre de resistência do ar, sobre um plano indicado de  $30^\circ$ , conforme a figura (sem escala) a seguir.

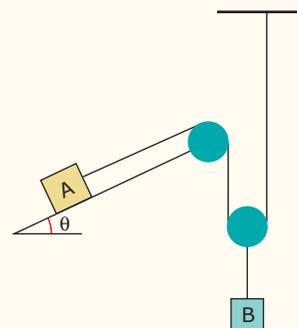


No trecho AB não existe atrito e no trecho BC o coeficiente de atrito vale  $\mu = \frac{\sqrt{3}}{2}$ .

O bloco é abandonado, do repouso em relação ao plano inclinado, no ponto A e chega ao ponto C com velocidade nula. A altura do ponto A, em relação ao ponto B, é  $h_1$ , e a altura do ponto B, em relação ao ponto C, é  $h_2$ . A razão  $\frac{h_1}{h_2}$  vale

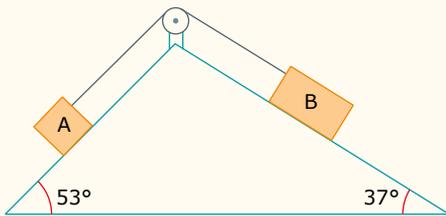
- A)  $\frac{1}{2}$ .                      B)  $\frac{\sqrt{3}}{2}$ .                      C)  $\sqrt{3}$ .                      D) 2.

**09.** (Mackenzie-SP) Na figura esquematizada a seguir, os corpos A e B encontram-se em equilíbrio. O coeficiente de atrito estático entre o corpo A e o plano inclinado vale  $\mu = 0,500$  e o peso do corpo B é  $P_B = 200 \text{ N}$ . Considere os fios e as polias ideais e o fio que liga o corpo A é paralelo ao plano inclinado. Sendo  $\text{sen } \theta = 0,600$  e  $\text{cos } \theta = 0,800$ , o peso máximo que o corpo A pode assumir é



- A) 100 N.                      D) 500 N.  
 B) 300 N.                      E) 600 N.  
 C) 400 N.

10. (UEFS-BA)



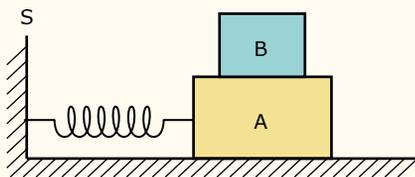
Dois blocos, A e B, de massas, respectivamente, iguais a 10,0 kg e 30,0 kg, são unidos por meio de um fio ideal, que passa por uma polia, sem atrito, conforme a figura. Considerando-se o módulo da aceleração da gravidade local igual a 10,0 m/s<sup>2</sup>, o coeficiente de atrito cinético entre os blocos e as superfícies de apoio igual a 0,2,  $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6$  e  $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$ , é correto afirmar que o módulo da tração no fio que liga os dois blocos, em kN, é igual a

- A) 0,094.                      C) 0,098.                      E) 0,104.
- B) 0,096.                      D) 0,102.

11. (EPCAR-MG) Na situação da figura a seguir, os blocos A e B têm massas  $m_A = 3,0$  kg e  $m_B = 1,0$  kg.



O atrito entre o bloco A e o plano horizontal de apoio é desprezível, e o coeficiente de atrito estático entre B e A vale  $\mu_e = 0,4$ . O bloco A está preso numa mola ideal, inicialmente não deformada, de constante elástica  $K = 160$  N/m que, por sua vez, está presa ao suporte S.



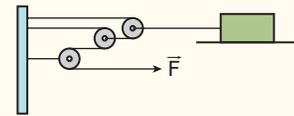
O conjunto formado pelos dois blocos pode ser movimentado produzindo uma deformação na mola e, quando solto, a mola produzirá certa aceleração nesse conjunto. Desconsiderando a resistência do ar, para que B não escorregue sobre A, a deformação máxima que a mola pode experimentar, em cm, vale:

- A) 3,0                                      C) 10
- B) 4,0                                      D) 16

## SEÇÃO ENEM

01. (Enem) Uma invenção que significou um grande avanço tecnológico na Antiguidade, a polia composta ou a associação de polias, é atribuída a Arquimedes (287 a.C. a 212 a.C.). O aparato consiste em associar uma série de polias móveis a uma polia fixa. A figura exemplifica um arranjo possível para esse aparato.

É relatado que Arquimedes teria demonstrado para o rei Hierão um outro arranjo desse aparato, movendo sozinho, sobre a areia da praia, um navio repleto de passageiros e cargas, algo que seria impossível sem a participação de muitos homens. Suponha que a massa do navio era de 3 000 kg, que o coeficiente de atrito estático entre o navio e a areia era de 0,8 e que Arquimedes tenha puxado o navio com uma força  $\vec{F}$ , paralela à direção do movimento e de módulo igual a 400 N. Considere os fios e as polias ideais, a aceleração da gravidade igual a 10 m/s<sup>2</sup> e que a superfície da praia é perfeitamente horizontal.



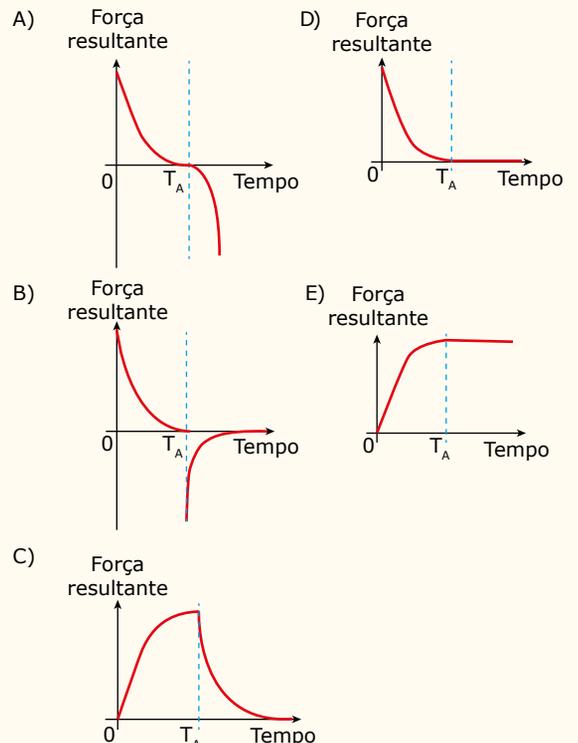
Disponível em: [www.histedbr.fae.unicamp.br](http://www.histedbr.fae.unicamp.br). Acesso em: 28 fev. 2013 (Adaptação).

O número mínimo de polias móveis usadas, nessa situação, por Arquimedes foi

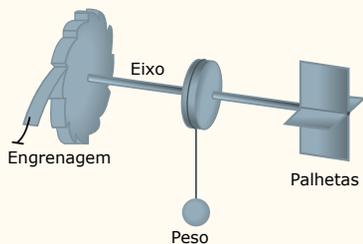
- A) 3.                                      C) 7.                                      E) 10.
- B) 6.                                      D) 8.

02. (Enem) Em um dia sem vento, ao saltar de um avião, um paraquedista cai verticalmente até atingir a velocidade limite. No instante em que o paraquedas é aberto (instante  $T_A$ ), ocorre a diminuição de sua velocidade de queda. Algum tempo após a abertura do paraquedas, ele passa a ter velocidade de queda constante, que possibilita sua aterrissagem em segurança.

Que gráfico representa a força resultante sobre o paraquedista durante o seu movimento de queda?



**03.** (Enem) Partículas suspensas em um fluido apresentam contínua movimentação aleatória, chamada movimento browniano, causado pelos choques das partículas que compõem o fluido. A ideia de um inventor era construir uma série de palhetas, montadas sobre um eixo, que seriam postas em movimento pela agitação das partículas ao seu redor. Como o movimento ocorreria igualmente em ambos os sentidos de rotação, o cientista concebeu um segundo elemento, um dente de engrenagem assimétrico. Assim, em escala muito pequena, este tipo de motor poderia executar trabalho, por exemplo, puxando um pequeno peso para cima. O esquema, que já foi testado, é mostrado a seguir.

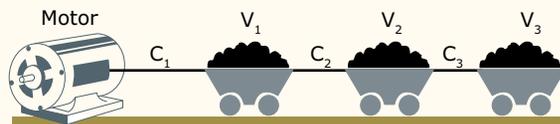


INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br>. Acesso em: 22 jul. 2010 (Adaptação).

A explicação para a necessidade do uso da engrenagem com trava é:

- A) O travamento do motor, para que ele não se solte aleatoriamente.
- B) A seleção da velocidade, controlada pela pressão nos dentes da engrenagem.
- C) O controle do sentido da velocidade tangencial, permitindo, inclusive, uma fácil leitura do seu valor.
- D) A determinação do movimento, devido ao caráter aleatório, cuja tendência é o equilíbrio.
- E) A escolha do ângulo a ser girado, sendo possível, inclusive, medi-lo pelo número de dentes da engrenagem.

**04.** Três vagões de minério,  $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ , são puxados por um motor em um trecho de uma mina, como mostra a figura seguinte. O motor gira sempre no mesmo ritmo, imprimindo uma velocidade constante a todos os vagões.



Os vagões são ligados uns aos outros e ao motor por cabos de aço ( $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ ) de espessura variável. A escolha dos cabos é feita considerando duas variáveis: a segurança (os cabos não podem se romper) e a economia (opção pelo cabo de menor espessura). Para que não ocorram rompimentos dos cabos e que tenhamos um menor custo de operação, os cabos devem apresentar as seguintes características:

- A) Todos os cabos devem ter a mesma espessura, a maior possível.
- B) Todos os cabos devem ter a mesma espessura, a menor possível.
- C) A espessura do cabo  $C_1$  deve ser menor que a do cabo  $C_2$ , e a espessura do  $C_2$  deve ser menor que a do cabo  $C_3$ .
- D) A espessura do cabo  $C_1$  deve ser maior que a do cabo  $C_2$ , e a espessura do  $C_2$  deve ser maior que a do cabo  $C_3$ .
- E) A espessura do cabo  $C_1$  deve ser igual a do cabo  $C_3$  e maior que a do cabo  $C_2$ .

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. B
- 02. A
- 03. C
- 04. D
- 05. B
- 06. A
- 07. D
- 08. B

#### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. D
- 02. B
- 03. A
- 04. D
- 05. B
- 06. B
- 07. E
- 08. A
- 09. D
- 10. D
- 11. C

#### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. B
- 02. B
- 03. D
- 04. D



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

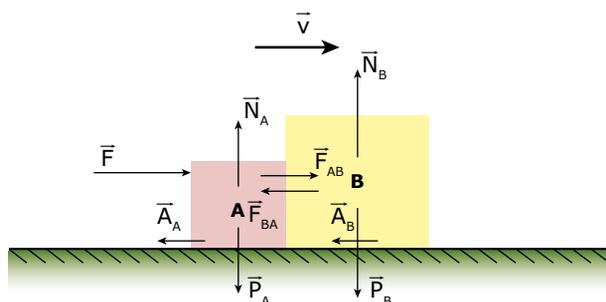
## Aplicações das Leis de Newton

Anteriormente, estudamos os fundamentos das Leis de Newton para o movimento dos corpos. Utilizando essas leis, os homens puderam interpretar e compreender grande parte dos fenômenos da natureza e também desenvolver dispositivos que permitiram ao ser humano visitar e / ou enviar sondas espaciais a outros astros do Sistema Solar. Descobriremos neste módulo algumas das aplicações das Leis de Newton para situações simples, mas nem por isso menos importantes, como os sistemas de blocos, o plano inclinado, a dinâmica do elevador e as forças sobre polias em movimento circular.

### SISTEMAS DE BLOCOS

Quando uma força  $\vec{F}$  atua sobre um sistema de blocos, os blocos que compõem esse sistema ficam sujeitos a deslocamentos iguais em um mesmo intervalo de tempo desde que permaneçam em contato uns com os outros e que não haja deslizamento entre eles. Assim, instante após instante, os blocos estão sujeitos a velocidades e a acelerações de mesmo módulo. Essa é uma condição essencial que deve ser observada na análise de situações desse tipo.

A figura seguinte mostra um sistema de blocos apoiado sobre uma superfície horizontal rugosa e colocado em movimento devido à ação da força  $\vec{F}$  horizontal.



As forças que atuam em cada um dos blocos A e B, respectivamente, são:

- $\vec{P}_A$  e  $\vec{P}_B$  → forças peso, exercidas pela Terra sobre os blocos.
- $\vec{N}_A$  e  $\vec{N}_B$  → forças normais, exercidas pela superfície sobre os blocos.
- $\vec{A}_A$  e  $\vec{A}_B$  → forças de atrito cinético, exercidas pela superfície sobre os blocos.

- $\vec{F}_{BA}$  e  $\vec{F}_{AB}$  → forças internas do sistema; forças que os blocos exercem um sobre o outro e que apresentam módulos iguais.
- $\vec{F}$  → força aplicada sobre o bloco A por um agente externo.

Nessa situação, as forças peso e normal que atuam sobre o bloco A anulam-se mutuamente; o mesmo ocorre com as forças peso e normal que atuam sobre o bloco B. Logo, a resultante das forças que atuam na direção vertical é zero. Temos, então, que a força resultante que atua sobre cada um dos blocos é dada por:

$$F_{R_A} = F - (A_A + F_{BA}) \Rightarrow m_A a = F - A_A - F_{BA}$$

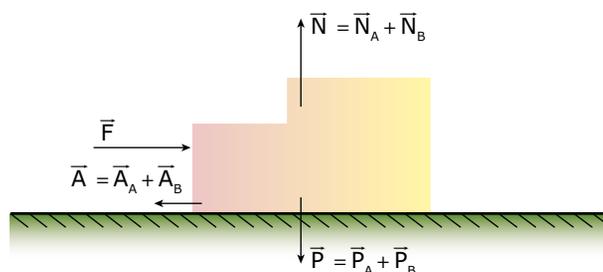
$$F_{R_B} = F_{AB} - A_B \Rightarrow m_B a = F_{AB} - A_B$$

Lembrando que  $F_{AB} = F_{BA}$  e somando as duas equações anteriores, chegamos a uma equação que nos permite determinar a aceleração comum aos dois blocos:

$$m_A a + m_B a = F - A_A - A_B$$

$$(m_A + m_B) a = F - (A_A + A_B)$$

Se considerarmos o sistema dos dois blocos como um bloco único, teremos o seguinte diagrama de forças para a situação:



A partir desse diagrama de forças, temos que a força resultante que atua sobre o sistema é dada por:

$$F_R = F - A_A - A_B$$

$$(m_A + m_B) a = F - (A_A + A_B)$$

Observe que esse resultado é idêntico ao resultado que obtivemos quando realizamos a análise das forças que atuam sobre cada um dos blocos isoladamente.

Na análise de situações desse tipo, devemos considerar três casos:

- Se o módulo da força  $\vec{F}$  for maior que a soma dos módulos das forças de atrito que atuam sobre os blocos A e B, estes estarão em movimento acelerado e com a mesma aceleração.

- Se o módulo da força  $\vec{F}$  for menor que a soma dos módulos das forças de atrito que atuam sobre os blocos A e B, estes estarão em movimento retardado, os dois com a mesma aceleração.
- Se o módulo da força  $\vec{F}$  for igual à soma dos módulos das forças de atrito que atuam sobre os blocos A e B, estes estarão em Movimento Retilíneo Uniforme ou em repouso.

## POLIA

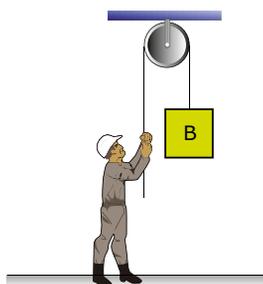
As polias ou roldanas são dispositivos indispensáveis às máquinas, pois permitem reduzir a intensidade das forças necessárias para mover um corpo, permitindo, também, mudar a direção e / ou o sentido dessas forças. As roldanas também são utilizadas, frequentemente, em obras da construção civil.



Há dois tipos básicos de roldanas: as fixas e as móveis.

### Roldanas fixas

Observe a figura a seguir.



Nela, vemos um homem erguendo um bloco por meio de uma roldana fixa. Iremos considerar, nessa situação, que o bloco está sendo erguido com velocidade constante, ou seja, iremos considerar que a força resultante que atua sobre o bloco é nula. Dessa forma, temos que a força peso do bloco deve ser anulada pela força de tensão exercida pela corda. Assim, temos:

$$T - P = 0 \Rightarrow T = P$$

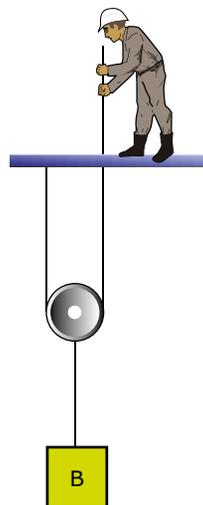
Temos também que, estando o sistema em equilíbrio, a força exercida pelo homem possui a mesma intensidade que a tensão. Logo:

$$F = T \Rightarrow F = P$$

Ou seja, a força que o homem deve exercer para erguer o bloco com velocidade constante, utilizando uma roldana fixa, possui a mesma intensidade que a força peso do bloco. Isso ocorre sempre que uma roldana fixa é utilizada. As roldanas fixas têm a função de mudar a direção e / ou o sentido das forças que devem ser exercidas para realizar certo trabalho. No entanto, elas não alteram a intensidade dessas forças.

### Roldanas móveis

A figura seguinte mostra um bloco sendo erguido por meio de uma roldana móvel. Vamos considerar que o bloco esteja em equilíbrio, ou seja, a força resultante que atua sobre o bloco é zero.



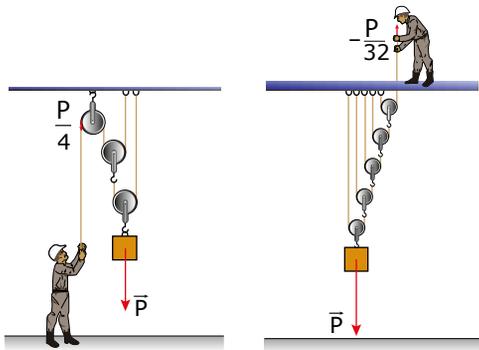
Nessa situação, a força peso do bloco deve ser anulada por uma força de mesma intensidade, mesma direção e sentido oposto. Observe que a roldana móvel é sustentada por uma corda "dobrada", ou seja, a corda exerce uma força de tração  $T$  sobre os dois lados da roldana, o direito e o esquerdo. Assim, temos que o peso do bloco é anulado por uma força  $2T$ . Logo:

$$2T = P \Rightarrow T = P/2$$

Ou seja, a utilização de uma roldana móvel permitiu que o bloco fosse erguido com uma força que possui metade da intensidade da força peso do bloco. Sempre que uma roldana móvel for utilizada para realizar certa tarefa, haverá uma redução na intensidade da força necessária para a sua realização.

A utilização de um sistema de roldanas pode reduzir consideravelmente o módulo da força necessária para elevar um objeto; porém, existe um custo para essa redução de força. Quanto maior for a redução da força, maior será a distância ao longo da qual a força deverá agir. Por exemplo, se o módulo da força aplicada for reduzido à metade, teremos de puxar um comprimento de corda duas vezes maior que a altura de subida do objeto; se o módulo da força for reduzido a um terço, teremos de puxar um comprimento três vezes maior, e assim por diante. Essa relação entre força aplicada e comprimento de corda a ser puxado pode ser mais facilmente entendida se pensarmos em apenas uma roldana móvel, como aquela da figura anterior. Para a pessoa elevar o bloco de uma altura  $h$ , ela deverá puxar um comprimento  $2h$  de corda, porque metade desse valor refere-se à elevação da corda no lado direito da roldana, e a outra metade é devido à parte da corda que se movimentou para baixo, no lado esquerdo da roldana. De uma forma geral, como dissemos, o comprimento de corda puxado aumenta na razão inversa do esforço feito. Por exemplo, na primeira situação da figura a seguir, em que identificamos duas roldanas móveis (a roldana mais à esquerda é fixa), o operário exerce uma força de intensidade igual a  $1/4$  do peso do bloco para sustentar este. Para erguê-lo 1 metro, contudo, ele deverá puxar 4 metros de corda.

E, na outra situação, em que todas as roldanas são móveis, você saberia dizer quantos metros de corda o operário deve puxar para levantar o bloco em 1 metro?



P7TV

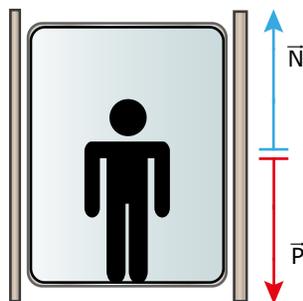
Máquinas simples – Polias

Esse vídeo explica o funcionamento das roldanas e de sistemas com uma roldana fixa e uma móvel e uma fixa e duas móveis. Também mostra os vetores força e a relação entre o deslocamento do corpo e o comprimento de corda necessário para realizar esse deslocamento. Utilize o recurso de pausar a imagem para visualizar, detalhadamente, a distribuição das forças no sistema.

## DINÂMICA NO ELEVADOR

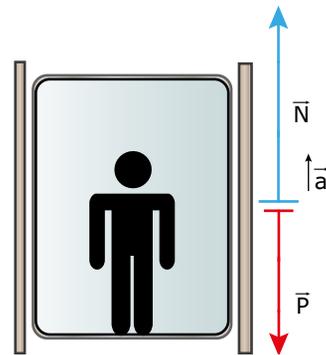
Vimos que o módulo da força peso de um objeto depende exclusivamente da massa do objeto e do local em que esse objeto se encontra em um campo gravitacional ( $P = mg$ ). Na prática, utilizamos aparelhos, como uma balança de banheiro, para medir, de maneira indireta, o módulo do peso dos objetos. Ao subirmos em uma balança, estamos, a rigor, medindo o valor da força de compressão que nosso corpo exerce sobre o piso da balança (força de compressão normal).

Imagine que uma pessoa, de massa  $m$ , entre em um elevador que se encontra inicialmente em repouso. Nesse caso, a resultante das forças que atuam sobre a pessoa é zero ( $F_R = 0$ ), pois ela se encontra em equilíbrio, indicando que o módulo da força normal é igual ao módulo da força peso ( $P = N$ ). O mesmo aconteceria se o elevador estivesse subindo ou descendo com velocidade constante. O corpo ainda estaria em equilíbrio, e as forças peso e normal se anulariam, como mostra a figura seguinte.



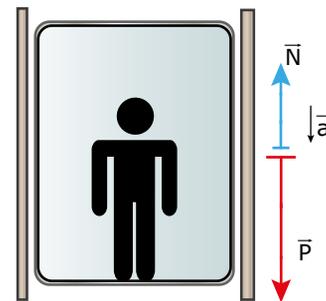
MRU ou repouso  $\Rightarrow F_R = 0 \Rightarrow N = P \Rightarrow a = 0$

Sabemos que, quando estamos dentro de um elevador e ele inicia seu movimento de subida, ou quando está descendo e freia, temos a sensação de que estamos mais “pesados”, isto é, comprimimos o solo com uma força maior que a usual. Nessas duas situações, a resultante das forças que atuam sobre nosso corpo está voltada para cima, pois o módulo da força normal é maior que o módulo da força peso.



Iniciar o movimento de subida ou frear quando desce  $\Rightarrow F_R > 0 \Rightarrow N > P \Rightarrow a > 0$

Agora, quando o elevador inicia o movimento de descida, ou quando ele está subindo e freia, temos a sensação de que estamos mais “leves” que o usual, isto é, comprimimos o solo com uma força de menor intensidade. Nessas duas situações, a resultante das forças que atuam sobre o corpo está para baixo, pois o módulo da força normal é menor que o módulo da força peso.

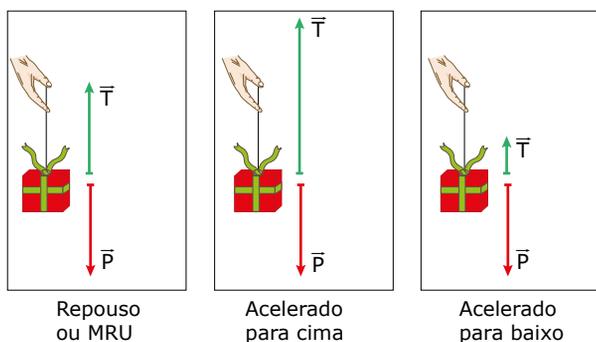


Iniciar o movimento de descida ou frear quando sobe  $\Rightarrow F_R < 0 \Rightarrow N < P \Rightarrow a < 0$

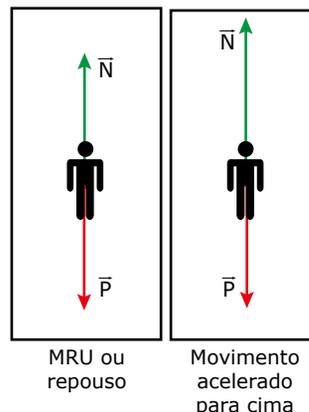
Observe que, na análise dos dois últimos casos, sempre mencionamos a variação no módulo da força normal, aumentando ou diminuindo, pois o módulo da força peso não varia. Ele permanece constante em qualquer situação, desde que os valores da massa do corpo e do campo gravitacional da Terra não variem.

Um caso extremo é aquele no qual o cabo do elevador se rompe e este cai em queda livre. Nessa situação, não há compressão do solo, portanto, não há força normal. Se você subisse em uma balança que se encontra dentro do elevador, nessa situação, ela registraria um valor nulo, pois todos os objetos dentro do elevador cairiam com a mesma aceleração da gravidade  $g$ .

O mesmo raciocínio que apresentamos para a relação entre a força peso e a força normal em um elevador também se aplica na relação entre a força peso e a força de tensão que uma corda exerce sobre um corpo suspenso por ela dentro de um elevador. A figura a seguir mostra casos semelhantes aos discutidos anteriormente, em que o elevador acha-se em equilíbrio ou em movimento acelerado. Observe que, para qualquer situação, o peso do pacote não se altera. A força que muda de valor e que se adapta à situação em questão é a força exercida pelo fio sobre o pacote (e que tem o mesmo módulo da tensão na corda). A seguir, apresentamos um exercício resolvido para exemplificar, quantitativamente, uma análise das forças que atuam sobre corpos no interior de um elevador.



Quando o elevador inicia seu movimento de ascensão, uma força resultante para cima deve atuar sobre o garoto, pois ele também é acelerado para cima. Logo, o módulo da força normal deve ser maior que o módulo da força peso, como mostra o diagrama da direita. Nessa situação, com o módulo da velocidade do elevador aumentando, a balança registra um peso aparente para o garoto maior que o peso real, pois a força normal é maior que a força peso.



Para calcular a aceleração de arranque do elevador, podemos aplicar a 2ª Lei de Newton, de forma que:

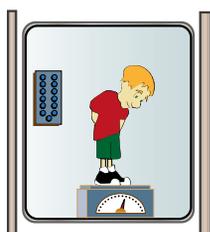
$$F_r = ma \Rightarrow N - P = ma$$

No arranque do elevador,  $N = 650 \text{ N}$ . O peso do garoto é  $P = 600 \text{ N}$ , e a sua massa, portanto, vale  $m = 60 \text{ kg}$  (admitindo  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ). Substituindo esses dados na equação anterior, obtemos:

$$650 - 600 = 60a \Rightarrow a = 0,83 \text{ m/s}^2$$

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 01.** Um garoto entra em um elevador que se encontra em repouso no andar térreo de um edifício. Dentro do elevador, há uma balança que registra um valor de 600 N para o peso do garoto. Ao acionar o botão para se deslocar para o 5º andar, ele nota que a marcação da balança aumentou para 650 N e, posteriormente, voltou aos 600 N. Explique por que os valores registrados pela balança para o peso do garoto apresentaram tal variação. Calcule a aceleração de arranque do elevador.



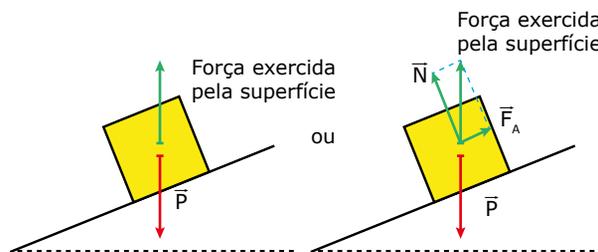
### Resolução:

O esquema a seguir representa as forças que atuam no garoto antes e durante o momento em que o elevador inicia sua ascensão. Lembre-se de que o diagrama de forças do garoto, na situação em que ele se encontra em MRU, é idêntico ao diagrama de forças do garoto quando este se encontra em repouso. Nessas situações, a força resultante sobre o garoto é nula; logo, a força normal e a força peso possuem a mesma intensidade. Dessa forma, a balança marca o peso real do menino.

## PLANO INCLINADO

Um dos sistemas mais simples utilizados para elevar objetos é o plano inclinado. A vantagem em sua utilização, para elevar um objeto até uma altura  $h$ , consiste no fato de realizarmos uma força menor do que a que é necessária para elevar esse objeto, até a altura  $h$ , diretamente na vertical.

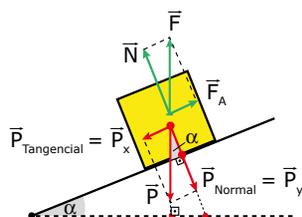
Consideremos um bloco em repouso, em um plano inclinado com atrito. Sabe-se que a resultante das forças que atuam sobre o bloco deve ser nula. Logo, deve haver uma força vertical para cima atuando sobre o bloco, de modo a anular-se com a força peso, vertical e para baixo.



A força que a superfície exerce sobre o bloco pode ser decomposta em duas componentes perpendiculares, a força normal e a força de atrito.

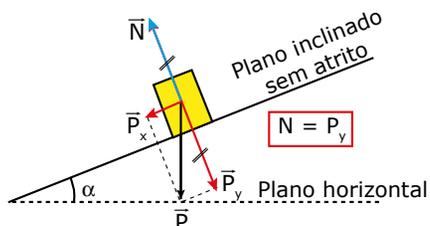
De modo semelhante, a força peso que atua sobre o bloco pode ser decomposta em duas componentes perpendiculares: uma paralela à superfície ( $P_x$ ) e outra perpendicular a esta ( $P_y$ ). Os valores dessas componentes podem ser calculados utilizando-se relações trigonométricas. Considerando a condição de equilíbrio do bloco, podemos deduzir que:

$$P_x = F_A \text{ e } P_y = N$$



Nessa figura, observe que o ângulo entre o plano inclinado e o solo e o ângulo entre  $\vec{P}$  e  $\vec{P}_y$  são formados por lados perpendiculares entre si. Por isso, esses ângulos são congruentes. Assim, os módulos de  $P_x$  e de  $P_y$  podem ser calculados por meio das relações  $P_x = P \cdot \text{sen } \alpha$  e  $P_y = P \cdot \text{cos } \alpha$ .

Uma situação interessante é aquela na qual um objeto desce ou sobe um plano inclinado sem atrito, como mostra a figura a seguir.



Ao decompor as forças que atuam sobre o bloco, percebemos que a componente ( $P_x$ ) é a força resultante que atua sobre ele, ou seja, é a força responsável pela aceleração do bloco. O módulo dessa aceleração pode ser facilmente determinado. Veja:

Direção Y:  $P_y = N \Rightarrow$  equilíbrio ( $F_R = 0$ )

Direção X:  $F_R = P_x \Rightarrow$  movimento acelerado

Desenvolvendo a igualdade  $F_R = P_x$ , teremos:

$$P_x = ma \Rightarrow P \cdot \text{sen } \alpha = ma \Rightarrow mg \cdot \text{sen } \alpha = ma \Rightarrow$$

$$a = g \cdot \text{sen } \alpha \text{ (plano inclinado sem atrito)}$$

Observe que a equação anterior é uma relação geral para o plano inclinado sem atrito. Ela permite calcular a aceleração que atua sobre um objeto quando o ângulo do plano inclinado varia de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . Para esses valores, encontramos os seguintes resultados:

$$\alpha = 0^\circ \Rightarrow a = g \cdot \text{sen } 0^\circ = g \cdot 0 = 0 \text{ (repouso ou MRU)}$$

$$\alpha = 90^\circ \Rightarrow a = g \cdot \text{sen } 90^\circ = g \cdot 1 = g \text{ (queda livre)}$$

Observe que o valor da aceleração que atua sobre o objeto não depende do valor de sua massa.



**Corte certo**

Nesse divertido jogo é possível trabalhar com as componentes ortogonais de um vetor, controlando a inclinação do vetor força aplicado em um cortador de grama, a fim de variar sua velocidade e a altura do corte. Perceba que a inclinação do vetor  $F$  ocasiona a variação de suas componentes  $F_x$  e  $F_y$ , aumentando ou diminuindo sua intensidade de acordo com o ângulo escolhido.

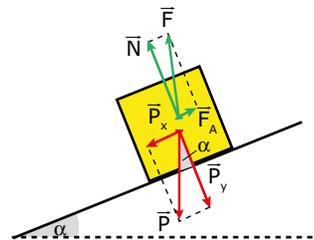


## EXERCÍCIO RESOLVIDO

**02.** Um bloco de massa  $m$  é solto em um plano inclinado, cuja superfície apresenta atrito. Sabe-se que o movimento apresentado pelo bloco é acelerado. Determine uma expressão que nos permita calcular o módulo da aceleração do bloco, em função de  $\alpha$ ,  $\mu$  e  $g$  ( $\alpha$  é o ângulo entre o plano inclinado e a horizontal, e  $\mu$  é o coeficiente de atrito cinético).

**Resolução:**

A situação pode ser representada pela figura seguinte.



Como o movimento é acelerado na direção do plano inclinado, podemos escrever que:

$$F_R = ma \Rightarrow P_x - F_A = ma$$

Sabemos que  $P_x = P \cdot \text{sen } \alpha$  e  $F_A = \mu N$ . Sabemos também que  $N = P_y = P \cdot \text{cos } \alpha$ .

Realizando as substituições, temos:

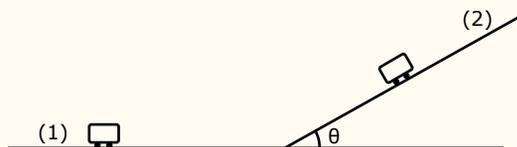
$$\begin{aligned} P_x - F_A &= ma \\ P \cdot \text{sen } \alpha - \mu N &= ma \\ mg \cdot \text{sen } \alpha - \mu P_y &= ma \\ mg \cdot \text{sen } \alpha - \mu P \cdot \text{cos } \alpha &= ma \\ mg \cdot \text{sen } \alpha - \mu mg \cdot \text{cos } \alpha &= ma \\ g \cdot \text{sen } \alpha - \mu g \cdot \text{cos } \alpha &= a \\ a &= g(\text{sen } \alpha - \mu \text{cos } \alpha) \end{aligned}$$

**Comentário:** Se o bloco for lançado de baixo para cima, o seu movimento será retardado. Nesse caso, a força de atrito  $\vec{F}_A$  e a componente  $\vec{P}_x$  do peso do bloco estarão no mesmo sentido. Por isso, seus efeitos se somarão, de forma que a desaceleração de frenagem é maior do que a aceleração de descida. Faça você mesmo os cálculos e verifique que, nesse caso, a desaceleração é dada por  $a = g(\text{sen } \alpha + \mu \text{cos } \alpha)$ . Observe ainda que, fazendo  $\mu = 0$  nessa equação ou na expressão da aceleração de descida, obtemos a expressão  $a = g \cdot \text{sen } \alpha$ , que, conforme vimos, fornece a aceleração em um plano inclinado liso.

# EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (Mackenzie-SP-2017)



Um automóvel movimenta-se por uma pista plana horizontal e a seguir por uma pista plana em acive formando um ângulo  $\theta$  em relação à horizontal, como mostra a figura. Na situação (1), a força de reação normal da pista sobre o automóvel é  $\vec{N}_H$  e, na situação (2), a força de reação normal da pista sobre o automóvel é  $\vec{N}_I$ . Considerando que  $0 < \theta < 90^\circ$  pode-se afirmar que:

- A)  $|\vec{N}_H| < |\vec{N}_I|$       C)  $|\vec{N}_H| = |\vec{N}_I|$       E)  $|\vec{N}_H| \leq |\vec{N}_I|$   
 B)  $|\vec{N}_H| > |\vec{N}_I|$       D)  $|\vec{N}_H| \geq |\vec{N}_I|$

02. (UECE) Duas forças atuam sobre um disco de massa  $m$ , que inicialmente repousa com uma face sobre uma mesa horizontal e pode deslizar sem atrito. Considere que as forças sejam paralelas ao plano da mesa, tenham módulos iguais e direções diferentes, e que sejam aplicadas no centro do disco. Nessas circunstâncias, é correto afirmar que o vetor aceleração do disco

- A) tem módulo diferente de zero.  
 B) tem módulo igual a zero.  
 C) tem direção perpendicular ao plano do disco e sentido para cima.  
 D) tem direção perpendicular ao plano do disco e sentido para baixo.

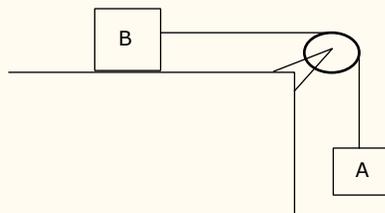
03. (UFLA-MG) Um estudante com massa de 70 kg, a fim de verificar as leis da Física, sobe em uma balança dentro de um elevador. O elevador entra em movimento, e a balança passa a indicar o valor de 60 kg. O estudante conclui que o elevador está

- A) descendo com velocidade constante.  
 B) subindo e aumentando sua velocidade.  
 C) descendo e aumentando sua velocidade.  
 D) subindo com velocidade constante.

04. (UFV-MG) Um atleta de massa  $m$  sobe uma corda leve vertical com seus próprios braços. A aceleração do atleta é constante e vale  $a$ . Se  $g$  é a aceleração da gravidade, a tensão na corda vale

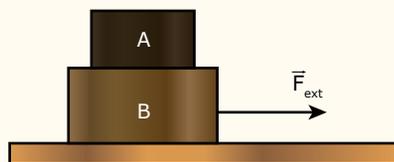
- A)  $m(g - a)$ .      C)  $ma$ .  
 B)  $mg$ .      D)  $m(g + a)$ .

05. (FASEH-MG-2020) Dois corpos, A e B, de massas diferentes  $m_A = 3 m_B$  são unidos por um fio de massa desprezível e inextensível que passa por uma roldana ideal. O corpo B se encontra apoiado sobre uma superfície de coeficiente de atrito 0,5. De acordo com o esquema, é possível afirmar que a aceleração do sistema vale: (Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .)



- A) 5,25      C) 7,25  
 B) 6,25      D) 7,50

06. (UFV-MG) Sabe-se, pela 2ª Lei de Newton, que, quando sujeito a uma resultante de forças externas, um sistema tem um movimento dotado de aceleração. Assim sendo, considere a situação ilustrada a seguir, na qual um sistema constituído de dois blocos, A e B, move-se sem que um bloco deslize em relação ao outro.



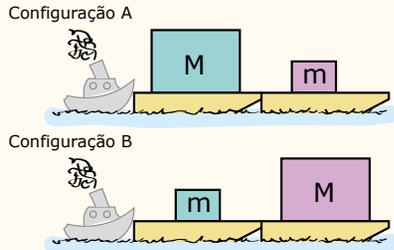
O bloco B está apoiado no bloco A que, por sua vez, é puxado sobre uma mesa horizontal por uma força externa  $\vec{F}_{ext}$ . Não há atrito entre o bloco A e a mesa.

Em relação a essa situação, é correto afirmar:

- A) O bloco B tem aceleração em relação à mesa, pois sobre ele atua uma força resultante, decorrente do atrito entre ele e o bloco A.  
 B) O bloco B tem velocidade constante em relação à mesa, pois sobre ele atua uma força resultante, decorrente do atrito entre ele e o bloco A.  
 C) O bloco A tem velocidade constante em relação à mesa, pois a força resultante de atrito entre ele e o bloco B anula a força externa  $\vec{F}_{ext}$ .  
 D) O bloco A tem aceleração em relação à mesa, pois sobre ele atua uma força resultante cujo módulo é o mesmo da força externa  $\vec{F}_{ext}$ .

07. (UFPA) Na Amazônia, devido ao seu enorme potencial hídrico, o transporte de grandes cargas é realizado por balsas que são empurradas por rebocadores potentes. Suponha que se quer transportar duas balsas carregadas, uma maior de massa  $M$  e outra menor de massa  $m$  ( $m < M$ ), que devem ser empurradas juntas por um mesmo rebocador, e considere a figura a seguir, que mostra duas configurações (A e B) possíveis para este transporte.

Na configuração A, o rebocador exerce sobre a balsa uma força de intensidade  $F_A$ , e a intensidade das forças exercidas mutuamente entre as balsas é  $f_A$ . Analogamente, na configuração B, o rebocador exerce sobre a balsa uma força de intensidade  $F_B$ , e a intensidade das forças exercidas mutuamente entre as balsas é  $f_B$ .



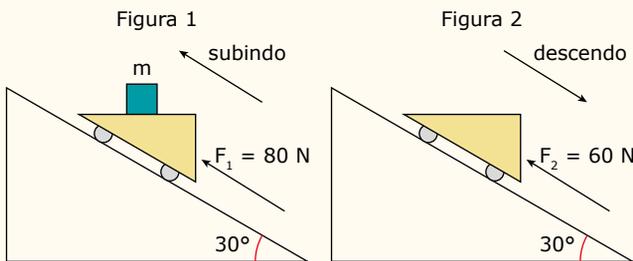
Considerando uma aceleração constante impressa pelo rebocador e desconsiderando quaisquer outras forças, é correto afirmar que:

- A)  $F_A = F_B$  e  $f_A = f_B$
- B)  $F_A > F_B$  e  $f_A = f_B$
- C)  $F_A < F_B$  e  $f_A > f_B$
- D)  $F_A = F_B$  e  $f_A < f_B$
- E)  $F_A = F_B$  e  $f_A > f_B$

08. PLX8



(UFTM-MG) A figura 1 mostra um carrinho transportando um corpo de massa  $m$  por um plano sem atrito, inclinado em  $30^\circ$  com a horizontal. Ele é empurrado para cima, em linha reta e com velocidade constante, por uma força constante de intensidade  $F_1 = 80$  N. A figura 2 mostra o mesmo carrinho, já sem o corpo de massa  $m$ , descendo em linha reta, e mantido com velocidade constante por uma força também constante de intensidade  $F_2 = 60$  N.



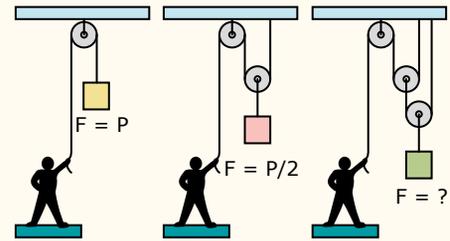
Adotando  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>, pode-se afirmar que a massa  $m$  vale, em kg,

- A) 2.
- B) 4.
- C) 6.
- D) 8.
- E) 10.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



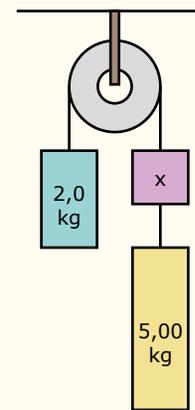
01. (UFV-MG) As três figuras a seguir apresentam um mesmo bloco de peso de módulo  $P$  suspenso por roldana(s). As roldanas e as cordas ilustradas têm massas desprezíveis, e o equilíbrio estático é mantido, em cada caso, por um homem que exerce uma força de módulo  $F$  na extremidade livre da corda.



Com base nas observações das duas primeiras situações de equilíbrio, é correto afirmar que, na terceira situação, o módulo da força  $F$  exercida pelo homem é

- A)  $P$ .
- B)  $P/2$ .
- C)  $P/3$ .
- D)  $P/4$ .

02. (CEFET-MG) Dispondo-se de uma régua milimetrada, uma roldana fixa e de um cronômetro, um estudante realizou o seguinte experimento para determinar o valor de uma massa desconhecida, conforme mostrado a seguir.



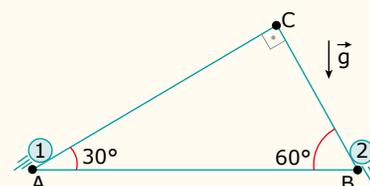
Nessa montagem, o estudante liberou os corpos, mediu a distância percorrida pela massa de 5,00 kg e o correspondente intervalo de tempo, calculou a aceleração e encontrou 5,00 m/s<sup>2</sup>. A partir desses resultados, e desprezando os atritos e a massa da roldana, o valor da massa  $x$  encontrado, em kg, foi igual a

- A) 0,50.
- B) 1,00.
- C) 1,50.
- D) 2,00.
- E) 2,50.

03. 1605



(AFA-SP-2020) Em um local onde a aceleração da gravidade é  $g$ , as partículas idênticas, 1 e 2, são lançadas simultaneamente, e sobem sem atrito ao longo dos planos inclinados AC e BC, respectivamente, conforme figura a seguir.



A partícula 2 é lançada do ponto B com velocidade  $v_0$  e gasta um tempo  $t$  para chegar ao ponto C. Considerando que as partículas 1 e 2 colidem no vértice C, então a velocidade de lançamento da partícula 1 vale:

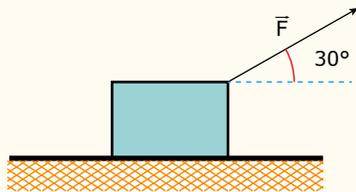
- A)  $\sqrt{3} \cdot v_0 - 5t$                       C)  $2v_0 + t$   
 B)  $\sqrt{3} \cdot v_0 - t$                       D)  $v_0 + 5t$

04. JT15



(PUC Rio) Um bloco de massa 10 kg se move com velocidade constante sobre uma superfície horizontal pela ação de uma força  $F$  de módulo 40 N, que faz um ângulo de  $30^\circ$  com a horizontal, como mostrado na figura. Qual é o valor do coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a superfície?

Dado:  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .



- A)  $2\sqrt{3}/3$                       C) 0,4                      E)  $\sqrt{3}/2$   
 B)  $\sqrt{3}/5$                       D)  $\sqrt{3}/4$

05.

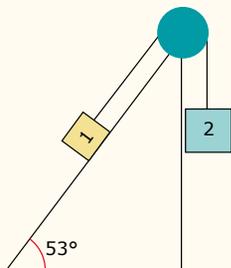
(IFCE) Há dois momentos no salto de paraquedas em que a velocidade do paraquedista torna-se constante: quando atinge velocidade máxima, que é de aproximadamente 200 km/h, e no momento do pouso. Com base nas Leis da Física, a força de arrasto do ar

A) é maior quando o paraquedista encontra-se em velocidade de pouso.  
 B) é a mesma, seja na velocidade máxima ou no momento do pouso.  
 C) é maior quando o paraquedista encontra-se em velocidade máxima.  
 D) é zero nesses dois momentos.  
 E) depende da posição do corpo do paraquedista nesses dois momentos.

06. A6YS



(CEFET-MG) A figura mostra os blocos 1 e 2, com massas iguais a 8,0 kg e 10 kg, respectivamente, ligados por um cordel em um plano inclinado. Desprezando-se as massas da polia e do cordel, assim como os atritos, a aceleração dos blocos, em  $\text{m/s}^2$ , é igual a



- Dados:  $\text{sen } 53^\circ = 0,8$  e  $\text{cos } 53^\circ = 0,6$ .
- A) 1,0.                      C) 3,0.                      E) 5,0.  
 B) 2,0.                      D) 4,0.

07. 1CG5



(CEFET-MG) Um estudante, desejando medir o coeficiente de atrito estático entre um plano inclinado e um bloco feitos do mesmo material, executa os seguintes procedimentos:

- Coloca o bloco sobre o plano horizontal;
- Inclina, lentamente, o plano.

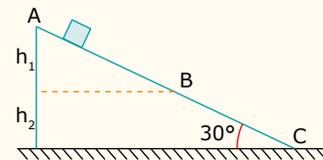
Ao perceber que o bloco começa a escorregar, quando o plano forma um ângulo  $\theta$  com a horizontal, o estudante deduz que o coeficiente de atrito estático é expresso corretamente por

- A)  $\text{cossec } \theta$ .                      C)  $\text{sen } \theta$ .                      E)  $\text{tg } \theta$ .  
 B)  $\text{cos } \theta$ .                      D)  $\text{sec } \theta$ .

08. OXMN



(EPCAR-MG-2017) Um bloco escorrega, livre de resistência do ar, sobre um plano indicado de  $30^\circ$ , conforme a figura (sem escala) a seguir.



No trecho AB não existe atrito e no trecho BC o coeficiente de atrito vale  $\mu = \frac{\sqrt{3}}{2}$ .

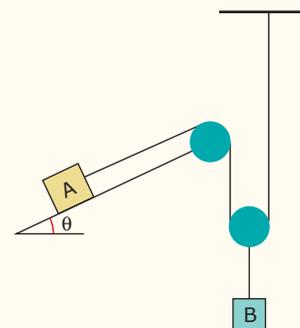
O bloco é abandonado, do repouso em relação ao plano inclinado, no ponto A e chega ao ponto C com velocidade nula. A altura do ponto A, em relação ao ponto B, é  $h_1$ , e a altura do ponto B, em relação ao ponto C, é  $h_2$ . A razão  $\frac{h_1}{h_2}$  vale

- A)  $\frac{1}{2}$ .                      B)  $\frac{\sqrt{3}}{2}$ .                      C)  $\sqrt{3}$ .                      D) 2.

09. EUT3

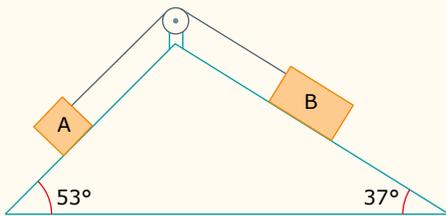


(Mackenzie-SP) Na figura esquematizada a seguir, os corpos A e B encontram-se em equilíbrio. O coeficiente de atrito estático entre o corpo A e o plano inclinado vale  $\mu = 0,500$  e o peso do corpo B é  $P_B = 200 \text{ N}$ . Considere os fios e as polias ideais e o fio que liga o corpo A é paralelo ao plano inclinado. Sendo  $\text{sen } \theta = 0,600$  e  $\text{cos } \theta = 0,800$ , o peso máximo que o corpo A pode assumir é



- A) 100 N.                      D) 500 N.  
 B) 300 N.                      E) 600 N.  
 C) 400 N.

10. (UEFS-BA)



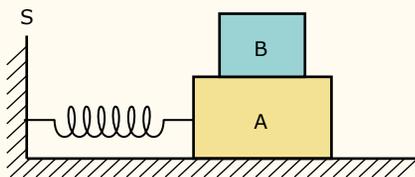
Dois blocos, A e B, de massas, respectivamente, iguais a 10,0 kg e 30,0 kg, são unidos por meio de um fio ideal, que passa por uma polia, sem atrito, conforme a figura. Considerando-se o módulo da aceleração da gravidade local igual a 10,0 m/s<sup>2</sup>, o coeficiente de atrito cinético entre os blocos e as superfícies de apoio igual a 0,2,  $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6$  e  $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$ , é correto afirmar que o módulo da tração no fio que liga os dois blocos, em kN, é igual a

- A) 0,094.                      C) 0,098.                      E) 0,104.
- B) 0,096.                      D) 0,102.

11. (EPCAR-MG) Na situação da figura a seguir, os blocos A e B têm massas  $m_A = 3,0$  kg e  $m_B = 1,0$  kg.



O atrito entre o bloco A e o plano horizontal de apoio é desprezível, e o coeficiente de atrito estático entre B e A vale  $\mu_e = 0,4$ . O bloco A está preso numa mola ideal, inicialmente não deformada, de constante elástica  $K = 160$  N/m que, por sua vez, está presa ao suporte S.



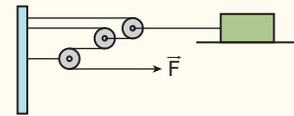
O conjunto formado pelos dois blocos pode ser movimentado produzindo uma deformação na mola e, quando solto, a mola produzirá certa aceleração nesse conjunto. Desconsiderando a resistência do ar, para que B não escorregue sobre A, a deformação máxima que a mola pode experimentar, em cm, vale:

- A) 3,0                                      C) 10
- B) 4,0                                      D) 16

## SEÇÃO ENEM

01. (Enem) Uma invenção que significou um grande avanço tecnológico na Antiguidade, a polia composta ou a associação de polias, é atribuída a Arquimedes (287 a.C. a 212 a.C.). O aparato consiste em associar uma série de polias móveis a uma polia fixa. A figura exemplifica um arranjo possível para esse aparato.

É relatado que Arquimedes teria demonstrado para o rei Hierão um outro arranjo desse aparato, movendo sozinho, sobre a areia da praia, um navio repleto de passageiros e cargas, algo que seria impossível sem a participação de muitos homens. Suponha que a massa do navio era de 3 000 kg, que o coeficiente de atrito estático entre o navio e a areia era de 0,8 e que Arquimedes tenha puxado o navio com uma força  $\vec{F}$ , paralela à direção do movimento e de módulo igual a 400 N. Considere os fios e as polias ideais, a aceleração da gravidade igual a 10 m/s<sup>2</sup> e que a superfície da praia é perfeitamente horizontal.



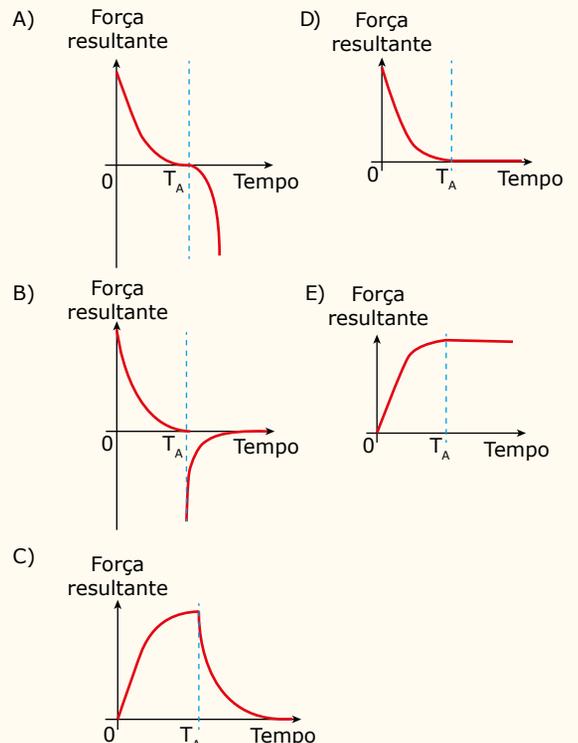
Disponível em: [www.histedbr.fae.unicamp.br](http://www.histedbr.fae.unicamp.br). Acesso em: 28 fev. 2013 (Adaptação).

O número mínimo de polias móveis usadas, nessa situação, por Arquimedes foi

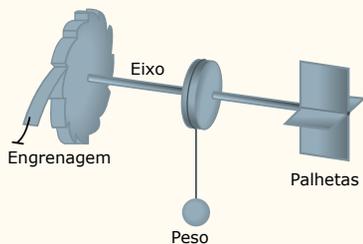
- A) 3.                                      C) 7.                                      E) 10.
- B) 6.                                      D) 8.

02. (Enem) Em um dia sem vento, ao saltar de um avião, um paraquedista cai verticalmente até atingir a velocidade limite. No instante em que o paraquedas é aberto (instante  $T_A$ ), ocorre a diminuição de sua velocidade de queda. Algum tempo após a abertura do paraquedas, ele passa a ter velocidade de queda constante, que possibilita sua aterrissagem em segurança.

Que gráfico representa a força resultante sobre o paraquedista durante o seu movimento de queda?



**03.** (Enem) Partículas suspensas em um fluido apresentam contínua movimentação aleatória, chamada movimento browniano, causado pelos choques das partículas que compõem o fluido. A ideia de um inventor era construir uma série de palhetas, montadas sobre um eixo, que seriam postas em movimento pela agitação das partículas ao seu redor. Como o movimento ocorreria igualmente em ambos os sentidos de rotação, o cientista concebeu um segundo elemento, um dente de engrenagem assimétrico. Assim, em escala muito pequena, este tipo de motor poderia executar trabalho, por exemplo, puxando um pequeno peso para cima. O esquema, que já foi testado, é mostrado a seguir.

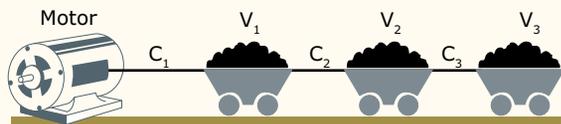


INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br>. Acesso em: 22 jul. 2010 (Adaptação).

A explicação para a necessidade do uso da engrenagem com trava é:

- A) O travamento do motor, para que ele não se solte aleatoriamente.
- B) A seleção da velocidade, controlada pela pressão nos dentes da engrenagem.
- C) O controle do sentido da velocidade tangencial, permitindo, inclusive, uma fácil leitura do seu valor.
- D) A determinação do movimento, devido ao caráter aleatório, cuja tendência é o equilíbrio.
- E) A escolha do ângulo a ser girado, sendo possível, inclusive, medi-lo pelo número de dentes da engrenagem.

**04.** Três vagões de minério,  $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ , são puxados por um motor em um trecho de uma mina, como mostra a figura seguinte. O motor gira sempre no mesmo ritmo, imprimindo uma velocidade constante a todos os vagões.



Os vagões são ligados uns aos outros e ao motor por cabos de aço ( $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ ) de espessura variável. A escolha dos cabos é feita considerando duas variáveis: a segurança (os cabos não podem se romper) e a economia (opção pelo cabo de menor espessura). Para que não ocorram rompimentos dos cabos e que tenhamos um menor custo de operação, os cabos devem apresentar as seguintes características:

- A) Todos os cabos devem ter a mesma espessura, a maior possível.
- B) Todos os cabos devem ter a mesma espessura, a menor possível.
- C) A espessura do cabo  $C_1$  deve ser menor que a do cabo  $C_2$ , e a espessura do  $C_2$  deve ser menor que a do cabo  $C_3$ .
- D) A espessura do cabo  $C_1$  deve ser maior que a do cabo  $C_2$ , e a espessura do  $C_2$  deve ser maior que a do cabo  $C_3$ .
- E) A espessura do cabo  $C_1$  deve ser igual a do cabo  $C_3$  e maior que a do cabo  $C_2$ .

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. B       04. D       07. D
- 02. A       05. B       08. B
- 03. C       06. A

#### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. D       05. B       09. D
- 02. B       06. B       10. D
- 03. A       07. E       11. C
- 04. D       08. A

#### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. B       03. D
- 02. B       04. D



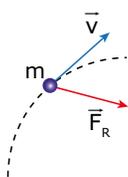
Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## Dinâmica do Movimento Circular

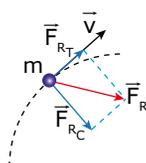
O estudo das aplicações das Leis de Newton nos conduz a situações em que os objetos descrevem trajetórias curvilíneas. No entanto, quando estudamos as aplicações das Leis de Newton, não analisamos as situações em que tais movimentos ocorrem, como a de satélites orbitando planetas, de um carro efetuando uma curva, de um pêndulo oscilando e de outras mais. Neste módulo, analisaremos tais situações e aprenderemos um importante conceito, o de força resultante centrípeta. Veremos que, em algumas situações, as Leis de Newton parecem não funcionar, situações essas em que os movimentos são analisados com base em referenciais não inerciais.

### FORÇA RESULTANTE

Discutimos, em módulos anteriores, que o agente responsável pela mudança no vetor velocidade é a força, seja ela de qualquer natureza: peso, tensão, força normal, força de atrito, força elétrica, etc. Considere a figura a seguir, na qual uma partícula de massa  $m$  descreve uma trajetória curvilínea com velocidade  $\vec{v}$ , sujeita a uma força resultante  $\vec{F}_R$ .



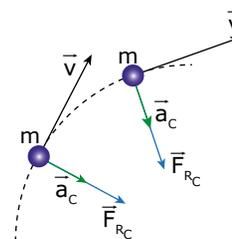
A força resultante  $\vec{F}_R$  pode ser decomposta em duas componentes ortogonais, uma na direção paralela à velocidade, força resultante tangencial ( $\vec{F}_{Rt}$ ), e a outra na direção perpendicular à velocidade, força resultante centrípeta ( $\vec{F}_{Rc}$ ).



Como já sabemos, a componente tangencial da força resultante altera o módulo do vetor velocidade, isto é, caso a força  $\vec{F}_{Rt}$  esteja no mesmo sentido do vetor velocidade, o módulo deste aumenta, e, caso apresente o sentido oposto ao do vetor velocidade, o módulo desse vetor diminui. A seguir, estudaremos com mais detalhes a componente centrípeta da força resultante.

### Força resultante centrípeta

A figura a seguir mostra uma partícula de massa  $m$  descrevendo uma curva de raio  $R$  com velocidade  $\vec{v}$ .



Como podemos observar, o vetor  $\vec{v}$  muda de direção ao longo do movimento da partícula. O ritmo no qual essa mudança ocorre é medido pelo vetor aceleração; no caso analisado, o vetor aceleração centrípeta.

Utilizando a 2ª Lei de Newton para a situação descrita, temos que:

$$\vec{F}_R = m\vec{a} \text{ (expressão geral da 2ª Lei)}$$

$$\vec{F}_{Rc} = m\vec{a}_c \text{ (expressão particular da 2ª Lei)}$$

Sabemos que o módulo da aceleração centrípeta é dado por  $a_c = v^2/R$ , em que  $v$  é o módulo da velocidade da partícula, e  $R$  é o raio da curva descrita pela partícula. Utilizando esse resultado na expressão da 2ª Lei de Newton, temos:

$$F_{Rc} = m \cdot a_c \Rightarrow F_{Rc} = m \frac{v^2}{R}$$

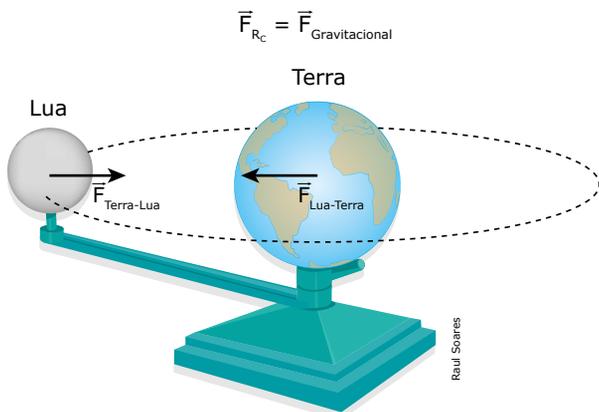
OBSERVAÇÕES

1. A expressão anterior nos mostra que  $F_{Rc}$  é inversamente proporcional ao valor do raio R da curva, quando m e v forem constantes. Isso significa que, quando uma curva apresentar raio pequeno, o valor da força resultante centrípeta deve ser grande. Caso o valor de R seja reduzido três vezes, e m e v permaneçam constantes, o valor de  $F_{Rc}$  deve aumentar três vezes.
2. O módulo da  $\vec{F}_{Rc}$  é proporcional ao quadrado do módulo da velocidade do corpo, quando o raio de curvatura R e a massa m do corpo forem constantes. Isso significa que, se a força resultante centrípeta que atua sobre um corpo que descreve uma curva de raio R com velocidade v for  $F_{Rc}$ , então, para manter o corpo na curva, quando este possui uma velocidade 2v, será necessária uma força de módulo igual a  $4F_{Rc}$ .
3. A força resultante centrípeta ( $\vec{F}_{Rc}$ ) é uma resultante de forças; portanto, não convém abordar alguns aspectos comuns às forças no sentido convencional. Não existe par de ação e reação para resultantes de forças, mas sim para cada força em separado.
4. Os vetores  $\vec{v}$  e  $\vec{F}_{Rc}$  são perpendiculares, pois a força resultante centrípeta altera a direção do vetor velocidade, mas não o módulo deste.

ANÁLISE DE SITUAÇÕES

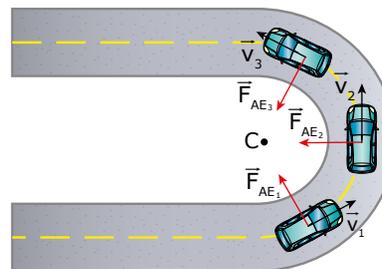
Sistema Terra-Lua

O sistema Terra-Lua é representado na figura a seguir. Para um observador na Terra, a Lua gira ao redor do nosso planeta, descrevendo, com boa aproximação, um movimento circular uniforme. Lembre-se de que o módulo da força de atração da Terra sobre a Lua é igual ao módulo da força de atração da Lua sobre a Terra, pois essas forças formam um par de ação e reação. Observe que a força resultante centrípeta que atua sobre a Lua é a força de atração gravitacional exercida pela Terra. É essa força que "obriga" a Lua a mudar continuamente a direção de seu vetor velocidade, cujo módulo permanece praticamente constante.



Carro em uma curva

Quando um carro realiza uma curva, surge entre os pneus e a pista uma força de atrito estático, na direção radial e dirigida para dentro dessa curva. É essa força de atrito estático que obriga o carro a descrever a curva, alterando a direção e o sentido de sua velocidade.

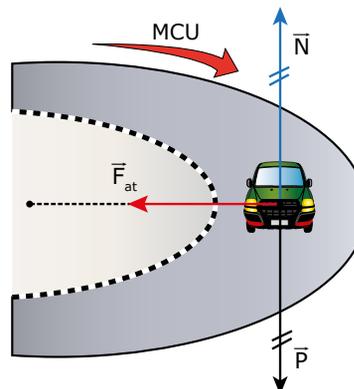


$$\vec{F}_{Rc} = \vec{F}_{at}$$

À medida que o módulo da velocidade do carro aumenta, o módulo da força de atrito estático também aumenta até atingir um valor limite. Desse instante em diante, o carro derrapa, e o motorista pode perder o controle do automóvel. Por essa razão, um motorista não pode aumentar indefinidamente o valor da velocidade com que o carro realiza a curva.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Sabemos que um carro, ao realizar uma curva em alta velocidade, pode derrapar e causar um acidente. Quando ocorre derrapagem, existe um movimento lateral do pneu na pista, indicando que a força de atrito estático máximo entre o pneu e o piso não é suficiente para manter o carro na curva. Considere um carro em uma pista circular de raio R, contida em um plano horizontal. O coeficiente de atrito estático entre os pneus e o asfalto tem valor igual a  $\mu$ . Despreze os efeitos da resistência do ar e considere o valor da aceleração devido à gravidade igual a g.



Determinar o módulo da velocidade máxima com que o carro pode efetuar a curva sem que ocorra a derrapagem.

Resolução:

Na direção vertical, as forças que atuam sobre o carro são a força peso  $\vec{P}$  e a força de reação normal  $\vec{N}$ . Essas forças se equilibram; logo,  $P = N$ .

Para que o carro possa descrever a curva, é necessário que atue sobre ele uma força resultante centrípeta. Nessa situação, a força que exerce a função de força resultante centrípeta é a força de atrito. Como queremos determinar o módulo da velocidade máxima que o carro pode desenvolver nessa curva, temos de calcular o módulo da força de atrito estático máximo que atua sobre o veículo. Logo:

$$F_{Rc} = F_{AEmax} \Rightarrow \frac{mv^2}{R} = \mu N \Rightarrow \frac{mv^2}{R} = \mu mg \Rightarrow$$

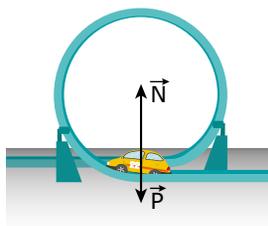
$$v^2 = \mu gR \Rightarrow v = \sqrt{\mu gR}$$

Observe que o módulo da velocidade máxima com que o carro pode realizar a curva não depende da massa do carro, e sim do raio da curva, do coeficiente de atrito entre o pneu e a pista e da aceleração da gravidade.

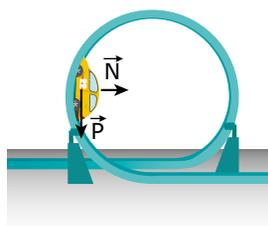
### Carrinho efetuando um loop

Os emocionantes passeios em uma montanha-russa muito devem à força centrípeta. O mesmo ocorre nos circos, com o popular número do Globo da Morte. Essa apresentação consiste em um determinado número de motocicletas – usualmente duas – movendo-se dentro de um globo de metal com cerca de 4 m de raio. As motos movem-se em círculos, efetuando voltas de 360° e ficando de “ponta a cabeça”. Alguns brinquedos reproduzem essa situação ao realizarem trajetórias em *loop*, como as representadas a seguir. Para que o carrinho possa fazer o *loop*, é necessário que ele possua uma velocidade mínima determinada.

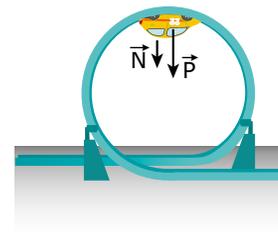
Nas figuras a seguir, representamos as forças peso  $\vec{P}$  e normal  $\vec{N}$  que atuam sobre o carrinho, em 4 pontos distintos de sua trajetória, A, B, C e D. Despreze as forças de atrito nessa situação. Observe que há sempre uma força resultante centrípeta atuando sobre o carrinho, embora cada situação possa ter uma representação diferente.



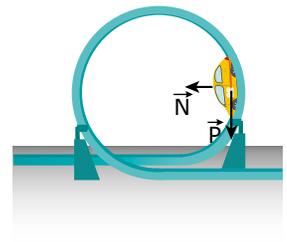
No ponto A:  $F_{Rc} = N - P$



No ponto B:  $F_{Rc} = N$



No ponto C:  $F_{Rc} = N + P$



No ponto D:  $F_{Rc} = N$

A força resultante centrípeta ( $F_{Rc}$ ), ou simplesmente força centrípeta, não obedece à 3ª Lei de Newton, uma vez que não é uma força gerada pela interação entre dois corpos. A força centrípeta é uma resultante de forças que apresenta uma direção particular, perpendicular à velocidade. Portanto, seria errado dizer que, no exercício resolvido anterior, em que um carro percorre uma trajetória curva, atuam sobre ele a força peso, a força normal, a força de atrito estático e a força resultante centrípeta. Nesse caso, a força de atrito é a força resultante centrípeta.

CONTEÚDO NO  
**Bernoulli Play**



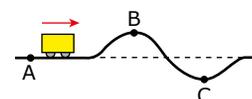
DP64

#### Dinâmica do movimento circular

Para um corpo permanecer em movimento circular, é necessário que haja uma força centrípeta atuando ininterruptamente sobre ele. Dessa forma, a força centrípeta está presente em qualquer movimento circular, alterando somente a direção do vetor velocidade. Em algumas situações, ela é oriunda de uma única força, e em outras, de uma resultante de forças. Assista ao vídeo a fim de compreender a força centrípeta e suas componentes.

## EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

- 02.** Um carrinho desliza em um trilho com velocidade de módulo constante, no sentido indicado pela seta. O trilho pertence a um plano vertical. O ponto A situa-se em um trecho horizontal, e os pontos B e C, em curvas de raios iguais. Sejam  $N_A$ ,  $N_B$  e  $N_C$  os módulos da força normal nos pontos A, B e C, respectivamente. Coloque em ordem crescente os módulos dessas forças.

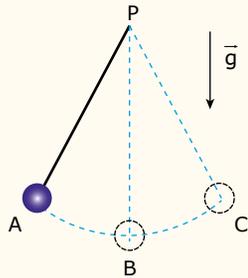




Com relação aos módulos dessas forças, pode-se afirmar que

- A)  $P' < P$  e  $N' = N$ .
- B)  $P' < P$  e  $N' > N$ .
- C)  $P' = P$  e  $N' < N$ .
- D)  $P' = P$  e  $N' > N$ .
- E)  $P' > P$  e  $N' < N$ .

**04.** UAWO (FUVEST-SP) O pêndulo de um relógio é constituído por uma haste rígida com um disco de metal preso em uma de suas extremidades. O disco oscila entre as posições A e C, enquanto a outra extremidade da haste permanece imóvel no ponto P. A figura seguinte ilustra o sistema.



A força resultante que atua no disco quando ele passa por B, com a haste na direção vertical, é

**Note e adote:**  $g$  é a aceleração local da gravidade.

- A) nula.
- B) vertical, com sentido para cima.
- C) vertical, com sentido para baixo.
- D) horizontal, com sentido para a direita.
- E) horizontal, com sentido para a esquerda.

**05.** (UFF-RJ) Uma criança se balança em um balanço, como representado esquematicamente na figura a seguir. Assinale a alternativa que melhor representa a aceleração da criança no instante em que ela passa pelo ponto mais baixo de sua trajetória.



- A)  $a = 0$
- B)  $\vec{a}$  (arrow pointing right)
- C)  $\vec{a}$  (arrow pointing up)
- D)  $\vec{a}$  (arrow pointing down)
- E)  $\vec{a}$  (arrow pointing left)

**06.** SOTV (Uncisal) Uma das recomendações contidas nos manuais de direção é, em caso de chuva, evitar frear em curvas a ponto de travar as rodas, pois esse procedimento pode causar a derrapagem do automóvel e, conseqüentemente, acidentes graves.

Do ponto de vista científico, a derrapagem devido às condições descritas ocorre porque

- A) o travamento das rodas faz o atrito superar a força centrípeta, reduzindo a capacidade do automóvel de realizar uma curva.
- B) a frenagem reduz a velocidade do automóvel, reduzindo a capacidade da força centrípeta de realizar uma curva.

C) a fina camada de água na pista provoca uma redução da força normal, implicando a redução da força centrípeta.

D) a pista molhada e o travamento de roda reduzem o atrito estático, impedindo a realização da curva.

E) o travamento das rodas faz o atrito estático responsável pela força centrípeta parar de atuar.

**07.** OKNO (UFSM-RS) Algumas empresas privadas têm demonstrado interesse em desenvolver veículos espaciais com o objetivo de promover o turismo espacial. Nesse caso, um foguete ou avião impulsiona o veículo, de modo que ele entre em órbita ao redor da Terra. Admitindo-se que o movimento orbital é um movimento circular uniforme em um referencial fixo na Terra, é correto afirmar que

A) o peso de cada passageiro é nulo, quando esse passageiro está em órbita.

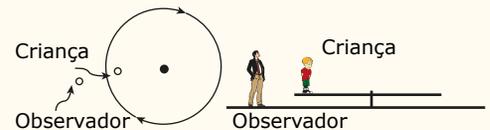
B) uma força centrífuga atua sobre cada passageiro, formando um par ação-reação com a força gravitacional.

C) o peso de cada passageiro atua como força centrípeta do movimento; por isso, os passageiros são acelerados em direção ao centro da Terra.

D) o módulo da velocidade angular dos passageiros, medido em relação a um referencial fixo na Terra, depende do quadrado do módulo da velocidade tangencial deles.

E) a aceleração de cada passageiro é nula.

**08.** U425 (FGV) Uma criança está parada em pé sobre o tablado circular girante de um carrossel em movimento circular e uniforme, como mostra o esquema (uma vista de cima e outra de perfil).



O correto esquema de forças atuantes sobre a criança para um observador parado no chão fora do tablado é:

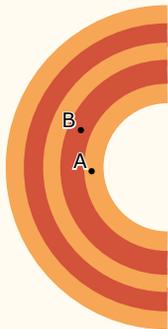
**Dados:**  $F$ : força do tablado;  $N$ : reação normal do tablado;  $P$ : peso da criança.

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

# EXERCÍCIOS PROPOSTOS



**01.** (UFSM-RS) A figura representa dois atletas numa corrida, percorrendo uma curva circular, cada um em uma raia. Eles desenvolvem velocidades lineares com módulos iguais e constantes, num referencial fixo no solo.



Atendendo à informação dada, assinale a resposta correta.

- A) Em módulo, a aceleração centrípeta de A é maior do que a aceleração centrípeta de B.
- B) Em módulo, as velocidades angulares de A e B são iguais.
- C) A poderia acompanhar B se a velocidade angular de A fosse maior do que a de B, em módulo.
- D) Se as massas dos corredores são iguais, a força centrípeta sobre B é maior do que a força centrípeta sobre A, em módulo.
- E) Se A e B estivessem correndo na mesma raia, as forças centrípetas teriam módulos iguais, independentemente das massas.

**02.** (UECE) Considere um carro de passeio de uma tonelada se deslocando a 108 km/h em uma rodovia. Em um dado instante, o carro se encontra no ponto mais alto de um trecho reto em subida. Para simplificar a descrição mecânica desse sistema, o carro pode ser tratado como uma massa puntiforme e a trajetória em torno do ponto mais alto pode ser aproximada por um arco de círculo de raio 100 m contido em um plano vertical. Em comparação com a situação em que o carro trafega por um trecho plano, é correto afirmar que, no ponto mais alto da trajetória, a força de atrito entre a pista e os pneus

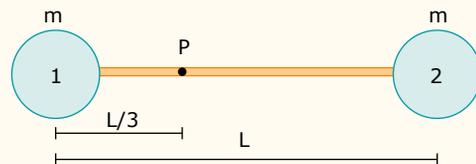
- A) é menor, pois a força normal da estrada sobre o carro é maior.
- B) é menor, pois a força normal da estrada sobre o carro é menor.
- C) é maior, pois a força normal da estrada sobre o carro é menor.
- D) é maior, pois a força normal da estrada sobre o carro é maior.

**03.** (AFA-SP) Uma determinada caixa é transportada em um caminhão que percorre, com velocidade escalar constante, uma estrada plana e horizontal.

Em um determinado instante, o caminhão entra em uma curva circular de raio igual a 51,2 m, mantendo a mesma velocidade escalar. Sabendo-se que os coeficientes de atrito cinético e estático entre a caixa e o assoalho horizontal são, respectivamente, 0,4 e 0,5 e considerando que as dimensões do caminhão, em relação ao raio da curva, são desprezíveis e que a caixa esteja apoiada apenas no assoalho da carroceria, pode-se afirmar que a máxima velocidade, em m/s, que o caminhão poderá desenvolver, sem que a caixa escorregue é:

- A) 14,3
- B) 16,0
- C) 18,0
- D) 21,5

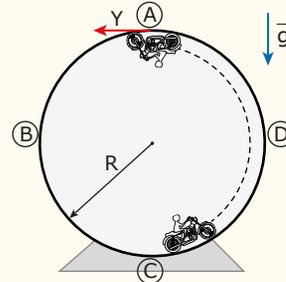
**04.** (UFRGS-RS-2018) A figura a seguir representa duas esferas, 1 e 2, de massas iguais a  $m$ , presas nas extremidades de uma barra rígida de comprimento  $L$  e de massa desprezível. O sistema formado é posto a girar com velocidade angular constante em torno de um eixo, perpendicular à página, que passa pelo ponto P.



Seja  $v_i$  a velocidade tangencial da esfera  $i$  ( $i = 1, 2$ ) e  $F_i$  a força centrípeta nela resultante, as razões  $v_1/v_2$  e  $F_1/F_2$  entre os módulos dos respectivos vetores são, nessa ordem,

- A)  $1/3$  e  $1/2$ .
- B)  $1/2$  e  $1/4$ .
- C)  $1/2$  e  $1/2$ .
- D)  $1/2$  e  $3/2$ .
- E)  $3/2$  e  $1/2$ .

**05.** (IFCE) Considere a figura a seguir, na qual é mostrado um piloto acrobata fazendo sua moto girar por dentro de um "globo da morte".



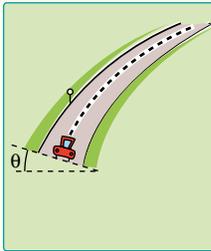
Ao realizar o movimento de loop dentro do globo da morte (ou seja, percorrendo a trajetória ABCD mostrada anteriormente), o piloto precisa manter uma velocidade mínima de sua moto para que a mesma não caia ao passar pelo ponto mais alto do globo (ponto "A").

Nestas condições, a velocidade mínima " $v$ " da moto, de forma que a mesma não caia ao passar pelo ponto "A", dado que o globo da morte tem raio  $R$  de 3,60 m, é (Considere a aceleração da gravidade com valor  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .)

- A) 6 km/h.
- B) 12 km/h.
- C) 21,6 km/h.
- D) 15 km/h.
- E) 158 km/h.



**06.** (Mackenzie-SP) No trecho de estrada ilustrado, a curva pontilhada é um arco circular e o raio da circunferência que o contém mede 500 m.



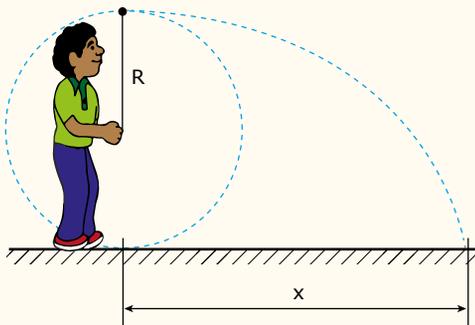
	5,25°	6,10°	7,15°	8,20°	9,10°
sen	0,0992	0,106	0,124	0,143	0,158
cos	0,996	0,994	0,992	0,990	0,987
tan	0,092	0,107	0,125	0,144	0,160

$|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$

A placa sinaliza que a velocidade máxima permitida, ao longo dessa linha, é 90 km/h. Considerando a segurança da estrada e admitindo-se que essa velocidade máxima possa ocorrer independentemente do atrito entre os pneus do automóvel e a pavimentação plana da pista, o ângulo de inclinação mínimo, entre o plano da pista e a horizontal, indicado na figura, deve medir, aproximadamente,

- A) 5,25°                      C) 7,15°                      E) 9,10°  
 B) 6,10°                      D) 8,20°

**07.** (AFA-SP) Um garoto, que se encontra em repouso, faz girar, com velocidade constante, uma pedra de massa  $m$  presa a um fio ideal. Descrevendo uma trajetória circular de raio  $R$  num plano vertical, essa pedra dá diversas voltas, até que, em um dado instante, o fio arrebenta e ela é lançada horizontalmente, conforme ilustra a figura a seguir.



Sujeita apenas à aceleração da gravidade  $g$ , a pedra passou, então, a descrever uma trajetória parabólica, percorrendo uma distância horizontal  $x$  equivalente a  $4R$ . A tração experimentada pelo fio toda vez que a pedra passava pelo ponto onde ele se rompeu era igual a:

- A)  $mg$                                       C)  $3mg$   
 B)  $2mg$                                       D)  $4mg$

**08.** (Unicastelo-SP) Em uma visita a um museu, um garotinho se encanta com um aparelho que até então não conhecia: um toca-discos de vinil. Enquanto o disco girava no aparelho, o garoto colocou sobre ele sua borracha escolar e ficou observando-a girar junto com o disco, sem que escorregasse em relação a ele.



Disponível em: [www.somvintage.com](http://www.somvintage.com) (Adaptação).

Sendo  $m = 0,02 \text{ kg}$  a massa da borracha,  $r = 0,12 \text{ m}$  o raio da trajetória circular que ela percorre e considerando a frequência de rotação do disco constante e igual a 30 rpm, é correto afirmar que o módulo da força de atrito, em newtons, entre a borracha e a superfície do disco é igual a

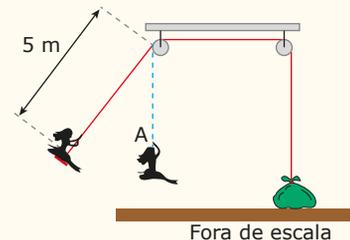
- A)  $0,0030 \cdot \pi^2$                                       D)  $0,0042 \cdot \pi^2$   
 B)  $0,0036 \cdot \pi^2$                                       E)  $0,0048 \cdot \pi^2$   
 C)  $0,0024 \cdot \pi^2$

**09.**

QDXM



(Unesp) Uma garota de 50 kg está brincando em um balanço constituído de um assento e de uma corda ideal que tem uma de suas extremidades presa nesse assento e a outra, em um saco de areia de 66 kg que está apoiado, em repouso, sobre o piso horizontal. A corda passa por duas roldanas ideais fixas no teto e, enquanto oscila, a garota percorre uma trajetória circular contida em um plano vertical de modo que, ao passar pelo ponto A, a corda fica instantaneamente vertical.



Desprezando a resistência do ar e a massa do assento, considerando  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e as informações contidas na figura, a maior velocidade, em m/s, com a qual a garota pode passar pelo ponto A sem que o saco de areia perca contato com o solo é igual a

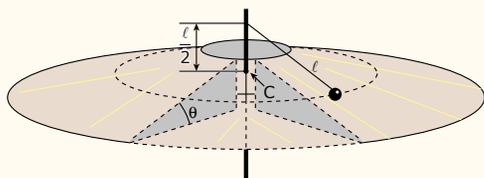
- A) 2.                                      C) 3.                                      E) 1.  
 B) 5.                                      D) 4.

**10.**

QVDA



(AFA-SP) Em um local onde a aceleração da gravidade vale  $g$ , uma partícula move-se sem atrito sobre uma pista circular que, por sua vez, possui uma inclinação  $\theta$ . Essa partícula está presa a um poste central, por meio de um fio ideal de comprimento  $\ell$  que, através de uma articulação, pode girar livremente em torno do poste. O fio é mantido paralelo à superfície da pista, conforme a figura seguinte.



Ao girar com uma determinada velocidade constante, a partícula fica "flutuando" sobre a superfície inclinada da pista, ou seja, a partícula fica na iminência de perder o contato com a pista e, além disso, descreve uma trajetória circular com centro em C, também indicado na figura.

Nessas condições, a velocidade linear da partícula deve ser igual a

- A)  $\sqrt{\frac{3}{2}g\ell}$ .    B)  $\sqrt{g\ell}$ .    C)  $3\sqrt{g\ell}$ .    D)  $\sqrt{2}\sqrt{g\ell}$ .

## SEÇÃO ENEM

01. (Enem-2019) Na madrugada de 11 de março de 1978, partes de um foguete soviético reentraram na atmosfera acima da cidade do Rio de Janeiro e caíram no Oceano Atlântico. Foi um belo espetáculo, os inúmeros fragmentos entrando em ignição devido ao atrito com a atmosfera brilharam intensamente, enquanto "cortavam o céu". Mas se a reentrada tivesse acontecido alguns minutos depois, teríamos uma tragédia, pois a queda seria na área urbana do Rio de Janeiro e não no oceano.



LAS CASAS, R. Lixo espacial. *Observatório Astronômico Frei Rosário - ICEX-UFMG*. Disponível em: [www.observatorio.ufmg.br](http://www.observatorio.ufmg.br). Acesso em: 27 set. 2011 (Adaptação).

De acordo com os fatos relatados, a velocidade angular do foguete em relação à Terra no ponto de reentrada era

- A) igual à da Terra e no mesmo sentido.  
 B) superior à da Terra e no mesmo sentido.  
 C) inferior à da Terra e no sentido oposto.  
 D) igual à da Terra e no sentido oposto.  
 E) superior à da Terra e no sentido oposto.
02. (Enem) Um professor utiliza essa história em quadrinhos para discutir com os estudantes o movimento de satélites. Nesse sentido, pede a eles que analisem o movimento do coelho, considerando o módulo da velocidade constante.



SOUSA, M. *Cebolinha*, n. 240, jan. 2006.

Desprezando a existência de forças dissipativas, o vetor aceleração tangencial do coelho, no terceiro quadrinho, é

- A) nulo.  
 B) paralelo à sua velocidade linear e no mesmo sentido.  
 C) paralelo à sua velocidade linear e no sentido oposto.  
 D) perpendicular à sua velocidade linear e dirigido para o centro da Terra.  
 E) perpendicular à sua velocidade linear e dirigido para fora da superfície da Terra.

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

- Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_  
 01. B     03. C     05. C     07. C  
 02. B     04. B     06. E     08. D

#### Propostos

- Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_  
 01. A     04. C     07. C     10. A  
 02. B     05. C     08. C  
 03. B     06. C     09. D

#### Seção Enem

- Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_  
 01. B     02. A



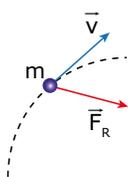
Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## Dinâmica do Movimento Circular

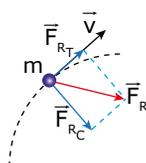
O estudo das aplicações das Leis de Newton nos conduz a situações em que os objetos descrevem trajetórias curvilíneas. No entanto, quando estudamos as aplicações das Leis de Newton, não analisamos as situações em que tais movimentos ocorrem, como a de satélites orbitando planetas, de um carro efetuando uma curva, de um pêndulo oscilando e de outras mais. Neste módulo, analisaremos tais situações e aprenderemos um importante conceito, o de força resultante centrípeta. Veremos que, em algumas situações, as Leis de Newton parecem não funcionar, situações essas em que os movimentos são analisados com base em referenciais não inerciais.

### FORÇA RESULTANTE

Discutimos, em módulos anteriores, que o agente responsável pela mudança no vetor velocidade é a força, seja ela de qualquer natureza: peso, tensão, força normal, força de atrito, força elétrica, etc. Considere a figura a seguir, na qual uma partícula de massa  $m$  descreve uma trajetória curvilínea com velocidade  $\vec{v}$ , sujeita a uma força resultante  $\vec{F}_R$ .



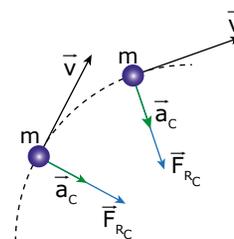
A força resultante  $\vec{F}_R$  pode ser decomposta em duas componentes ortogonais, uma na direção paralela à velocidade, força resultante tangencial ( $\vec{F}_{Rt}$ ), e a outra na direção perpendicular à velocidade, força resultante centrípeta ( $\vec{F}_{Rc}$ ).



Como já sabemos, a componente tangencial da força resultante altera o módulo do vetor velocidade, isto é, caso a força  $\vec{F}_{Rt}$  esteja no mesmo sentido do vetor velocidade, o módulo deste aumenta, e, caso apresente o sentido oposto ao do vetor velocidade, o módulo desse vetor diminui. A seguir, estudaremos com mais detalhes a componente centrípeta da força resultante.

### Força resultante centrípeta

A figura a seguir mostra uma partícula de massa  $m$  descrevendo uma curva de raio  $R$  com velocidade  $\vec{v}$ .



Como podemos observar, o vetor  $\vec{v}$  muda de direção ao longo do movimento da partícula. O ritmo no qual essa mudança ocorre é medido pelo vetor aceleração; no caso analisado, o vetor aceleração centrípeta.

Utilizando a 2ª Lei de Newton para a situação descrita, temos que:

$$\vec{F}_R = m\vec{a} \text{ (expressão geral da 2ª Lei)}$$

$$\vec{F}_{Rc} = m\vec{a}_c \text{ (expressão particular da 2ª Lei)}$$

Sabemos que o módulo da aceleração centrípeta é dado por  $a_c = v^2/R$ , em que  $v$  é o módulo da velocidade da partícula, e  $R$  é o raio da curva descrita pela partícula. Utilizando esse resultado na expressão da 2ª Lei de Newton, temos:

$$F_{Rc} = m \cdot a_c \Rightarrow F_{Rc} = m \frac{v^2}{R}$$

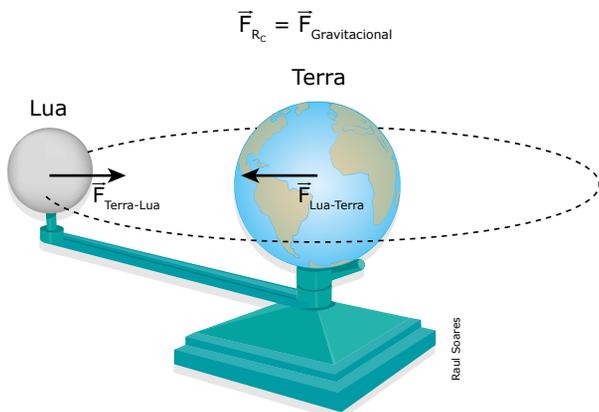
OBSERVAÇÕES

1. A expressão anterior nos mostra que  $F_{Rc}$  é inversamente proporcional ao valor do raio R da curva, quando m e v forem constantes. Isso significa que, quando uma curva apresentar raio pequeno, o valor da força resultante centrípeta deve ser grande. Caso o valor de R seja reduzido três vezes, e m e v permaneçam constantes, o valor de  $F_{Rc}$  deve aumentar três vezes.
2. O módulo da  $\vec{F}_{Rc}$  é proporcional ao quadrado do módulo da velocidade do corpo, quando o raio de curvatura R e a massa m do corpo forem constantes. Isso significa que, se a força resultante centrípeta que atua sobre um corpo que descreve uma curva de raio R com velocidade v for  $F_{Rc}$ , então, para manter o corpo na curva, quando este possui uma velocidade 2v, será necessária uma força de módulo igual a  $4F_{Rc}$ .
3. A força resultante centrípeta ( $\vec{F}_{Rc}$ ) é uma resultante de forças; portanto, não convém abordar alguns aspectos comuns às forças no sentido convencional. Não existe par de ação e reação para resultantes de forças, mas sim para cada força em separado.
4. Os vetores  $\vec{v}$  e  $\vec{F}_{Rc}$  são perpendiculares, pois a força resultante centrípeta altera a direção do vetor velocidade, mas não o módulo deste.

ANÁLISE DE SITUAÇÕES

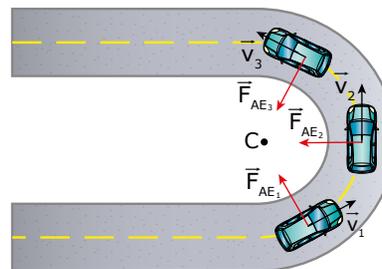
Sistema Terra-Lua

O sistema Terra-Lua é representado na figura a seguir. Para um observador na Terra, a Lua gira ao redor do nosso planeta, descrevendo, com boa aproximação, um movimento circular uniforme. Lembre-se de que o módulo da força de atração da Terra sobre a Lua é igual ao módulo da força de atração da Lua sobre a Terra, pois essas forças formam um par de ação e reação. Observe que a força resultante centrípeta que atua sobre a Lua é a força de atração gravitacional exercida pela Terra. É essa força que "obriga" a Lua a mudar continuamente a direção de seu vetor velocidade, cujo módulo permanece praticamente constante.



Carro em uma curva

Quando um carro realiza uma curva, surge entre os pneus e a pista uma força de atrito estático, na direção radial e dirigida para dentro dessa curva. É essa força de atrito estático que obriga o carro a descrever a curva, alterando a direção e o sentido de sua velocidade.

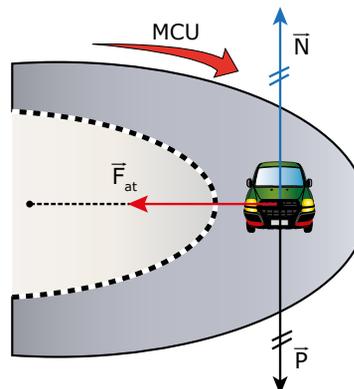


$$\vec{F}_{Rc} = \vec{F}_{at}$$

À medida que o módulo da velocidade do carro aumenta, o módulo da força de atrito estático também aumenta até atingir um valor limite. Desse instante em diante, o carro derrapa, e o motorista pode perder o controle do automóvel. Por essa razão, um motorista não pode aumentar indefinidamente o valor da velocidade com que o carro realiza a curva.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Sabemos que um carro, ao realizar uma curva em alta velocidade, pode derrapar e causar um acidente. Quando ocorre derrapagem, existe um movimento lateral do pneu na pista, indicando que a força de atrito estático máximo entre o pneu e o piso não é suficiente para manter o carro na curva. Considere um carro em uma pista circular de raio R, contida em um plano horizontal. O coeficiente de atrito estático entre os pneus e o asfalto tem valor igual a  $\mu$ . Despreze os efeitos da resistência do ar e considere o valor da aceleração devido à gravidade igual a g.



Determinar o módulo da velocidade máxima com que o carro pode efetuar a curva sem que ocorra a derrapagem.

Resolução:

Na direção vertical, as forças que atuam sobre o carro são a força peso  $\vec{P}$  e a força de reação normal  $\vec{N}$ . Essas forças se equilibram; logo,  $P = N$ .

Para que o carro possa descrever a curva, é necessário que atue sobre ele uma força resultante centrípeta. Nessa situação, a força que exerce a função de força resultante centrípeta é a força de atrito. Como queremos determinar o módulo da velocidade máxima que o carro pode desenvolver nessa curva, temos de calcular o módulo da força de atrito estático máximo que atua sobre o veículo. Logo:

$$F_{Rc} = F_{AEmax} \Rightarrow \frac{mv^2}{R} = \mu N \Rightarrow \frac{mv^2}{R} = \mu mg \Rightarrow$$

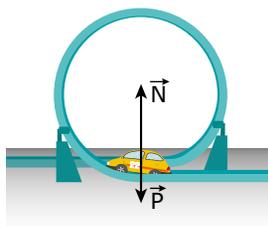
$$v^2 = \mu gR \Rightarrow v = \sqrt{\mu gR}$$

Observe que o módulo da velocidade máxima com que o carro pode realizar a curva não depende da massa do carro, e sim do raio da curva, do coeficiente de atrito entre o pneu e a pista e da aceleração da gravidade.

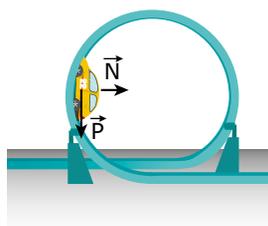
### Carrinho efetuando um loop

Os emocionantes passeios em uma montanha-russa muito devem à força centrípeta. O mesmo ocorre nos circos, com o popular número do Globo da Morte. Essa apresentação consiste em um determinado número de motocicletas – usualmente duas – movendo-se dentro de um globo de metal com cerca de 4 m de raio. As motos movem-se em círculos, efetuando voltas de 360° e ficando de “ponta a cabeça”. Alguns brinquedos reproduzem essa situação ao realizarem trajetórias em *loop*, como as representadas a seguir. Para que o carrinho possa fazer o *loop*, é necessário que ele possua uma velocidade mínima determinada.

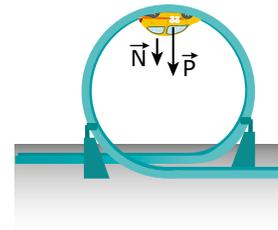
Nas figuras a seguir, representamos as forças peso  $\vec{P}$  e normal  $\vec{N}$  que atuam sobre o carrinho, em 4 pontos distintos de sua trajetória, A, B, C e D. Despreze as forças de atrito nessa situação. Observe que há sempre uma força resultante centrípeta atuando sobre o carrinho, embora cada situação possa ter uma representação diferente.



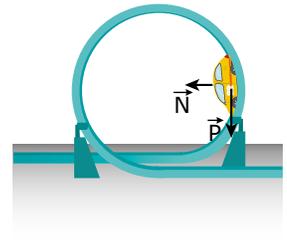
No ponto A:  $F_{Rc} = N - P$



No ponto B:  $F_{Rc} = N$



No ponto C:  $F_{Rc} = N + P$



No ponto D:  $F_{Rc} = N$

A força resultante centrípeta ( $F_{Rc}$ ), ou simplesmente força centrípeta, não obedece à 3ª Lei de Newton, uma vez que não é uma força gerada pela interação entre dois corpos. A força centrípeta é uma resultante de forças que apresenta uma direção particular, perpendicular à velocidade. Portanto, seria errado dizer que, no exercício resolvido anterior, em que um carro percorre uma trajetória curva, atuam sobre ele a força peso, a força normal, a força de atrito estático e a força resultante centrípeta. Nesse caso, a força de atrito é a força resultante centrípeta.

CONTEÚDO NO Bernoulli Play



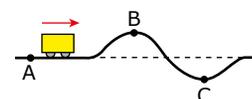
DP64

#### Dinâmica do movimento circular

Para um corpo permanecer em movimento circular, é necessário que haja uma força centrípeta atuando ininterruptamente sobre ele. Dessa forma, a força centrípeta está presente em qualquer movimento circular, alterando somente a direção do vetor velocidade. Em algumas situações, ela é oriunda de uma única força, e em outras, de uma resultante de forças. Assista ao vídeo a fim de compreender a força centrípeta e suas componentes.

## EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

02. Um carrinho desliza em um trilho com velocidade de módulo constante, no sentido indicado pela seta. O trilho pertence a um plano vertical. O ponto A situa-se em um trecho horizontal, e os pontos B e C, em curvas de raios iguais. Sejam  $N_A$ ,  $N_B$  e  $N_C$  os módulos da força normal nos pontos A, B e C, respectivamente. Coloque em ordem crescente os módulos dessas forças.



**Resolução:**

No trecho horizontal do circuito, as forças que atuam sobre o carrinho são a força normal e a força peso, de módulos iguais, uma vez que o carrinho está em equilíbrio na direção vertical. Logo,  $P = N_A$ .

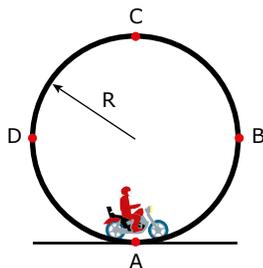
No ponto B, a resultante das forças verticais que atuam sobre o carrinho deve estar direcionada para o centro da curva, isto é, para baixo. Logo, o módulo da força peso no ponto B deve ser maior que o módulo da força normal nesse mesmo ponto, pois a força centrípeta que atua sobre o carrinho, no ponto B, é dada por  $F_{R_{CB}} = P - N_B$ . Logo,  $P > N_B$ .

No ponto C, a resultante das forças verticais que atuam sobre o carrinho deve estar direcionada para o centro da curva, isto é, para cima. Logo, o módulo da força peso no ponto C deve ser menor que o módulo da força normal nesse mesmo ponto, pois a força centrípeta que atua sobre o carrinho, no ponto C, é dada por  $F_{R_{CC}} = N_C - P$ . Logo,  $P < N_C$ . Sendo o peso do carrinho constante, temos que  $N_B < N_A < N_C$ .

**EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM**



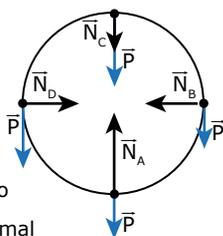
**03.** Uma atração muito popular nos circos é o Globo da Morte, que consiste em uma gaiola de forma esférica no interior da qual se movimentam uma pessoa pilotando uma motocicleta. Considere um globo de raio  $R = 3,6$  m.



- A) Faça um diagrama das forças que atuam sobre a motocicleta nos pontos A, B, C e D, indicados na figura. Para efeitos práticos, considere o conjunto piloto + motocicleta como um ponto material. Despreze as forças de atrito.
- B) Determine o módulo da velocidade mínima que o conjunto piloto + motocicleta deve ter no ponto C para não perder o contato com o interior do globo.

**Resolução:**

A)



$\vec{P}$  = força peso

$\vec{N}$  = força normal

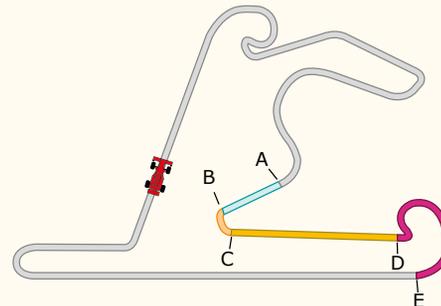
B) No ponto mais alto da trajetória da motocicleta, ponto C, a força centrípeta é dada pela soma da força peso e da força normal, isto é,  $F_{R_c} = P + N$ .

Para determinar o módulo da velocidade mínima com a qual o conjunto piloto + motocicleta realiza o *loop*, devemos observar que, nessa velocidade limite, o valor da força normal é praticamente zero, isto é,  $N = 0$ . Desse modo, o valor da força resultante centrípeta será dado por  $F_{R_c} = P$ . Desenvolvendo a expressão, temos:

$$F_{R_c} = P \Rightarrow \frac{mv^2}{R} = mg \Rightarrow v = \sqrt{gR} \Rightarrow$$

$$v = \sqrt{10 \cdot 3,6} = 6,0 \text{ m/s}$$

**01.** (UERJ-2019) Um carro de automobilismo se desloca com velocidade de módulo constante por uma pista de corrida plana. A figura a seguir representa a pista vista de cima, destacando quatro trechos: AB, BC, CD e DE.



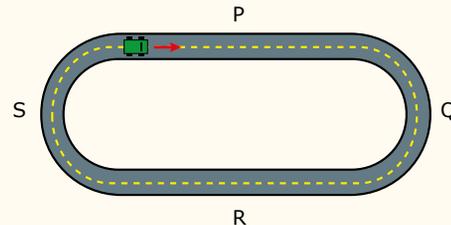
A força resultante que atua sobre o carro é maior que zero nos seguintes trechos:

- A) AB e BC
- B) BC e DE
- C) DE e CD
- D) CD e AB

**02.**  
UMGD



(UFMG) Daniel está brincando com um carrinho, que corre por uma pista composta de dois trechos retilíneos – P e R – e dois trechos em forma de semicírculos – Q e S –, como representado nesta figura:



O carrinho passa pelos trechos P e Q, mantendo o módulo de sua velocidade constante. Em seguida, ele passa pelos trechos R e S, aumentando sua velocidade. Com base nessas informações, é correto afirmar que a resultante das forças sobre o carrinho

- A) é nula no trecho Q e não é nula no trecho R.
- B) é nula no trecho P e não é nula no trecho Q.
- C) é nula nos trechos P e Q.
- D) não é nula em nenhum dos trechos marcados.

**03.**  
F6HX



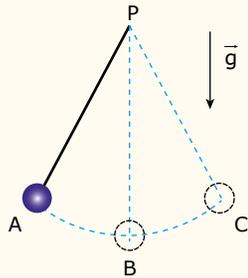
(UFMG) Quando um carro se desloca numa estrada horizontal, seu peso  $\vec{P}$  é anulado pela reação normal  $\vec{N}$  exercida pela estrada. Quando esse carro passa no alto de uma lombada, sem perder o contato com a pista, como mostra a figura, seu peso será representado por  $\vec{P}'$ , e a reação normal da pista sobre ele, por  $\vec{N}'$ .



Com relação aos módulos dessas forças, pode-se afirmar que

- A)  $P' < P$  e  $N' = N$ .
- B)  $P' < P$  e  $N' > N$ .
- C)  $P' = P$  e  $N' < N$ .
- D)  $P' = P$  e  $N' > N$ .
- E)  $P' > P$  e  $N' < N$ .

**04.** UAWO (FUVEST-SP) O pêndulo de um relógio é constituído por uma haste rígida com um disco de metal preso em uma de suas extremidades. O disco oscila entre as posições A e C, enquanto a outra extremidade da haste permanece imóvel no ponto P. A figura seguinte ilustra o sistema.



A força resultante que atua no disco quando ele passa por B, com a haste na direção vertical, é

**Note e adote:**  $g$  é a aceleração local da gravidade.

- A) nula.
- B) vertical, com sentido para cima.
- C) vertical, com sentido para baixo.
- D) horizontal, com sentido para a direita.
- E) horizontal, com sentido para a esquerda.

**05.** (UFF-RJ) Uma criança se balança em um balanço, como representado esquematicamente na figura a seguir. Assinale a alternativa que melhor representa a aceleração da criança no instante em que ela passa pelo ponto mais baixo de sua trajetória.



- A)  $a = 0$
- B)  $\vec{a}$  (arrow pointing right)
- C)  $\vec{a}$  (arrow pointing up)
- D)  $\vec{a}$  (arrow pointing down)
- E)  $\vec{a}$  (arrow pointing left)

**06.** SOTV (Uncisal) Uma das recomendações contidas nos manuais de direção é, em caso de chuva, evitar frear em curvas a ponto de travar as rodas, pois esse procedimento pode causar a derrapagem do automóvel e, conseqüentemente, acidentes graves.

Do ponto de vista científico, a derrapagem devido às condições descritas ocorre porque

- A) o travamento das rodas faz o atrito superar a força centrípeta, reduzindo a capacidade do automóvel de realizar uma curva.
- B) a frenagem reduz a velocidade do automóvel, reduzindo a capacidade da força centrípeta de realizar uma curva.

C) a fina camada de água na pista provoca uma redução da força normal, implicando a redução da força centrípeta.

D) a pista molhada e o travamento de roda reduzem o atrito estático, impedindo a realização da curva.

E) o travamento das rodas faz o atrito estático responsável pela força centrípeta parar de atuar.

**07.** OKNO (UFSM-RS) Algumas empresas privadas têm demonstrado interesse em desenvolver veículos espaciais com o objetivo de promover o turismo espacial. Nesse caso, um foguete ou avião impulsiona o veículo, de modo que ele entre em órbita ao redor da Terra. Admitindo-se que o movimento orbital é um movimento circular uniforme em um referencial fixo na Terra, é correto afirmar que

A) o peso de cada passageiro é nulo, quando esse passageiro está em órbita.

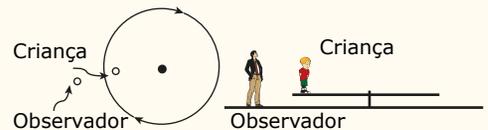
B) uma força centrífuga atua sobre cada passageiro, formando um par ação-reação com a força gravitacional.

C) o peso de cada passageiro atua como força centrípeta do movimento; por isso, os passageiros são acelerados em direção ao centro da Terra.

D) o módulo da velocidade angular dos passageiros, medido em relação a um referencial fixo na Terra, depende do quadrado do módulo da velocidade tangencial deles.

E) a aceleração de cada passageiro é nula.

**08.** U425 (FGV) Uma criança está parada em pé sobre o tablado circular girante de um carrossel em movimento circular e uniforme, como mostra o esquema (uma vista de cima e outra de perfil).



O correto esquema de forças atuantes sobre a criança para um observador parado no chão fora do tablado é:

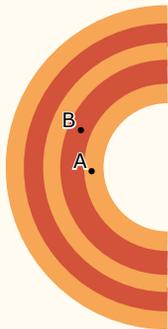
**Dados:**  $F$ : força do tablado;  $N$ : reação normal do tablado;  $P$ : peso da criança.

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

# EXERCÍCIOS PROPOSTOS



**01.** (UFSM-RS) A figura representa dois atletas numa corrida, percorrendo uma curva circular, cada um em uma raia. Eles desenvolvem velocidades lineares com módulos iguais e constantes, num referencial fixo no solo.



Atendendo à informação dada, assinale a resposta correta.

- A) Em módulo, a aceleração centrípeta de A é maior do que a aceleração centrípeta de B.
- B) Em módulo, as velocidades angulares de A e B são iguais.
- C) A poderia acompanhar B se a velocidade angular de A fosse maior do que a de B, em módulo.
- D) Se as massas dos corredores são iguais, a força centrípeta sobre B é maior do que a força centrípeta sobre A, em módulo.
- E) Se A e B estivessem correndo na mesma raia, as forças centrípetas teriam módulos iguais, independentemente das massas.

**02.** (UECE) RMY7 Considere um carro de passeio de uma tonelada se deslocando a 108 km/h em uma rodovia. Em um dado instante, o carro se encontra no ponto mais alto de um trecho reto em subida. Para simplificar a descrição mecânica desse sistema, o carro pode ser tratado como uma massa puntiforme e a trajetória em torno do ponto mais alto pode ser aproximada por um arco de círculo de raio 100 m contido em um plano vertical. Em comparação com a situação em que o carro trafega por um trecho plano, é correto afirmar que, no ponto mais alto da trajetória, a força de atrito entre a pista e os pneus

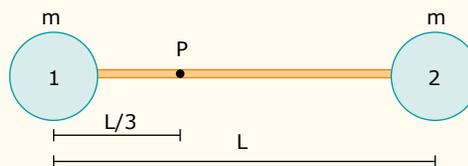
- A) é menor, pois a força normal da estrada sobre o carro é maior.
- B) é menor, pois a força normal da estrada sobre o carro é menor.
- C) é maior, pois a força normal da estrada sobre o carro é menor.
- D) é maior, pois a força normal da estrada sobre o carro é maior.

**03.** (AFA-SP) L50K Uma determinada caixa é transportada em um caminhão que percorre, com velocidade escalar constante, uma estrada plana e horizontal.

Em um determinado instante, o caminhão entra em uma curva circular de raio igual a 51,2 m, mantendo a mesma velocidade escalar. Sabendo-se que os coeficientes de atrito cinético e estático entre a caixa e o assoalho horizontal são, respectivamente, 0,4 e 0,5 e considerando que as dimensões do caminhão, em relação ao raio da curva, são desprezíveis e que a caixa esteja apoiada apenas no assoalho da carroceria, pode-se afirmar que a máxima velocidade, em m/s, que o caminhão poderá desenvolver, sem que a caixa escorregue é:

- A) 14,3
- B) 16,0
- C) 18,0
- D) 21,5

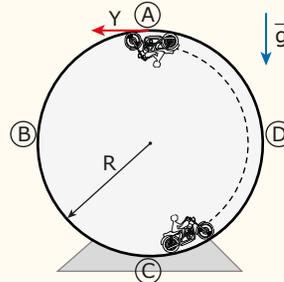
**04.** (UFRGS-RS-2018) BB7X A figura a seguir representa duas esferas, 1 e 2, de massas iguais a  $m$ , presas nas extremidades de uma barra rígida de comprimento  $L$  e de massa desprezível. O sistema formado é posto a girar com velocidade angular constante em torno de um eixo, perpendicular à página, que passa pelo ponto P.



Sendo  $v_i$  a velocidade tangencial da esfera  $i$  ( $i = 1, 2$ ) e  $F_i$  a força centrípeta nela resultante, as razões  $v_1/v_2$  e  $F_1/F_2$  entre os módulos dos respectivos vetores são, nessa ordem,

- A)  $1/3$  e  $1/2$ .
- B)  $1/2$  e  $1/4$ .
- C)  $1/2$  e  $1/2$ .
- D)  $1/2$  e  $3/2$ .
- E)  $3/2$  e  $1/2$ .

**05.** (IFCE) MCIW Considere a figura a seguir, na qual é mostrado um piloto acrobata fazendo sua moto girar por dentro de um "globo da morte".



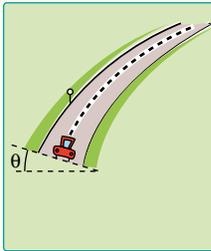
Ao realizar o movimento de loop dentro do globo da morte (ou seja, percorrendo a trajetória ABCD mostrada anteriormente), o piloto precisa manter uma velocidade mínima de sua moto para que a mesma não caia ao passar pelo ponto mais alto do globo (ponto "A").

Nestas condições, a velocidade mínima " $v$ " da moto, de forma que a mesma não caia ao passar pelo ponto "A", dado que o globo da morte tem raio  $R$  de 3,60 m, é (Considere a aceleração da gravidade com valor  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .)

- A) 6 km/h.
- B) 12 km/h.
- C) 21,6 km/h.
- D) 15 km/h.
- E) 158 km/h.



**06.** (Mackenzie-SP) No trecho de estrada ilustrado, a curva pontilhada é um arco circular e o raio da circunferência que o contém mede 500 m.



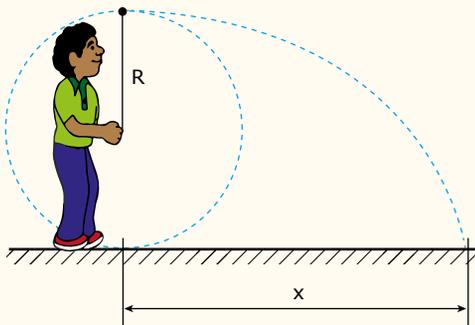
	5,25°	6,10°	7,15°	8,20°	9,10°
sen	0,0992	0,106	0,124	0,143	0,158
cos	0,996	0,994	0,992	0,990	0,987
tan	0,092	0,107	0,125	0,144	0,160

$|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$

A placa sinaliza que a velocidade máxima permitida, ao longo dessa linha, é 90 km/h. Considerando a segurança da estrada e admitindo-se que essa velocidade máxima possa ocorrer independentemente do atrito entre os pneus do automóvel e a pavimentação plana da pista, o ângulo de inclinação mínimo, entre o plano da pista e a horizontal, indicado na figura, deve medir, aproximadamente,

- A) 5,25°                      C) 7,15°                      E) 9,10°  
 B) 6,10°                      D) 8,20°

**07.** (AFA-SP) Um garoto, que se encontra em repouso, faz girar, com velocidade constante, uma pedra de massa  $m$  presa a um fio ideal. Descrevendo uma trajetória circular de raio  $R$  num plano vertical, essa pedra dá diversas voltas, até que, em um dado instante, o fio arrebenta e ela é lançada horizontalmente, conforme ilustra a figura a seguir.



Sujeita apenas à aceleração da gravidade  $g$ , a pedra passou, então, a descrever uma trajetória parabólica, percorrendo uma distância horizontal  $x$  equivalente a  $4R$ . A tração experimentada pelo fio toda vez que a pedra passava pelo ponto onde ele se rompeu era igual a:

- A)  $mg$                                       C)  $3mg$   
 B)  $2mg$                                       D)  $4mg$

**08.** (Unicastelo-SP) Em uma visita a um museu, um garotinho se encanta com um aparelho que até então não conhecia: um toca-discos de vinil. Enquanto o disco girava no aparelho, o garoto colocou sobre ele sua borracha escolar e ficou observando-a girar junto com o disco, sem que escorregasse em relação a ele.



Disponível em: [www.somvintage.com](http://www.somvintage.com) (Adaptação).

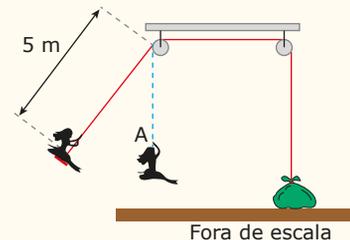
Sendo  $m = 0,02 \text{ kg}$  a massa da borracha,  $r = 0,12 \text{ m}$  o raio da trajetória circular que ela percorre e considerando a frequência de rotação do disco constante e igual a 30 rpm, é correto afirmar que o módulo da força de atrito, em newtons, entre a borracha e a superfície do disco é igual a

- A)  $0,0030 \cdot \pi^2$                                       D)  $0,0042 \cdot \pi^2$   
 B)  $0,0036 \cdot \pi^2$                                       E)  $0,0048 \cdot \pi^2$   
 C)  $0,0024 \cdot \pi^2$

**09.** QDXM



(Unesp) Uma garota de 50 kg está brincando em um balanço constituído de um assento e de uma corda ideal que tem uma de suas extremidades presa nesse assento e a outra, em um saco de areia de 66 kg que está apoiado, em repouso, sobre o piso horizontal. A corda passa por duas roldanas ideais fixas no teto e, enquanto oscila, a garota percorre uma trajetória circular contida em um plano vertical de modo que, ao passar pelo ponto A, a corda fica instantaneamente vertical.



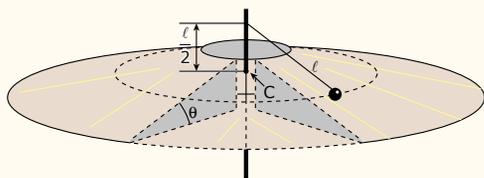
Desprezando a resistência do ar e a massa do assento, considerando  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e as informações contidas na figura, a maior velocidade, em m/s, com a qual a garota pode passar pelo ponto A sem que o saco de areia perca contato com o solo é igual a

- A) 2.                                      C) 3.                                      E) 1.  
 B) 5.                                      D) 4.

**10.** QVDA



(AFA-SP) Em um local onde a aceleração da gravidade vale  $g$ , uma partícula move-se sem atrito sobre uma pista circular que, por sua vez, possui uma inclinação  $\theta$ . Essa partícula está presa a um poste central, por meio de um fio ideal de comprimento  $\ell$  que, através de uma articulação, pode girar livremente em torno do poste. O fio é mantido paralelo à superfície da pista, conforme a figura seguinte.



Ao girar com uma determinada velocidade constante, a partícula fica "flutuando" sobre a superfície inclinada da pista, ou seja, a partícula fica na iminência de perder o contato com a pista e, além disso, descreve uma trajetória circular com centro em C, também indicado na figura.

Nessas condições, a velocidade linear da partícula deve ser igual a

- A)  $\sqrt{\frac{3}{2}g\ell}$ .    B)  $\sqrt{g\ell}$ .    C)  $3\sqrt{g\ell}$ .    D)  $\sqrt{2}\sqrt{g\ell}$ .

## SEÇÃO ENEM

01. (Enem–2019) Na madrugada de 11 de março de 1978, partes de um foguete soviético reentraram na atmosfera acima da cidade do Rio de Janeiro e caíram no Oceano Atlântico. Foi um belo espetáculo, os inúmeros fragmentos entrando em ignição devido ao atrito com a atmosfera brilharam intensamente, enquanto "cortavam o céu". Mas se a reentrada tivesse acontecido alguns minutos depois, teríamos uma tragédia, pois a queda seria na área urbana do Rio de Janeiro e não no oceano.



LAS CASAS, R. Lixo espacial. *Observatório Astronômico Frei Rosário – ICEx-UFMG*. Disponível em: [www.observatorio.ufmg.br](http://www.observatorio.ufmg.br). Acesso em: 27 set. 2011 (Adaptação).

De acordo com os fatos relatados, a velocidade angular do foguete em relação à Terra no ponto de reentrada era

- A) igual à da Terra e no mesmo sentido.  
 B) superior à da Terra e no mesmo sentido.  
 C) inferior à da Terra e no sentido oposto.  
 D) igual à da Terra e no sentido oposto.  
 E) superior à da Terra e no sentido oposto.
02. (Enem) Um professor utiliza essa história em quadrinhos para discutir com os estudantes o movimento de satélites. Nesse sentido, pede a eles que analisem o movimento do coelhinho, considerando o módulo da velocidade constante.



SOUSA, M. *Cebolinha*, n. 240, jan. 2006.

Desprezando a existência de forças dissipativas, o vetor aceleração tangencial do coelhinho, no terceiro quadrinho, é

- A) nulo.  
 B) paralelo à sua velocidade linear e no mesmo sentido.  
 C) paralelo à sua velocidade linear e no sentido oposto.  
 D) perpendicular à sua velocidade linear e dirigido para o centro da Terra.  
 E) perpendicular à sua velocidade linear e dirigido para fora da superfície da Terra.

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

- Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_  
 01. B     03. C     05. C     07. C  
 02. B     04. B     06. E     08. D

#### Propostos

- Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_  
 01. A     04. C     07. C     10. A  
 02. B     05. C     08. C  
 03. B     06. C     09. D

#### Seção Enem

- Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_  
 01. B     02. A



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## 2ª Lei da Termodinâmica

A 1ª Lei da Termodinâmica é o Princípio da Conservação da Energia aplicado a sistemas térmicos. No estudo dessa lei, analisamos várias situações que envolvem balanços de energia em diferentes processos. Entretanto, podemos pensar em alguns processos em que a energia se conserva, mas que, mesmo assim, são impossíveis de ocorrer na prática. Por exemplo, imagine um copo de leite quente recebendo espontaneamente calor de um bloco de gelo. A 1ª Lei da Termodinâmica não proíbe esse processo. De acordo com essa lei, o calor absorvido pelo leite seria convertido em energia interna, de forma que a energia estaria se conservando. Todavia, pela nossa experiência diária, sabemos que o leite quente não pode receber calor do gelo. De fato, o leite quente é que deve transferir calor para o gelo. A 2ª Lei da Termodinâmica trata, justamente, de processos naturalmente proibidos, ainda que a conservação da energia seja verificada.

Iniciaremos este módulo ilustrando a impossibilidade de existir um motor térmico capaz de usar 100% do calor recebido na geração de trabalho mecânico. Esse fato nos levará ao enunciado da 2ª Lei da Termodinâmica proposto por Kelvin e Planck. Em seguida, discutiremos a impossibilidade de existir um refrigerador capaz de transferir calor de si para um ambiente mais quente sem consumir qualquer energia para funcionar. Esse fato nos levará ao enunciado da 2ª Lei da Termodinâmica proposto por Clausius. Por fim, vamos explicar o que é um processo reversível. A partir desse conceito, vamos apresentar o ciclo de Carnot, segundo o qual um motor e um refrigerador térmico funcionam com um desempenho máximo.

### O MOTOR TÉRMICO

É perfeitamente possível existir um ciclo no qual o sistema absorve certa quantidade de energia na forma de trabalho e, em seguida, libera a mesma quantidade de energia na forma de calor, de modo que o sistema volte ao estado inicial. Entretanto, o ciclo inverso não é possível. Na prática, um sistema não pode receber calor e, em seguida, realizar um trabalho de igual valor, capaz de fazer o sistema voltar ao estado inicial. Embora haja conservação da energia nesses dois casos, apenas o primeiro ciclo é possível. O outro é proibido pela natureza. Essa é a essência da 2ª Lei da Termodinâmica.

A figura 1 exemplifica os dois ciclos descritos anteriormente. Na figura 1a, o peso desce com velocidade constante e transfere um trabalho para o gás por meio das pás girantes. Em seguida, o gás, agora aquecido, transfere uma quantidade de calor para o meio ambiente, de valor exatamente igual ao do trabalho recebido, de forma que o sistema retorne ao estado inicial, completando um ciclo. Na outra situação, mostrada na figura 1b, o gás recebe calor.

Porém, depois de aquecido, o gás não é capaz de voltar ao estado inicial por meio da realização de um trabalho. Em outras palavras, o gás quente não é capaz de girar as pás e de levantar o peso. Apesar de ser viável do ponto de vista da conservação da energia, a experiência mostra que esse ciclo jamais acontece.

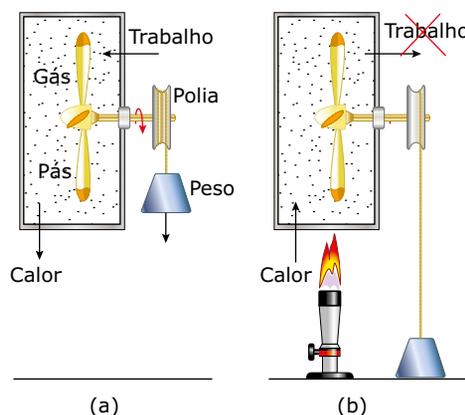


Figura 1. (a) Ciclo possível: conversão integral de trabalho em calor; (b) ciclo impossível: conversão integral de calor em trabalho.

Note que, no sistema da figura 1b, existe apenas uma fonte de calor, a chama de gás, que denominaremos de fonte quente. Com algumas adaptações, esse sistema pode produzir trabalho usando parte do calor fornecido pela fonte quente. Contudo, a parte restante do calor não pode ser utilizada para gerar trabalho. Ela deve ser rejeitada para um local onde a temperatura seja menor. Vamos denominar esse local de fonte fria. Existem muitos tipos de motores térmicos que geram trabalho ciclicamente. Todos operam entre duas fontes de calor, conforme está ilustrado no esquema da figura 2. Em cada ciclo, o motor recebe uma quantidade de calor  $Q_1$  da fonte quente. Parte desse calor transforma-se em um trabalho  $W$ , e o restante, o calor  $Q_2$ , é rejeitado para a fonte fria.

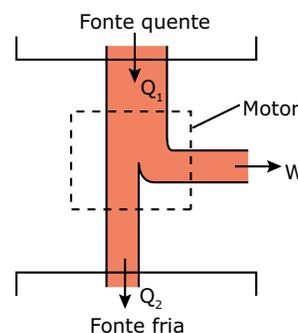


Figura 2. Conversão de calor em trabalho em um motor térmico.

Em cada ciclo, não há variação na energia interna do motor (sistema). Por isso, o calor líquido é igual ao trabalho realizado pelo motor. Usando a equação da 1ª Lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = 0 = (Q_1 + Q_2) - W \Rightarrow W = Q_1 + Q_2$$

O motor produz o trabalho  $W$ , absorve o calor  $Q_1$  e rejeita o calor  $Q_2$ . Assim,  $W > 0$ ,  $Q_1 > 0$  e  $Q_2 < 0$ . Por exemplo, podemos imaginar um pequeno motor para o qual  $Q_1 = 100 \text{ J}$ ,  $W = 40 \text{ J}$  e  $Q_2 = -60 \text{ J}$ . Observe que, dos 100 J de calor absorvidos pelo motor, 40 J são transformados em trabalho, e 60 J são rejeitados na forma de calor para a fonte fria. Outra observação importante é que o rendimento desse motor é igual a 40%, pois o trabalho gerado pelo motor corresponde a 40% do calor que ele recebe da fonte quente. De uma forma genérica, o rendimento térmico de um motor, em valor absoluto, pode ser calculado pelo seguinte quociente:

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

Um motor térmico não pode apresentar rendimento térmico igual a 100%, pois, nesse caso, todo o calor  $Q_1$  seria convertido em trabalho, o que é impossível. Lord Kelvin e Max Planck resumiram essa proibição por meio daquilo que hoje é conhecido como o enunciado de Kelvin e Planck da 2ª Lei da Termodinâmica:

Não existe um motor térmico cíclico cujo único resultado seja a absorção de calor de uma fonte e a conversão integral desse calor em trabalho.

Existem vários tipos de motores térmicos. Da máquina de Watt aos modernos motores dos aviões a jato, todos operam com um rendimento limitado pela 2ª Lei da Termodinâmica. O motor térmico mais famoso é o motor a explosão, que equipa quase todos os automóveis do mundo. A figura 3 mostra um motor a explosão, em que o movimento alternativo do pistão é convertido em rotação através do conjunto biela-virabrequim.

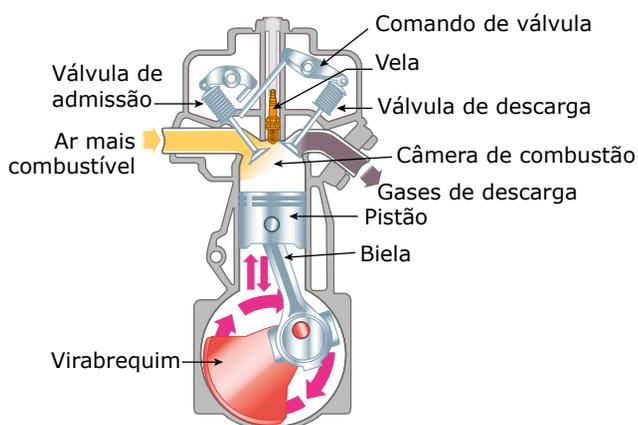


Figura 3. O motor a explosão.

Nesse motor, uma mistura de ar e combustível (em geral, gasolina ou álcool) entra no cilindro quando a válvula de admissão é mantida aberta durante a descida do pistão (1º tempo do motor: admissão). A seguir, depois que o pistão chega à posição mais baixa, a válvula de admissão se fecha e o pistão começa a subir, comprimindo a mistura dentro do cilindro (2º tempo: compressão). Quando o pistão chega à posição mais alta, uma centelha elétrica ocorre entre os terminais da vela. O combustível explode, e o pistão é fortemente empurrado para baixo (3º tempo: expansão). Quando o êmbolo chega à posição mais baixa, a válvula de escape se abre e o pistão começa a subir, expulsando os gases provenientes da combustão (4º tempo: descarga). Terminada essa etapa do ciclo, o motor pode iniciar um novo ciclo com a admissão da mistura de ar e combustível.

## O REFRIGERADOR TÉRMICO

Considere que um refrigerador deva ser usado para congelar certa massa de água que se encontra à temperatura de 0 °C. Imagine que o refrigerador opere em um ciclo de duas etapas. Na primeira etapa, o refrigerador a 20 °C (que é a temperatura ambiente) recebe calor da água a 0 °C. Como resultado, a água congela, e o refrigerador se aquece. Na segunda etapa do ciclo, o refrigerador cede calor para a vizinhança até que a sua temperatura volte a ser 20 °C. Apesar de não violar a Lei da Conservação da Energia, esse ciclo é impossível, pois, na primeira etapa, a água a 0 °C cede calor para o refrigerador a 20 °C. Da nossa experiência diária, sabemos que um corpo não pode ceder calor para outro que esteja a uma temperatura maior.

Em cada ciclo de um refrigerador térmico real, uma quantidade de calor  $Q_1$  é transferida de uma fonte fria para o refrigerador e uma quantidade de calor  $Q_2$  é transferida do refrigerador para uma fonte quente. Além disso, em cada ciclo, o refrigerador real demanda uma quantidade de trabalho  $W$  para poder funcionar. A figura 4 mostra os sentidos desses fluxos de energia.

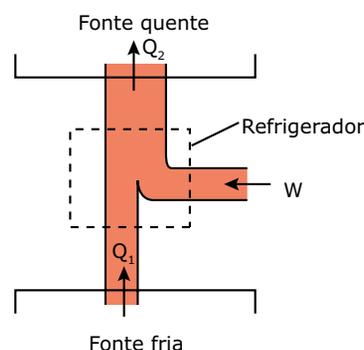


Figura 4. Transferência de calor em um refrigerador térmico.

Assim como em qualquer ciclo, a variação da energia interna do refrigerador em um ciclo completo também é nula. Por isso, o calor líquido é igual ao trabalho recebido pelo refrigerador. Aplicando a 1ª Lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = 0 = (Q_1 + Q_2) - W \Rightarrow W = Q_1 + Q_2$$

O refrigerador absorve o trabalho  $W$  e o calor  $Q_1$  e rejeita o calor  $Q_2$ . Assim,  $W < 0$ ,  $Q_1 > 0$  e  $Q_2 < 0$ . Por exemplo, podemos imaginar um refrigerador em que  $Q_1 = 100 \text{ J}$ ,  $W = -40 \text{ J}$  e  $Q_2 = -140 \text{ J}$ . O fato de  $Q_1$  ser maior que o trabalho  $W$  não viola a conservação da energia. O importante é que a soma de  $Q_1$  e  $W$  (em módulos) seja igual ao módulo de  $Q_2$ . Esse balanço é o que garante a conservação da energia no ciclo.

Agora, vamos definir uma equação para medir a eficiência de um refrigerador. Um refrigerador eficiente é aquele que retira muito calor da fonte fria sem consumir muito trabalho. Assim, o coeficiente de eficácia de um refrigerador térmico é dado por:

$$\beta = \frac{Q_1}{W}$$

Por exemplo, se  $Q_1 = 100 \text{ J}$  e  $W = 40 \text{ J}$  (em módulo), a eficiência do refrigerador será  $\beta = 100/40 = 2,5$ . Esse número tem a seguinte interpretação: para cada unidade de trabalho consumida, o refrigerador retira 2,5 unidades de calor da fonte fria. Teoricamente, o coeficiente  $\beta$  pode variar desde zero até valores bem elevados. Porém,  $\beta$  não pode ser infinito, pois isso implicaria um refrigerador com trabalho  $W = 0$ . Nesse caso,  $Q_1$  seria igual a  $Q_2$ , com o refrigerador transferindo calor da fonte fria para a fonte quente sem consumir trabalho. Como vimos, esse ciclo é impossível. A proibição desse ciclo foi expressa por Rudolph Clausius por meio do que atualmente é conhecido como enunciado de Clausius da 2ª Lei da Termodinâmica:

Não existe um refrigerador térmico cíclico cujo único resultado seja a transferência de calor de um corpo para outro com temperatura maior.

O refrigerador térmico mais popular, sem dúvida, é aquele que usa o ciclo de compressão de vapor, presente nas geladeiras e *freezers* domésticos, nos aparelhos de ar-condicionado e nos balcões frigoríficos dos supermercados. A figura 5 mostra os quatro componentes desse ciclo: duas serpentinas (o evaporador e o condensador), um compressor e um tubo de seção estrangulada.

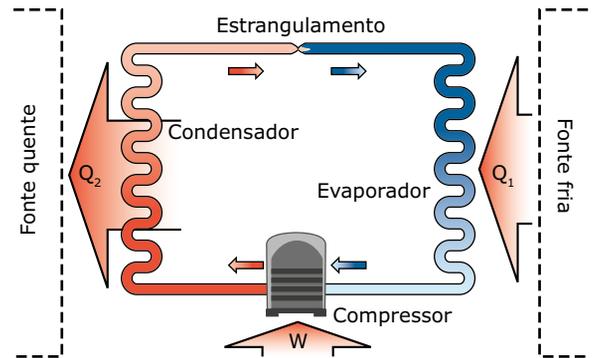


Figura 5. Esquema de um refrigerador.

Um fluido especial atravessa esses quatro componentes. Na entrada do evaporador, o fluido é praticamente líquido, e a temperatura é baixa (nas geladeiras, esse valor é cerca de  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ ). A temperatura da fonte fria é baixa, porém um pouco maior que a do evaporador (cerca de  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  no caso do congelador de geladeiras). Assim, o fluido, ao atravessar o evaporador, recebe o calor  $Q_1$ , sofrendo vaporização isobárica. O compressor aspira e comprime o vapor proveniente do evaporador. Nessa etapa, o fluido recebe o trabalho  $W$ . O vapor quente e pressurizado sai do compressor e entra no condensador. Nessa serpentina, o fluido cede o calor  $Q_2$  para a fonte quente, sofrendo uma transformação isobárica. Por último, o líquido quente proveniente do condensador atravessa o estrangulamento. Esse dispositivo gera uma súbita redução na pressão do fluido, de forma parecida com a queda de pressão em uma seringa com a extremidade fechada quando o êmbolo dessa é puxado rapidamente. Em consequência, parte do líquido vaporiza, causando um forte resfriamento do fluido. É por isso que o fluido entra no evaporador a uma temperatura muito baixa. Em seguida, o ciclo recomeça.

O ciclo descrito anteriormente também pode ser usado para aquecer um ambiente. Nesse caso, o interesse não é manter o resfriamento da fonte fria, mas promover o aquecimento da fonte quente, que pode ser a água de uma piscina ou o interior de uma casa durante o inverno. A máquina térmica, nesse caso, é chamada de bomba de calor, e o seu coeficiente de eficácia é definido em termos do calor  $Q_2$  (e não do calor  $Q_1$ , como fizemos para o refrigerador), pela seguinte razão:  $\beta' = Q_2/W$ . O Exercício Resolvido 01, apresentado a seguir, aborda o uso de uma bomba de calor para aquecer uma casa no inverno. Antes de acompanhar a sua resolução, procure responder à seguinte pergunta:



#### PARA REFLETIR

Por que você pode aquecer uma cozinha deixando aberta a porta do forno quente, mas não pode resfriá-la deixando aberta a porta da geladeira?

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

**01.** No inverno, uma casa precisa ser aquecida por uma bomba de calor de forma a manter a temperatura interna igual a 20 °C durante todo o tempo. Estima-se uma perda de calor de 0,8 kW da casa para o exterior para cada grau de diferença entre a temperatura da casa e a temperatura externa. Considere que a temperatura ambiente média no inverno seja de -10 °C e que, nessa condição, a bomba de calor opere com um coeficiente de eficácia  $\beta' = 3$ .

- Usando a figura 5 como referência, indique onde é o interior e o exterior da casa.
- Calcule a potência do compressor da bomba de calor.
- Explique por que é mais econômico usar a bomba de calor do que um aquecedor do tipo resistência elétrica na calefação da casa.

### Resolução:

A) O exterior da casa é a fonte fria, situada à direita da máquina, e o interior da casa é a fonte quente, à esquerda da máquina. O evaporador recebe o calor  $Q_1$  proveniente do exterior, e o condensador transfere o calor  $Q_2 = Q_1 + W$  para o interior da casa, garantindo o seu aquecimento.

B) A taxa de perda de calor da casa para o exterior é dada por:

$$\phi = (0,8 \text{ kW}/^\circ\text{C}) \cdot [20 - (-10)] \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \phi = 24 \text{ kW}$$

Para a temperatura da casa não diminuir e se manter sempre constante, uma taxa de transferência de calor  $\phi'$ , de mesmo módulo que a taxa de perda de calor, de 24 kW, deve ser constantemente fornecida ao interior da casa por meio da bomba de calor. Então, podemos calcular a potência de acionamento do compressor (P) por meio da equação do coeficiente de eficácia da bomba de calor. Substituindo os dados nessa equação, obtemos:

$$\beta' = \frac{Q_2}{W} = \frac{\phi' \Delta t}{P \Delta t} \Rightarrow \beta' = \frac{\phi'}{P} \Rightarrow$$

$$3 = \frac{24}{P} \Rightarrow P = 8 \text{ kW}$$

C) Se um aquecedor elétrico fosse utilizado para aquecer a casa, a potência do aparelho deveria ser de 24 kW. Esse é exatamente o valor da taxa de consumo de energia elétrica do sistema. No caso da bomba de calor, a taxa de consumo de energia elétrica é 3 vezes menor que 24 kW, pois o compressor é o único componente da máquina passivo de ser acionado por energia elétrica. O compressor consome uma potência de apenas 8 kW, uma vez que esse valor é  $P = \phi'/\beta'$ , sendo  $\beta = 3$ . A soma de P e da taxa de calor fornecida pelo exterior (16 kW) é igual à taxa de calor que a casa recebe (24 kW).

## O CICLO DE CARNOT

Se nenhum motor térmico aproveita 100% do calor a ele fornecido e se nenhum refrigerador funciona sem consumir trabalho, então, que máquina térmica teria o melhor desempenho? Uma máquina que opere segundo o ciclo de Carnot, essa é a resposta. O ciclo de Carnot é uma sequência teórica de processos reversíveis (ideais). Um sistema sofre um processo reversível quando o restabelecimento ao estado inicial não deixa vestígios na vizinhança. As três principais causas de irreversibilidades são: o atrito, a expansão não resistida e a transferência de calor. É natural pensar que o atrito gere irreversibilidades. Um motor com pouca lubrificação apresenta muitas perdas, e o seu rendimento tende a ser baixo. A seguir, vamos discutir por que a expansão não resistida e a transferência de calor são processos irreversíveis, isto é, por que esses processos comprometem a eficiência das máquinas térmicas.

A figura 6 mostra um gás aprisionado em um cilindro dotado de um êmbolo (estado 1, ilustrado na primeira figura). Retirando-se o peso de cima do prato, o gás se expande rapidamente e com pouca resistência, pois a parte do cilindro, do outro lado do êmbolo, está evacuada. O trabalho realizado pelo gás é muito pequeno, apenas o suficiente para elevar o prato. No fim, o volume do gás é maior, a pressão é menor, e a temperatura é ligeiramente menor (estado 2, ilustrado na segunda figura). Para o gás voltar ao estado 1, o peso deverá ser colocado novamente sobre o prato, de forma que o êmbolo possa comprimir o gás. Essa compressão 2-1 demanda um trabalho realizado pela vizinhança muito grande, pois o deslocamento do prato ocorre com o peso em cima dele. Em outras palavras, a vizinhança despense mais trabalho para fazer o gás retornar ao estado inicial do que aquele que ela recebe na primeira etapa do ciclo (vestígios na vizinhança). O gás voltou ao estado inicial, mas a vizinhança não. Por isso, uma expansão pouco resistida é um processo irreversível.

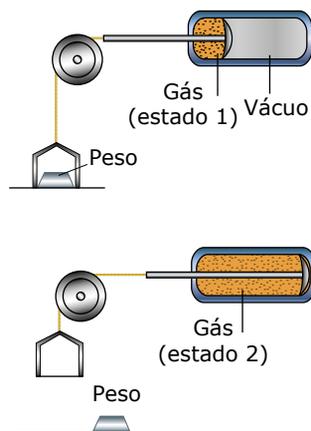


Figura 6. A expansão livre é um processo irreversível.

A expansão de um gás é um processo reversível apenas quando as pressões em cada lado do êmbolo diferem de um infinitésimo. Nos motores reais, isso não ocorre.

Por exemplo, em um motor automotivo, logo após a explosão do combustível, a diferença de pressão  $\Delta P$  entre a câmara de combustão e o exterior do cilindro é cerca de 20 atm. Esse valor é enorme e, por isso, ele gera muitas irreversibilidades e uma redução no rendimento térmico do motor. Por outro lado, é justamente o alto valor de  $\Delta P$  que proporciona mais rotação ao motor e mais velocidade ao carro.

Para discutir a irreversibilidade gerada pela transferência de calor, vamos considerar um exemplo simples. Imagine um recipiente hermético contendo um gás a 80 °C (estado 1). Em seguida, o gás transfere calor para o ambiente até que a sua temperatura atinja 50 °C (estado 2). Para fazer o gás voltar ao estado 1, vamos usar uma bomba de calor, que deverá transferir calor do ambiente para o gás. Ora, essa máquina, como sabemos, consumirá certa quantidade de trabalho para executar tal tarefa. Esse trabalho representa um vestígio na vizinhança. Portanto, um processo de transferência de calor é irreversível.

A transferência de calor é reversível apenas quando o processo ocorre devido a uma diferença infinitesimal de temperatura. No exemplo anterior, se a temperatura do gás fosse um infinitésimo de grau acima da temperatura ambiente, a bomba de calor praticamente não consumiria trabalho para restabelecer o seu estado inicial. Você pode pensar, então, que seria interessante usar uma serpentina de calefação com o fluido apenas ligeiramente mais quente do que o ambiente a ser aquecido. Apesar de o processo ser quase reversível, esse equipamento não seria viável na prática. A pequena diferença entre as temperaturas não seria suficiente para garantir um fluxo de calor adequado para o aquecimento. Para resolver o problema, a serpentina deveria ter alguns quilômetros de comprimento. Além do preço proibitivo, essa serpentina não caberia no recinto a ser aquecido.

Agora, estamos prontos para entender o ciclo de Carnot. Uma máquina de Carnot (motor ou refrigerador) possui desempenho máximo porque ela não contém os três fatores de irreversibilidades que discutimos nos últimos parágrafos. Em uma máquina de Carnot, também chamada de máquina reversível, não há atrito entre as partes móveis, que se deslocam com extrema lentidão, movidos por diferenças infinitesimais de pressão. Além disso, as trocas de calor entre a máquina e as fontes térmicas ocorrem por meio de diferenças infinitesimais de temperatura.

No caso de um motor de Carnot, a fonte quente, cuja temperatura é  $T_1$ , cede o calor  $Q_1$  para o fluido do motor, cuja temperatura é infinitesimalmente menor do que  $T_1$ . Por isso, o fluido recebe calor por meio de um processo isotérmico à temperatura  $T_1$ . De forma semelhante, o fluido do motor transfere o calor  $Q_2$  para a fonte fria, cuja temperatura é  $T_2$ , por meio de um processo isotérmico, sendo a temperatura do fluido infinitesimalmente maior do que  $T_2$ . O fluido muda a sua temperatura de  $T_1$  para  $T_2$  e vice-versa por meio de processos adiabáticos, alternados com os dois processos isotérmicos citados.

A figura 7 mostra um diagrama de pressão *versus* volume para um motor de Carnot, que utiliza um gás ideal como fluido de trabalho. Observe que a absorção do calor  $Q_1$  ocorre durante a expansão isotérmica a-b, ao passo que a rejeição do calor  $Q_2$  ocorre durante a compressão isotérmica c-d.

Observe também que o fluido diminui a temperatura de  $T_1$  para  $T_2$  por meio de uma expansão adiabática b-c e aumenta a temperatura novamente para  $T_1$  por meio de uma compressão adiabática d-a. Observe ainda que o ciclo ocorre no sentido horário, característico de um motor. A área dentro do ciclo é numericamente igual ao trabalho realizado pelo motor. Se o mesmo ciclo fosse percorrido no sentido anti-horário, esse trabalho seria a energia consumida pela máquina, que, nesse caso, seria um refrigerador de Carnot.

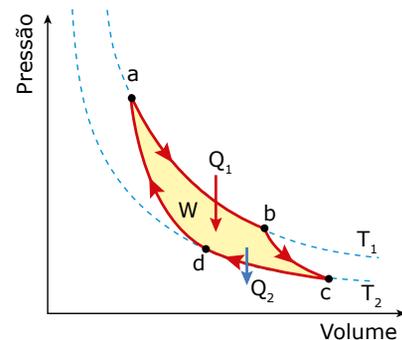


Figura 7. Ciclo de Carnot para um motor com gás ideal.

Existem dois teoremas importantes relacionados ao ciclo de Carnot. O primeiro afirma que o rendimento de um motor de Carnot (ou o coeficiente de eficácia de um refrigerador de Carnot) independe da substância de trabalho. O outro teorema afirma que esse rendimento depende apenas das temperaturas  $T_1$  e  $T_2$  das fontes de calor. Não vamos demonstrar esses teoremas, mas vamos usá-los para deduzir a equação do rendimento de um motor de Carnot. Como esse rendimento é função apenas de  $T_1$  e de  $T_2$ , e lembrando que o rendimento é dado por  $\eta = W/Q_1$  e que  $W = Q_1 - Q_2$ , podemos escrever a seguinte expressão:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - f(T_1, T_2)$$

A parcela  $f(T_1, T_2)$  é função das temperaturas das fontes de calor. Existem várias relações funcionais que podem ser escolhidas para representar  $f(T_1, T_2)$ . Lord Kelvin sugeriu a seguinte relação:

$$f(T_1, T_2) = Q_2/Q_1 = T_2/T_1$$

Substituindo essa expressão na equação do rendimento do motor, obtemos a seguinte relação:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Nessa equação, as temperaturas  $T_1$  e  $T_2$  devem ser expressas em Kelvin. Essa equação mostra que um motor de Carnot tem maior desempenho à medida que a temperatura da fonte quente aumenta e a temperatura da fonte fria diminui.

Veja que, quando  $T_2$  tende para zero kelvin,  $\eta$  tende para 1. Como o zero absoluto é inatingível, mesmo um motor de Carnot não pode apresentar um rendimento de 100%. De fato, Lord Kelvin desenvolveu a escala absoluta de temperatura a partir dessa ideia.

O motor (ou refrigerador) de Carnot é uma máquina apenas teórica e que não pode ser construída na prática. Apesar disso, o seu rendimento é uma referência para os projetistas. Por exemplo, imagine que um motor deva ser projetado usando como fonte quente a água em ebulição a  $100\text{ }^\circ\text{C}$  ( $T_1 = 373\text{ K}$ ) e, como fonte fria, o gelo fundente a  $0\text{ }^\circ\text{C}$  ( $T_2 = 273\text{ K}$ ). Nessas condições, o rendimento de um motor de Carnot seria de:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{273}{373} = 0,27$$

É claro que o motor real terá um rendimento menor que este. Se o motor for bem projetado, o seu rendimento poderá ser a metade do rendimento de Carnot, ou um pouco mais. Devemos tomar cuidado para não achar que o rendimento de um motor de Carnot é sempre elevado (27%, como nesse exemplo, não é um rendimento alto). O motor de Carnot apenas proporciona o maior rendimento possível entre duas fontes de temperaturas  $T_1$  e  $T_2$ .

A relação  $Q_2/Q_1 = T_2/T_1$  também pode ser aplicada na dedução da equação do coeficiente de eficácia de um refrigerador (ou de uma bomba de calor). Abordaremos essa dedução no exercício resolvido 02. Antes de acompanhar a resolução desse problema, procure responder à seguinte questão:



#### PARA REFLETIR

Que fonte quente produziria maior rendimento a um motor térmico: vapor de água ou água líquida, ambos a  $100\text{ }^\circ\text{C}$  e  $1\text{ atm}$ ?



#### Termoracer

Esse jogo ajudará você a compreender as transformações termodinâmicas do ciclo Otto. Em cada corrida, acelere seu carro acionando corretamente cada tempo do motor. Fique atento para não errar, pois, se o ciclo não ocorrer corretamente, seu carro deixará de ganhar velocidade, podendo até parar. Boa corrida!



## EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 02.** Um comerciante de geladeiras e *freezers* garante que os seus produtos apresentam um coeficiente de eficácia igual a 3, isto é, para cada unidade de energia fornecida ao compressor, o equipamento retira o triplo de calor do seu compartimento interno. Explique por que essa afirmativa não procede.

#### Resolução:

O desempenho de um refrigerador de Carnot pode servir de referência para avaliarmos o desempenho de uma máquina real operando entre as mesmas temperaturas. Assim, para avaliar a afirmativa do comerciante, vamos deduzir a equação do coeficiente de eficácia de um refrigerador de Carnot. A equação genérica do coeficiente de eficácia, válida para qualquer ciclo, é a seguinte:

$$\beta = \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} = \frac{1}{(Q_2/Q_1) - 1}$$

Para uma máquina de Carnot,  $Q_2/Q_1 = T_2/T_1$ . Substituindo essa razão na equação anterior, obtemos o coeficiente de eficácia para um refrigerador de Carnot em função de  $T_1$  e  $T_2$ :

$$\beta = \frac{1}{(T_2/T_1) - 1}$$

Segundo essa equação,  $\beta$  diminui à medida que a temperatura da fonte quente,  $T_2$ , aumenta. Como  $T_2$  é a temperatura do recinto onde o refrigerador se encontra, concluímos que um refrigerador de Carnot (e também um refrigerador real) apresenta um desempenho menor no verão e maior no inverno.

Ainda segundo a equação anterior,  $\beta$  diminui à medida que a temperatura da fonte fria,  $T_1$ , diminui. Como  $T_1$  é a temperatura do interior do refrigerador, e como o interior de um *freezer* é mais frio do que o interior de uma geladeira, concluímos que o desempenho de um *freezer* de Carnot é menor do que o de uma geladeira de Carnot no mesmo recinto ( $T_2$  fixo). Uma geladeira e um *freezer* real também apresentam o mesmo comportamento.

Sobre a afirmativa do comerciante, concluímos que ela não é verdadeira, pois o desempenho de um refrigerador depende tanto da temperatura ambiente quanto da sua temperatura interna.

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

01.  
XPĐ0

(UFU-MG) As máquinas a vapor mudaram a forma de o homem relacionar-se com a natureza e influenciaram até mesmo as relações humanas, com a mudança da mão de obra braçal para a força mecânica gerada por elas. Se tomarmos como exemplo uma locomotiva a vapor que funciona recebendo 800 J de sua caldeira e cedendo 200 J para o ambiente externo, poderemos afirmar que

- A) essa locomotiva possui rendimento de apenas 25%, uma vez que 200 J, dos 800 J recebidos, são perdidos.  
 B) essa locomotiva possui rendimento de 75%, o que poderia ser aumentado se a máquina cedesse menos calor ao meio externo.  
 C) o trabalho realizado por essa locomotiva nesse processo é de 1 000 J.  
 D) essa locomotiva teria rendimento máximo se o trabalho realizado por ela fosse igual ao calor cedido ao ambiente externo.

02.

(Unit-SE-2019) O corpo humano é um sistema aberto, que troca matéria e energia com sua vizinhança, mediante um processo isotérmico, pois consome energia em forma de nutrientes e realiza um trabalho interno e externo com relação ao sistema. Com base nos conhecimentos sobre a Termodinâmica, analise as afirmativas e marque com V as verdadeiras e com F as falsas.

- ( ) Um processo adiabático é aquele em que não ocorre variação de temperatura e pressão.  
 ( ) O volume específico de uma substância é definido como o volume ocupado pela unidade de massa.  
 ( ) O rendimento térmico do ciclo de Carnot é função das temperaturas  $T_A$  e  $T_B$ , assim como das trocas de calor e do trabalho realizado no ciclo.  
 ( ) A máquina térmica é um dispositivo que opera em ciclo termodinâmico e produz trabalho líquido positivo, recebendo calor de um reservatório térmico a alta temperatura e fornecendo calor para um reservatório térmico a baixa temperatura.

A alternativa que contém a sequência correta, de cima para baixo, é a:

- A) F F V V                      C) F V F V                      E) V F V F  
 B) F V V F                      D) V V F F

03.  
I2J3

(UFV-MG) Uma máquina térmica, operando entre duas fontes quente e fria, às temperaturas de 327 °C e 27 °C, respectivamente, realiza um trabalho de 200 J, ao absorver 1 000 J da fonte quente. Caso essa máquina passasse a operar segundo o ciclo de Carnot, entre as mesmas fontes, seu rendimento seria

- A) 100%.                                      C) 20%.  
 B) 50%.                                        D) 0%.

04.  
QYD8

(UPE) Num refrigerador, para 90 J retirados, em cada ciclo da máquina, 100 J são enviados do congelador para o meio ambiente. Sobre isso, analise as seguintes alternativas:

- I. A variação de calor entre as fontes quente e fria é 10 J.  
 II. O trabalho do compressor em cada ciclo é 10 J.  
 III. A eficiência desse refrigerador é 9.

Está correto o que se afirma em

- A) I, apenas.                                      D) II e III, apenas.  
 B) I e II, apenas.                                E) I, II e III.  
 C) I e III, apenas.

05.

(UEPB) A Revolução Industrial consistiu em um conjunto de mudanças tecnológicas com profundo impacto no processo produtivo em nível econômico e social. Iniciada na Inglaterra em meados do século XVIII, expandiu-se pelo mundo a partir do século XIX. James Hargreaves, 1764, na Grã-Bretanha, inventa a fiadora "spinning Jenny", uma máquina de fiar rotativa que permitia a um único artesão fiar oito fios de uma só vez; James Watt, 1768, inventa a máquina a vapor; Gottlieb Daimler, 1885, inventa um motor a explosão, etc.

Acerca do assunto tratado no texto em relação às máquinas térmicas, de acordo com a segunda Lei da Termodinâmica, podemos afirmar:

- I. Nenhuma máquina térmica operando em ciclos pode retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.  
 II. A segunda Lei da Termodinâmica se aplica aos refrigeradores, porque estes transferem calor da fonte fria para a fonte quente.  
 III. O rendimento de uma máquina térmica que opera em ciclos pode ser de 100%.

Após a análise feita, verifica-se que é(são) correta(s) apenas(s) a(s) proposição(ões)

- A) II e III.                                      C) III.    E) I e II.  
 B) II.    D) I.

06.

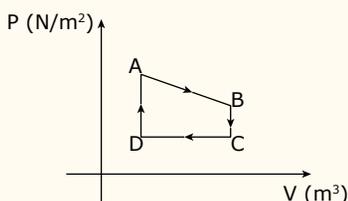
(PUC-RS) Ondas sonoras se propagam longitudinalmente no interior dos gases a partir de sucessivas e rápidas compressões e expansões do fluido. No ar, esses processos podem ser considerados como transformações adiabáticas, principalmente devido à rapidez com que ocorrem e também à baixa condutividade térmica deste meio. Por aproximação, considerando-se que o ar se comporte como um gás ideal, a energia interna de uma determinada massa de ar sofrendo compressão adiabática \_\_\_\_\_; portanto, o \_\_\_\_\_ trocado com as vizinhanças da massa de ar seria responsável pela transferência de energia.

- A) diminuiria – calor  
 B) diminuiria – trabalho  
 C) não variaria – trabalho  
 D) aumentaria – calor  
 E) aumentaria – trabalho

**07.** (UFPA) Um técnico de manutenção de máquinas pôs para funcionar um motor térmico que executa 20 ciclos por segundo. Considerando-se que, em cada ciclo, o motor retira uma quantidade de calor de 1 200 J de uma fonte quente e cede 800 J a uma fonte fria, é correto afirmar que o rendimento de cada ciclo é

- A) 13,3%.                      C) 33,3%.                      E) 53,3%.  
 B) 23,3%.                      D) 43,3%.

**08.** (UERN) O gráfico representa um ciclo termodinâmico.



Os trabalhos realizados nas transformações AB, BC, CD e DA são, respectivamente,

- A) negativo, nulo, positivo e nulo.  
 B) positivo, nulo, negativo e nulo.  
 C) positivo, negativo, nulo e positivo.  
 D) negativo, negativo, nulo e positivo.

**02.** (UFRGS-RS-2020) Uma máquina de Carnot apresenta um rendimento de 40%, e a temperatura de sua fonte quente é 500 K. A máquina opera a uma potência de 4,2 kW e efetua 10 ciclos por segundo. Qual é a temperatura de sua fonte fria e o trabalho que a máquina realiza em cada ciclo?

- A) 200 K – 42 J.  
 B) 200 K – 420 J.  
 C) 200 K – 42 000 J.  
 D) 300 K – 42 J.  
 E) 300 K – 420 J.

**03.** (UFT-TO) Suponha que uma máquina de Carnot seja construída utilizando como fonte fria o lado do planeta Gliese 581 g que nunca recebe luz e como fonte quente o lado que sempre recebe luz. A temperatura da fonte fria  $T_f = -40\text{ }^\circ\text{C}$  e da fonte quente  $T_q = 70\text{ }^\circ\text{C}$ . A cada ciclo, a máquina retira da fonte quente 1 000 J de calor.

Considerando que a máquina trabalha com um gás ideal, leia os itens a seguir:

- I. A máquina pode ser representada por um ciclo com duas transformações adiabáticas reversíveis e duas transformações isotérmicas reversíveis.
- II. Se o ciclo desta máquina consiste de uma expansão isotérmica, uma expansão adiabática, uma compressão isotérmica e uma compressão adiabática, respectivamente, então ocorre transformação de calor em trabalho útil.
- III. O rendimento da máquina é maior do que 40%.
- IV. A cada ciclo, uma quantidade de calor maior que 700 J é rejeitada para a fonte fria.

Marque a opção correta.

- A) I e III são verdadeiras.  
 B) I e II são verdadeiras.  
 C) I e IV são verdadeiras.  
 D) III e IV são verdadeiras.  
 E) II e IV são verdadeiras.

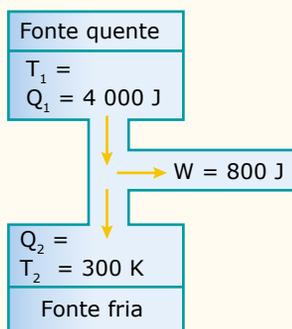
**04.** (EFOMM-RJ) O diagrama PV da figura mostra, para determinado gás ideal, alguns dos processos termodinâmicos possíveis. Sabendo-se que nos processos AB e BD são fornecidos ao gás 120 e 500 joules de calor, respectivamente, a variação da energia interna do gás, em joules, no processo ACD, será igual a

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS



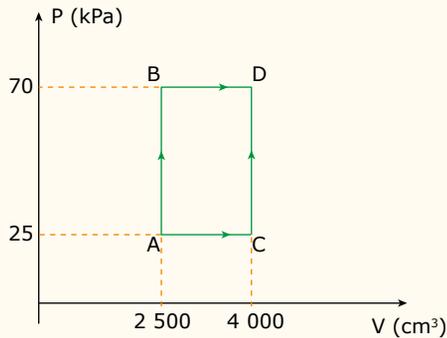
**01.** (PUC-Campinas-SP) O esquema a seguir representa trocas de calor e realização de trabalho em uma máquina térmica.

Os valores de  $T_1$  e  $Q_2$  não foram indicados, mas deverão ser calculados durante a solução deste exercício.



Considerando os dados indicados no esquema, se essa máquina operasse segundo um ciclo de Carnot, a temperatura  $T_1$ , da fonte quente, seria, em kelvins, igual a

- A) 375.                      C) 525.                      E) 1 500.  
 B) 400.                      D) 1 200.



- A) 105.  
B) 250.  
C) 515.  
D) 620.  
E) 725.

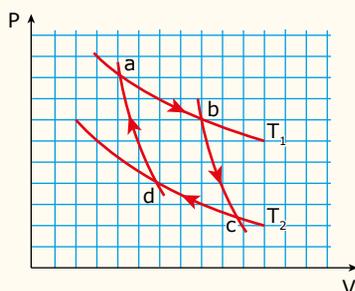
05.  
Z904

(UFAL) A cada ciclo de funcionamento, o motor de um certo automóvel retira 40 kJ do compartimento da fonte quente, onde se dá a queima do combustível, e realiza 10 kJ de trabalho. Sabendo que parte do calor retirado da fonte quente é dispensado para o ambiente (fonte fria) a uma temperatura de 27 °C, qual seria a temperatura no compartimento da fonte quente se esse motor operasse segundo o ciclo de Carnot?

**Dado:** Considere que as temperaturas em graus centígrados,  $T_c$ , e kelvin,  $T_k$ , se relacionam através da expressão  $T_c = T_k - 273$ .

- A) 127 °C.  
B) 177 °C.  
C) 227 °C.  
D) 277 °C.  
E) 377 °C.

06. (UDESC) No diagrama  $P \times V$  a seguir, está representado o ciclo termodinâmico da máquina de Carnot, considerada ideal porque tem o maior rendimento entre as máquinas térmicas. O sistema recebe calor da fonte quente à temperatura  $T_1$  e transfere calor para a fonte fria à temperatura  $T_2$ .



Com relação às transformações termodinâmicas que constituem esse ciclo, é correto afirmar que o sistema passa por uma

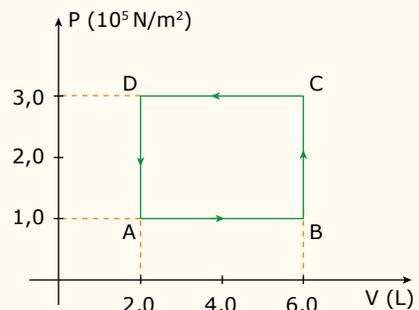
- A) expansão adiabática entre os estados b e d ( $b \rightarrow d$ ).  
B) expansão isovolumétrica entre os estados b e c ( $b \rightarrow c$ ).  
C) compressão isobárica entre os estados c e d ( $c \rightarrow d$ ).  
D) expansão isotérmica entre os estados a e b ( $a \rightarrow b$ ).  
E) compressão isotérmica entre os estados d e a ( $d \rightarrow a$ ).

07. (PUC Minas) Considere, pois, dois veículos de mesma massa, com motores de mesma potência: um equipado com motor elétrico com uma eficiência de 90% e o outro equipado com motor a combustão, com uma eficiência de 25%. Admitindo-se ambos os veículos com uma massa de 500 kg, partindo do repouso, em uma estrada plana e retilínea, a energia gerada nos motores para fazer com que ambos os veículos atinjam a velocidade de 36 km/h vale, respectivamente,

- A)  $1,0 \cdot 10^4$  J e  $2,0 \cdot 10^4$  J.  
B)  $1,1 \cdot 10^5$  J e  $4,0 \cdot 10^5$  J.  
C)  $2,7 \cdot 10^4$  J e  $1,0 \cdot 10^5$  J.  
D)  $2,5 \cdot 10^5$  J e  $2,5 \cdot 10^5$  J.

08.  
NM1R

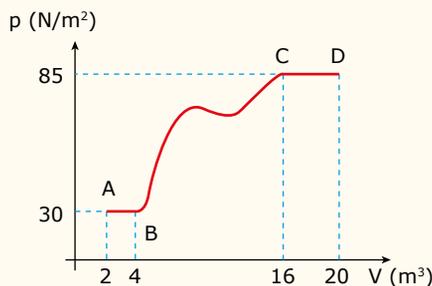
(EPCAR-RJ-2017) Um sistema termodinâmico constituído de n mols de um gás perfeito monoatômico desenvolve uma transformação cíclica ABCDA representada no diagrama a seguir.



De acordo com o apresentado, pode-se afirmar que

- A) o trabalho em cada ciclo é de 800 J e é realizado pelo sistema.  
B) o sistema termodinâmico não pode representar o ciclo de uma máquina frigorífica uma vez que o mesmo está orientado no sentido anti-horário.  
C) a energia interna do sistema é máxima no ponto D e mínima no ponto B.  
D) em cada ciclo o sistema libera 800 J de calor para o meio ambiente.

09. (UPE) Um gás ideal é submetido a um processo termodinâmico ABCD, conforme ilustra a figura a seguir.



Sabendo que o trabalho é total associado a esse processo é igual a 1 050 J, qual o trabalho no subprocesso BCD?

- A) 60 J
- B) 340 J
- C) 650 J
- D) 840 J
- E) 990 J

10. (AFA) Dispõe-se de duas máquinas térmicas de Carnot. A máquina 1 trabalha entre as temperaturas de 227 °C e 527 °C, enquanto a máquina 2 opera entre 227 K e 527 K.



Analise as afirmativas a seguir e responda ao que se pede.

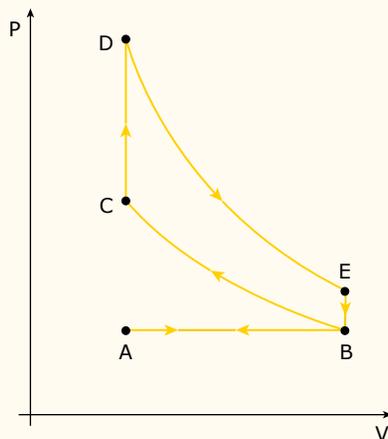
- I. A máquina 2 tem maior rendimento que a máquina 1.
- II. Se a máquina 1 realizar um trabalho de 2 000 J terá retirado 6 000 J de calor da fonte quente.
- III. Se a máquina 2 retirar 4 000 J de calor da fonte quente irá liberar aproximadamente 1 720 J de calor para a fonte fria.
- IV. Para uma mesma quantidade de calor retirada da fonte quente pelas duas máquinas, a máquina 2 rejeita mais calor para a fonte fria.

São corretas apenas

- A) I e II.
- B) I e III.
- C) II e IV.
- D) III e IV.

## SEÇÃO ENEM

01. (Enem) O motor de combustão interna, utilizado no transporte de pessoas e cargas, é uma máquina térmica cujo ciclo consiste em quatro etapas: admissão, compressão, explosão / expansão e escape. Essas etapas estão representadas no diagrama da pressão em função do volume. Nos motores a gasolina, a mistura ar / combustível entra em combustão por uma centelha elétrica.



Para o motor descrito, em qual ponto do ciclo é produzida a centelha elétrica?

- A) A
- B) B
- C) C
- D) D
- E) E

**02.** (Enem) Um motor só poderá realizar trabalho se receber uma quantidade de energia de outro sistema. No caso, a energia armazenada no combustível é, em parte, liberada durante a combustão para que o aparelho possa funcionar. Quando o motor funciona, parte da energia convertida ou transformada na combustão não pode ser utilizada para realização de trabalho. Isso significa dizer que há vazamento da energia em outra forma.

CARVALHO, A. X. Z. *Física Térmica*. Belo Horizonte: Pax, 2009 (Adaptação).

De acordo com o texto, as transformações de energia que ocorrem durante o funcionamento do motor são decorrentes de a

- A) liberação de calor dentro do motor ser impossível.
- B) realização de trabalho pelo motor ser incontrolável.
- C) conversão integral de calor em trabalho ser impossível.
- D) transformação de energia térmica em cinética ser impossível.
- E) utilização de energia potencial do combustível ser incontrolável.

**03.** (Enem) Aumentar a eficiência na queima de combustível dos motores a combustão e reduzir suas emissões de poluentes é a meta de qualquer fabricante de motores. É também o foco de uma pesquisa brasileira que envolve experimentos com plasma, o quarto estado da matéria e que está presente no processo de ignição.

A interação da faísca emitida pela vela de ignição com as moléculas de combustível gera o plasma que provoca a explosão liberadora de energia que, por sua vez, faz o motor funcionar.

Disponível em: [www.inovacaotecnologica.com.br](http://www.inovacaotecnologica.com.br).

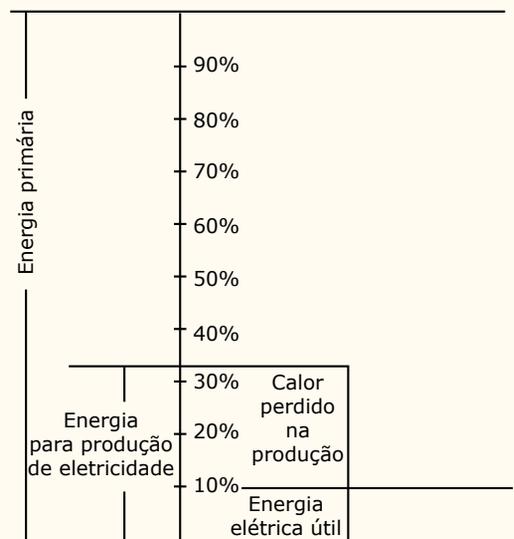
Acesso em: 22 jul. 2010 (Adaptação).

No entanto, a busca da eficiência referenciada no texto apresenta como fator limitante

- A) o tipo de combustível, fóssil, que utilizam. Sendo um insumo não renovável, em algum momento estará esgotado.
- B) um dos princípios da Termodinâmica, segundo o qual o rendimento de uma máquina térmica nunca atinge o ideal.
- C) o funcionamento cíclico de todos os motores. A repetição contínua dos movimentos exige que parte da energia seja transferida ao próximo ciclo.

- D) as forças de atrito inevitável entre as peças. Tais forças provocam desgastes contínuos que com o tempo levam qualquer material à fadiga e ruptura.
- E) a temperatura em que eles trabalham. Para atingir o plasma, é necessária uma temperatura maior que a de fusão do aço com que se fazem os motores.

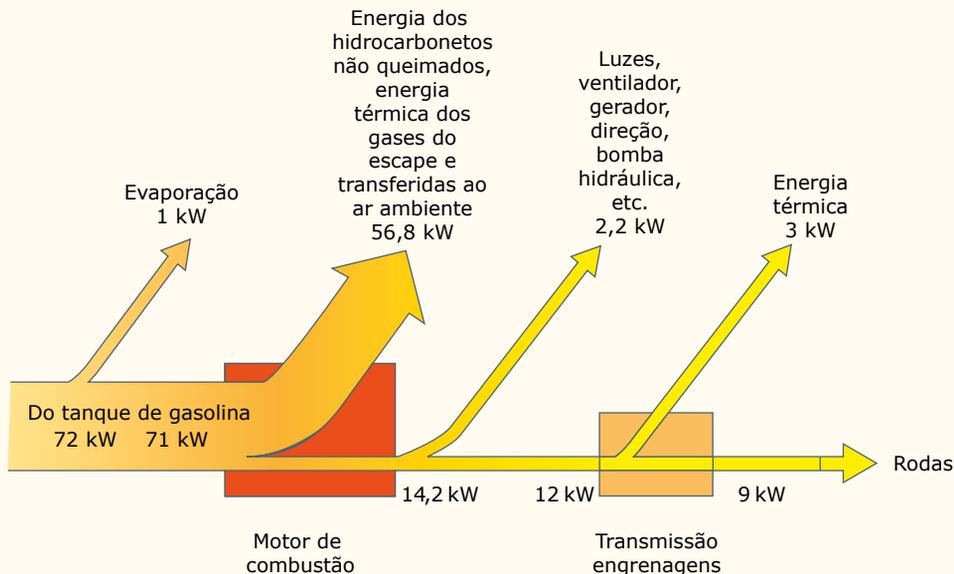
**04.** (Enem) O diagrama mostra a utilização das diferentes fontes de energia no cenário mundial. Embora aproximadamente um terço de toda energia primária seja orientada à produção de eletricidade, apenas 10% do total são obtidos em forma de energia elétrica útil.



A pouca eficiência do processo de produção de eletricidade deve-se, sobretudo, ao fato de as usinas

- A) nucleares utilizarem processos de aquecimento, nos quais as temperaturas atingem milhões de graus Celsius, favorecendo perdas por fissão nuclear.
- B) termelétricas utilizarem processos de aquecimento a baixas temperaturas, apenas da ordem de centenas de graus Celsius, o que impede a queima total dos combustíveis fósseis.
- C) hidrelétricas terem o aproveitamento energético baixo, uma vez que parte da água em queda não atinge as pás das turbinas que acionam os geradores elétricos.
- D) nucleares e termelétricas utilizarem processos de transformação de calor em trabalho útil, no qual as perdas de calor são sempre bastante elevadas.
- E) termelétricas e hidrelétricas serem capazes de utilizar diretamente o calor obtido do combustível para aquecer a água, sem perda para o meio.

05. (Enem) O esquema a seguir mostra, em termos de potência (energia / tempo), aproximadamente, o fluxo de energia, a partir de uma certa quantidade de combustível vinda do tanque de gasolina, em um carro viajando com velocidade constante.



O esquema mostra que, na queima da gasolina, no motor de combustão, uma parte considerável de sua energia é dissipada. Essa perda é da ordem de

- A) 80%.
- B) 70%.
- C) 50%.
- D) 30%.
- E) 20%.

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. B
- 02. C
- 03. B
- 04. E
- 05. E
- 06. E
- 07. C
- 08. B

#### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. A
- 02. E
- 03. B

- 04. C
- 05. A
- 06. D
- 07. C
- 08. D
- 09. E
- 10. B

#### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. C
- 02. C
- 03. B
- 04. D
- 05. A



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## 2ª Lei da Termodinâmica

A 1ª Lei da Termodinâmica é o Princípio da Conservação da Energia aplicado a sistemas térmicos. No estudo dessa lei, analisamos várias situações que envolvem balanços de energia em diferentes processos. Entretanto, podemos pensar em alguns processos em que a energia se conserva, mas que, mesmo assim, são impossíveis de ocorrer na prática. Por exemplo, imagine um copo de leite quente recebendo espontaneamente calor de um bloco de gelo. A 1ª Lei da Termodinâmica não proíbe esse processo. De acordo com essa lei, o calor absorvido pelo leite seria convertido em energia interna, de forma que a energia estaria se conservando. Todavia, pela nossa experiência diária, sabemos que o leite quente não pode receber calor do gelo. De fato, o leite quente é que deve transferir calor para o gelo. A 2ª Lei da Termodinâmica trata, justamente, de processos naturalmente proibidos, ainda que a conservação da energia seja verificada.

Iniciaremos este módulo ilustrando a impossibilidade de existir um motor térmico capaz de usar 100% do calor recebido na geração de trabalho mecânico. Esse fato nos levará ao enunciado da 2ª Lei da Termodinâmica proposto por Kelvin e Planck. Em seguida, discutiremos a impossibilidade de existir um refrigerador capaz de transferir calor de si para um ambiente mais quente sem consumir qualquer energia para funcionar. Esse fato nos levará ao enunciado da 2ª Lei da Termodinâmica proposto por Clausius. Por fim, vamos explicar o que é um processo reversível. A partir desse conceito, vamos apresentar o ciclo de Carnot, segundo o qual um motor e um refrigerador térmico funcionam com um desempenho máximo.

### O MOTOR TÉRMICO

É perfeitamente possível existir um ciclo no qual o sistema absorve certa quantidade de energia na forma de trabalho e, em seguida, libera a mesma quantidade de energia na forma de calor, de modo que o sistema volte ao estado inicial. Entretanto, o ciclo inverso não é possível. Na prática, um sistema não pode receber calor e, em seguida, realizar um trabalho de igual valor, capaz de fazer o sistema voltar ao estado inicial. Embora haja conservação da energia nesses dois casos, apenas o primeiro ciclo é possível. O outro é proibido pela natureza. Essa é a essência da 2ª Lei da Termodinâmica.

A figura 1 exemplifica os dois ciclos descritos anteriormente. Na figura 1a, o peso desce com velocidade constante e transfere um trabalho para o gás por meio das pás girantes. Em seguida, o gás, agora aquecido, transfere uma quantidade de calor para o meio ambiente, de valor exatamente igual ao do trabalho recebido, de forma que o sistema retorne ao estado inicial, completando um ciclo. Na outra situação, mostrada na figura 1b, o gás recebe calor.

Porém, depois de aquecido, o gás não é capaz de voltar ao estado inicial por meio da realização de um trabalho. Em outras palavras, o gás quente não é capaz de girar as pás e de levantar o peso. Apesar de ser viável do ponto de vista da conservação da energia, a experiência mostra que esse ciclo jamais acontece.

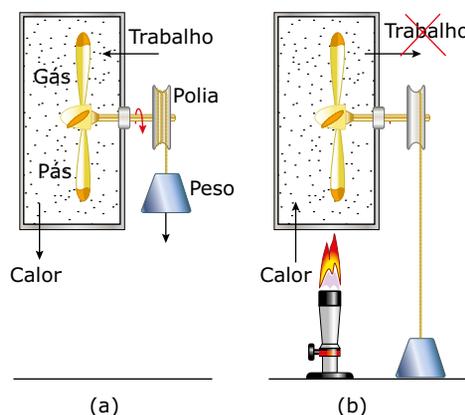


Figura 1. (a) Ciclo possível: conversão integral de trabalho em calor; (b) ciclo impossível: conversão integral de calor em trabalho.

Note que, no sistema da figura 1b, existe apenas uma fonte de calor, a chama de gás, que denominaremos de fonte quente. Com algumas adaptações, esse sistema pode produzir trabalho usando parte do calor fornecido pela fonte quente. Contudo, a parte restante do calor não pode ser utilizada para gerar trabalho. Ela deve ser rejeitada para um local onde a temperatura seja menor. Vamos denominar esse local de fonte fria. Existem muitos tipos de motores térmicos que geram trabalho ciclicamente. Todos operam entre duas fontes de calor, conforme está ilustrado no esquema da figura 2. Em cada ciclo, o motor recebe uma quantidade de calor  $Q_1$  da fonte quente. Parte desse calor transforma-se em um trabalho  $W$ , e o restante, o calor  $Q_2$ , é rejeitado para a fonte fria.

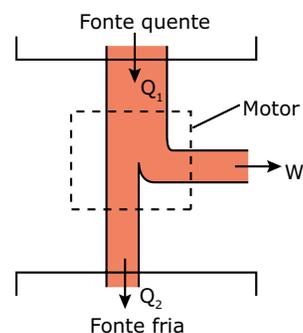


Figura 2. Conversão de calor em trabalho em um motor térmico.

Em cada ciclo, não há variação na energia interna do motor (sistema). Por isso, o calor líquido é igual ao trabalho realizado pelo motor. Usando a equação da 1ª Lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = 0 = (Q_1 + Q_2) - W \Rightarrow W = Q_1 + Q_2$$

O motor produz o trabalho  $W$ , absorve o calor  $Q_1$  e rejeita o calor  $Q_2$ . Assim,  $W > 0$ ,  $Q_1 > 0$  e  $Q_2 < 0$ . Por exemplo, podemos imaginar um pequeno motor para o qual  $Q_1 = 100 \text{ J}$ ,  $W = 40 \text{ J}$  e  $Q_2 = -60 \text{ J}$ . Observe que, dos 100 J de calor absorvidos pelo motor, 40 J são transformados em trabalho, e 60 J são rejeitados na forma de calor para a fonte fria. Outra observação importante é que o rendimento desse motor é igual a 40%, pois o trabalho gerado pelo motor corresponde a 40% do calor que ele recebe da fonte quente. De uma forma genérica, o rendimento térmico de um motor, em valor absoluto, pode ser calculado pelo seguinte quociente:

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

Um motor térmico não pode apresentar rendimento térmico igual a 100%, pois, nesse caso, todo o calor  $Q_1$  seria convertido em trabalho, o que é impossível. Lord Kelvin e Max Planck resumiram essa proibição por meio daquilo que hoje é conhecido como o enunciado de Kelvin e Planck da 2ª Lei da Termodinâmica:

Não existe um motor térmico cíclico cujo único resultado seja a absorção de calor de uma fonte e a conversão integral desse calor em trabalho.

Existem vários tipos de motores térmicos. Da máquina de Watt aos modernos motores dos aviões a jato, todos operam com um rendimento limitado pela 2ª Lei da Termodinâmica. O motor térmico mais famoso é o motor a explosão, que equipa quase todos os automóveis do mundo. A figura 3 mostra um motor a explosão, em que o movimento alternativo do pistão é convertido em rotação através do conjunto biela-virabrequim.

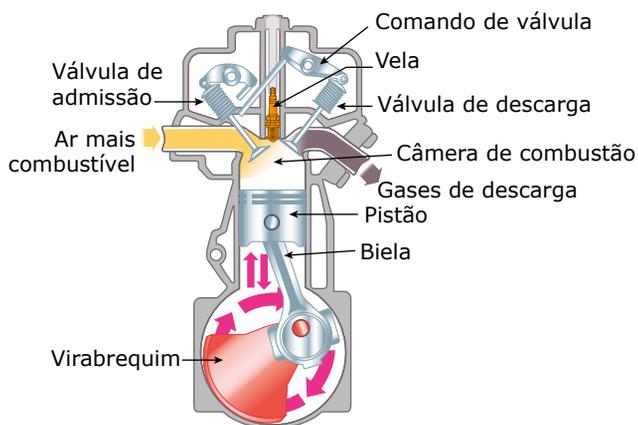


Figura 3. O motor a explosão.

Nesse motor, uma mistura de ar e combustível (em geral, gasolina ou álcool) entra no cilindro quando a válvula de admissão é mantida aberta durante a descida do pistão (1º tempo do motor: admissão). A seguir, depois que o pistão chega à posição mais baixa, a válvula de admissão se fecha e o pistão começa a subir, comprimindo a mistura dentro do cilindro (2º tempo: compressão). Quando o pistão chega à posição mais alta, uma centelha elétrica ocorre entre os terminais da vela. O combustível explode, e o pistão é fortemente empurrado para baixo (3º tempo: expansão). Quando o êmbolo chega à posição mais baixa, a válvula de escape se abre e o pistão começa a subir, expulsando os gases provenientes da combustão (4º tempo: descarga). Terminada essa etapa do ciclo, o motor pode iniciar um novo ciclo com a admissão da mistura de ar e combustível.

## O REFRIGERADOR TÉRMICO

Considere que um refrigerador deva ser usado para congelar certa massa de água que se encontra à temperatura de 0 °C. Imagine que o refrigerador opere em um ciclo de duas etapas. Na primeira etapa, o refrigerador a 20 °C (que é a temperatura ambiente) recebe calor da água a 0 °C. Como resultado, a água congela, e o refrigerador se aquece. Na segunda etapa do ciclo, o refrigerador cede calor para a vizinhança até que a sua temperatura volte a ser 20 °C. Apesar de não violar a Lei da Conservação da Energia, esse ciclo é impossível, pois, na primeira etapa, a água a 0 °C cede calor para o refrigerador a 20 °C. Da nossa experiência diária, sabemos que um corpo não pode ceder calor para outro que esteja a uma temperatura maior.

Em cada ciclo de um refrigerador térmico real, uma quantidade de calor  $Q_1$  é transferida de uma fonte fria para o refrigerador e uma quantidade de calor  $Q_2$  é transferida do refrigerador para uma fonte quente. Além disso, em cada ciclo, o refrigerador real demanda uma quantidade de trabalho  $W$  para poder funcionar. A figura 4 mostra os sentidos desses fluxos de energia.

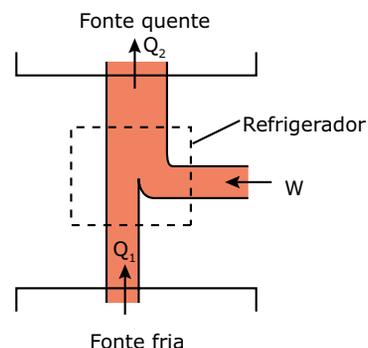


Figura 4. Transferência de calor em um refrigerador térmico.

Assim como em qualquer ciclo, a variação da energia interna do refrigerador em um ciclo completo também é nula. Por isso, o calor líquido é igual ao trabalho recebido pelo refrigerador. Aplicando a 1ª Lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = 0 = (Q_1 + Q_2) - W \Rightarrow W = Q_1 + Q_2$$

O refrigerador absorve o trabalho  $W$  e o calor  $Q_1$  e rejeita o calor  $Q_2$ . Assim,  $W < 0$ ,  $Q_1 > 0$  e  $Q_2 < 0$ . Por exemplo, podemos imaginar um refrigerador em que  $Q_1 = 100 \text{ J}$ ,  $W = -40 \text{ J}$  e  $Q_2 = -140 \text{ J}$ . O fato de  $Q_1$  ser maior que o trabalho  $W$  não viola a conservação da energia. O importante é que a soma de  $Q_1$  e  $W$  (em módulos) seja igual ao módulo de  $Q_2$ . Esse balanço é o que garante a conservação da energia no ciclo.

Agora, vamos definir uma equação para medir a eficiência de um refrigerador. Um refrigerador eficiente é aquele que retira muito calor da fonte fria sem consumir muito trabalho. Assim, o coeficiente de eficácia de um refrigerador térmico é dado por:

$$\beta = \frac{Q_1}{W}$$

Por exemplo, se  $Q_1 = 100 \text{ J}$  e  $W = 40 \text{ J}$  (em módulo), a eficiência do refrigerador será  $\beta = 100/40 = 2,5$ . Esse número tem a seguinte interpretação: para cada unidade de trabalho consumida, o refrigerador retira 2,5 unidades de calor da fonte fria. Teoricamente, o coeficiente  $\beta$  pode variar desde zero até valores bem elevados. Porém,  $\beta$  não pode ser infinito, pois isso implicaria um refrigerador com trabalho  $W = 0$ . Nesse caso,  $Q_1$  seria igual a  $Q_2$ , com o refrigerador transferindo calor da fonte fria para a fonte quente sem consumir trabalho. Como vimos, esse ciclo é impossível. A proibição desse ciclo foi expressa por Rudolph Clausius por meio do que atualmente é conhecido como enunciado de Clausius da 2ª Lei da Termodinâmica:

Não existe um refrigerador térmico cíclico cujo único resultado seja a transferência de calor de um corpo para outro com temperatura maior.

O refrigerador térmico mais popular, sem dúvida, é aquele que usa o ciclo de compressão de vapor, presente nas geladeiras e *freezers* domésticos, nos aparelhos de ar-condicionado e nos balcões frigoríficos dos supermercados. A figura 5 mostra os quatro componentes desse ciclo: duas serpentinas (o evaporador e o condensador), um compressor e um tubo de seção estrangulada.

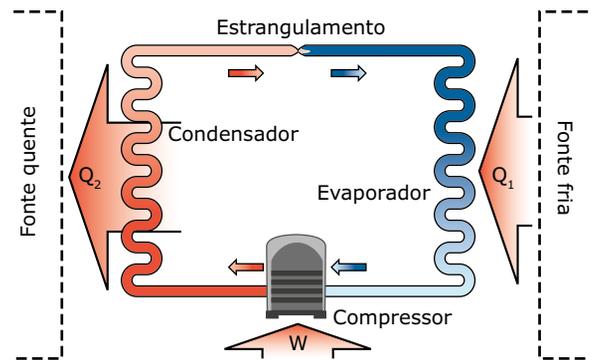


Figura 5. Esquema de um refrigerador.

Um fluido especial atravessa esses quatro componentes. Na entrada do evaporador, o fluido é praticamente líquido, e a temperatura é baixa (nas geladeiras, esse valor é cerca de  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ ). A temperatura da fonte fria é baixa, porém um pouco maior que a do evaporador (cerca de  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  no caso do congelador de geladeiras). Assim, o fluido, ao atravessar o evaporador, recebe o calor  $Q_1$ , sofrendo vaporização isobárica. O compressor aspira e comprime o vapor proveniente do evaporador. Nessa etapa, o fluido recebe o trabalho  $W$ . O vapor quente e pressurizado sai do compressor e entra no condensador. Nessa serpentina, o fluido cede o calor  $Q_2$  para a fonte quente, sofrendo uma transformação isobárica. Por último, o líquido quente proveniente do condensador atravessa o estrangulamento. Esse dispositivo gera uma súbita redução na pressão do fluido, de forma parecida com a queda de pressão em uma seringa com a extremidade fechada quando o êmbolo dessa é puxado rapidamente. Em consequência, parte do líquido vaporiza, causando um forte resfriamento do fluido. É por isso que o fluido entra no evaporador a uma temperatura muito baixa. Em seguida, o ciclo recomeça.

O ciclo descrito anteriormente também pode ser usado para aquecer um ambiente. Nesse caso, o interesse não é manter o resfriamento da fonte fria, mas promover o aquecimento da fonte quente, que pode ser a água de uma piscina ou o interior de uma casa durante o inverno. A máquina térmica, nesse caso, é chamada de bomba de calor, e o seu coeficiente de eficácia é definido em termos do calor  $Q_2$  (e não do calor  $Q_1$ , como fizemos para o refrigerador), pela seguinte razão:  $\beta' = Q_2/W$ . O Exercício Resolvido 01, apresentado a seguir, aborda o uso de uma bomba de calor para aquecer uma casa no inverno. Antes de acompanhar a sua resolução, procure responder à seguinte pergunta:



#### PARA REFLETIR

Por que você pode aquecer uma cozinha deixando aberta a porta do forno quente, mas não pode resfriá-la deixando aberta a porta da geladeira?

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

**01.** No inverno, uma casa precisa ser aquecida por uma bomba de calor de forma a manter a temperatura interna igual a 20 °C durante todo o tempo. Estima-se uma perda de calor de 0,8 kW da casa para o exterior para cada grau de diferença entre a temperatura da casa e a temperatura externa. Considere que a temperatura ambiente média no inverno seja de -10 °C e que, nessa condição, a bomba de calor opere com um coeficiente de eficácia  $\beta' = 3$ .

- A) Usando a figura 5 como referência, indique onde é o interior e o exterior da casa.
- B) Calcule a potência do compressor da bomba de calor.
- C) Explique por que é mais econômico usar a bomba de calor do que um aquecedor do tipo resistência elétrica na calefação da casa.

**Resolução:**

A) O exterior da casa é a fonte fria, situada à direita da máquina, e o interior da casa é a fonte quente, à esquerda da máquina. O evaporador recebe o calor  $Q_1$  proveniente do exterior, e o condensador transfere o calor  $Q_2 = Q_1 + W$  para o interior da casa, garantindo o seu aquecimento.

B) A taxa de perda de calor da casa para o exterior é dada por:

$$\phi = (0,8 \text{ kW}/^\circ\text{C}) \cdot [20 - (-10)] \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \phi = 24 \text{ kW}$$

Para a temperatura da casa não diminuir e se manter sempre constante, uma taxa de transferência de calor  $\phi'$ , de mesmo módulo que a taxa de perda de calor, de 24 kW, deve ser constantemente fornecida ao interior da casa por meio da bomba de calor. Então, podemos calcular a potência de acionamento do compressor (P) por meio da equação do coeficiente de eficácia da bomba de calor. Substituindo os dados nessa equação, obtemos:

$$\beta' = \frac{Q_2}{W} = \frac{\phi' \Delta t}{P \Delta t} \Rightarrow \beta' = \frac{\phi'}{P} \Rightarrow$$

$$3 = \frac{24}{P} \Rightarrow P = 8 \text{ kW}$$

C) Se um aquecedor elétrico fosse utilizado para aquecer a casa, a potência do aparelho deveria ser de 24 kW. Esse é exatamente o valor da taxa de consumo de energia elétrica do sistema. No caso da bomba de calor, a taxa de consumo de energia elétrica é 3 vezes menor que 24 kW, pois o compressor é o único componente da máquina passivo de ser acionado por energia elétrica. O compressor consome uma potência de apenas 8 kW, uma vez que esse valor é  $P = \phi'/\beta'$ , sendo  $\beta = 3$ . A soma de P e da taxa de calor fornecida pelo exterior (16 kW) é igual à taxa de calor que a casa recebe (24 kW).

## O CICLO DE CARNOT

Se nenhum motor térmico aproveita 100% do calor a ele fornecido e se nenhum refrigerador funciona sem consumir trabalho, então, que máquina térmica teria o melhor desempenho? Uma máquina que opere segundo o ciclo de Carnot, essa é a resposta. O ciclo de Carnot é uma sequência teórica de processos reversíveis (ideais). Um sistema sofre um processo reversível quando o restabelecimento ao estado inicial não deixa vestígios na vizinhança. As três principais causas de irreversibilidades são: o atrito, a expansão não resistida e a transferência de calor. É natural pensar que o atrito gere irreversibilidades. Um motor com pouca lubrificação apresenta muitas perdas, e o seu rendimento tende a ser baixo. A seguir, vamos discutir por que a expansão não resistida e a transferência de calor são processos irreversíveis, isto é, por que esses processos comprometem a eficiência das máquinas térmicas.

A figura 6 mostra um gás aprisionado em um cilindro dotado de um êmbolo (estado 1, ilustrado na primeira figura). Retirando-se o peso de cima do prato, o gás se expande rapidamente e com pouca resistência, pois a parte do cilindro, do outro lado do êmbolo, está evacuada. O trabalho realizado pelo gás é muito pequeno, apenas o suficiente para elevar o prato. No fim, o volume do gás é maior, a pressão é menor, e a temperatura é ligeiramente menor (estado 2, ilustrado na segunda figura). Para o gás voltar ao estado 1, o peso deverá ser colocado novamente sobre o prato, de forma que o êmbolo possa comprimir o gás. Essa compressão 2-1 demanda um trabalho realizado pela vizinhança muito grande, pois o deslocamento do prato ocorre com o peso em cima dele. Em outras palavras, a vizinhança despense mais trabalho para fazer o gás retornar ao estado inicial do que aquele que ela recebe na primeira etapa do ciclo (vestígios na vizinhança). O gás voltou ao estado inicial, mas a vizinhança não. Por isso, uma expansão pouco resistida é um processo irreversível.

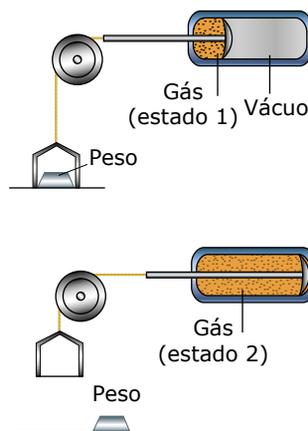


Figura 6. A expansão livre é um processo irreversível.

A expansão de um gás é um processo reversível apenas quando as pressões em cada lado do êmbolo diferem de um infinitésimo. Nos motores reais, isso não ocorre.

Por exemplo, em um motor automotivo, logo após a explosão do combustível, a diferença de pressão  $\Delta P$  entre a câmara de combustão e o exterior do cilindro é cerca de 20 atm. Esse valor é enorme e, por isso, ele gera muitas irreversibilidades e uma redução no rendimento térmico do motor. Por outro lado, é justamente o alto valor de  $\Delta P$  que proporciona mais rotação ao motor e mais velocidade ao carro.

Para discutir a irreversibilidade gerada pela transferência de calor, vamos considerar um exemplo simples. Imagine um recipiente hermético contendo um gás a 80 °C (estado 1). Em seguida, o gás transfere calor para o ambiente até que a sua temperatura atinja 50 °C (estado 2). Para fazer o gás voltar ao estado 1, vamos usar uma bomba de calor, que deverá transferir calor do ambiente para o gás. Ora, essa máquina, como sabemos, consumirá certa quantidade de trabalho para executar tal tarefa. Esse trabalho representa um vestígio na vizinhança. Portanto, um processo de transferência de calor é irreversível.

A transferência de calor é reversível apenas quando o processo ocorre devido a uma diferença infinitesimal de temperatura. No exemplo anterior, se a temperatura do gás fosse um infinitésimo de grau acima da temperatura ambiente, a bomba de calor praticamente não consumiria trabalho para restabelecer o seu estado inicial. Você pode pensar, então, que seria interessante usar uma serpentina de calefação com o fluido apenas ligeiramente mais quente do que o ambiente a ser aquecido. Apesar de o processo ser quase reversível, esse equipamento não seria viável na prática. A pequena diferença entre as temperaturas não seria suficiente para garantir um fluxo de calor adequado para o aquecimento. Para resolver o problema, a serpentina deveria ter alguns quilômetros de comprimento. Além do preço proibitivo, essa serpentina não caberia no recinto a ser aquecido.

Agora, estamos prontos para entender o ciclo de Carnot. Uma máquina de Carnot (motor ou refrigerador) possui desempenho máximo porque ela não contém os três fatores de irreversibilidades que discutimos nos últimos parágrafos. Em uma máquina de Carnot, também chamada de máquina reversível, não há atrito entre as partes móveis, que se deslocam com extrema lentidão, movidos por diferenças infinitesimais de pressão. Além disso, as trocas de calor entre a máquina e as fontes térmicas ocorrem por meio de diferenças infinitesimais de temperatura.

No caso de um motor de Carnot, a fonte quente, cuja temperatura é  $T_1$ , cede o calor  $Q_1$  para o fluido do motor, cuja temperatura é infinitesimalmente menor do que  $T_1$ . Por isso, o fluido recebe calor por meio de um processo isotérmico à temperatura  $T_1$ . De forma semelhante, o fluido do motor transfere o calor  $Q_2$  para a fonte fria, cuja temperatura é  $T_2$ , por meio de um processo isotérmico, sendo a temperatura do fluido infinitesimalmente maior do que  $T_2$ . O fluido muda a sua temperatura de  $T_1$  para  $T_2$  e vice-versa por meio de processos adiabáticos, alternados com os dois processos isotérmicos citados.

A figura 7 mostra um diagrama de pressão *versus* volume para um motor de Carnot, que utiliza um gás ideal como fluido de trabalho. Observe que a absorção do calor  $Q_1$  ocorre durante a expansão isotérmica a-b, ao passo que a rejeição do calor  $Q_2$  ocorre durante a compressão isotérmica c-d.

Observe também que o fluido diminui a temperatura de  $T_1$  para  $T_2$  por meio de uma expansão adiabática b-c e aumenta a temperatura novamente para  $T_1$  por meio de uma compressão adiabática d-a. Observe ainda que o ciclo ocorre no sentido horário, característico de um motor. A área dentro do ciclo é numericamente igual ao trabalho realizado pelo motor. Se o mesmo ciclo fosse percorrido no sentido anti-horário, esse trabalho seria a energia consumida pela máquina, que, nesse caso, seria um refrigerador de Carnot.

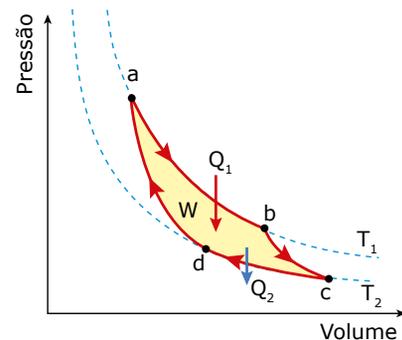


Figura 7. Ciclo de Carnot para um motor com gás ideal.

Existem dois teoremas importantes relacionados ao ciclo de Carnot. O primeiro afirma que o rendimento de um motor de Carnot (ou o coeficiente de eficácia de um refrigerador de Carnot) independe da substância de trabalho. O outro teorema afirma que esse rendimento depende apenas das temperaturas  $T_1$  e  $T_2$  das fontes de calor. Não vamos demonstrar esses teoremas, mas vamos usá-los para deduzir a equação do rendimento de um motor de Carnot. Como esse rendimento é função apenas de  $T_1$  e de  $T_2$ , e lembrando que o rendimento é dado por  $\eta = W/Q_1$  e que  $W = Q_1 - Q_2$ , podemos escrever a seguinte expressão:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - f(T_1, T_2)$$

A parcela  $f(T_1, T_2)$  é função das temperaturas das fontes de calor. Existem várias relações funcionais que podem ser escolhidas para representar  $f(T_1, T_2)$ . Lord Kelvin sugeriu a seguinte relação:

$$f(T_1, T_2) = Q_2/Q_1 = T_2/T_1$$

Substituindo essa expressão na equação do rendimento do motor, obtemos a seguinte relação:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Nessa equação, as temperaturas  $T_1$  e  $T_2$  devem ser expressas em Kelvin. Essa equação mostra que um motor de Carnot tem maior desempenho à medida que a temperatura da fonte quente aumenta e a temperatura da fonte fria diminui.

Veja que, quando  $T_2$  tende para zero kelvin,  $\eta$  tende para 1. Como o zero absoluto é inatingível, mesmo um motor de Carnot não pode apresentar um rendimento de 100%. De fato, Lord Kelvin desenvolveu a escala absoluta de temperatura a partir dessa ideia.

O motor (ou refrigerador) de Carnot é uma máquina apenas teórica e que não pode ser construída na prática. Apesar disso, o seu rendimento é uma referência para os projetistas. Por exemplo, imagine que um motor deva ser projetado usando como fonte quente a água em ebulição a 100 °C ( $T_1 = 373$  K) e, como fonte fria, o gelo fundente a 0 °C ( $T_2 = 273$  K). Nessas condições, o rendimento de um motor de Carnot seria de:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{273}{373} = 0,27$$

É claro que o motor real terá um rendimento menor que este. Se o motor for bem projetado, o seu rendimento poderá ser a metade do rendimento de Carnot, ou um pouco mais. Devemos tomar cuidado para não achar que o rendimento de um motor de Carnot é sempre elevado (27%, como nesse exemplo, não é um rendimento alto). O motor de Carnot apenas proporciona o maior rendimento possível entre duas fontes de temperaturas  $T_1$  e  $T_2$ .

A relação  $Q_2/Q_1 = T_2/T_1$  também pode ser aplicada na dedução da equação do coeficiente de eficácia de um refrigerador (ou de uma bomba de calor). Abordaremos essa dedução no exercício resolvido 02. Antes de acompanhar a resolução desse problema, procure responder à seguinte questão:



#### PARA REFLETIR

Que fonte quente produziria maior rendimento a um motor térmico: vapor de água ou água líquida, ambos a 100 °C e 1 atm?



#### Termoracer

Esse jogo ajudará você a compreender as transformações termodinâmicas do ciclo Otto. Em cada corrida, acelere seu carro acionando corretamente cada tempo do motor. Fique atento para não errar, pois, se o ciclo não ocorrer corretamente, seu carro deixará de ganhar velocidade, podendo até parar. Boa corrida!



## EXERCÍCIO RESOLVIDO

02. Um comerciante de geladeiras e *freezers* garante que os seus produtos apresentam um coeficiente de eficácia igual a 3, isto é, para cada unidade de energia fornecida ao compressor, o equipamento retira o triplo de calor do seu compartimento interno. Explique por que essa afirmativa não procede.

#### Resolução:

O desempenho de um refrigerador de Carnot pode servir de referência para avaliarmos o desempenho de uma máquina real operando entre as mesmas temperaturas. Assim, para avaliar a afirmativa do comerciante, vamos deduzir a equação do coeficiente de eficácia de um refrigerador de Carnot. A equação genérica do coeficiente de eficácia, válida para qualquer ciclo, é a seguinte:

$$\beta = \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} = \frac{1}{(Q_2/Q_1) - 1}$$

Para uma máquina de Carnot,  $Q_2/Q_1 = T_2/T_1$ . Substituindo essa razão na equação anterior, obtemos o coeficiente de eficácia para um refrigerador de Carnot em função de  $T_1$  e  $T_2$ :

$$\beta = \frac{1}{(T_2/T_1) - 1}$$

Segundo essa equação,  $\beta$  diminui à medida que a temperatura da fonte quente,  $T_2$ , aumenta. Como  $T_2$  é a temperatura do recinto onde o refrigerador se encontra, concluímos que um refrigerador de Carnot (e também um refrigerador real) apresenta um desempenho menor no verão e maior no inverno.

Ainda segundo a equação anterior,  $\beta$  diminui à medida que a temperatura da fonte fria,  $T_1$ , diminui. Como  $T_1$  é a temperatura do interior do refrigerador, e como o interior de um *freezer* é mais frio do que o interior de uma geladeira, concluímos que o desempenho de um *freezer* de Carnot é menor do que o de uma geladeira de Carnot no mesmo recinto ( $T_2$  fixo). Uma geladeira e um *freezer* real também apresentam o mesmo comportamento.

Sobre a afirmativa do comerciante, concluímos que ela não é verdadeira, pois o desempenho de um refrigerador depende tanto da temperatura ambiente quanto da sua temperatura interna.

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

01.  
XPĐØ

(UFU-MG) As máquinas a vapor mudaram a forma de o homem relacionar-se com a natureza e influenciaram até mesmo as relações humanas, com a mudança da mão de obra braçal para a força mecânica gerada por elas. Se tomarmos como exemplo uma locomotiva a vapor que funciona recebendo 800 J de sua caldeira e cedendo 200 J para o ambiente externo, poderemos afirmar que

- A) essa locomotiva possui rendimento de apenas 25%, uma vez que 200 J, dos 800 J recebidos, são perdidos.  
 B) essa locomotiva possui rendimento de 75%, o que poderia ser aumentado se a máquina cedesse menos calor ao meio externo.  
 C) o trabalho realizado por essa locomotiva nesse processo é de 1 000 J.  
 D) essa locomotiva teria rendimento máximo se o trabalho realizado por ela fosse igual ao calor cedido ao ambiente externo.

02.

(Unit-SE-2019) O corpo humano é um sistema aberto, que troca matéria e energia com sua vizinhança, mediante um processo isotérmico, pois consome energia em forma de nutrientes e realiza um trabalho interno e externo com relação ao sistema. Com base nos conhecimentos sobre a Termodinâmica, analise as afirmativas e marque com V as verdadeiras e com F as falsas.

- ( ) Um processo adiabático é aquele em que não ocorre variação de temperatura e pressão.  
 ( ) O volume específico de uma substância é definido como o volume ocupado pela unidade de massa.  
 ( ) O rendimento térmico do ciclo de Carnot é função das temperaturas  $T_A$  e  $T_B$ , assim como das trocas de calor e do trabalho realizado no ciclo.  
 ( ) A máquina térmica é um dispositivo que opera em ciclo termodinâmico e produz trabalho líquido positivo, recebendo calor de um reservatório térmico a alta temperatura e fornecendo calor para um reservatório térmico a baixa temperatura.

A alternativa que contém a sequência correta, de cima para baixo, é a:

- A) F F V V                      C) F V F V                      E) V F V F  
 B) F V V F                      D) V V F F

03.  
I2J3

(UFV-MG) Uma máquina térmica, operando entre duas fontes quente e fria, às temperaturas de 327 °C e 27 °C, respectivamente, realiza um trabalho de 200 J, ao absorver 1 000 J da fonte quente. Caso essa máquina passasse a operar segundo o ciclo de Carnot, entre as mesmas fontes, seu rendimento seria

- A) 100%.                                      C) 20%.  
 B) 50%.                                        D) 0%.

04.  
QYD8

(UPE) Num refrigerador, para 90 J retirados, em cada ciclo da máquina, 100 J são enviados do congelador para o meio ambiente. Sobre isso, analise as seguintes alternativas:

- I. A variação de calor entre as fontes quente e fria é 10 J.  
 II. O trabalho do compressor em cada ciclo é 10 J.  
 III. A eficiência desse refrigerador é 9.

Está correto o que se afirma em

- A) I, apenas.                                      D) II e III, apenas.  
 B) I e II, apenas.                                E) I, II e III.  
 C) I e III, apenas.

05.

(UEPB) A Revolução Industrial consistiu em um conjunto de mudanças tecnológicas com profundo impacto no processo produtivo em nível econômico e social. Iniciada na Inglaterra em meados do século XVIII, expandiu-se pelo mundo a partir do século XIX. James Hargreaves, 1764, na Grã-Bretanha, inventa a fiadora "spinning Jenny", uma máquina de fiar rotativa que permitia a um único artesão fiar oito fios de uma só vez; James Watt, 1768, inventa a máquina a vapor; Gottlieb Daimler, 1885, inventa um motor a explosão, etc.

Acerca do assunto tratado no texto em relação às máquinas térmicas, de acordo com a segunda Lei da Termodinâmica, podemos afirmar:

- I. Nenhuma máquina térmica operando em ciclos pode retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.  
 II. A segunda Lei da Termodinâmica se aplica aos refrigeradores, porque estes transferem calor da fonte fria para a fonte quente.  
 III. O rendimento de uma máquina térmica que opera em ciclos pode ser de 100%.

Após a análise feita, verifica-se que é(são) correta(s) apenas(s) a(s) proposição(ões)

- A) II e III.                                      C) III.    E) I e II.  
 B) II.    D) I.

06.

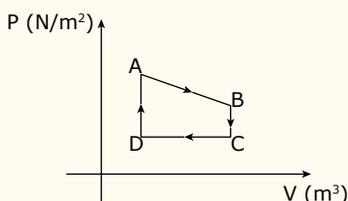
(PUC-RS) Ondas sonoras se propagam longitudinalmente no interior dos gases a partir de sucessivas e rápidas compressões e expansões do fluido. No ar, esses processos podem ser considerados como transformações adiabáticas, principalmente devido à rapidez com que ocorrem e também à baixa condutividade térmica deste meio. Por aproximação, considerando-se que o ar se comporte como um gás ideal, a energia interna de uma determinada massa de ar sofrendo compressão adiabática \_\_\_\_\_; portanto, o \_\_\_\_\_ trocado com as vizinhanças da massa de ar seria responsável pela transferência de energia.

- A) diminuiria – calor  
 B) diminuiria – trabalho  
 C) não variaria – trabalho  
 D) aumentaria – calor  
 E) aumentaria – trabalho

**07.** (UFPA) Um técnico de manutenção de máquinas pôs para funcionar um motor térmico que executa 20 ciclos por segundo. Considerando-se que, em cada ciclo, o motor retira uma quantidade de calor de 1 200 J de uma fonte quente e cede 800 J a uma fonte fria, é correto afirmar que o rendimento de cada ciclo é

- A) 13,3%.                      C) 33,3%.                      E) 53,3%.  
 B) 23,3%.                      D) 43,3%.

**08.** (UERN) O gráfico representa um ciclo termodinâmico.



Os trabalhos realizados nas transformações AB, BC, CD e DA são, respectivamente,

- A) negativo, nulo, positivo e nulo.  
 B) positivo, nulo, negativo e nulo.  
 C) positivo, negativo, nulo e positivo.  
 D) negativo, negativo, nulo e positivo.

**02.** (UFRGS-RS-2020) Uma máquina de Carnot apresenta um rendimento de 40%, e a temperatura de sua fonte quente é 500 K. A máquina opera a uma potência de 4,2 kW e efetua 10 ciclos por segundo. Qual é a temperatura de sua fonte fria e o trabalho que a máquina realiza em cada ciclo?

- A) 200 K – 42 J.  
 B) 200 K – 420 J.  
 C) 200 K – 42 000 J.  
 D) 300 K – 42 J.  
 E) 300 K – 420 J.

**03.** (UFT-TO) Suponha que uma máquina de Carnot seja construída utilizando como fonte fria o lado do planeta Gliese 581 g que nunca recebe luz e como fonte quente o lado que sempre recebe luz. A temperatura da fonte fria  $T_f = -40\text{ }^\circ\text{C}$  e da fonte quente  $T_q = 70\text{ }^\circ\text{C}$ . A cada ciclo, a máquina retira da fonte quente 1 000 J de calor.

Considerando que a máquina trabalha com um gás ideal, leia os itens a seguir:

- I. A máquina pode ser representada por um ciclo com duas transformações adiabáticas reversíveis e duas transformações isotérmicas reversíveis.
- II. Se o ciclo desta máquina consiste de uma expansão isotérmica, uma expansão adiabática, uma compressão isotérmica e uma compressão adiabática, respectivamente, então ocorre transformação de calor em trabalho útil.
- III. O rendimento da máquina é maior do que 40%.
- IV. A cada ciclo, uma quantidade de calor maior que 700 J é rejeitada para a fonte fria.

Marque a opção correta.

- A) I e III são verdadeiras.  
 B) I e II são verdadeiras.  
 C) I e IV são verdadeiras.  
 D) III e IV são verdadeiras.  
 E) II e IV são verdadeiras.

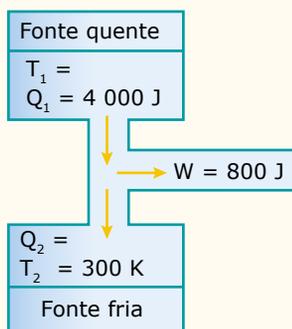
**04.** (EFOMM-RJ) O diagrama PV da figura mostra, para determinado gás ideal, alguns dos processos termodinâmicos possíveis. Sabendo-se que nos processos AB e BD são fornecidos ao gás 120 e 500 joules de calor, respectivamente, a variação da energia interna do gás, em joules, no processo ACD, será igual a

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS



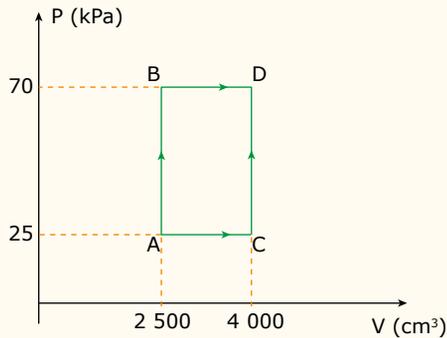
**01.** (PUC-Campinas-SP) O esquema a seguir representa trocas de calor e realização de trabalho em uma máquina térmica.

Os valores de  $T_1$  e  $Q_2$  não foram indicados, mas deverão ser calculados durante a solução deste exercício.



Considerando os dados indicados no esquema, se essa máquina operasse segundo um ciclo de Carnot, a temperatura  $T_1$ , da fonte quente, seria, em kelvins, igual a

- A) 375.                      C) 525.                      E) 1 500.  
 B) 400.                      D) 1 200.



- A) 105.  
B) 250.  
C) 515.  
D) 620.  
E) 725.

05.

Z904

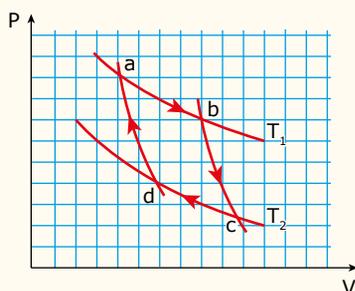


(UFAL) A cada ciclo de funcionamento, o motor de um certo automóvel retira 40 kJ do compartimento da fonte quente, onde se dá a queima do combustível, e realiza 10 kJ de trabalho. Sabendo que parte do calor retirado da fonte quente é dispensado para o ambiente (fonte fria) a uma temperatura de 27 °C, qual seria a temperatura no compartimento da fonte quente se esse motor operasse segundo o ciclo de Carnot?

**Dado:** Considere que as temperaturas em graus centígrados,  $T_c$ , e kelvin,  $T_k$ , se relacionam através da expressão  $T_c = T_k - 273$ .

- A) 127 °C.  
B) 177 °C.  
C) 227 °C.  
D) 277 °C.  
E) 377 °C.

06. (UDESC) No diagrama  $P \times V$  a seguir, está representado o ciclo termodinâmico da máquina de Carnot, considerada ideal porque tem o maior rendimento entre as máquinas térmicas. O sistema recebe calor da fonte quente à temperatura  $T_1$  e transfere calor para a fonte fria à temperatura  $T_2$ .



Com relação às transformações termodinâmicas que constituem esse ciclo, é correto afirmar que o sistema passa por uma

- A) expansão adiabática entre os estados b e d ( $b \rightarrow d$ ).  
B) expansão isovolumétrica entre os estados b e c ( $b \rightarrow c$ ).  
C) compressão isobárica entre os estados c e d ( $c \rightarrow d$ ).  
D) expansão isotérmica entre os estados a e b ( $a \rightarrow b$ ).  
E) compressão isotérmica entre os estados d e a ( $d \rightarrow a$ ).

07. (PUC Minas) Considere, pois, dois veículos de mesma massa, com motores de mesma potência: um equipado com motor elétrico com uma eficiência de 90% e o outro equipado com motor a combustão, com uma eficiência de 25%. Admitindo-se ambos os veículos com uma massa de 500 kg, partindo do repouso, em uma estrada plana e retilínea, a energia gerada nos motores para fazer com que ambos os veículos atinjam a velocidade de 36 km/h vale, respectivamente,

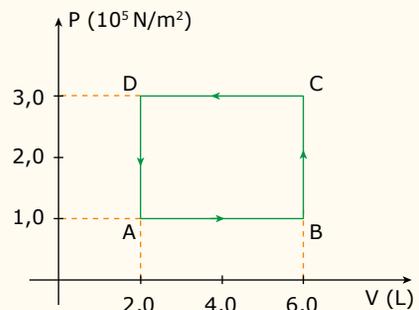
- A)  $1,0 \cdot 10^4$  J e  $2,0 \cdot 10^4$  J.  
B)  $1,1 \cdot 10^5$  J e  $4,0 \cdot 10^5$  J.  
C)  $2,7 \cdot 10^4$  J e  $1,0 \cdot 10^5$  J.  
D)  $2,5 \cdot 10^5$  J e  $2,5 \cdot 10^5$  J.

08.

NM1R



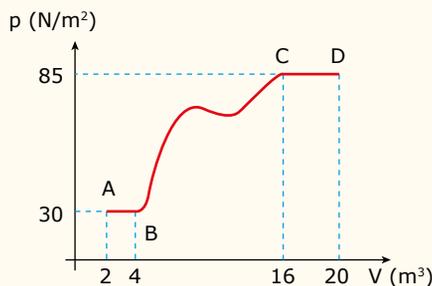
(EPCAR-RJ-2017) Um sistema termodinâmico constituído de n mols de um gás perfeito monoatômico desenvolve uma transformação cíclica ABCDA representada no diagrama a seguir.



De acordo com o apresentado, pode-se afirmar que

- A) o trabalho em cada ciclo é de 800 J e é realizado pelo sistema.  
B) o sistema termodinâmico não pode representar o ciclo de uma máquina frigorífica uma vez que o mesmo está orientado no sentido anti-horário.  
C) a energia interna do sistema é máxima no ponto D e mínima no ponto B.  
D) em cada ciclo o sistema libera 800 J de calor para o meio ambiente.

09. (UPE) Um gás ideal é submetido a um processo termodinâmico ABCD, conforme ilustra a figura a seguir.



Sabendo que o trabalho é total associado a esse processo é igual a 1 050 J, qual o trabalho no subprocesso BCD?

- A) 60 J
- B) 340 J
- C) 650 J
- D) 840 J
- E) 990 J

10. (AFA) Dispõe-se de duas máquinas térmicas de Carnot. A máquina 1 trabalha entre as temperaturas de 227 °C e 527 °C, enquanto a máquina 2 opera entre 227 K e 527 K.



Analise as afirmativas a seguir e responda ao que se pede.

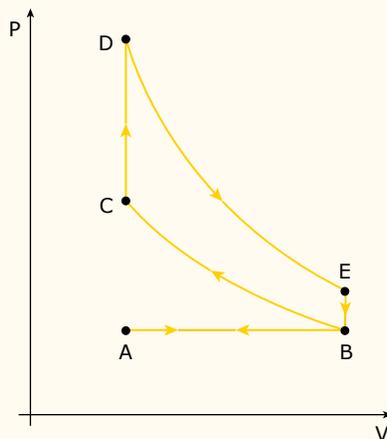
- I. A máquina 2 tem maior rendimento que a máquina 1.
- II. Se a máquina 1 realizar um trabalho de 2 000 J terá retirado 6 000 J de calor da fonte quente.
- III. Se a máquina 2 retirar 4 000 J de calor da fonte quente irá liberar aproximadamente 1 720 J de calor para a fonte fria.
- IV. Para uma mesma quantidade de calor retirada da fonte quente pelas duas máquinas, a máquina 2 rejeita mais calor para a fonte fria.

São corretas apenas

- A) I e II.
- B) I e III.
- C) II e IV.
- D) III e IV.

## SEÇÃO ENEM

01. (Enem) O motor de combustão interna, utilizado no transporte de pessoas e cargas, é uma máquina térmica cujo ciclo consiste em quatro etapas: admissão, compressão, explosão / expansão e escape. Essas etapas estão representadas no diagrama da pressão em função do volume. Nos motores a gasolina, a mistura ar / combustível entra em combustão por uma centelha elétrica.



Para o motor descrito, em qual ponto do ciclo é produzida a centelha elétrica?

- A) A
- B) B
- C) C
- D) D
- E) E

- 02.** (Enem) Um motor só poderá realizar trabalho se receber uma quantidade de energia de outro sistema. No caso, a energia armazenada no combustível é, em parte, liberada durante a combustão para que o aparelho possa funcionar. Quando o motor funciona, parte da energia convertida ou transformada na combustão não pode ser utilizada para realização de trabalho. Isso significa dizer que há vazamento da energia em outra forma.

CARVALHO, A. X. Z. *Física Térmica*. Belo Horizonte: Pax, 2009 (Adaptação).

De acordo com o texto, as transformações de energia que ocorrem durante o funcionamento do motor são decorrentes de a

- A) liberação de calor dentro do motor ser impossível.
- B) realização de trabalho pelo motor ser incontrolável.
- C) conversão integral de calor em trabalho ser impossível.
- D) transformação de energia térmica em cinética ser impossível.
- E) utilização de energia potencial do combustível ser incontrolável.

- 03.** (Enem) Aumentar a eficiência na queima de combustível dos motores a combustão e reduzir suas emissões de poluentes é a meta de qualquer fabricante de motores. É também o foco de uma pesquisa brasileira que envolve experimentos com plasma, o quarto estado da matéria e que está presente no processo de ignição.

A interação da faísca emitida pela vela de ignição com as moléculas de combustível gera o plasma que provoca a explosão liberadora de energia que, por sua vez, faz o motor funcionar.

Disponível em: [www.inovacaotecnologica.com.br](http://www.inovacaotecnologica.com.br).

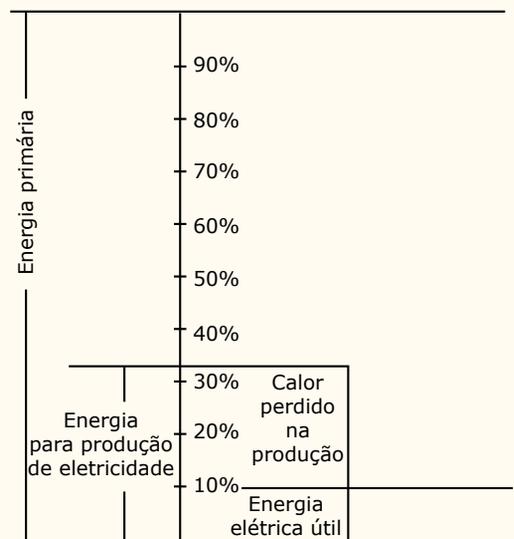
Acesso em: 22 jul. 2010 (Adaptação).

No entanto, a busca da eficiência referenciada no texto apresenta como fator limitante

- A) o tipo de combustível, fóssil, que utilizam. Sendo um insumo não renovável, em algum momento estará esgotado.
- B) um dos princípios da Termodinâmica, segundo o qual o rendimento de uma máquina térmica nunca atinge o ideal.
- C) o funcionamento cíclico de todos os motores. A repetição contínua dos movimentos exige que parte da energia seja transferida ao próximo ciclo.

- D) as forças de atrito inevitável entre as peças. Tais forças provocam desgastes contínuos que com o tempo levam qualquer material à fadiga e ruptura.
- E) a temperatura em que eles trabalham. Para atingir o plasma, é necessária uma temperatura maior que a de fusão do aço com que se fazem os motores.

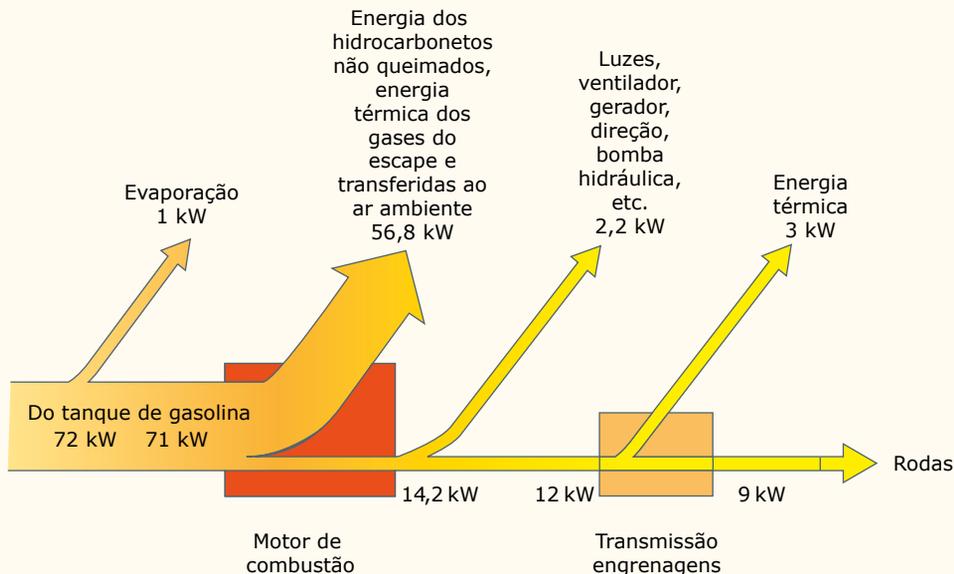
- 04.** (Enem) O diagrama mostra a utilização das diferentes fontes de energia no cenário mundial. Embora aproximadamente um terço de toda energia primária seja orientada à produção de eletricidade, apenas 10% do total são obtidos em forma de energia elétrica útil.



A pouca eficiência do processo de produção de eletricidade deve-se, sobretudo, ao fato de as usinas

- A) nucleares utilizarem processos de aquecimento, nos quais as temperaturas atingem milhões de graus Celsius, favorecendo perdas por fissão nuclear.
- B) termelétricas utilizarem processos de aquecimento a baixas temperaturas, apenas da ordem de centenas de graus Celsius, o que impede a queima total dos combustíveis fósseis.
- C) hidrelétricas terem o aproveitamento energético baixo, uma vez que parte da água em queda não atinge as pás das turbinas que acionam os geradores elétricos.
- D) nucleares e termelétricas utilizarem processos de transformação de calor em trabalho útil, no qual as perdas de calor são sempre bastante elevadas.
- E) termelétricas e hidrelétricas serem capazes de utilizar diretamente o calor obtido do combustível para aquecer a água, sem perda para o meio.

05. (Enem) O esquema a seguir mostra, em termos de potência (energia / tempo), aproximadamente, o fluxo de energia, a partir de uma certa quantidade de combustível vinda do tanque de gasolina, em um carro viajando com velocidade constante.



O esquema mostra que, na queima da gasolina, no motor de combustão, uma parte considerável de sua energia é dissipada. Essa perda é da ordem de

- A) 80%.
- B) 70%.
- C) 50%.
- D) 30%.
- E) 20%.

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. B
- 02. C
- 03. B
- 04. E
- 05. E
- 06. E
- 07. C
- 08. B

#### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. A
- 02. E
- 03. B

- 04. C
- 05. A
- 06. D
- 07. C
- 08. D
- 09. E
- 10. B

#### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. C
- 02. C
- 03. B
- 04. D
- 05. A



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## Fundamentos da Óptica Geométrica

Os cinco sentidos do ser humano permitem que ele perceba o mundo à sua volta. De todos os sentidos, a visão é o que fornece o maior número de informações e é aquele que permite ao homem o maior aprendizado do mundo que o cerca. A Óptica é a parte da Física que explica, entre outras coisas, a visão que temos dos objetos e / ou de suas imagens, seja por observação direta ou através de um instrumento. Isso é motivo suficiente para estudar esse conteúdo fascinante.

A Óptica pode ser dividida, por questões didáticas, em dois grandes ramos: a Óptica geométrica e a Óptica física. Aqui, vamos tratar da Óptica geométrica, que é a parte da Física que estuda determinados fenômenos luminosos sem a necessidade de se conhecer a natureza física da luz. Por ora, vamos considerar que a luz é uma onda que se propaga pelo espaço, transmitindo energia luminosa de um ponto a outro, e que é capaz de sensibilizar os nossos órgãos de visão. Em nosso estudo da Óptica, não é importante saber como a luz é produzida nem como ela se desloca através dos meios de propagação.

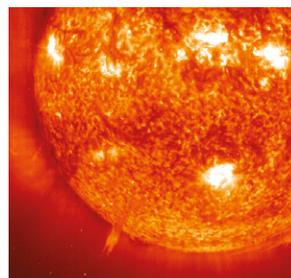
### CONCEITOS INICIAIS

#### Fontes de luz

Fonte de luz é todo objeto capaz de emitir luz ao espaço que o circunda. Podemos classificar as fontes luminosas com base em diversos critérios conforme está apresentado a seguir.

1. Quanto à natureza, a fonte luminosa pode ser:

**Primária:** aquela que emite luz própria (Sol, lâmpada acesa, vaga-lume, etc.).



**Secundária:** aquela que emite, por reflexão, a luz recebida de fontes primárias (Lua, planetas, parede, folha de papel, etc.).



2. Quanto à dimensão, a fonte de luz pode ser:

**Pontual:** se o seu tamanho for desprezível, quando comparado à distância de observação.

**Extensa:** se o seu tamanho não for desprezível, se comparado à distância de observação.

#### OBSERVAÇÃO

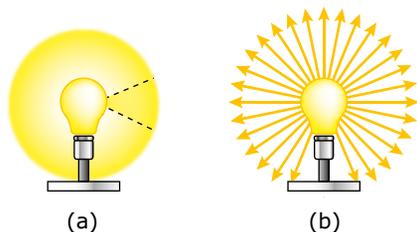
Na verdade, toda fonte de luz é extensa. Assim, se ela ilumina um objeto que se encontra muito distante dela, a fonte de luz pode ser considerada uma fonte pontual.

3. Quanto à cor de luz emitida, a fonte é classificada em:

**Monocromática:** aquela que emite luz de uma só cor (uma radiação de frequência única).

**Policromática:** aquela que emite luzes de diversas cores (várias radiações de diferentes frequências).

Considere uma lâmpada de vapor de sódio emitindo luz amarela conforme mostrado na figura (a) a seguir. Se tomarmos uma pequena porção dessa luz, entre as linhas pontilhadas, por exemplo, temos o chamado **feixe de luz**. Se imaginarmos tal feixe infinitamente estreito, temos um **raio de luz** (ou raio luminoso). Dessa forma, podemos considerar que a luz que sai da lâmpada é formada por uma infinidade de raios luminosos emitidos pela fonte, em todas as direções em torno dela. Veja a figura (b) a seguir:



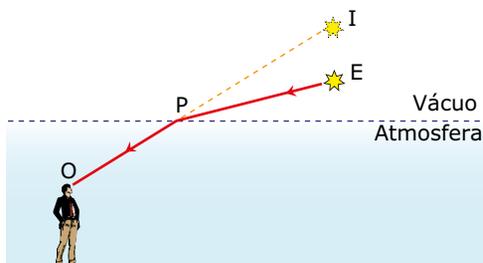
O feixe de luz, dependendo da posição entre os raios luminosos, pode ser classificado como feixe convergente, paralelo ou divergente, respectivamente, como mostrado a seguir.



## O que nós realmente vemos?

É importante, para começar, que você saiba que só é possível enxergar um objeto e / ou a sua imagem se a luz emitida por estes chegar aos olhos do observador.

O objeto (ou a sua imagem) é visto, sempre, na **direção do raio de luz que chega** aos olhos do observador. A figura a seguir, fora de escala, mostra um observador (O) mirando uma estrela (E) no céu. Observe o trajeto da luz que sai da estrela e vai ao observador (EPO).



Como a luz chega ao observador na direção IPO, este verá a imagem da estrela na posição I (chamada de posição aparente) e não na posição real E, onde se encontra a estrela.

É importante ressaltar que nenhum ser vivo pode **ver a luz**. Nós enxergamos, apenas, os objetos que enviam a luz que chega aos nossos olhos. No vácuo, fora da nossa atmosfera, por exemplo, a luz emitida por todas as estrelas corta o espaço sideral em todas as direções. Estando em uma dessas regiões, um astronauta que olhar ao seu redor poderá ver o Sol, as estrelas, a Lua, os planetas, etc., mas o restante do espaço é totalmente escuro (embora uma infinidade de raios de luz esteja cruzando aquela região).

## Tipos de meios de propagação

Chamamos de meio de propagação qualquer região do espaço na qual a luz se propaga. Aqui, vamos classificar os meios apenas para a luz visível. Assim, um meio pode ser:

1. **Transparente:** é o meio no qual a luz se propaga de forma regular, permitindo que se possa enxergar, de forma nítida, através dele. O ar, o vidro liso e a água cristalina, em pequenas quantidades, são exemplos de meios transparentes.



2. **Translúcido:** é o meio no qual uma parte da luz se propaga, porém de forma irregular. A luminosidade passa através dele, mas a imagem formada não apresenta nitidez. O vidro enlameado, plásticos leitosos e água suja são alguns exemplos.



3. **Opaco:** é o meio que não se deixa atravessar pela luz e, dessa forma, não se pode enxergar através dele. Como exemplos, temos o corpo humano, uma parede, os metais, entre muitos outros.

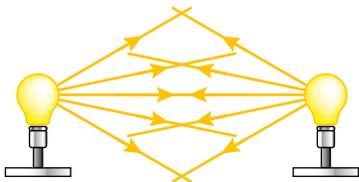
## OBSERVAÇÕES

- A. Dependendo da espessura a ser atravessada pela luz, um meio transparente pode se tornar translúcido ou mesmo opaco. É o caso, por exemplo, da água cristalina. Uma lagoa profunda, mesmo de águas claras, não nos permite ver o fundo.
- B. Materiais opacos à luz visível podem ser translúcidos ou mesmo transparentes para outras radiações. Cita-se, por exemplo, o corpo humano, que é relativamente transparente para os raios X. Da mesma forma, materiais transparentes para a luz visível podem ser opacos a outras radiações. O vidro comum, por exemplo, é transparente à luz visível, mas é opaco ao infravermelho e ao ultravioleta.

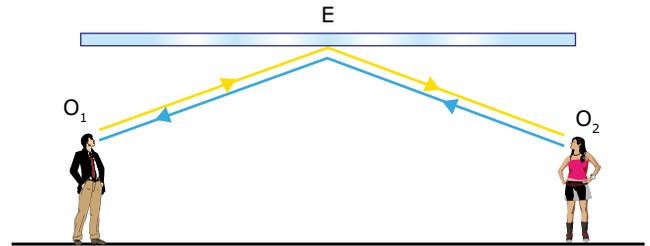
## Princípios de propagação da luz

Nos meios de propagação que sejam transparentes, isotrópicos e homogêneos, podemos usar importantes princípios de propagação da luz, a saber:

1. **Propagação retilínea:** a luz se propaga, a partir da fonte, em linha reta. Isso quer dizer que a energia transmitida por um raio luminoso viaja em movimento retilíneo através do meio.
2. **Independência dos raios:** dois ou mais raios ou feixes de luz se propagam independentemente da existência de outro(s) na mesma região e no mesmo instante. Havendo cruzamento entre eles, cada um segue o seu caminho sem tomar conhecimento da existência do(s) outro(s). Veja a seguir:



3. **Reversibilidade:** a trajetória seguida pela luz entre dois pontos quaisquer é exatamente a mesma indo do primeiro ponto ao segundo ou voltando do segundo ponto ao primeiro. Veja o exemplo a seguir. Considere duas pessoas ( $O_1$  e  $O_2$ ) se olhando através de um espelho (E). O observador 2 recebe a luz emitida pelo observador 1, segundo a trajetória amarela. O observador 1 recebe a luz emitida pelo observador 2, conforme a trajetória azul. Tais caminhos são idênticos (eles foram ligeiramente deslocados, na figura a seguir, para que você possa distinguir um do outro).



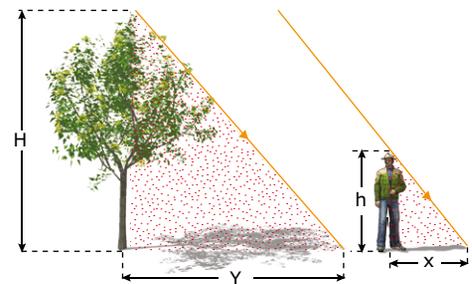
**IMPORTANTE:** conforme a informação anterior, se você enxerga uma pessoa através de um espelho plano devidamente colocado, a outra pessoa, com certeza, o estará vendo se olhar para o mesmo ponto do espelho.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Uma árvore, em determinado horário, projeta no chão uma sombra de 3,0 m de comprimento. Você, que tem 1,8 m de altura, mede a sua sombra, no mesmo instante, e encontra 0,60 m. Determine a altura da árvore.

**Resolução:**

A solução do exercício usa o princípio da propagação retilínea da luz. Veja a figura a seguir:



Usando semelhança nos triângulos destacados, temos:

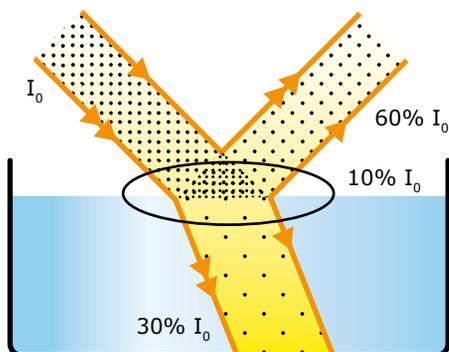
$$\frac{H}{h} = \frac{Y}{x} \therefore \frac{H}{1,8} = \frac{3,0}{0,60} \therefore H = 9,0 \text{ m}$$

## Alguns fenômenos ópticos

Quando uma onda luminosa atinge um objeto, alguns fenômenos ópticos podem ocorrer. Considere, por exemplo, a luz que se propaga no ar e chega à superfície da água de um aquário. Veja a figura a seguir. Ela mostra a ocorrência simultânea de três fenômenos:

1. **Reflexão:** corresponde à parte do feixe luminoso que retorna ao meio de origem após atingir a superfície de separação, mantendo o mesmo módulo da velocidade de propagação.
2. **Refração:** corresponde à parte do feixe luminoso que passa para a outra substância (muda o meio de propagação), alterando a sua velocidade de propagação.

3. **Absorção:** corresponde à parcela da radiação que é absorvida pela superfície que separa os dois meios (fica retida na superfície) e que geralmente faz a substância aquecer.

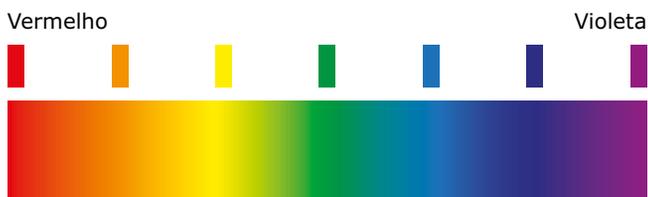


Considere que a energia que atinge a superfície tenha uma intensidade  $I_0$ . A parte refletida, que volta ao meio de origem (o ar), apresenta intensidade  $60\%I_0$ , por exemplo. Considere que a parcela refratada, que penetra na água, tenha intensidade  $30\%I_0$ . Observe que, “nessa conta”, faltam  $10\%$  de  $I_0$ . Essa parcela é absorvida pela superfície na incidência. Nesse caso, portanto, os três fenômenos acontecem simultaneamente.

A quantidade de energia refletida, refratada e absorvida depende de uma série de fatores, entre eles a natureza dos meios envolvidos e o ângulo de incidência da radiação.

### As radiações do espectro visível

A luz branca emitida pelo Sol é policromática e é formada pela combinação de **infinitas** radiações de frequências diferentes. O nosso sistema visual identifica cada frequência diferente como uma luz de cor distinta. O espectro visível é composto, portanto, de uma infinidade de cores que vão do vermelho ao violeta. No espectro da luz visível, podemos considerar sete cores básicas: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta. As radiações foram apresentadas na ordem crescente de frequências. Veja o espectro a seguir:

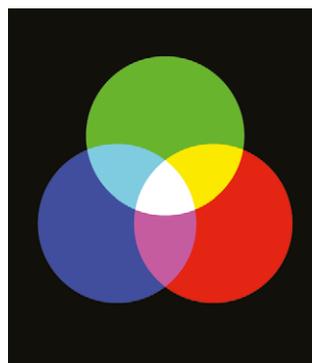


A mistura de todas as cores do espectro visível (radiações de luz) nos fornece o branco. Faça a experiência a seguir, bastante ilustrativa, para comprovar que a mistura das cores básicas fornece a cor branca. Pegue um disco de papelão e pinte setores com as cores básicas, conforme mostrado a seguir.



Coloque o disco a girar em torno do centro, em alta rotação, e observe. Uma vez que a nossa retina “guarda” uma informação por uma fração de segundo, todas as cores vão se sobrepor sobre a retina. O resultado disso é a sensação de que o disco é branco. Observe que estamos falando na mistura de radiações luminosas e não mistura de tintas (“pigmentos”). Se você misturar tintas de todas as cores sobre uma folha de papel, por exemplo, é claro que o resultado não será o branco.

Para se obter o branco, não é necessário, entretanto, adicionar todas as cores. Existem algumas radiações, chamadas de **cores aditivas primárias**, que, quando somadas, nos fornecem o branco. Um trio primário, muito usado, é o chamado RGB, empregado no sistema de colorização do nosso sistema de televisão, e é formado pelas cores vermelho (R), verde (G) e azul (B). A mistura dessas três radiações nos fornece o branco. Veja, na figura a seguir, que a mistura de apenas duas delas nos fornece uma cor diferente. Observe que a adição de vermelho com azul fornece o magenta. A soma de azul com verde resulta em ciano. A mistura de verde com vermelho produz o amarelo. Veja, agora, a região central. Ela apresenta a cor branca pela adição das três cores primárias. Dependendo da parcela de cada uma delas, podemos obter todas as outras cores do espectro.



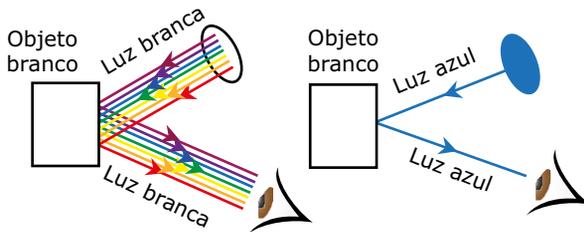
### As cores dos objetos

A cor de um objeto é uma sensação que o nosso sistema visual tem quando recebe a luz daquele corpo. Assim, a sensação de cor é pessoal, subjetiva e, possivelmente, pessoas diferentes percebem o mesmo objeto, nas mesmas circunstâncias, em cores distintas. Mas, embora possamos perceber cores diferentes, damos a cada uma delas o mesmo nome, pois aprendemos que assim são chamadas.

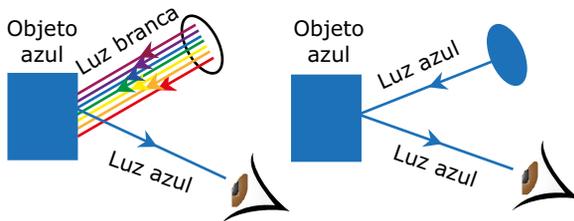
Assim, a cor de um objeto, percebida por um observador, não é uma característica intrínseca do objeto. A cor depende da estrutura do material e, principalmente, da luz que incide sobre ele. Cada objeto, em geral, tem a capacidade de absorver, de refletir e de transmitir (refratar) algumas das radiações que chegam a ele. Assim, enxergamos o objeto na cor da luz que ele reflete ou transmite.

## Cores obtidas pela reflexão da luz

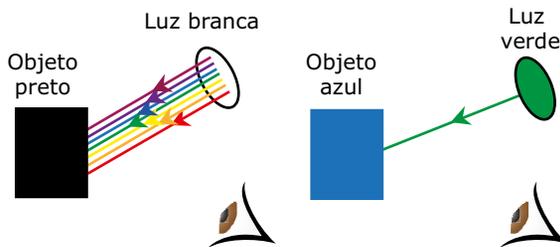
Veja a seguir um objeto branco sendo iluminado por luz branca e por luz azul. No primeiro caso, o objeto reflete todas as radiações e o observador enxerga o objeto branco. No segundo caso, o objeto, embora branco, reflete apenas o azul (única radiação que chegou a ele) e, portanto, será visto na cor azul.



Considere a seguir um objeto azul sendo iluminado por luz branca e por luz azul. Na primeira situação, o objeto, sendo azul, reflete apenas o azul. Na segunda, ele também reflete só o azul (única radiação que incide). Assim, nos dois casos, ele será visto na cor azul.



E os objetos que são vistos como sendo pretos? Isso pode ocorrer em duas situações. Se o corpo é preto, ele será visto nessa cor independentemente da radiação que chega a ele, uma vez que o corpo absorve toda a radiação que nele incide (e nada reflete). Veja a seguir:



Outra situação possível acontece quando um objeto colorido é iluminado por radiação de cor diferente da dele. Veja na figura anterior. Um corpo azul é iluminado por luz verde. Sendo azul, ele só reflete luz azul. Como não chegou luz azul (apenas verde), ele nada reflete e, portanto, será visto como preto.

Você sabe que existem objetos cujas cores não se encontram no espectro da luz visível (marrom e cinza, por exemplo). Eles são percebidos naquelas cores, pois refletem duas ou mais radiações, cuja adição nos fornece a referida cor (inexistente no espectro).



### PARA REFLETIR

Qual é a cor do Sol, quando visto de fora da atmosfera terrestre?

### CONTEÚDO NO Bernoulli Play

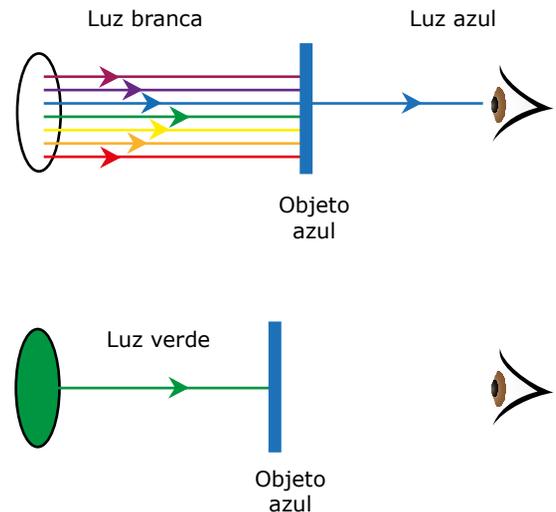
#### Labirinto dos espectros

Esse é um jogo divertido e desafiador, no qual seus conhecimentos sobre composição da luz serão bastante úteis para escapar dos fantasmas que o perseguirão por um complicado labirinto. Somente fantasmas visíveis podem tocá-lo, e a visibilidade dos fantasmas depende da cor que eles conseguem refletir. Fique atento para controlar a luz que ilumina o ambiente e, com isso, tornar alguns fantasmas invisíveis a fim de se desviar deles. Nos primeiros níveis, estarão disponíveis as cores básicas. Nos níveis subsequentes, a dificuldade é ampliada, e cores compostas serão usadas. Bom jogo!



## Cores obtidas pela transmissão da luz

Considere um objeto transparente ou translúcido, porém colorido, chamado de filtro colorido. Um bom exemplo é uma folha de papel celofane. Ao ser iluminada, parte da radiação atravessa por ela. Um observador, que recebe essa luz transmitida, terá a sensação de cor do objeto conforme mostrado na figura seguinte. Considere um celofane azul.



Sendo azul, o filtro só se deixa atravessar pela radiação azul. Se iluminado por luz branca, apenas o azul o atravessa e chega aos olhos do observador do outro lado. Tal observador verá o celofane azul. Se ele for iluminado por radiação de quaisquer outras cores, exceto o azul, todas elas serão absorvidas pelo celofane. Dessa forma, nenhuma radiação atravessa a folha e o observador do outro lado enxerga o celofane como preto. Você já deve ter visto holofotes (ou *spots*) iluminando festas ou *shows*.

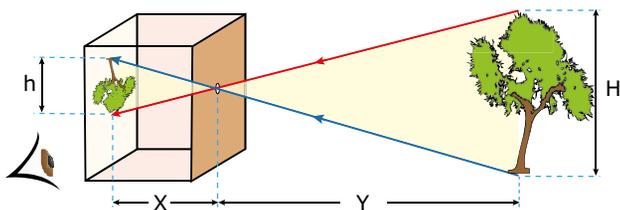
A luz branca de uma lâmpada sai pelo filtro apenas na radiação correspondente à cor do filtro colocado à sua frente.

Dessa forma, se dois filtros de cores diferentes (presentes no espectro) são justapostos e iluminados por luz branca, nenhuma radiação os atravessa e, vistos pelo outro lado, eles vão se mostrar negros.

## APLICAÇÕES

### Câmara escura

Considere uma caixa fechada, com um pequeno orifício em uma das paredes e com uma folha de papel de seda, papel manteiga ou papel heliográfico – todos brancos e translúcidos – na parede oposta. Se uma fonte de luz (seja primária ou secundária) estiver à frente do orifício, ela envia luz para o interior da caixa, através do orifício, e uma imagem será formada na folha da parede oposta. O seu funcionamento está baseado no princípio da propagação retilínea da luz. Veja a seguir.



Considere uma árvore à frente do orifício. Veja a figura anterior. O observador que olhar através do papel verá uma imagem da árvore, projetada sobre a folha, que é invertida, tanto vertical quanto horizontalmente, como consequência da propagação retilínea dos raios de luz. Se conhecemos a altura da imagem (h), a distância da árvore ao orifício (Y) e o comprimento da caixa (X), por semelhança dos triângulos destacados, podemos calcular a altura (H) da árvore, ou seja:

$$\frac{H}{h} = \frac{Y}{X}$$

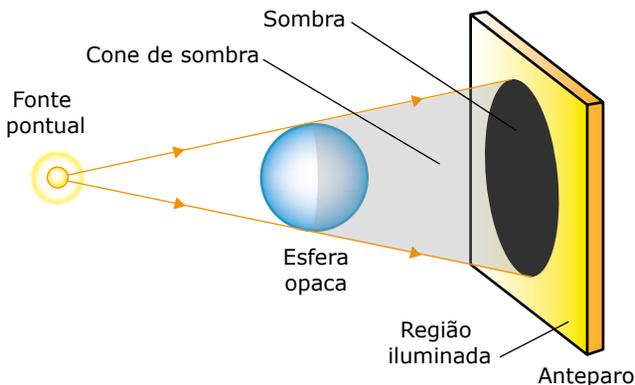
### Formação de sombras e penumbras

Na maioria das situações do cotidiano, a luz se propaga em linha reta. Uma consequência importante, relacionada a esse comportamento, refere-se à formação de sombras e penumbras em um anteparo.

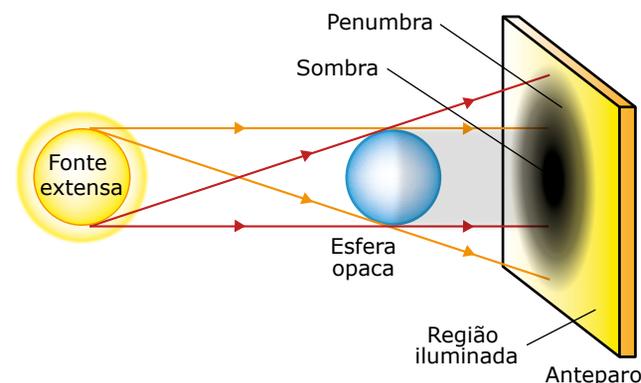


Considere uma fonte **pontual** colocada a certa distância de uma parede. Considere ainda uma esfera opaca entre a parede e a fonte, conforme mostra a figura a seguir.

Dos raios provenientes da fonte, alguns passam ao redor da esfera, atingindo a parede e iluminando-a. Os outros são interceptados pela esfera e não atingem a parede. A região da parede que receberia tais raios, caso a esfera não estivesse ali, é chamada de **sombra**. Essa região é escura porque não recebe luz proveniente da fonte. Alguém que se colocasse na sombra (ou mesmo no **cone de sombra** indicado na figura) não poderia enxergar a fonte de luz.



Considere a mesma situação anterior, exceto pelo fato de que a fonte agora é **extensa**, conforme representado na figura a seguir. Nesse caso, além da formação de sombra, percebemos um anel semiescuro em volta da sombra, que vai clareando à medida que se afasta do centro dela. Essa região é chamada de **penumbra**. Observe que os contornos da sombra e da penumbra não são bem definidos. Traçando alguns raios provenientes da fonte, será fácil perceber que a penumbra é iluminada pela fonte apenas parcialmente. Veja que os raios provenientes da parte de baixo da fonte atingem e iluminam predominantemente a porção inferior da penumbra. Analogamente, os raios provenientes da parte de cima da fonte atingem predominantemente a parte superior da penumbra.



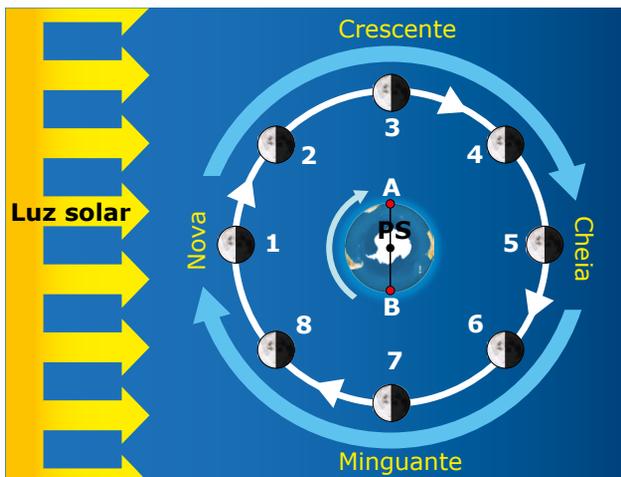
Se um observador se colocar na parte de baixo da penumbra, verá apenas a porção inferior da fonte, e quem estiver na parte de cima da penumbra vai enxergar apenas a porção superior da fonte. Uma pessoa que estiver na região iluminada enxergará toda a fonte (ainda que a esfera esteja à sua frente).

## Fases da Lua

As fases da Lua estão relacionadas com a posição desta em relação ao Sol e à Terra. As posições da Lua em torno da Terra estão mostradas a seguir (figura fora de escala). O plano de órbita da Lua não coincide com o plano de rotação da Terra, sendo inclinado em relação a esse de, aproximadamente,  $5^\circ$ . Observe que a parte da Lua voltada para o Sol é uma região iluminada. Dessa forma, um observador na Terra, olhando para a Lua, poderá ver, dependendo da posição desta, partes iluminadas e regiões escuras. Essas diferentes distribuições de luminosidade são o que determinam as chamadas fases da Lua.



Para facilitar o raciocínio, considere um observador, fora da Terra, olhando o sistema Terra-Lua, pelo Polo Sul da Terra (PS). A figura a seguir mostra a trajetória da Lua, conforme vista por tal observador, em oito momentos de seu movimento em torno da Terra. Observe que os movimentos de translação da Lua e de rotação da Terra estão no sentido horário para tal observador. Na figura, o deslocamento da Terra em torno do Sol é pequeno e foi desprezado.



Um habitante, no Hemisfério Sul da Terra, olhando para o céu à noite, nas posições indicadas anteriormente (de 1 a 8), veria a Lua como mostrado a seguir.



Volte à penúltima figura e observe os pontos A e B colocados na Terra. A noite está começando para um observador no ponto A. Olhando para o céu, nesse horário, ele poderá ver, dependendo do dia do mês e da estação do ano, de Lua nova até Lua cheia (particularmente, a Lua crescente), mas jamais verá a Lua minguante (esta estará do outro lado da Terra, nesse horário). Ao contrário, para o observador no ponto B, está começando o dia. Ele poderá ver de Lua cheia até Lua nova (particularmente, a Lua minguante), mas nunca verá, nesse horário, a Lua crescente.

A posição 2 das figuras anteriores mostra a Lua crescente vista por um observador no Hemisfério sul. Estando nesse hemisfério, ele vê a Lua "por baixo" (ele se encontra abaixo do plano de órbita da Lua). Considere um observador na região do Equador (ele se encontra próximo ao plano de órbita da Lua) e um outro que se localiza no Hemisfério Norte (que vê a Lua "por cima" – encontra-se acima do plano de órbita desta). As figuras a seguir mostram a mesma Lua crescente, no mesmo dia e horário, vistas em posições diferentes da Terra.

### Lua crescente vista do



Assim, dependendo da localização do observador na Terra e da estação do ano, a inclinação da Lua crescente varia de um extremo a outro da figura anterior. Para a Lua minguante, vale o mesmo raciocínio.

CONTEÚDO NO  
**Bernoulli Play**

### Fases da Lua

Durante seu movimento em torno da Terra, a Lua passa por um ciclo formado de quatro fases. Por meio desse simulador, você compreenderá melhor como ocorrem as fases da Lua de um ponto de vista da Terra e também sob um ponto de vista externo e mais distante (referencial do Sol). Aproveite!



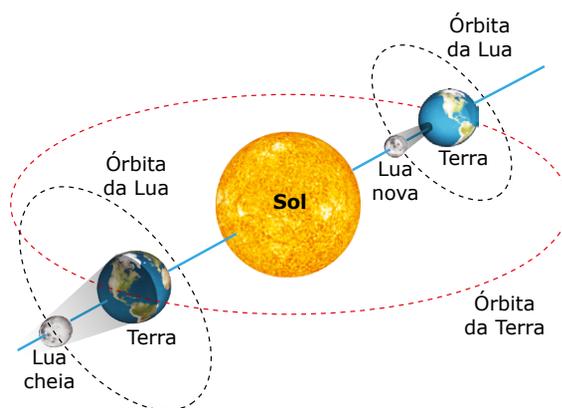


A Lua é um dos astros que mais chamaram a atenção do homem ao longo da história. Seu brilho e suas fases são fascinantes! Assista a esta videoaula para entender mais sobre as fases da Lua e sobre os fenômenos que as causam.

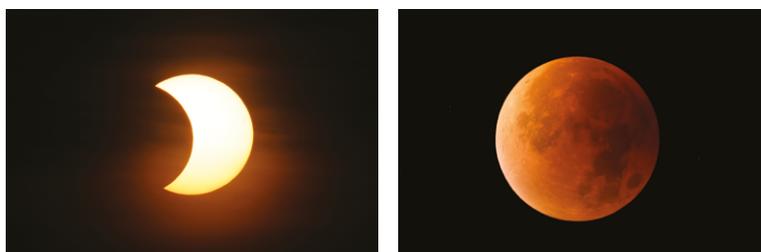
8FER

## Eclipses do Sol e da Lua

Como o Sol é uma fonte extensa, os raios luminosos que vão para a Terra e para a Lua, ao encontrarem uma delas pelo caminho, formam regiões de sombras e de penumbras na outra. O eclipse é um fenômeno celeste envolvendo, pelo menos, **dois astros** e um observador fora deles. Nesse fenômeno, um dos astros deixa de ser visível, total (quando o observador se coloca no cone de sombra gerado pelo outro astro) ou parcialmente (quando o observador se localiza na região de penumbra gerada pelo outro astro). Assim, um eclipse está relacionado à propagação retilínea da luz e, para aqueles que mais nos interessam, à geometria do sistema Sol-Terra-Lua. Para que exista um eclipse, visto da Terra, é necessário que o Sol, a Terra e a Lua estejam alinhados. O eclipse do Sol ocorre durante o dia de Lua nova, pois esta se coloca entre o Sol e a Terra. O eclipse da Lua acontece na noite de Lua cheia, uma vez que a Terra se encontra entre o Sol e a Lua. A ilustração a seguir, fora de escala, mostra os eclipses lunar e solar.

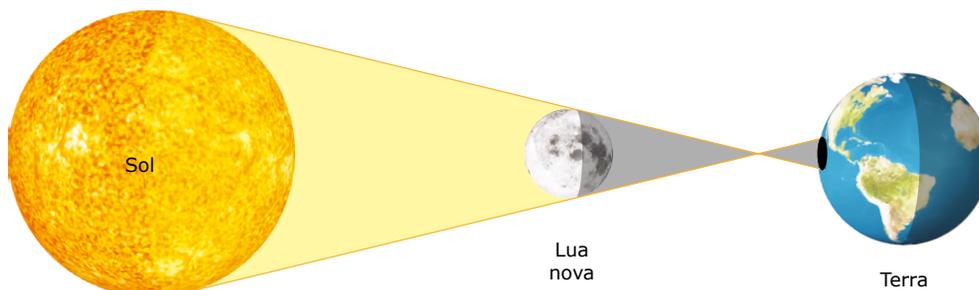


Veja que, na parte esquerda da figura, a Lua cheia está no cone de sombra da Terra. Assim, a Lua cheia deixa de ser vista da Terra (eclipse total da Lua). Quando a Lua cheia passa pela região de penumbra da Terra (não mostrada na figura), temos um eclipse parcial, uma vez que parte da Lua continua visível o tempo todo. Na parte direita da figura, o cone de sombra da Lua se projeta sobre a Terra. Assim, os observadores localizados na região de sombra projetada pela Lua (círculo preto) não poderão ver o Sol (eclipse total do Sol). Para os observadores da Terra localizados na região de penumbra da Lua (em torno do círculo preto), ocorre um eclipse parcial do Sol (não indicado na figura). Nesse mesmo instante, para os habitantes que se encontram na região iluminada da Terra (não mostrada na figura), não ocorre o eclipse. Assim, o eclipse do Sol, quando acontece, será visível apenas em pequenas regiões da Terra. Veja a seguir fotografias dos eclipses do Sol e da Lua.



Imagens: iStockphoto

Os eclipses são raros de ocorrer, principalmente do Sol, pois os planos de órbita da Terra e da Lua não coincidem. Dessa forma, poucas vezes os três astros estão alinhados. A distância Terra-Lua é variável e, assim, existe uma posição em que a Lua está mais distante da Terra. Se nessa posição é Lua nova e os três astros estão alinhados, pode ocorrer um eclipse solar mais raro ainda. Observe a figura a seguir, fora de escala, que caracteriza a situação indicada. Veja que a Terra está, na região de penumbra da Lua, fora do cone de sombra e além do seu vértice.



Os habitantes que se encontram, nesse momento, no círculo negro recebem apenas a luz dos bordos do Sol. Assim, a parte central do Sol está obstruída pela Lua (eclipse solar), mas um anel luminoso será visto em torno da Lua (eclipse anular). A visão desse eclipse está mostrada na foto seguinte. Um eclipse como esse ocorreu em 15 de janeiro de 2010.



Armin Killebeck, CC-BY-SA, Wikimedia Commons

## Olhando para o passado

A velocidade da luz, tanto no ar como no vácuo, é muito grande, porém finita. O seu valor aproximado é de  $3,0 \cdot 10^8$  m/s (300 000 km/s). Isso quer dizer que ela gasta um tempo não nulo para percorrer determinada distância. A distância Terra-Sol é, em média, de  $1,5 \cdot 10^{11}$  m. Assim, a luz do Sol gasta, aproximadamente, 500 s (cerca de 8 minutos) para chegar à Terra. Nós enxergamos um objeto quando a luz emitida por ele chega ao nosso sistema visual. Como a luz do Sol gasta 8 minutos para chegar à Terra, nós o vemos como ele era, no instante em que emitiu a luz. Ou seja, vemos, em cada momento, um Sol de 8 minutos atrás.

Com o objetivo de facilitar o entendimento de uma medição, as unidades devem estar de acordo com a grandeza a ser medida. Quando queremos medir a espessura de uma folha de papel, usamos o milímetro; para medir a altura de uma pessoa, preferimos o metro; para estimar distâncias entre cidades, é usual o quilômetro. Estrelas estão muito distantes da Terra. Para determinar tais distâncias, preferimos uma unidade chamada **ano-luz**. Ela se refere à distância percorrida pela luz em um ano. Assim, ano-luz é uma unidade de distância (D), e não de tempo (t).

$$D = 1 \text{ ano-luz} = \text{distância percorrida pela luz em 1 ano}$$

Um ano (365 dias de 24 h cada) apresenta:

$$t = (1 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) = 31\,536\,000 \text{ segundos}$$

$$t = 3,2 \cdot 10^7 \text{ s}$$

Como a velocidade da luz no espaço é constante, podemos calcular a distância percorrida pela luz em um ano da seguinte maneira:

$$D = v \cdot t = 3,0 \cdot 10^8 \cdot 3,2 \cdot 10^7 = 9,6 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

$$D = 1 \text{ ano-luz} = 9,6 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

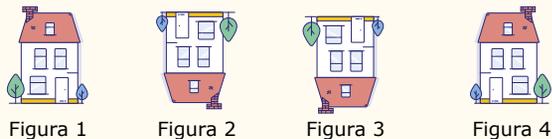
A segunda estrela mais próxima da Terra, visível a olho nu, é a Alfa, da constelação de Centauro. A sua distância à Terra é de 4,3 anos-luz. Isso quer dizer que recebemos a luz que saiu de Alfa e, portanto, a enxergamos como ela **era** há 4,3 anos. Temos estrelas a centenas, milhões, bilhões de anos-luz da Terra. Nós as vemos como elas eram no momento em que elas emitiram a luz. Muitas das estrelas que estão no "nosso" céu já "morreram" há muito tempo. Como a luz enviada por elas ainda está a caminho da Terra, nós ainda as enxergamos. Várias das novas estrelas, surgidas no Universo, jamais serão vistas em nossa vida, uma vez que a luz emitida por elas ainda não chegou a nós nem chegará até nossos dias finais.

Dessa forma, quando você olha para o céu, você está enxergando o passado. Um passado "plural", pois está vendo cada estrela como ela era há dezenas, milhares, bilhões de anos! Agora, me responda: a Óptica não é um assunto muito fascinante?

# EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



**01.** (CMMG) Um *container* de metal usado para transporte de cargas em navios encontra-se fechado e o seu interior é completamente escuro. Ele possui um pequeno orifício que está voltado para uma casa, como mostrado na figura 1.



Uma pessoa dentro do *container* verá, projetada na parede oposta ao orifício, uma imagem da casa, como na figura

- A) 1.
- B) 2.
- C) 3.
- D) 4.

**02.** (FGV) O professor pede aos grupos de estudo que apresentem à classe suas principais conclusões sobre os fundamentos para o desenvolvimento do estudo da Óptica Geométrica.

Grupo I. Os feixes de luz podem apresentar-se em raios paralelos, convergentes ou divergentes.

Grupo II. Os fenômenos de reflexão, refração e absorção ocorrem isoladamente e nunca simultaneamente.

Grupo III. Enquanto, num corpo pintado de preto fosco, predomina a absorção, em um corpo pintado de branco, predomina a difusão.

Grupo IV. Os raios luminosos se propagam em linha reta nos meios homogêneos e transparentes.

São corretas as conclusões dos grupos

- A) I e III, apenas.
- B) II e IV, apenas.
- C) I, III e IV, apenas.
- D) II, III e IV, apenas.
- E) I, II, III e IV.

**03.** (UFMG) Um feixe de luz do Sol é decomposto ao passar por um prisma de vidro. O feixe de luz visível resultante é composto de ondas com

- A) apenas sete frequências, que correspondem às cores vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta.
- B) apenas três frequências, que correspondem às cores vermelha, amarela e azul.
- C) apenas três frequências, que correspondem às cores vermelha, verde e azul.
- D) uma infinidade de frequências, que correspondem a cores desde a vermelha até a violeta.

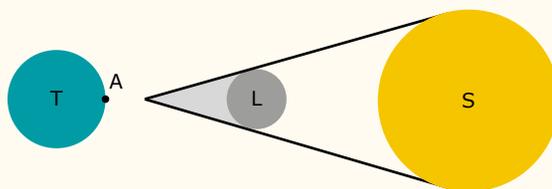
**04.** (UFU-MG) Ao olhar para um objeto (que não é uma fonte luminosa), em um ambiente iluminado pela luz branca, e constatar que ele apresenta a cor amarela, é correto afirmar que

- A) o objeto absorve a radiação cujo comprimento de onda corresponde ao amarelo.
- B) o objeto refrata a radiação cujo comprimento de onda corresponde ao amarelo.
- C) o objeto difrata a radiação cujo comprimento de onda corresponde ao amarelo.
- D) o objeto reflete a radiação cujo comprimento de onda corresponde ao amarelo.

**05.** (UEL-PR) Durante um eclipse solar, um observador,

- A) no cone de sombra, vê um eclipse parcial.
- B) na região da penumbra, vê um eclipse total.
- C) na região plenamente iluminada, vê a Lua eclipsada.
- D) na região plenamente iluminada, não vê o eclipse solar.

**06.** (Unifor-CE) O esquema, fora de escala, representa o alinhamento da Terra (T), da Lua (L) e do Sol (S) no momento de um eclipse.



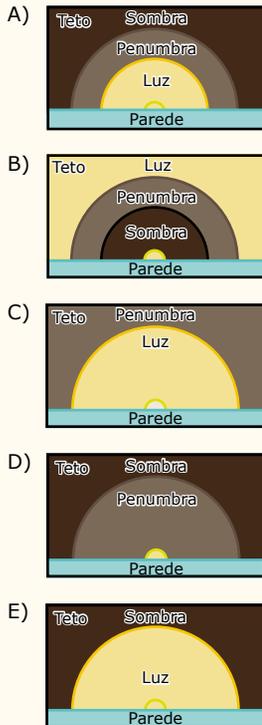
Neste instante, uma pessoa situada no ponto A observará

- A) um eclipse parcial da Lua.
- B) o Sol em sua totalidade.
- C) um eclipse anular do Sol.
- D) um eclipse parcial do Sol.
- E) um eclipse total do Sol.

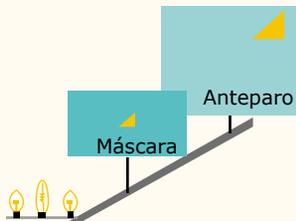
**07.** (FGV) Com a finalidade de produzir iluminação indireta, uma luminária de parede possui, diante da lâmpada, uma capa opaca em forma de meio cano.



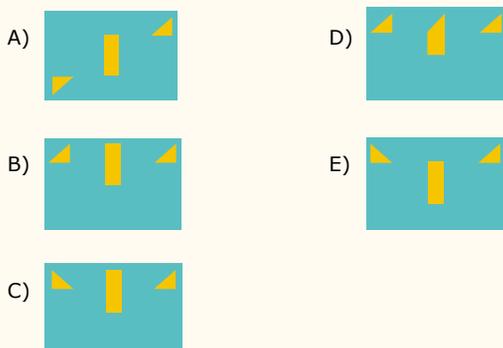
No teto, a partir da parede onde está montada a luminária, sabendo que esta é a única fonte luminosa do ambiente e que a parede sobre a qual está afixada essa luminária foi pintada com uma tinta pouco refletora, o padrão de iluminação projetado sobre esse teto é semelhante ao desenhado em

08.  
DZG7

(FUVEST-SP) Uma determinada montagem óptica é composta por um anteparo, uma máscara com furo triangular e três lâmpadas,  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ , conforme a figura a seguir.  $L_1$  e  $L_3$  são pequenas lâmpadas de lanterna e  $L_2$ , uma lâmpada com filamento extenso e linear, mas pequena nas outras dimensões. No esquema, apresenta-se a imagem projetada no anteparo com apenas  $L_1$  acesa.



O esboço que melhor representa o anteparo iluminado pelas três lâmpadas acesas é

EXERCÍCIOS  
PROPOSTOS

01. (UPE-2019) Um adolescente chegou da escola e encontrou uma caixa de geladeira de papelão; levou-a para o quintal e entrou nela. Fez um pequeno orifício na parede lateral superior e viu uma imagem completa de um poste de eletricidade projetada na parede da caixa. Mediu algumas distâncias: altura da imagem do poste, 12,5 cm; do orifício à imagem, 75 cm; e do orifício ao poste, 42 m. Com essas medidas, ele conseguiu achar a altura aproximada do poste que corresponde a

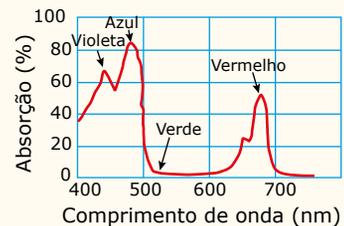
- A) 7 000 cm.
- B) 910 cm.
- C) 25,2 m.
- D) 22,5 m.
- E) 7,00 m.

02. (ITA-SP) Dos seguintes objetos, qual seria visível em uma sala perfeitamente escura?

- A) Um espelho.
- B) Qualquer superfície de cor clara.
- C) Um fio aquecido ao rubro.
- D) Uma lâmpada desligada.
- E) Um gato preto.

03.  
KMQA

(UFRN) A coloração das folhas das plantas é determinada, principalmente, pelas clorofilas a e b – nelas presentes –, que são dois dos principais pigmentos responsáveis pela absorção da luz necessária para a realização da fotossíntese. O gráfico a seguir mostra o espectro conjunto de absorção das clorofilas a e b em função do comprimento de onda da radiação solar visível.



Com base nessas informações, é correto afirmar que, para realizar a fotossíntese, as clorofilas absorvem, predominantemente,

- A) o violeta, o azul e o vermelho, e refletem o verde.
- B) o verde, e refletem o violeta, o azul e o vermelho.
- C) o azul, o verde e o vermelho, e refletem o violeta.
- D) o violeta, e refletem o verde, o vermelho e o azul.

- 04.** (CEFET-MG) A imagem formada em uma câmara escura de orifício é invertida em relação ao objeto. Para descrevê-la, deve-se considerar a(o)
- A) propagação retilínea da luz.
  - B) reversibilidade dos raios de luz.
  - C) paralelismo geométrico dos raios de luz.
  - D) variação da velocidade da luz na câmara.
  - E) mudança de meio de propagação da luz no orifício.

- 05.** (IFSul-RS) No dia 27 de setembro de 2015, houve o eclipse da superlua. Esse evento é a combinação de dois fenômenos, que são: um eclipse lunar e a superlua. Isso só acontecerá novamente em 2033.



No fenômeno da superlua, o astro fica mais perto da Terra e parece até 14% maior, com um brilho extraordinário. Já o fenômeno do eclipse lunar é consequência da \_\_\_\_\_ da luz e ele ocorre totalmente quando a posição relativa dos astros é Sol, Terra e Lua; e esse fenômeno acontece na fase da Lua \_\_\_\_\_.

A sequência correta para o preenchimento das lacunas é:

- A) propagação retilínea – minguante.
- B) reflexão – cheia.
- C) propagação retilínea – cheia.
- D) dispersão – quarto crescente.

- 06.** (CEFET-RJ) Em 1672, Isaac Newton publicou um trabalho onde apresentava ideias sobre as cores dos corpos. Passados aproximadamente três séculos e meio, hoje as ideias propostas por ele ainda são aceitas. Imagine um objeto de cor vermelha quando iluminado pela luz do Sol. Se esse mesmo objeto é colocado em um ambiente iluminado exclusivamente por luz monocromática verde, podemos afirmar que um observador perceberá este objeto como sendo



- A) verde, pois é a cor que incidiu sobre o objeto.
- B) vermelho, pois a cor do objeto independe da radiação incidente.
- C) preto, porque o objeto só reflete a cor vermelha.
- D) um tom entre o verde e o vermelho, pois ocorre mistura das cores.

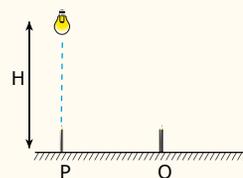
- 07.** (UFPA) Em 29 de maio de 1919, em Sobral (CE), a Teoria da Relatividade de Einstein foi testada medindo-se o desvio que a luz das estrelas sofre ao passar perto do Sol. Essa medição foi possível porque, naquele dia, naquele local, foi visível um eclipse total do Sol.



Assim que o disco lunar ocultou completamente o Sol, foi possível observar a posição aparente das estrelas. Sabendo-se que o diâmetro do Sol é 400 vezes maior do que o da Lua e que, durante o eclipse total de 1919, o centro do Sol estava a 151 600 000 km de Sobral, é correto afirmar que a distância do centro da Lua até Sobral era de

- A) no máximo 379 000 km.
- B) no máximo 279 000 km.
- C) no mínimo 379 000 km.
- D) no mínimo 479 000 km.
- E) exatamente 379 000 km.

- 08.** (UFF-RJ) Para determinar a que altura H uma fonte de luz pontual está do chão, plano e horizontal, foi realizada a seguinte experiência. Colocou-se um lápis de 0,10 m, perpendicularmente sobre o chão, em duas posições distintas: primeiro em P e depois em Q. A posição P está exatamente na vertical que passa pela fonte e, nessa posição, não há formação de sombra do lápis, conforme ilustra esquematicamente a figura. Na posição Q, a sombra do lápis tem comprimento 49 (quarenta e nove) vezes menor que a distância entre P e Q. A altura H é, aproximadamente, igual a



- A) 0,49 m.
- B) 1,5 m.
- C) 5,0 m.
- D) 1,0 m.
- E) 3,0 m.

- 09.** (PUC-Campinas-SP) Uma pessoa se coloca na frente de uma câmara escura, a 2 m do orifício dessa câmara e a sua imagem, que se forma no fundo da mesma, tem 6 cm de altura. Para que ela tenha 4 cm de altura, essa pessoa, em relação à câmara, deve



- A) afastar-se 1 m.
- B) afastar-se 2 m.
- C) afastar-se 3 m.
- D) aproximar-se 1 m.
- E) aproximar-se 2 m.

10.  
RUGZ

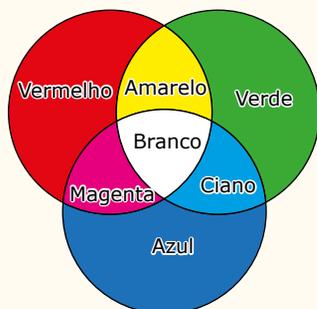
(UFMT) Considere dois observadores, um na Terra e outro no planeta Marte. O observador na Terra vê, à meia-noite, o planeta Marte no ponto mais alto no céu, sobre sua cabeça.

À meia-noite, no planeta Marte, o observador de lá

- A) vê a Terra no ponto mais alto sobre sua cabeça.
- B) não vê a Terra.
- C) vê a Terra entre Vênus e Júpiter.
- D) vê a Terra em conjunção com Mercúrio e o Sol.
- E) verifica que a luz do Sol refletida pela Terra é imperceptível devido à grande distância.

## SEÇÃO ENEM

- 01.** (Enem-2019) Os olhos humanos normalmente têm três tipos de cones responsáveis pela percepção das cores: um tipo para tons vermelhos, um para tons azuis e outro para tons verdes. As diversas cores que enxergamos são resultado da percepção das cores básicas, como indica a figura.



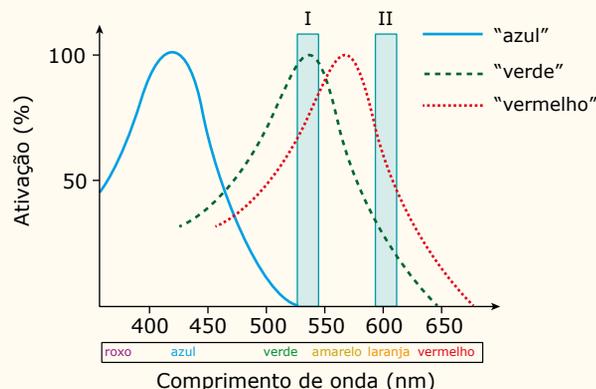
A protanopia é um tipo de daltonismo em que há diminuição ou ausência de receptores da cor vermelha. Considere um teste com dois voluntários: uma pessoa com visão normal e outra com caso severo de protanopia. Nesse teste, eles devem escrever a cor dos cartões que lhes são mostrados. São utilizadas as cores indicadas na figura.

Para qual cartão os dois voluntários identificarão a mesma cor?

- A) Vermelho
- B) Magenta
- C) Amarelo
- D) Branco
- E) Azul

- 02.** (Enem-2018) Muitos primatas, incluindo nós humanos, possuem visão tricromática: têm três pigmentos visuais na retina sensíveis à luz de uma determinada faixa de comprimentos de onda.

Informalmente, embora os pigmentos em si não possuam cor, estes são conhecidos como pigmentos "azul", "verde" e "vermelho" e estão associados à cor que causa grande excitação (ativação). A sensação que temos ao observar um objeto colorido decorre da ativação relativa dos três pigmentos. Ou seja, se estimulássemos a retina com uma luz na faixa de 530 nm (retângulo I no gráfico), não excitaríamos o pigmento "azul", o pigmento "verde" seria ativado ao máximo e o "vermelho" seria ativado em aproximadamente 75%, e isso nos daria a sensação de ver uma cor amarelada. Já uma luz na faixa de comprimento de onda de 600 nm (retângulo II) estimularia o pigmento "verde" um pouco e o "vermelho" em cerca de 75%, e isso nos daria a sensação de ver laranja-avermelhado. No entanto, há características genéticas presentes em alguns indivíduos, conhecidas coletivamente como Daltonismo, em que um ou mais pigmentos não funcionam perfeitamente.

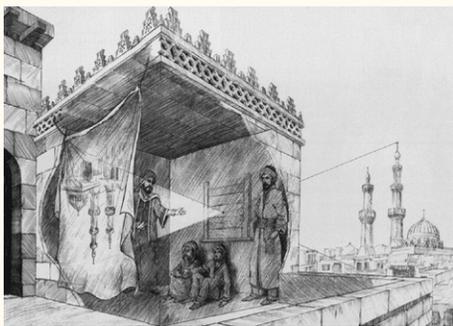


Disponível em: [www.comprehensivephysiology.com](http://www.comprehensivephysiology.com). Acesso em: 03 ago. 2012 (Adaptação).

Caso estimulássemos a retina de um indivíduo com essa característica, que não possuísse o pigmento conhecido como "verde", com as luzes de 530 nm e 600 nm na mesma intensidade luminosa, esse indivíduo seria incapaz de

- A) identificar o comprimento de onda do amarelo, uma vez que não possui o pigmento "verde".
- B) ver o estímulo de comprimento de onda laranja, pois não haveria estimulação de um pigmento visual.
- C) detectar ambos os comprimentos de onda, uma vez que a estimulação dos pigmentos estaria prejudicada.
- D) visualizar o estímulo do comprimento de onda roxo, já que este se encontra na outra ponta do espectro.
- E) distinguir os dois comprimentos de onda, pois ambos estimulam o pigmento "vermelho" na mesma intensidade.

**03.** (Enem) Entre os anos de 1028 e 1038, Alhazen (Ibn al-Haytham; 965-1040 d.C.) escreveu sua principal obra, o *Livro da Óptica*, que, com base em experimentos, explicava o funcionamento da visão e outros aspectos da óptica, por exemplo, o funcionamento da câmara escura. O livro foi traduzido e incorporado aos conhecimentos científicos ocidentais pelos europeus. Na figura, retirada dessa obra, é representada a imagem invertida de edificações em um tecido utilizado como anteparo.



ZEWAIL, A. H. Micrographia of the twenty-first century: from camera obscura to 4D microscopy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, v. 368, 2010 (Adaptação).

Se fizermos uma analogia entre a ilustração e o olho humano, o tecido corresponde ao(à)

- A) íris.
- B) retina.
- C) pupila.
- D) córnea.
- E) cristalino.

**04.** (Enem) É comum aos fotógrafos tirar fotos coloridas em ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes, que contêm uma forte composição de luz verde. A consequência desse fato na fotografia é que todos os objetos claros, principalmente os brancos, aparecerão esverdeados. Para equilibrar as cores, deve-se usar um filtro adequado para diminuir a intensidade da luz verde que chega aos sensores da câmera fotográfica. Na escolha desse filtro, utiliza-se o conhecimento da composição das cores-luz primárias: vermelho, verde e azul; e das cores-luz secundárias: amarelo = vermelho + verde, ciano = verde + azul e magenta = vermelho + azul.

Disponível em: <http://nautilus.fis.uc.pt>. Acesso em: 20 maio 2014 (Adaptação).

Na situação descrita, qual deve ser o filtro utilizado para que a fotografia apresente as cores naturais dos objetos?

- A) Ciano
- B) Verde
- C) Amarelo
- D) Magenta
- E) Vermelho

**05.** (Enem) No Brasil, verifica-se que a Lua, quando está na fase cheia, nasce por volta das 18 horas e se põe por volta das 6 horas. Na fase nova, ocorre o inverso: a Lua nasce às 6 horas e se põe às 18 horas, aproximadamente. Nas fases crescente e minguante, ela nasce e se põe em horários intermediários. Sendo assim, a Lua na fase ilustrada na figura a seguir poderá ser observada no ponto mais alto de sua trajetória no céu por volta de



- A) meia-noite.
- B) três horas da madrugada.
- C) nove horas da manhã.
- D) meio-dia.
- E) seis horas da tarde.

## GABARITO

Meu aproveitamento

### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. B
- 02. C
- 03. D
- 04. D
- 05. D
- 06. C
- 07. A
- 08. D

### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. E
- 02. C
- 03. A
- 04. A
- 05. C
- 06. C
- 07. A
- 08. C
- 09. A
- 10. B

### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. E
- 02. E
- 03. B
- 04. D
- 05. E



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## Fundamentos da Óptica Geométrica

Os cinco sentidos do ser humano permitem que ele perceba o mundo à sua volta. De todos os sentidos, a visão é o que fornece o maior número de informações e é aquele que permite ao homem o maior aprendizado do mundo que o cerca. A Óptica é a parte da Física que explica, entre outras coisas, a visão que temos dos objetos e / ou de suas imagens, seja por observação direta ou através de um instrumento. Isso é motivo suficiente para estudar esse conteúdo fascinante.

A Óptica pode ser dividida, por questões didáticas, em dois grandes ramos: a Óptica geométrica e a Óptica física. Aqui, vamos tratar da Óptica geométrica, que é a parte da Física que estuda determinados fenômenos luminosos sem a necessidade de se conhecer a natureza física da luz. Por ora, vamos considerar que a luz é uma onda que se propaga pelo espaço, transmitindo energia luminosa de um ponto a outro, e que é capaz de sensibilizar os nossos órgãos de visão. Em nosso estudo da Óptica, não é importante saber como a luz é produzida nem como ela se desloca através dos meios de propagação.

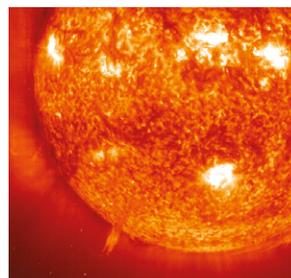
### CONCEITOS INICIAIS

#### Fontes de luz

Fonte de luz é todo objeto capaz de emitir luz ao espaço que o circunda. Podemos classificar as fontes luminosas com base em diversos critérios conforme está apresentado a seguir.

1. Quanto à natureza, a fonte luminosa pode ser:

**Primária:** aquela que emite luz própria (Sol, lâmpada acesa, vaga-lume, etc.).



NASA



Istockphoto

**Secundária:** aquela que emite, por reflexão, a luz recebida de fontes primárias (Lua, planetas, parede, folha de papel, etc.).



Istockphoto



Istockphoto

2. Quanto à dimensão, a fonte de luz pode ser:

**Pontual:** se o seu tamanho for desprezível, quando comparado à distância de observação.

**Extensa:** se o seu tamanho não for desprezível, se comparado à distância de observação.

#### OBSERVAÇÃO

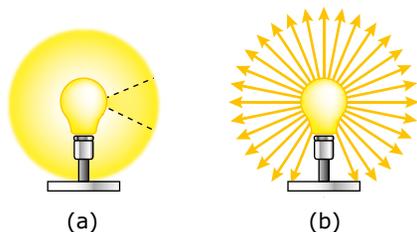
Na verdade, toda fonte de luz é extensa. Assim, se ela ilumina um objeto que se encontra muito distante dela, a fonte de luz pode ser considerada uma fonte pontual.

3. Quanto à cor de luz emitida, a fonte é classificada em:

**Monocromática:** aquela que emite luz de uma só cor (uma radiação de frequência única).

**Policromática:** aquela que emite luzes de diversas cores (várias radiações de diferentes frequências).

Considere uma lâmpada de vapor de sódio emitindo luz amarela conforme mostrado na figura (a) a seguir. Se tomarmos uma pequena porção dessa luz, entre as linhas pontilhadas, por exemplo, temos o chamado **feixe de luz**. Se imaginarmos tal feixe infinitamente estreito, temos um **raio de luz** (ou raio luminoso). Dessa forma, podemos considerar que a luz que sai da lâmpada é formada por uma infinidade de raios luminosos emitidos pela fonte, em todas as direções em torno dela. Veja a figura (b) a seguir:



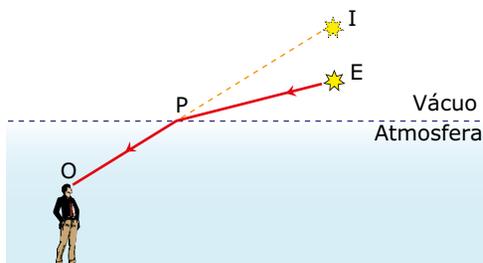
O feixe de luz, dependendo da posição entre os raios luminosos, pode ser classificado como feixe convergente, paralelo ou divergente, respectivamente, como mostrado a seguir.



## O que nós realmente vemos?

É importante, para começar, que você saiba que só é possível enxergar um objeto e / ou a sua imagem se a luz emitida por estes chegar aos olhos do observador.

O objeto (ou a sua imagem) é visto, sempre, na **direção do raio de luz que chega** aos olhos do observador. A figura a seguir, fora de escala, mostra um observador (O) mirando uma estrela (E) no céu. Observe o trajeto da luz que sai da estrela e vai ao observador (EPO).



Como a luz chega ao observador na direção IPO, este verá a imagem da estrela na posição I (chamada de posição aparente) e não na posição real E, onde se encontra a estrela.

É importante ressaltar que nenhum ser vivo pode **ver a luz**. Nós enxergamos, apenas, os objetos que enviam a luz que chega aos nossos olhos. No vácuo, fora da nossa atmosfera, por exemplo, a luz emitida por todas as estrelas corta o espaço sideral em todas as direções. Estando em uma dessas regiões, um astronauta que olhar ao seu redor poderá ver o Sol, as estrelas, a Lua, os planetas, etc., mas o restante do espaço é totalmente escuro (embora uma infinidade de raios de luz esteja cruzando aquela região).

## Tipos de meios de propagação

Chamamos de meio de propagação qualquer região do espaço na qual a luz se propaga. Aqui, vamos classificar os meios apenas para a luz visível. Assim, um meio pode ser:

1. **Transparente:** é o meio no qual a luz se propaga de forma regular, permitindo que se possa enxergar, de forma nítida, através dele. O ar, o vidro liso e a água cristalina, em pequenas quantidades, são exemplos de meios transparentes.



2. **Translúcido:** é o meio no qual uma parte da luz se propaga, porém de forma irregular. A luminosidade passa através dele, mas a imagem formada não apresenta nitidez. O vidro enlameado, plásticos leitosos e água suja são alguns exemplos.



3. **Opaco:** é o meio que não se deixa atravessar pela luz e, dessa forma, não se pode enxergar através dele. Como exemplos, temos o corpo humano, uma parede, os metais, entre muitos outros.

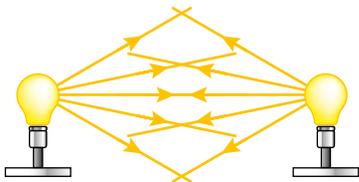
## OBSERVAÇÕES

- A. Dependendo da espessura a ser atravessada pela luz, um meio transparente pode se tornar translúcido ou mesmo opaco. É o caso, por exemplo, da água cristalina. Uma lagoa profunda, mesmo de águas claras, não nos permite ver o fundo.
- B. Materiais opacos à luz visível podem ser translúcidos ou mesmo transparentes para outras radiações. Cita-se, por exemplo, o corpo humano, que é relativamente transparente para os raios X. Da mesma forma, materiais transparentes para a luz visível podem ser opacos a outras radiações. O vidro comum, por exemplo, é transparente à luz visível, mas é opaco ao infravermelho e ao ultravioleta.

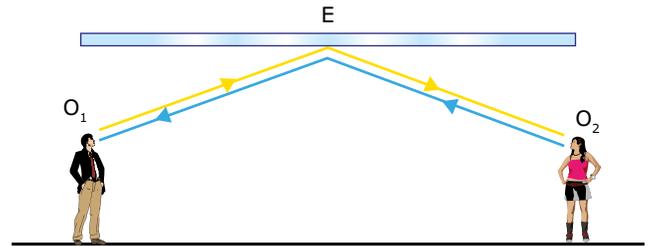
## Princípios de propagação da luz

Nos meios de propagação que sejam transparentes, isotrópicos e homogêneos, podemos usar importantes princípios de propagação da luz, a saber:

1. **Propagação retilínea:** a luz se propaga, a partir da fonte, em linha reta. Isso quer dizer que a energia transmitida por um raio luminoso viaja em movimento retilíneo através do meio.
2. **Independência dos raios:** dois ou mais raios ou feixes de luz se propagam independentemente da existência de outro(s) na mesma região e no mesmo instante. Havendo cruzamento entre eles, cada um segue o seu caminho sem tomar conhecimento da existência do(s) outro(s). Veja a seguir:



3. **Reversibilidade:** a trajetória seguida pela luz entre dois pontos quaisquer é exatamente a mesma indo do primeiro ponto ao segundo ou voltando do segundo ponto ao primeiro. Veja o exemplo a seguir. Considere duas pessoas ( $O_1$  e  $O_2$ ) se olhando através de um espelho (E). O observador 2 recebe a luz emitida pelo observador 1, segundo a trajetória amarela. O observador 1 recebe a luz emitida pelo observador 2, conforme a trajetória azul. Tais caminhos são idênticos (eles foram ligeiramente deslocados, na figura a seguir, para que você possa distinguir um do outro).



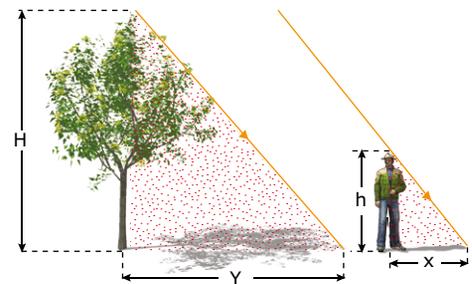
**IMPORTANTE:** conforme a informação anterior, se você enxerga uma pessoa através de um espelho plano devidamente colocado, a outra pessoa, com certeza, o estará vendo se olhar para o mesmo ponto do espelho.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Uma árvore, em determinado horário, projeta no chão uma sombra de 3,0 m de comprimento. Você, que tem 1,8 m de altura, mede a sua sombra, no mesmo instante, e encontra 0,60 m. Determine a altura da árvore.

**Resolução:**

A solução do exercício usa o princípio da propagação retilínea da luz. Veja a figura a seguir:



Usando semelhança nos triângulos destacados, temos:

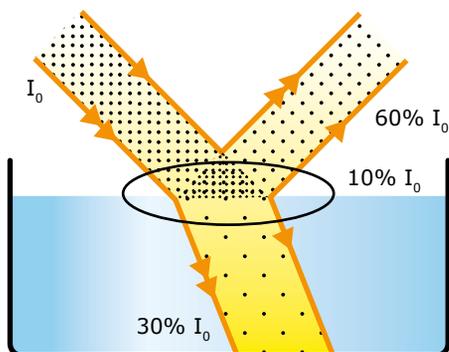
$$\frac{H}{h} = \frac{Y}{x} \therefore \frac{H}{1,8} = \frac{3,0}{0,60} \therefore H = 9,0 \text{ m}$$

## Alguns fenômenos ópticos

Quando uma onda luminosa atinge um objeto, alguns fenômenos ópticos podem ocorrer. Considere, por exemplo, a luz que se propaga no ar e chega à superfície da água de um aquário. Veja a figura a seguir. Ela mostra a ocorrência simultânea de três fenômenos:

1. **Reflexão:** corresponde à parte do feixe luminoso que retorna ao meio de origem após atingir a superfície de separação, mantendo o mesmo módulo da velocidade de propagação.
2. **Refração:** corresponde à parte do feixe luminoso que passa para a outra substância (muda o meio de propagação), alterando a sua velocidade de propagação.

3. **Absorção:** corresponde à parcela da radiação que é absorvida pela superfície que separa os dois meios (fica retida na superfície) e que geralmente faz a substância aquecer.

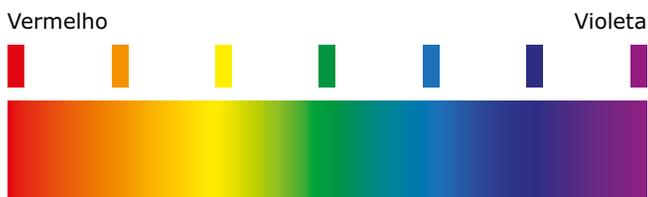


Considere que a energia que atinge a superfície tenha uma intensidade  $I_0$ . A parte refletida, que volta ao meio de origem (o ar), apresenta intensidade  $60\%I_0$ , por exemplo. Considere que a parcela refratada, que penetra na água, tenha intensidade  $30\%I_0$ . Observe que, “nessa conta”, faltam  $10\%$  de  $I_0$ . Essa parcela é absorvida pela superfície na incidência. Nesse caso, portanto, os três fenômenos acontecem simultaneamente.

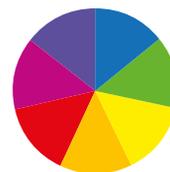
A quantidade de energia refletida, refratada e absorvida depende de uma série de fatores, entre eles a natureza dos meios envolvidos e o ângulo de incidência da radiação.

### As radiações do espectro visível

A luz branca emitida pelo Sol é policromática e é formada pela combinação de **infinitas** radiações de frequências diferentes. O nosso sistema visual identifica cada frequência diferente como uma luz de cor distinta. O espectro visível é composto, portanto, de uma infinidade de cores que vão do vermelho ao violeta. No espectro da luz visível, podemos considerar sete cores básicas: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta. As radiações foram apresentadas na ordem crescente de frequências. Veja o espectro a seguir:

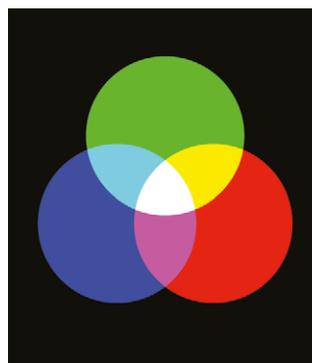


A mistura de todas as cores do espectro visível (radiações de luz) nos fornece o branco. Faça a experiência a seguir, bastante ilustrativa, para comprovar que a mistura das cores básicas fornece a cor branca. Pegue um disco de papelão e pinte setores com as cores básicas, conforme mostrado a seguir.



Coloque o disco a girar em torno do centro, em alta rotação, e observe. Uma vez que a nossa retina “guarda” uma informação por uma fração de segundo, todas as cores vão se sobrepor sobre a retina. O resultado disso é a sensação de que o disco é branco. Observe que estamos falando na mistura de radiações luminosas e não mistura de tintas (“pigmentos”). Se você misturar tintas de todas as cores sobre uma folha de papel, por exemplo, é claro que o resultado não será o branco.

Para se obter o branco, não é necessário, entretanto, adicionar todas as cores. Existem algumas radiações, chamadas de **cores aditivas primárias**, que, quando somadas, nos fornecem o branco. Um trio primário, muito usado, é o chamado RGB, empregado no sistema de colorização do nosso sistema de televisão, e é formado pelas cores vermelho (R), verde (G) e azul (B). A mistura dessas três radiações nos fornece o branco. Veja, na figura a seguir, que a mistura de apenas duas delas nos fornece uma cor diferente. Observe que a adição de vermelho com azul fornece o magenta. A soma de azul com verde resulta em ciano. A mistura de verde com vermelho produz o amarelo. Veja, agora, a região central. Ela apresenta a cor branca pela adição das três cores primárias. Dependendo da parcela de cada uma delas, podemos obter todas as outras cores do espectro.



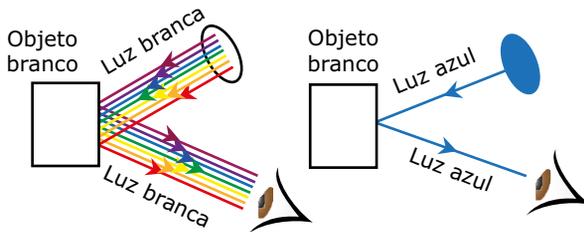
### As cores dos objetos

A cor de um objeto é uma sensação que o nosso sistema visual tem quando recebe a luz daquele corpo. Assim, a sensação de cor é pessoal, subjetiva e, possivelmente, pessoas diferentes percebem o mesmo objeto, nas mesmas circunstâncias, em cores distintas. Mas, embora possamos perceber cores diferentes, damos a cada uma delas o mesmo nome, pois aprendemos que assim são chamadas.

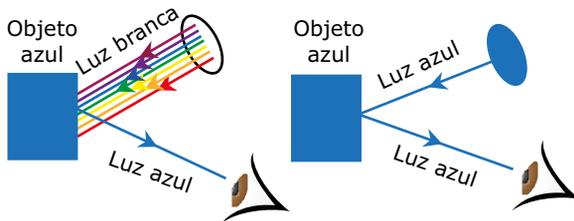
Assim, a cor de um objeto, percebida por um observador, não é uma característica intrínseca do objeto. A cor depende da estrutura do material e, principalmente, da luz que incide sobre ele. Cada objeto, em geral, tem a capacidade de absorver, de refletir e de transmitir (refratar) algumas das radiações que chegam a ele. Assim, enxergamos o objeto na cor da luz que ele reflete ou transmite.

## Cores obtidas pela reflexão da luz

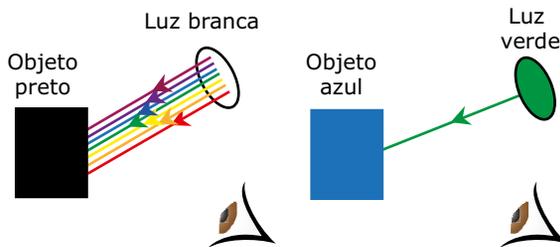
Veja a seguir um objeto branco sendo iluminado por luz branca e por luz azul. No primeiro caso, o objeto reflete todas as radiações e o observador enxerga o objeto branco. No segundo caso, o objeto, embora branco, reflete apenas o azul (única radiação que chegou a ele) e, portanto, será visto na cor azul.



Considere a seguir um objeto azul sendo iluminado por luz branca e por luz azul. Na primeira situação, o objeto, sendo azul, reflete apenas o azul. Na segunda, ele também reflete só o azul (única radiação que incide). Assim, nos dois casos, ele será visto na cor azul.



E os objetos que são vistos como sendo pretos? Isso pode ocorrer em duas situações. Se o corpo é preto, ele será visto nessa cor independentemente da radiação que chega a ele, uma vez que o corpo absorve toda a radiação que nele incide (e nada reflete). Veja a seguir:



Outra situação possível acontece quando um objeto colorido é iluminado por radiação de cor diferente da dele. Veja na figura anterior. Um corpo azul é iluminado por luz verde. Sendo azul, ele só reflete luz azul. Como não chegou luz azul (apenas verde), ele nada reflete e, portanto, será visto como preto.

Você sabe que existem objetos cujas cores não se encontram no espectro da luz visível (marrom e cinza, por exemplo). Eles são percebidos naquelas cores, pois refletem duas ou mais radiações, cuja adição nos fornece a referida cor (inexistente no espectro).



### PARA REFLETIR

Qual é a cor do Sol, quando visto de fora da atmosfera terrestre?

### CONTEÚDO NO Bernoulli Play

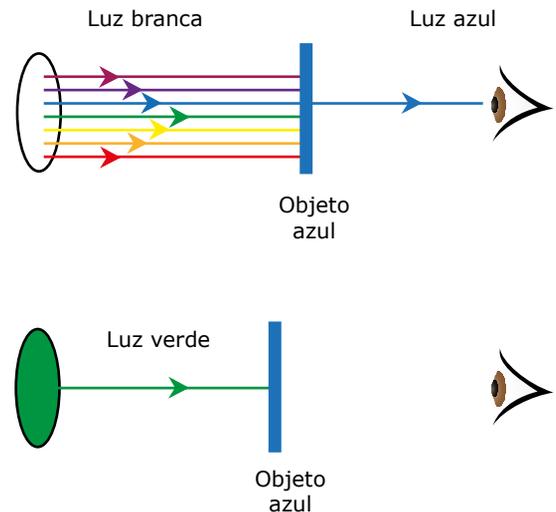
#### Labirinto dos espectros

Esse é um jogo divertido e desafiador, no qual seus conhecimentos sobre composição da luz serão bastante úteis para escapar dos fantasmas que o perseguirão por um complicado labirinto. Somente fantasmas visíveis podem tocá-lo, e a visibilidade dos fantasmas depende da cor que eles conseguem refletir. Fique atento para controlar a luz que ilumina o ambiente e, com isso, tornar alguns fantasmas invisíveis a fim de se desviar deles. Nos primeiros níveis, estarão disponíveis as cores básicas. Nos níveis subsequentes, a dificuldade é ampliada, e cores compostas serão usadas. Bom jogo!



## Cores obtidas pela transmissão da luz

Considere um objeto transparente ou translúcido, porém colorido, chamado de filtro colorido. Um bom exemplo é uma folha de papel celofane. Ao ser iluminada, parte da radiação atravessa por ela. Um observador, que recebe essa luz transmitida, terá a sensação de cor do objeto conforme mostrado na figura seguinte. Considere um celofane azul.



Sendo azul, o filtro só se deixa atravessar pela radiação azul. Se iluminado por luz branca, apenas o azul o atravessa e chega aos olhos do observador do outro lado. Tal observador verá o celofane azul. Se ele for iluminado por radiação de quaisquer outras cores, exceto o azul, todas elas serão absorvidas pelo celofane. Dessa forma, nenhuma radiação atravessa a folha e o observador do outro lado enxerga o celofane como preto. Você já deve ter visto holofotes (ou *spots*) iluminando festas ou *shows*.

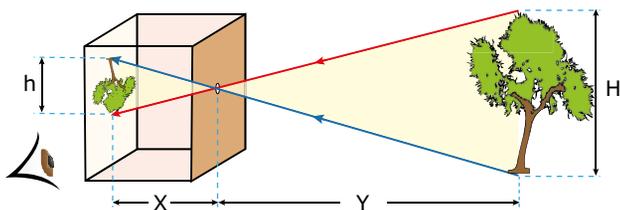
A luz branca de uma lâmpada sai pelo filtro apenas na radiação correspondente à cor do filtro colocado à sua frente.

Dessa forma, se dois filtros de cores diferentes (presentes no espectro) são justapostos e iluminados por luz branca, nenhuma radiação os atravessa e, vistos pelo outro lado, eles vão se mostrar negros.

## APLICAÇÕES

### Câmara escura

Considere uma caixa fechada, com um pequeno orifício em uma das paredes e com uma folha de papel de seda, papel manteiga ou papel heliográfico – todos brancos e translúcidos – na parede oposta. Se uma fonte de luz (seja primária ou secundária) estiver à frente do orifício, ela envia luz para o interior da caixa, através do orifício, e uma imagem será formada na folha da parede oposta. O seu funcionamento está baseado no princípio da propagação retilínea da luz. Veja a seguir.



Considere uma árvore à frente do orifício. Veja a figura anterior. O observador que olhar através do papel verá uma imagem da árvore, projetada sobre a folha, que é invertida, tanto vertical quanto horizontalmente, como consequência da propagação retilínea dos raios de luz. Se conhecemos a altura da imagem (h), a distância da árvore ao orifício (Y) e o comprimento da caixa (X), por semelhança dos triângulos destacados, podemos calcular a altura (H) da árvore, ou seja:

$$\frac{H}{h} = \frac{Y}{X}$$

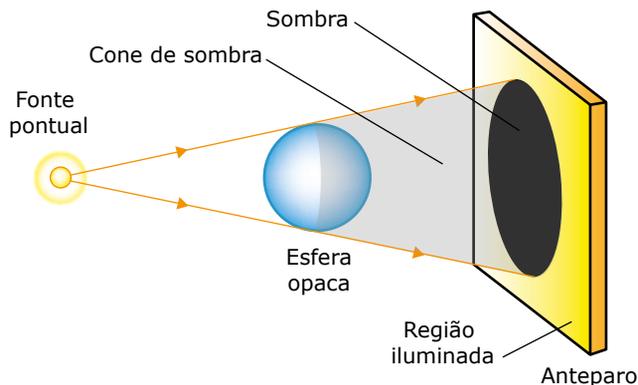
### Formação de sombras e penumbras

Na maioria das situações do cotidiano, a luz se propaga em linha reta. Uma consequência importante, relacionada a esse comportamento, refere-se à formação de sombras e penumbras em um anteparo.

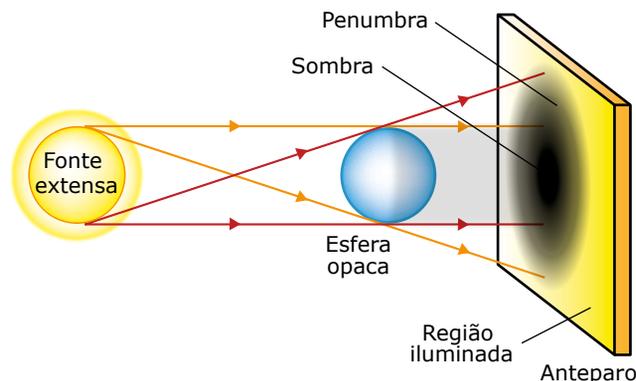


Considere uma fonte **pontual** colocada a certa distância de uma parede. Considere ainda uma esfera opaca entre a parede e a fonte, conforme mostra a figura a seguir.

Dos raios provenientes da fonte, alguns passam ao redor da esfera, atingindo a parede e iluminando-a. Os outros são interceptados pela esfera e não atingem a parede. A região da parede que receberia tais raios, caso a esfera não estivesse ali, é chamada de **sombra**. Essa região é escura porque não recebe luz proveniente da fonte. Alguém que se colocasse na sombra (ou mesmo no **cone de sombra** indicado na figura) não poderia enxergar a fonte de luz.



Considere a mesma situação anterior, exceto pelo fato de que a fonte agora é **extensa**, conforme representado na figura a seguir. Nesse caso, além da formação de sombra, percebemos um anel semiescuro em volta da sombra, que vai clareando à medida que se afasta do centro dela. Essa região é chamada de **penumbra**. Observe que os contornos da sombra e da penumbra não são bem definidos. Traçando alguns raios provenientes da fonte, será fácil perceber que a penumbra é iluminada pela fonte apenas parcialmente. Veja que os raios provenientes da parte de baixo da fonte atingem e iluminam predominantemente a porção inferior da penumbra. Analogamente, os raios provenientes da parte de cima da fonte atingem predominantemente a parte superior da penumbra.



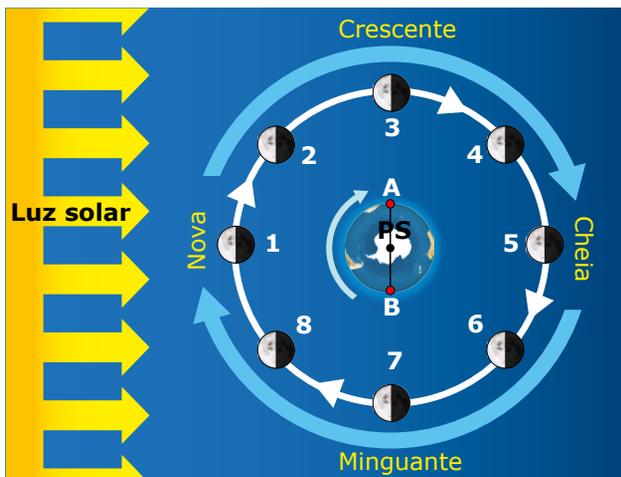
Se um observador se colocar na parte de baixo da penumbra, verá apenas a porção inferior da fonte, e quem estiver na parte de cima da penumbra vai enxergar apenas a porção superior da fonte. Uma pessoa que estiver na região iluminada enxergará toda a fonte (ainda que a esfera esteja à sua frente).

## Fases da Lua

As fases da Lua estão relacionadas com a posição desta em relação ao Sol e à Terra. As posições da Lua em torno da Terra estão mostradas a seguir (figura fora de escala). O plano de órbita da Lua não coincide com o plano de rotação da Terra, sendo inclinado em relação a esse de, aproximadamente,  $5^\circ$ . Observe que a parte da Lua voltada para o Sol é uma região iluminada. Dessa forma, um observador na Terra, olhando para a Lua, poderá ver, dependendo da posição desta, partes iluminadas e regiões escuras. Essas diferentes distribuições de luminosidade são o que determinam as chamadas fases da Lua.



Para facilitar o raciocínio, considere um observador, fora da Terra, olhando o sistema Terra-Lua, pelo Polo Sul da Terra (PS). A figura a seguir mostra a trajetória da Lua, conforme vista por tal observador, em oito momentos de seu movimento em torno da Terra. Observe que os movimentos de translação da Lua e de rotação da Terra estão no sentido horário para tal observador. Na figura, o deslocamento da Terra em torno do Sol é pequeno e foi desprezado.



Um habitante, no Hemisfério Sul da Terra, olhando para o céu à noite, nas posições indicadas anteriormente (de 1 a 8), veria a Lua como mostrado a seguir.



Volte à penúltima figura e observe os pontos A e B colocados na Terra. A noite está começando para um observador no ponto A. Olhando para o céu, nesse horário, ele poderá ver, dependendo do dia do mês e da estação do ano, de Lua nova até Lua cheia (particularmente, a Lua crescente), mas jamais verá a Lua minguante (esta estará do outro lado da Terra, nesse horário). Ao contrário, para o observador no ponto B, está começando o dia. Ele poderá ver de Lua cheia até Lua nova (particularmente, a Lua minguante), mas nunca verá, nesse horário, a Lua crescente.

A posição 2 das figuras anteriores mostra a Lua crescente vista por um observador no Hemisfério sul. Estando nesse hemisfério, ele vê a Lua "por baixo" (ele se encontra abaixo do plano de órbita da Lua). Considere um observador na região do Equador (ele se encontra próximo ao plano de órbita da Lua) e um outro que se localiza no Hemisfério Norte (que vê a Lua "por cima" – encontra-se acima do plano de órbita desta). As figuras a seguir mostram a mesma Lua crescente, no mesmo dia e horário, vistas em posições diferentes da Terra.

### Lua crescente vista do



Assim, dependendo da localização do observador na Terra e da estação do ano, a inclinação da Lua crescente varia de um extremo a outro da figura anterior. Para a Lua minguante, vale o mesmo raciocínio.

CONTEÚDO NO  
**Bernoulli Play**

### Fases da Lua

Durante seu movimento em torno da Terra, a Lua passa por um ciclo formado de quatro fases. Por meio desse simulador, você compreenderá melhor como ocorrem as fases da Lua de um ponto de vista da Terra e também sob um ponto de vista externo e mais distante (referencial do Sol). Aproveite!



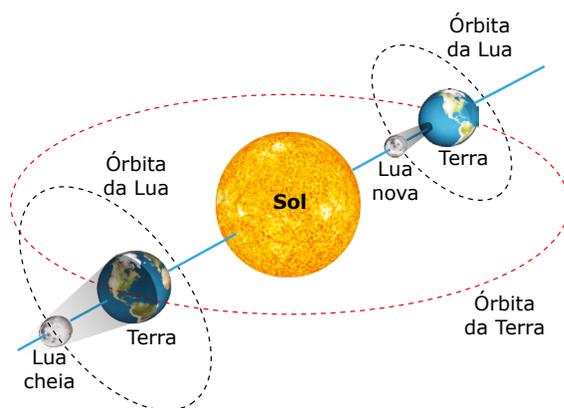


A Lua é um dos astros que mais chamaram a atenção do homem ao longo da história. Seu brilho e suas fases são fascinantes! Assista a esta videoaula para entender mais sobre as fases da Lua e sobre os fenômenos que as causam.

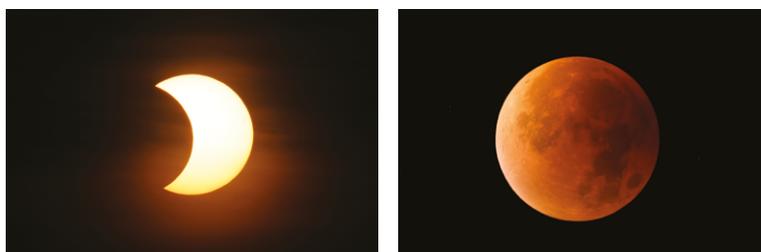
8FER

## Eclipses do Sol e da Lua

Como o Sol é uma fonte extensa, os raios luminosos que vão para a Terra e para a Lua, ao encontrarem uma delas pelo caminho, formam regiões de sombras e de penumbras na outra. O eclipse é um fenômeno celeste envolvendo, pelo menos, **dois astros** e um observador fora deles. Nesse fenômeno, um dos astros deixa de ser visível, total (quando o observador se coloca no cone de sombra gerado pelo outro astro) ou parcialmente (quando o observador se localiza na região de penumbra gerada pelo outro astro). Assim, um eclipse está relacionado à propagação retilínea da luz e, para aqueles que mais nos interessam, à geometria do sistema Sol-Terra-Lua. Para que exista um eclipse, visto da Terra, é necessário que o Sol, a Terra e a Lua estejam alinhados. O eclipse do Sol ocorre durante o dia de Lua nova, pois esta se coloca entre o Sol e a Terra. O eclipse da Lua acontece na noite de Lua cheia, uma vez que a Terra se encontra entre o Sol e a Lua. A ilustração a seguir, fora de escala, mostra os eclipses lunar e solar.

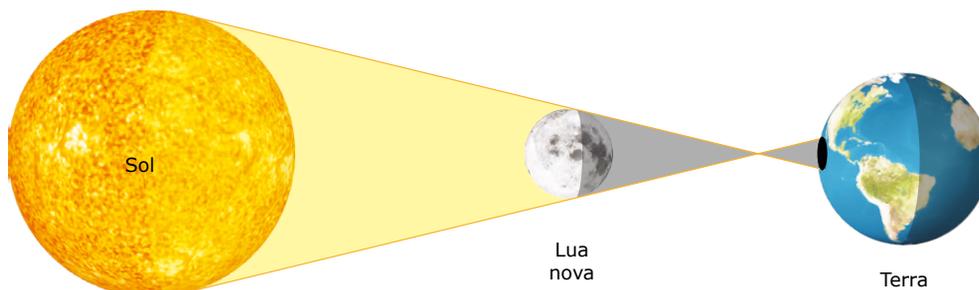


Veja que, na parte esquerda da figura, a Lua cheia está no cone de sombra da Terra. Assim, a Lua cheia deixa de ser vista da Terra (eclipse total da Lua). Quando a Lua cheia passa pela região de penumbra da Terra (não mostrada na figura), temos um eclipse parcial, uma vez que parte da Lua continua visível o tempo todo. Na parte direita da figura, o cone de sombra da Lua se projeta sobre a Terra. Assim, os observadores localizados na região de sombra projetada pela Lua (círculo preto) não poderão ver o Sol (eclipse total do Sol). Para os observadores da Terra localizados na região de penumbra da Lua (em torno do círculo preto), ocorre um eclipse parcial do Sol (não indicado na figura). Nesse mesmo instante, para os habitantes que se encontram na região iluminada da Terra (não mostrada na figura), não ocorre o eclipse. Assim, o eclipse do Sol, quando acontece, será visível apenas em pequenas regiões da Terra. Veja a seguir fotografias dos eclipses do Sol e da Lua.



Imagens: iStockphoto

Os eclipses são raros de ocorrer, principalmente do Sol, pois os planos de órbita da Terra e da Lua não coincidem. Dessa forma, poucas vezes os três astros estão alinhados. A distância Terra-Lua é variável e, assim, existe uma posição em que a Lua está mais distante da Terra. Se nessa posição é Lua nova e os três astros estão alinhados, pode ocorrer um eclipse solar mais raro ainda. Observe a figura a seguir, fora de escala, que caracteriza a situação indicada. Veja que a Terra está, na região de penumbra da Lua, fora do cone de sombra e além do seu vértice.



Os habitantes que se encontram, nesse momento, no círculo negro recebem apenas a luz dos bordos do Sol. Assim, a parte central do Sol está obstruída pela Lua (eclipse solar), mas um anel luminoso será visto em torno da Lua (eclipse anular). A visão desse eclipse está mostrada na foto seguinte. Um eclipse como esse ocorreu em 15 de janeiro de 2010.



## Olhando para o passado

A velocidade da luz, tanto no ar como no vácuo, é muito grande, porém finita. O seu valor aproximado é de  $3,0 \cdot 10^8$  m/s (300 000 km/s). Isso quer dizer que ela gasta um tempo não nulo para percorrer determinada distância. A distância Terra-Sol é, em média, de  $1,5 \cdot 10^{11}$  m. Assim, a luz do Sol gasta, aproximadamente, 500 s (cerca de 8 minutos) para chegar à Terra. Nós enxergamos um objeto quando a luz emitida por ele chega ao nosso sistema visual. Como a luz do Sol gasta 8 minutos para chegar à Terra, nós o vemos como ele era, no instante em que emitiu a luz. Ou seja, vemos, em cada momento, um Sol de 8 minutos atrás.

Com o objetivo de facilitar o entendimento de uma medição, as unidades devem estar de acordo com a grandeza a ser medida. Quando queremos medir a espessura de uma folha de papel, usamos o milímetro; para medir a altura de uma pessoa, preferimos o metro; para estimar distâncias entre cidades, é usual o quilômetro. Estrelas estão muito distantes da Terra. Para determinar tais distâncias, preferimos uma unidade chamada **ano-luz**. Ela se refere à distância percorrida pela luz em um ano. Assim, ano-luz é uma unidade de distância (D), e não de tempo (t).

$$D = 1 \text{ ano-luz} = \text{distância percorrida pela luz em 1 ano}$$

Um ano (365 dias de 24 h cada) apresenta:

$$t = (1 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) = 31\,536\,000 \text{ segundos}$$

$$t = 3,2 \cdot 10^7 \text{ s}$$

Como a velocidade da luz no espaço é constante, podemos calcular a distância percorrida pela luz em um ano da seguinte maneira:

$$D = v \cdot t = 3,0 \cdot 10^8 \cdot 3,2 \cdot 10^7 = 9,6 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

$$D = 1 \text{ ano-luz} = 9,6 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

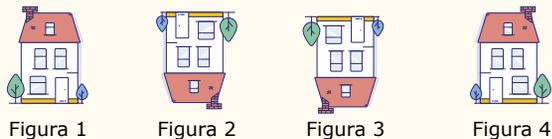
A segunda estrela mais próxima da Terra, visível a olho nu, é a Alfa, da constelação de Centauro. A sua distância à Terra é de 4,3 anos-luz. Isso quer dizer que recebemos a luz que saiu de Alfa e, portanto, a enxergamos como ela **era** há 4,3 anos. Temos estrelas a centenas, milhões, bilhões de anos-luz da Terra. Nós as vemos como elas eram no momento em que elas emitiram a luz. Muitas das estrelas que estão no "nosso" céu já "morreram" há muito tempo. Como a luz enviada por elas ainda está a caminho da Terra, nós ainda as enxergamos. Várias das novas estrelas, surgidas no Universo, jamais serão vistas em nossa vida, uma vez que a luz emitida por elas ainda não chegou a nós nem chegará até nossos dias finais.

Dessa forma, quando você olha para o céu, você está enxergando o passado. Um passado "plural", pois está vendo cada estrela como ela era há dezenas, milhares, bilhões de anos! Agora, me responda: a Óptica não é um assunto muito fascinante?

# EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



**01.** (CMMG) Um *container* de metal usado para transporte de cargas em navios encontra-se fechado e o seu interior é completamente escuro. Ele possui um pequeno orifício que está voltado para uma casa, como mostrado na figura 1.



Uma pessoa dentro do *container* verá, projetada na parede oposta ao orifício, uma imagem da casa, como na figura

- A) 1.
- B) 2.
- C) 3.
- D) 4.

**02.** (FGV) O professor pede aos grupos de estudo que apresentem à classe suas principais conclusões sobre os fundamentos para o desenvolvimento do estudo da Óptica Geométrica.

Grupo I. Os feixes de luz podem apresentar-se em raios paralelos, convergentes ou divergentes.

Grupo II. Os fenômenos de reflexão, refração e absorção ocorrem isoladamente e nunca simultaneamente.

Grupo III. Enquanto, num corpo pintado de preto fosco, predomina a absorção, em um corpo pintado de branco, predomina a difusão.

Grupo IV. Os raios luminosos se propagam em linha reta nos meios homogêneos e transparentes.

São corretas as conclusões dos grupos

- A) I e III, apenas.
- B) II e IV, apenas.
- C) I, III e IV, apenas.
- D) II, III e IV, apenas.
- E) I, II, III e IV.

**03.** (UFMG) Um feixe de luz do Sol é decomposto ao passar por um prisma de vidro. O feixe de luz visível resultante é composto de ondas com

- A) apenas sete frequências, que correspondem às cores vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta.
- B) apenas três frequências, que correspondem às cores vermelha, amarela e azul.
- C) apenas três frequências, que correspondem às cores vermelha, verde e azul.
- D) uma infinidade de frequências, que correspondem a cores desde a vermelha até a violeta.

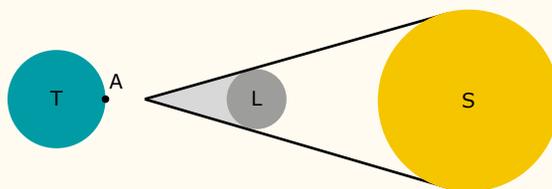
**04.** (UFU-MG) Ao olhar para um objeto (que não é uma fonte luminosa), em um ambiente iluminado pela luz branca, e constatar que ele apresenta a cor amarela, é correto afirmar que

- A) o objeto absorve a radiação cujo comprimento de onda corresponde ao amarelo.
- B) o objeto refrata a radiação cujo comprimento de onda corresponde ao amarelo.
- C) o objeto difrata a radiação cujo comprimento de onda corresponde ao amarelo.
- D) o objeto reflete a radiação cujo comprimento de onda corresponde ao amarelo.

**05.** (UEL-PR) Durante um eclipse solar, um observador,

- A) no cone de sombra, vê um eclipse parcial.
- B) na região da penumbra, vê um eclipse total.
- C) na região plenamente iluminada, vê a Lua eclipsada.
- D) na região plenamente iluminada, não vê o eclipse solar.

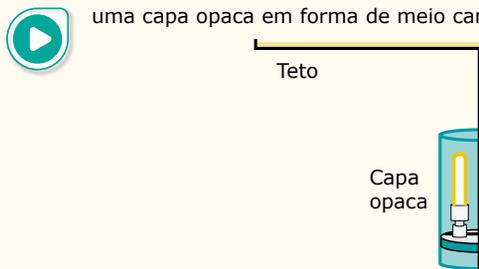
**06.** (Unifor-CE) O esquema, fora de escala, representa o alinhamento da Terra (T), da Lua (L) e do Sol (S) no momento de um eclipse.



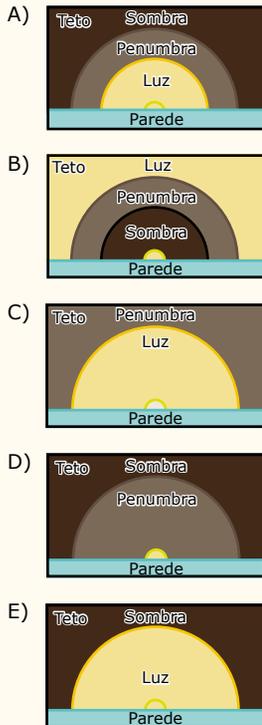
Neste instante, uma pessoa situada no ponto A observará

- A) um eclipse parcial da Lua.
- B) o Sol em sua totalidade.
- C) um eclipse anular do Sol.
- D) um eclipse parcial do Sol.
- E) um eclipse total do Sol.

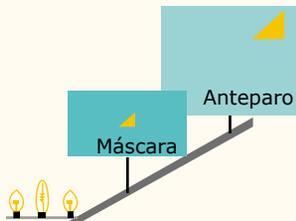
**07.** (FGV) Com a finalidade de produzir iluminação indireta, uma luminária de parede possui, diante da lâmpada, uma capa opaca em forma de meio cano.



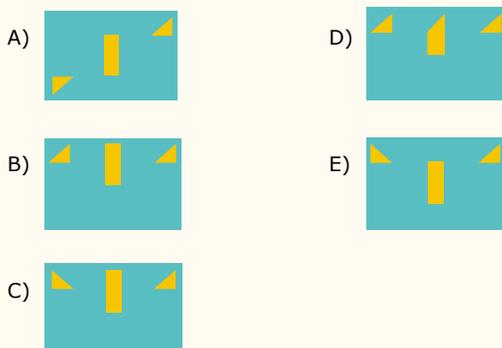
No teto, a partir da parede onde está montada a luminária, sabendo que esta é a única fonte luminosa do ambiente e que a parede sobre a qual está afixada essa luminária foi pintada com uma tinta pouco refletora, o padrão de iluminação projetado sobre esse teto é semelhante ao desenhado em

08.  
DZG7

(FUVEST-SP) Uma determinada montagem óptica é composta por um anteparo, uma máscara com furo triangular e três lâmpadas,  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ , conforme a figura a seguir.  $L_1$  e  $L_3$  são pequenas lâmpadas de lanterna e  $L_2$ , uma lâmpada com filamento extenso e linear, mas pequena nas outras dimensões. No esquema, apresenta-se a imagem projetada no anteparo com apenas  $L_1$  acesa.



O esboço que melhor representa o anteparo iluminado pelas três lâmpadas acesas é

EXERCÍCIOS  
PROPOSTOS

01. (UPE-2019) Um adolescente chegou da escola e encontrou uma caixa de geladeira de papelão; levou-a para o quintal e entrou nela. Fez um pequeno orifício na parede lateral superior e viu uma imagem completa de um poste de eletricidade projetada na parede da caixa. Mediu algumas distâncias: altura da imagem do poste, 12,5 cm; do orifício à imagem, 75 cm; e do orifício ao poste, 42 m. Com essas medidas, ele conseguiu achar a altura aproximada do poste que corresponde a

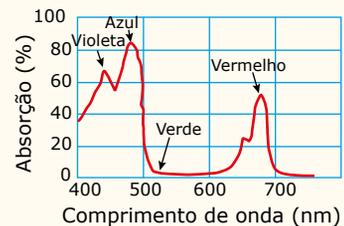
- A) 7 000 cm.
- B) 910 cm.
- C) 25,2 m.
- D) 22,5 m.
- E) 7,00 m.

02. (ITA-SP) Dos seguintes objetos, qual seria visível em uma sala perfeitamente escura?

- A) Um espelho.
- B) Qualquer superfície de cor clara.
- C) Um fio aquecido ao rubro.
- D) Uma lâmpada desligada.
- E) Um gato preto.

03.  
KMQA

(UFRN) A coloração das folhas das plantas é determinada, principalmente, pelas clorofilas a e b – nelas presentes –, que são dois dos principais pigmentos responsáveis pela absorção da luz necessária para a realização da fotossíntese. O gráfico a seguir mostra o espectro conjunto de absorção das clorofilas a e b em função do comprimento de onda da radiação solar visível.



Com base nessas informações, é correto afirmar que, para realizar a fotossíntese, as clorofilas absorvem, predominantemente,

- A) o violeta, o azul e o vermelho, e refletem o verde.
- B) o verde, e refletem o violeta, o azul e o vermelho.
- C) o azul, o verde e o vermelho, e refletem o violeta.
- D) o violeta, e refletem o verde, o vermelho e o azul.

04. (CEFET-MG) A imagem formada em uma câmara escura de orifício é invertida em relação ao objeto. Para descrevê-la, deve-se considerar a(o)
- propagação retilínea da luz.
  - reversibilidade dos raios de luz.
  - paralelismo geométrico dos raios de luz.
  - variação da velocidade da luz na câmara.
  - mudança de meio de propagação da luz no orifício.

05. (IFSul-RS) No dia 27 de setembro de 2015, houve o eclipse da superlua. Esse evento é a combinação de dois fenômenos, que são: um eclipse lunar e a superlua. Isso só acontecerá novamente em 2033.



No fenômeno da superlua, o astro fica mais perto da Terra e parece até 14% maior, com um brilho extraordinário. Já o fenômeno do eclipse lunar é consequência da \_\_\_\_\_ da luz e ele ocorre totalmente quando a posição relativa dos astros é Sol, Terra e Lua; e esse fenômeno acontece na fase da Lua \_\_\_\_\_.

A sequência correta para o preenchimento das lacunas é:

- propagação retilínea – minguante.
- reflexão – cheia.
- propagação retilínea – cheia.
- dispersão – quarto crescente.

06. (CEFET-RJ) Em 1672, Isaac Newton publicou um trabalho onde apresentava ideias sobre as cores dos corpos. Passados aproximadamente três séculos e meio, hoje as ideias propostas por ele ainda são aceitas. Imagine um objeto de cor vermelha quando iluminado pela luz do Sol. Se esse mesmo objeto é colocado em um ambiente iluminado exclusivamente por luz monocromática verde, podemos afirmar que um observador perceberá este objeto como sendo



- verde, pois é a cor que incidiu sobre o objeto.
- vermelho, pois a cor do objeto independe da radiação incidente.
- preto, porque o objeto só reflete a cor vermelha.
- um tom entre o verde e o vermelho, pois ocorre mistura das cores.

07. (UFPA) Em 29 de maio de 1919, em Sobral (CE), a Teoria da Relatividade de Einstein foi testada medindo-se o desvio que a luz das estrelas sofre ao passar perto do Sol. Essa medição foi possível porque, naquele dia, naquele local, foi visível um eclipse total do Sol.



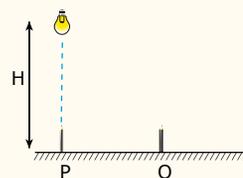
Assim que o disco lunar ocultou completamente o Sol, foi possível observar a posição aparente das estrelas. Sabendo-se que o diâmetro do Sol é 400 vezes maior do que o da Lua e que, durante o eclipse total de 1919, o centro do Sol estava a 151 600 000 km de Sobral, é correto afirmar que a distância do centro da Lua até Sobral era de

- no máximo 379 000 km.
- no máximo 279 000 km.
- no mínimo 379 000 km.
- no mínimo 479 000 km.
- exatamente 379 000 km.

08. ME2V



(UFF-RJ) Para determinar a que altura  $H$  uma fonte de luz pontual está do chão, plano e horizontal, foi realizada a seguinte experiência. Colocou-se um lápis de 0,10 m, perpendicularmente sobre o chão, em duas posições distintas: primeiro em  $P$  e depois em  $Q$ . A posição  $P$  está exatamente na vertical que passa pela fonte e, nessa posição, não há formação de sombra do lápis, conforme ilustra esquematicamente a figura. Na posição  $Q$ , a sombra do lápis tem comprimento 49 (quarenta e nove) vezes menor que a distância entre  $P$  e  $Q$ . A altura  $H$  é, aproximadamente, igual a



- 0,49 m.
- 1,5 m.
- 5,0 m.
- 1,0 m.
- 3,0 m.

09. OU8P



(PUC-Campinas-SP) Uma pessoa se coloca na frente de uma câmara escura, a 2 m do orifício dessa câmara e a sua imagem, que se forma no fundo da mesma, tem 6 cm de altura. Para que ela tenha 4 cm de altura, essa pessoa, em relação à câmara, deve

- afastar-se 1 m.
- afastar-se 2 m.
- afastar-se 3 m.
- aproximar-se 1 m.
- aproximar-se 2 m.

10.  
RUGZ

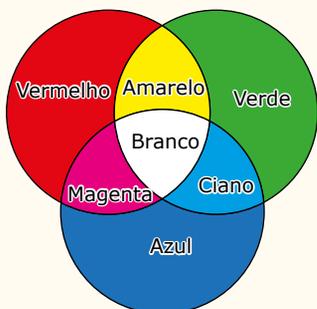
(UFMT) Considere dois observadores, um na Terra e outro no planeta Marte. O observador na Terra vê, à meia-noite, o planeta Marte no ponto mais alto no céu, sobre sua cabeça.

À meia-noite, no planeta Marte, o observador de lá

- A) vê a Terra no ponto mais alto sobre sua cabeça.
- B) não vê a Terra.
- C) vê a Terra entre Vênus e Júpiter.
- D) vê a Terra em conjunção com Mercúrio e o Sol.
- E) verifica que a luz do Sol refletida pela Terra é imperceptível devido à grande distância.

## SEÇÃO ENEM

01. (Enem-2019) Os olhos humanos normalmente têm três tipos de cones responsáveis pela percepção das cores: um tipo para tons vermelhos, um para tons azuis e outro para tons verdes. As diversas cores que enxergamos são resultado da percepção das cores básicas, como indica a figura.



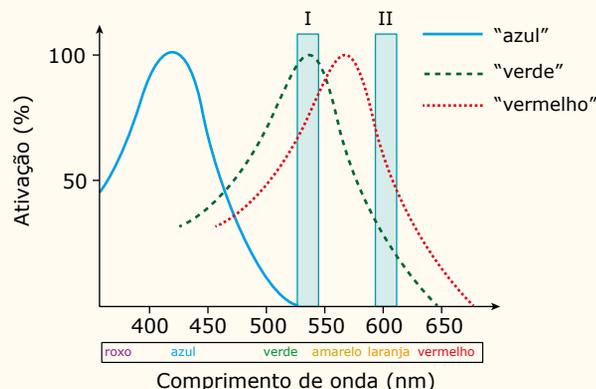
A protanopia é um tipo de daltonismo em que há diminuição ou ausência de receptores da cor vermelha. Considere um teste com dois voluntários: uma pessoa com visão normal e outra com caso severo de protanopia. Nesse teste, eles devem escrever a cor dos cartões que lhes são mostrados. São utilizadas as cores indicadas na figura.

Para qual cartão os dois voluntários identificarão a mesma cor?

- A) Vermelho
- B) Magenta
- C) Amarelo
- D) Branco
- E) Azul

02. (Enem-2018) Muitos primatas, incluindo nós humanos, possuem visão tricromática: têm três pigmentos visuais na retina sensíveis à luz de uma determinada faixa de comprimentos de onda.

Informalmente, embora os pigmentos em si não possuam cor, estes são conhecidos como pigmentos "azul", "verde" e "vermelho" e estão associados à cor que causa grande excitação (ativação). A sensação que temos ao observar um objeto colorido decorre da ativação relativa dos três pigmentos. Ou seja, se estimulássemos a retina com uma luz na faixa de 530 nm (retângulo I no gráfico), não excitaríamos o pigmento "azul", o pigmento "verde" seria ativado ao máximo e o "vermelho" seria ativado em aproximadamente 75%, e isso nos daria a sensação de ver uma cor amarelada. Já uma luz na faixa de comprimento de onda de 600 nm (retângulo II) estimularia o pigmento "verde" um pouco e o "vermelho" em cerca de 75%, e isso nos daria a sensação de ver laranja-avermelhado. No entanto, há características genéticas presentes em alguns indivíduos, conhecidas coletivamente como Daltonismo, em que um ou mais pigmentos não funcionam perfeitamente.

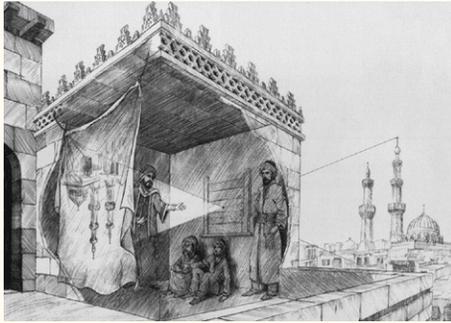


Disponível em: [www.comprehensivephysiology.com](http://www.comprehensivephysiology.com).  
Acesso em: 03 ago. 2012 (Adaptação).

Caso estimulássemos a retina de um indivíduo com essa característica, que não possuísse o pigmento conhecido como "verde", com as luzes de 530 nm e 600 nm na mesma intensidade luminosa, esse indivíduo seria incapaz de

- A) identificar o comprimento de onda do amarelo, uma vez que não possui o pigmento "verde".
- B) ver o estímulo de comprimento de onda laranja, pois não haveria estimulação de um pigmento visual.
- C) detectar ambos os comprimentos de onda, uma vez que a estimulação dos pigmentos estaria prejudicada.
- D) visualizar o estímulo do comprimento de onda roxo, já que este se encontra na outra ponta do espectro.
- E) distinguir os dois comprimentos de onda, pois ambos estimulam o pigmento "vermelho" na mesma intensidade.

**03.** (Enem) Entre os anos de 1028 e 1038, Alhazen (Ibn al-Haytham; 965-1040 d.C.) escreveu sua principal obra, o *Livro da Óptica*, que, com base em experimentos, explicava o funcionamento da visão e outros aspectos da ótica, por exemplo, o funcionamento da câmara escura. O livro foi traduzido e incorporado aos conhecimentos científicos ocidentais pelos europeus. Na figura, retirada dessa obra, é representada a imagem invertida de edificações em um tecido utilizado como anteparo.



ZEWAIL, A. H. *Micrographia of the twenty-first century: from camera obscura to 4D microscopy. Philosophical Transactions of the Royal Society A*, v. 368, 2010 (Adaptação).

Se fizermos uma analogia entre a ilustração e o olho humano, o tecido corresponde ao(à)

- A) íris.
- B) retina.
- C) pupila.
- D) córnea.
- E) cristalino.

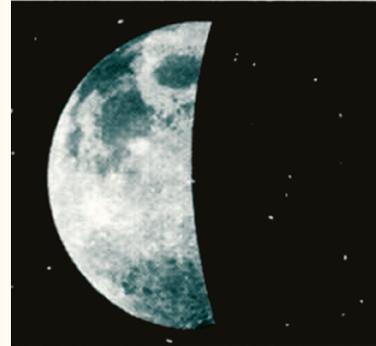
**04.** (Enem) É comum aos fotógrafos tirar fotos coloridas em ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes, que contêm uma forte composição de luz verde. A consequência desse fato na fotografia é que todos os objetos claros, principalmente os brancos, aparecerão esverdeados. Para equilibrar as cores, deve-se usar um filtro adequado para diminuir a intensidade da luz verde que chega aos sensores da câmera fotográfica. Na escolha desse filtro, utiliza-se o conhecimento da composição das cores-luz primárias: vermelho, verde e azul; e das cores-luz secundárias: amarelo = vermelho + verde, ciano = verde + azul e magenta = vermelho + azul.

Disponível em: <http://nautilus.fis.uc.pt>. Acesso em: 20 maio 2014 (Adaptação).

Na situação descrita, qual deve ser o filtro utilizado para que a fotografia apresente as cores naturais dos objetos?

- A) Ciano
- B) Verde
- C) Amarelo
- D) Magenta
- E) Vermelho

**05.** (Enem) No Brasil, verifica-se que a Lua, quando está na fase cheia, nasce por volta das 18 horas e se põe por volta das 6 horas. Na fase nova, ocorre o inverso: a Lua nasce às 6 horas e se põe às 18 horas, aproximadamente. Nas fases crescente e minguante, ela nasce e se põe em horários intermediários. Sendo assim, a Lua na fase ilustrada na figura a seguir poderá ser observada no ponto mais alto de sua trajetória no céu por volta de



- A) meia-noite.
- B) três horas da madrugada.
- C) nove horas da manhã.
- D) meio-dia.
- E) seis horas da tarde.

## GABARITO

Meu aproveitamento

### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. B
- 02. C
- 03. D
- 04. D
- 05. D
- 06. C
- 07. A
- 08. D

### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. E
- 02. C
- 03. A
- 04. A
- 05. C
- 06. C
- 07. A
- 08. C
- 09. A
- 10. B

### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. E
- 02. E
- 03. B
- 04. D
- 05. E

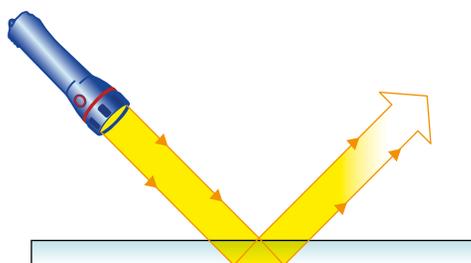


Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

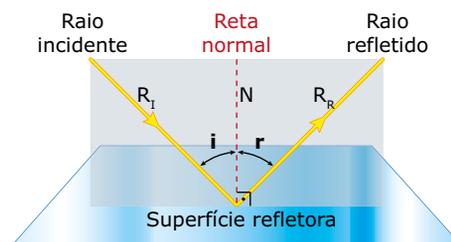
## Reflexão da Luz e Espelhos Planos

### REFLEXÃO DA LUZ

A reflexão é o fenômeno luminoso pelo qual a luz, após atingir uma superfície, continua no mesmo meio de propagação inicial. A reflexão é um fenômeno físico muito presente em nosso cotidiano e é responsável pela visão que temos dos objetos que nos cercam, tanto no que se refere à sua forma como também à sua cor. Conforme visto anteriormente, enxergamos os objetos, fontes secundárias de luz, pela luz que eles refletem. Além disso, a utilização dos espelhos só é possível devido à reflexão. A figura a seguir mostra a luz de uma lanterna que sofre reflexão ao atingir um espelho. Observe, com atenção, que a parte **de trás** do espelho é a superfície refletora (a parte da frente é um vidro transparente). Neste estudo, vamos considerar, exceto quando for especificado o contrário, que os nossos espelhos têm espessura desprezível. Assim, a reflexão vai ocorrer na face que recebe a luz.



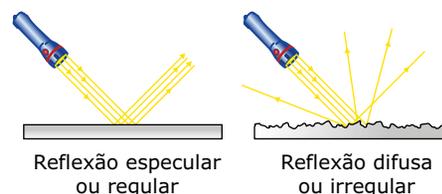
A reflexão sofrida pela luz é regida por duas leis, chamadas Leis da Reflexão. Considere um raio luminoso que chega à superfície refletora, chamado de raio incidente ( $R_I$ ). No ponto de incidência, traçamos uma reta imaginária, perpendicular à superfície, chamada de reta normal ( $N$ ). O raio que continua no meio inicial de propagação, após ser refletido na superfície, é chamado de raio refletido ( $R_R$ ). Considere que  $i$  seja o ângulo entre o raio incidente e a normal à superfície (ângulo de incidência) e que  $r$  seja o ângulo entre o raio refletido e a normal (ângulo de reflexão). Veja a figura a seguir:



Leis da Reflexão:

- 1ª Lei:  $R_I$ ,  $N$  e  $R_R$  são coplanares (estão sempre contidos no mesmo plano).
- 2ª Lei: Os ângulos de incidência e de reflexão são sempre congruentes ( $i = r$ ).

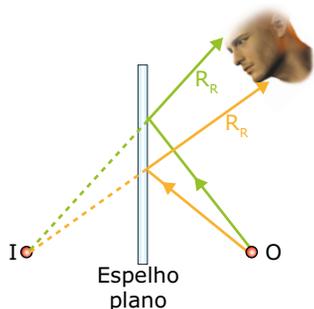
Quando a luz incide sobre uma superfície, ela pode ser refletida de duas maneiras diferentes, conforme representado a seguir. Na primeira figura, a reflexão é chamada de **especular** (ou regular) e ocorre em superfícies polidas, como um espelho ou uma lâmina de água parada. Na outra figura, a reflexão é **difusa** (ou irregular) e acontece quando a luz atinge superfícies rugosas, tais como uma parede, uma folha de caderno ou o rosto de uma pessoa. Esse tipo de reflexão permite que você possa enxergar e ler o texto impresso nas páginas deste livro de qualquer posição que olhar, pois a luz refletida pelas páginas difunde-se (espalha) em todas as direções.



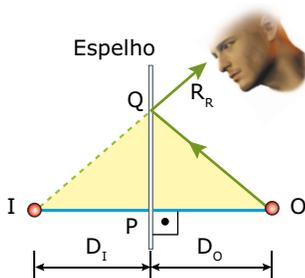
Na figura anterior, à esquerda, você percebe claramente que as duas Leis da Reflexão são obedecidas. Agora, pense e responda: as duas Leis da Reflexão valem na reflexão difusa (figura da direita)?

# ESPELHO PLANO

Neste estudo, vamos trabalhar apenas com objetos **reais**, que são corpos que não são formados por prolongamentos dos raios de luz (refletidos ou refratados). Assim, inicialmente, serão aqueles corpos colocados à **frente** dos dispositivos ópticos. Um espelho plano é uma superfície plana e polida que reflete a luz de forma regular. Na figura a seguir, representamos um objeto pontual  $O$  à frente de um espelho plano vertical. Nela, estão representados dois raios de luz que partiram do objeto e incidiram no espelho. Os raios refletidos pelo espelho foram traçados levando-se em conta as Leis da Reflexão. Os raios refletidos pelo espelho não se cruzam e, portanto, são divergentes. Assim, devemos traçar o que chamamos de prolongamento do raio refletido, um segmento de reta na direção do raio refletido e no sentido oposto a ele.



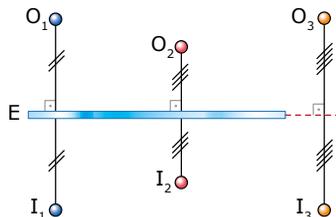
Observe que os prolongamentos dos raios refletidos (traços pontilhados) se encontram no ponto  $I$ , atrás do espelho. Esse ponto corresponde à imagem do objeto, formada pelo espelho. Um observador, diante do espelho, enxerga essa imagem porque seus olhos recebem os raios de luz como se estes estivessem saindo da imagem  $I$ . Toda imagem de um objeto real formada por **prolongamentos** de raios **refletidos** é chamada de imagem **virtual**. Uma imagem desse tipo não pode ser projetada em uma tela, pois ela não tem existência física real (nenhuma luz chega, de fato, onde está a imagem). A figura a seguir mostra um dos raios de luz refletidos pelo espelho. Os triângulos destacados ( $OPQ$  e  $IPQ$ ) são congruentes, e as suas bases são iguais ( $IP = OP$ ). Veja que a linha azul ( $OPI$ ) é perpendicular ao espelho – linha de simetria. Em todo espelho plano, o objeto e a sua imagem estão sobre a **linha de simetria**. Dessa forma, não é necessário desenhar os raios incidentes e refletidos para localizar a imagem.



Assim, podemos destacar três fatos importantes a respeito da imagem formada pelo espelho plano:

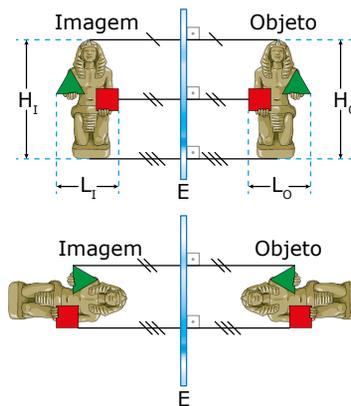
1. A imagem é sempre virtual.
2. O objeto e a imagem estão sobre uma linha perpendicular ao espelho (linha de simetria).
3. A distância do objeto ao espelho ( $D_o$ ) é igual à distância da imagem ao espelho ( $D_i$ ).

Veja a seguir a posição das imagens ( $I$ ) de alguns objetos ( $O$ ) colocados à frente de um espelho plano ( $E$ ).



Observe, na figura anterior, que o objeto  $O_3$ , mesmo estando em uma região “fora do espelho”, teve sua imagem  $I_3$  formada sobre a linha de simetria e à mesma distância do espelho que o objeto  $O_3$ . Assim, todo objeto colocado na parte anterior de um espelho plano tem sua imagem formada por este. Se o objeto for extenso, cada ponto dele terá uma imagem formada sobre a linha de simetria e à mesma distância do espelho que o ponto objeto.

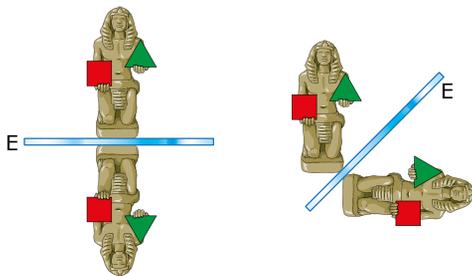
Veja, a seguir, a imagem de um boneco formada por um espelho colocado na vertical. O boneco carrega uma caixa quadrada (vermelha) e outra triangular (verde) nas mãos direita e esquerda, respectivamente. Sejam  $H_o$  e  $H_i$  as alturas e  $L_o$  e  $L_i$  as larguras do boneco e da sua imagem. Vamos colocar o boneco de duas maneiras: primeiro, paralelo ao espelho e, depois, perpendicular a este.



Observe que as linhas de simetria nos permitem determinar as imagens de cada ponto do objeto, à mesma distância que cada um deles se encontra do espelho. Assim, podemos concluir que, para todo espelho plano, colocado na **vertical**,

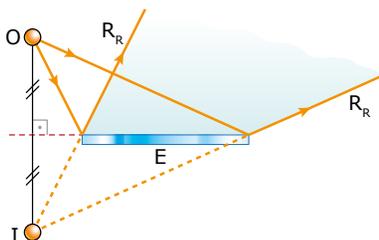
1. as dimensões do objeto e da imagem são iguais e independentes das distâncias ( $H_I = H_O$  e  $L_I = L_O$ ).
2. a direção vertical da imagem e do objeto não sofre inversão – a imagem formada é **DIRETA** (boneco e imagem de cabeça para cima).
3. a imagem é simétrica, em relação ao objeto, nas direções horizontais (inversão lateral direito-esquerda e inversão de profundidade).

Se o espelho estiver na **horizontal** ou **inclinado**, as duas últimas conclusões não se aplicam. Assim, quando for o caso, convém você determinar a imagem (usando a simetria) e analisar cada caso. Veja as figuras a seguir:



### Campo visual do espelho plano

Outro ponto importante diz respeito ao campo visual do espelho plano, que é definido como a região onde um observador deve se posicionar para poder enxergar a imagem de um objeto fixo. Esse campo pode ser encontrado traçando-se os raios incidentes, originados do objeto, e os respectivos raios refletidos nas duas extremidades do espelho, conforme ilustrado na figura a seguir. A região **azul**, compreendida entre o **espelho** (E) e os dois raios **refletidos** ( $R_R$ ), representa o campo visual do espelho para o objeto O da figura. De qualquer lugar dessa região, o observador pode ver a imagem do objeto. Estando fora dela, o observador não verá a imagem, embora esta continue a existir na mesma posição de simetria. Para facilitar o traçado dos raios refletidos, convém desenhar a imagem (I), na linha de simetria, e traçar um seguimento de reta passando pela imagem e pelas extremidades do espelho.



Em algumas situações, temos um observador, ao passo que queremos saber a região onde um ou mais objetos devem ser colocados para que o observador possa enxergar suas imagens. A determinação dessa região é feita de forma semelhante ao caso anterior. Traçamos dois raios de luz incidentes e dois raios de luz refletidos, tendo como base as extremidades do espelho e o **observador** (em vez do objeto). Ou seja, determinamos a “imagem do observador” por simetria. A região entre o espelho e os raios refletidos corresponderá ao local onde qualquer objeto deverá ser colocado para que a sua imagem possa ser vista por aquele observador fixo.

### Associação de espelhos planos

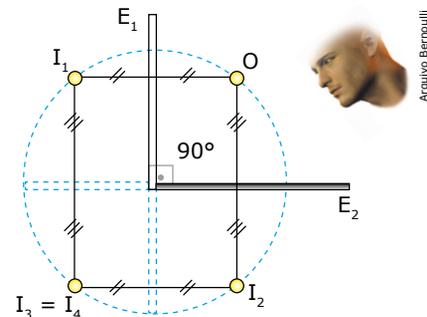
Quando dois espelhos planos,  $E_1$  e  $E_2$ , são postos frente a frente, segundo um ângulo  $\theta$  (em graus), a imagem  $I_1$  de um objeto (O), formada pelo espelho  $E_1$ , se comporta como objeto para o prolongamento do espelho  $E_2$  e vice-versa. Assim, os dois espelhos produzem múltiplas imagens. O número total (N) de imagens formadas pelos dois espelhos é dado por:

$$N = \frac{360}{\theta} - 1$$

Observe que,

1. se  $360^\circ/\theta$  for par, para qualquer posição do objeto entre os espelhos, o observador verá N imagens.
2. se  $360^\circ/\theta$  for ímpar, o observador verá N imagens apenas se o objeto estiver equidistante dos espelhos.

Para  $\theta = 90^\circ$ , temos 3 imagens ( $360/90 - 1 = 3$ ). Elas estão representadas na figura a seguir. Observe que as imagens e o objeto estão em uma circunferência cujo centro coincide com o ponto comum entre os espelhos. Veja, ainda, que as imagens  $I_3$  e  $I_4$  são coincidentes e, portanto, enxergamos apenas uma delas.



Veja, a seguir, uma foto das imagens formadas pelos espelhos.

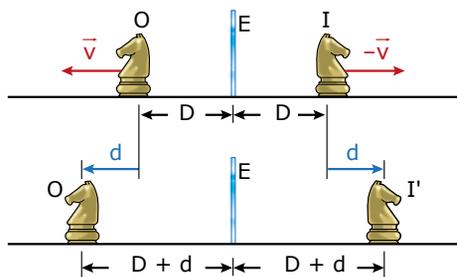


Cimglee / Creative Commons

Imagens formadas em espelhos conjugados.

## Translação e rotação de objetos e espelhos

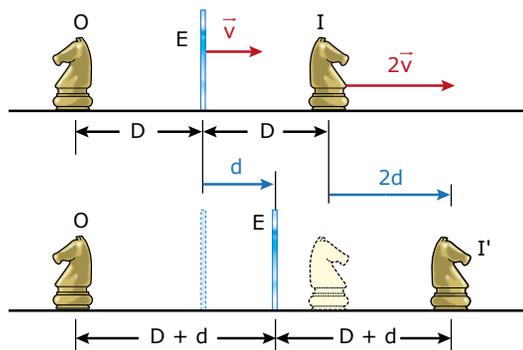
Considere um objeto colocado a uma distância  $D$  de um espelho plano ( $E$ ). Se o objeto for deslocado de uma distância  $d$ , sendo aproximado ou afastado do espelho, com velocidade constante  $v$ , a sua imagem se desloca na mesma quantidade. Veja a seguir que a simetria da imagem nos garante isso.



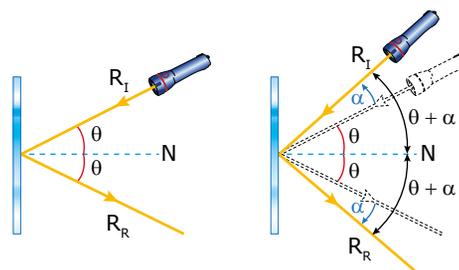
Analisando a figura anterior, chegamos a duas conclusões importantes:

1. A imagem e o objeto se deslocam em relação ao espelho, ao mesmo tempo e na mesma quantidade. Assim, eles têm velocidades de mesmo módulo  $v$  em relação ao espelho, porém de sentidos opostos. Logo, a velocidade da imagem, em relação ao objeto, terá módulo igual a  $2v$ .
2. A imagem **virtual** se desloca, em relação ao dispositivo óptico, da mesma forma que o objeto. Ou seja, se o objeto se **afasta** (ou se aproxima) do espelho, a imagem também se **afasta** (ou se aproxima) do espelho. Isso vale para qualquer imagem **virtual** (inclusive nos futuros casos), sendo essa uma informação útil que deve ser memorizada.

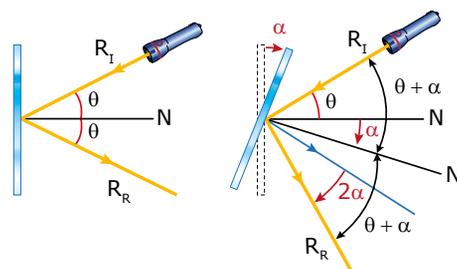
Agora, vamos considerar que o espelho foi deslocado. Considere um objeto colocado a uma distância  $D$  de um espelho plano ( $E$ ). Se o **espelho** for deslocado de uma distância  $d$ , se aproximando ou se afastando do objeto, a imagem do objeto será deslocada de  $2d$ . Veja a seguir. Na primeira figura, a distância objeto-imagem é:  $OI = D + D = 2D$ . Na segunda, a distância objeto-imagem é:  $OI' = (D + d) + (D + d) = 2D + 2d$ . Assim, a distância entre as imagens (deslocamento da imagem) é a diferença entre as medidas anteriores, ou seja,  $2d$ . Veja ainda que, se a velocidade do espelho em relação ao objeto é  $v$ , a velocidade da imagem em relação ao espelho tem módulo  $v$ , mas em relação ao objeto tem módulo  $2v$ .



Se um raio de luz incide sobre um espelho, formando um ângulo  $\theta$  com a normal, ele é refletido, formando o mesmo ângulo com a normal ( $2^a$  Lei da Reflexão). Isso nos permite concluir que, se o **raio incidente** gira em relação ao espelho de um ângulo  $\alpha$ , o raio refletido gira do mesmo ângulo  $\alpha$ . Assim, os raios incidente e refletido giram com a mesma velocidade angular. Veja a seguir.



Se o **espelho** gira, em relação à luz incidente, de um ângulo  $\alpha$ , o raio refletido gira o dobro desse ângulo, ou seja, o raio refletido gira de um ângulo  $2\alpha$ . Veja a seguir. O ângulo entre os raios incidente e refletido ( $\delta_1$ ), na primeira figura, é igual a  $\delta_1 = \theta + \theta$ , ou seja,  $\delta_1 = 2\theta$ . Após girar o espelho de  $\alpha$  (a normal também gira de  $\alpha$ ), os ângulos de incidência e de reflexão passam para  $\theta + \alpha$ , cada um.



Assim, o ângulo ( $\delta_2$ ) entre os raios incidente e refletido, na segunda figura, será  $\delta_2 = (\theta + \alpha) + (\theta + \alpha) = 2\theta + 2\alpha$ . A diferença entre  $\delta_2$  e  $\delta_1$  corresponde ao ângulo que o raio refletido gira, ou seja:  $\delta_2 - \delta_1 = (2\theta + 2\alpha) - (2\theta) = 2\alpha$ . Logo, se o espelho gira com velocidade angular  $\omega$ , o raio refletido gira com velocidade angular  $2\omega$ .

O fato anterior tem uma aplicação prática muito importante. Alguns aparelhos de medição, que usam ponteiros que se deslocam numa escala, têm afixado no ponteiro um pequeno espelho plano.

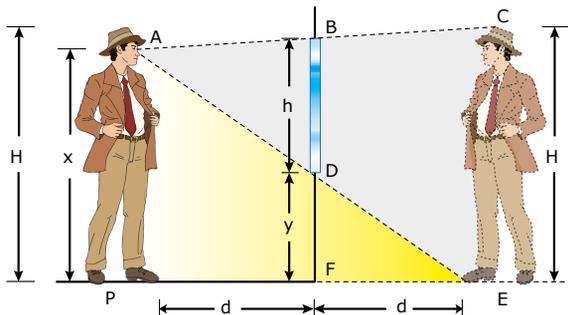
Um feixe de luz incide no espelho e o raio refletido é projetado sobre o zero de uma escala. Quando o ponteiro gira, indicando funcionamento, o raio refletido pelo espelho gira o dobro desse valor e se desloca bastante, indicando a leitura a ser efetuada. Isso permite que a sensibilidade do aparelho seja ajustada de acordo com a necessidade.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 01.** Um rapaz, usando chapéu, tem altura  $H$  e encontra-se diante de um espelho plano preso em uma parede vertical. A distância entre os olhos do rapaz e o chão mede  $x$ . Qual tamanho mínimo do espelho, e em que posição este deve ficar, para permitir ao rapaz enxergar a imagem completa de seu corpo?

### Resolução:

A figura a seguir representa o espelho de tamanho mínimo  $h$  (segmento  $BD$ ), o rapaz de altura  $H$  (em linha cheia) e a sua imagem (em linha tracejada). O espelho foi posicionado na parede de forma a permitir que o rapaz, visando os pontos  $B$  e  $D$ , possa ver a imagem do chapéu e dos seus pés, respectivamente. Lembre-se de que as distâncias da imagem e do rapaz ao espelho ( $d$ ) são iguais, e que a altura ( $H$ ) do rapaz e de sua imagem também são iguais. Na figura,  $A$  representa os olhos.



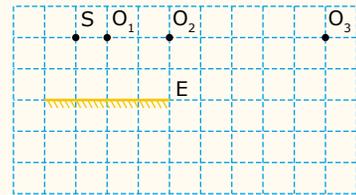
Seja  $y$  a distância da base inferior do espelho até o chão. Na figura anterior, temos:

- Triângulos  $ABD$  e  $ACE$  semelhantes.  
 $BD/CE = d/2d \Rightarrow h/H = d/2d \Rightarrow h = H/2$
- Triângulos  $EDF$  e  $EAP$  semelhantes.  
 $DF/AP = d/2d \Rightarrow y/x = d/2d \Rightarrow y = x/2$

Assim, podemos concluir que o tamanho mínimo do espelho é igual à metade da altura do rapaz ( $H/2$ ), e que o espelho deve ser colocado de forma que sua base fique distante do solo de um valor igual à metade do valor da distância dos olhos do rapaz até o chão ( $x/2$ ). Vale observar, também, que esse resultado é **independente** da distância que o rapaz se encontra do espelho.

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

- 01.** (UFRGS-RS) Na figura a seguir, estão representados um espelho plano  $E$ , perpendicular à página, e um pequeno objeto luminoso  $S$ , colocado diante do espelho, no plano da página. Os pontos  $O_1$ ,  $O_2$  e  $O_3$ , também no plano da página, representam as posições ocupadas sucessivamente por um observador.

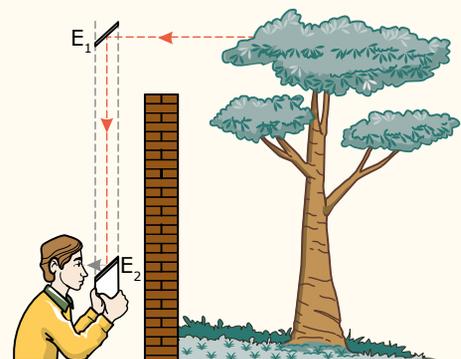


O observador verá a imagem do objeto  $S$ , fornecida pelo espelho  $E$ ,

- apenas da posição  $O_1$ .
- apenas da posição  $O_2$ .
- apenas da posição  $O_3$ .
- apenas das posições  $O_1$  e  $O_2$ .
- das posições  $O_1$ ,  $O_2$  e  $O_3$ .

- 02.** (UNIFICADO-RJ) Antônia vai correr a maratona (42,195 km), e o número de sua camiseta é 186. Ao olhar-se no espelho, Antônia vê, em sua camiseta,
- 186.
  - 189.
  - 681.
  - 981.
  - ∂81.

- 03.** (PUC-SP) O estudo da luz e dos fenômenos luminosos sempre atraiu os pensadores desde a antiga Grécia. Muitas são as aplicações dos espelhos e lentes, objetos construídos a partir dos estudos realizados em Óptica. A figura representa um periscópio, instrumento que permite a observação de objetos mesmo que existam obstáculos opacos entre o observador e uma região ou objeto, que se deseja observar. Considere que, nesse periscópio,  $E_1$  e  $E_2$  são espelhos planos.



A respeito do periscópio e dos fenômenos luminosos que a ele podem ser associados são feitas as afirmativas:

- I. A colocação de espelhos planos, como indicada na figura, permite que a luz proveniente da árvore atinja o observador, comprovando o princípio da propagação retilínea da luz.
- II. O ângulo de incidência do raio de luz e do espelho  $E_1$  é congruente ao ângulo de reflexão nesse mesmo espelho.
- III. Como os espelhos  $E_1$  e  $E_2$  foram colocados em posições paralelas, os ângulos de incidência do raio de luz no espelho  $E_1$  e de reflexão no espelho  $E_2$  são congruentes entre si.

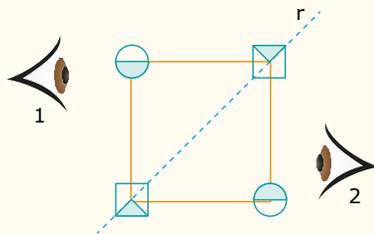
Dessas afirmativas, está correto apenas o que se lê em

- A) II.
- B) I e II.
- C) I e III.
- D) II e III.
- E) I, II e III.

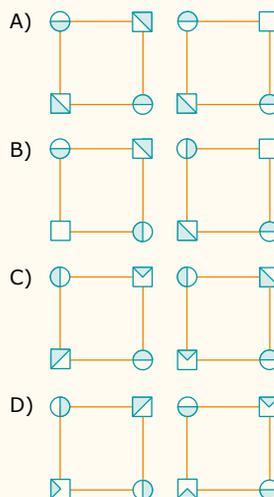
**04.** (FASEH-MG-2020) Martina, que tem um 1,70 m de altura, deseja comprar um espelho plano, a fim de se ver totalmente. A distância dos olhos de Martina ao solo é 1,66 m. De acordo com os estudos de Física, o tamanho mínimo e a altura mínima em relação ao solo, respectivamente, do espelho plano deverão ser:

- A) 0,85 m e 0,83 m
- B) 0,83 m e 0,83 m
- C) 0,85 m e 0,85 m
- D) 0,83 m e 0,85 m

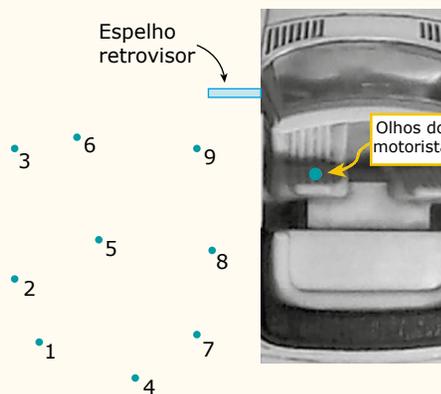
**05.** (AFA-SP) Considere um objeto formado por uma combinação de um quadrado de aresta  $a$  cujos vértices são centros geométricos de círculo e quadrados menores, como mostra a figura seguinte.



Colocando-se um espelho plano, espelhado em ambos os lados, de dimensões infinitas e de espessura desprezível ao longo da reta  $r$ , os observadores colocados nas posições 1 e 2 veriam, respectivamente, objetos completos com as seguintes formas:



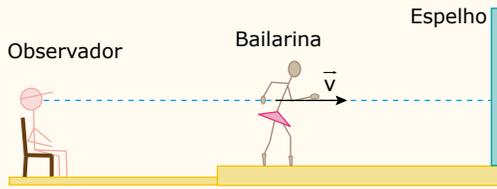
**06.** (Unicamp-SP) A figura a seguir mostra um espelho retrovisor plano na lateral esquerda de um carro. O espelho está disposto verticalmente e a altura do seu centro coincide com a altura dos olhos do motorista. Os pontos da figura pertencem a um plano horizontal que passa pelo centro do espelho. Nesse caso, os pontos que podem ser vistos pelo motorista são



- A) 1, 4, 5 e 9.
- B) 4, 7, 8 e 9.
- C) 1, 2, 5 e 9.
- D) 2, 5, 6 e 9.

**07.** (UFMS) Um grande espelho plano serve como pano de fundo em um palco de teatro, durante a apresentação de uma dança. A bailarina se coloca entre o espelho e o público, que assiste à dança. Um observador do público está em uma posição da qual, num dado momento, vê a imagem refletida da bailarina no espelho e vê também a bailarina na mesma linha de seus olhos (veja a figura). Nesse momento, a bailarina se aproxima do espelho com velocidade  $v$  com relação ao palco. Se a bailarina vê sua própria imagem e também a do observador refletida no espelho, é correto afirmar que

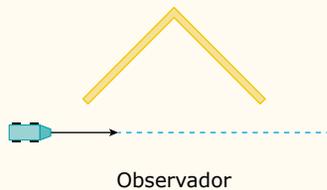




- A) o observador percebe que a imagem da bailarina, refletida no espelho, aproxima-se dele com velocidade  $2v$ .
- B) a bailarina percebe que a imagem do observador, refletida no espelho, aproxima-se dela com velocidade  $2v$ .
- C) a bailarina percebe que sua própria imagem, refletida no espelho, aproxima-se dela com velocidade  $2v$ .
- D) a imagem refletida da bailarina no espelho é uma imagem real.
- E) a distância da bailarina até o espelho é o dobro da distância da bailarina até sua imagem refletida.

08. XSNM

(CMMG) Dois espelhos planos estão posicionados perpendicularmente entre si, como na figura seguinte.



Um carrinho de brinquedo passa na frente dos espelhos, movendo-se para a direita. O observador verá, através dos espelhos, a imagem do carrinho movendo-se, como na figura:

- A)
- B)
- C)
- D)

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (UPE-2019) Dois espelhos planos, associados a um ângulo de  $90^\circ$  entre suas superfícies refletoras, formam
- A) uma imagem enantiomorfa, uma imagem virtual e uma imagem real.
  - B) duas imagens virtuais e duas imagens reais.
  - C) duas imagens enantiomorfas e uma imagem igual ao objeto.
  - D) duas imagens reais e uma enantiomorfa.
  - E) uma imagem igual ao objeto e duas imagens reais.

02. (UEPG-PR) A Óptica Geométrica estuda os fenômenos luminosos sob um ponto de vista puramente geométrico, ou seja, ela não considera a natureza física da luz. Sobre a Óptica Geométrica, assinale os itens corretos e marque a soma deles.

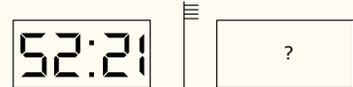
- 01. Um raio luminoso não tem existência física real. É um conceito puramente geométrico.
- 02. Sempre que um feixe convergente é interceptado por um sistema ótico, o ponto objeto, para esse sistema, é virtual.
- 04. Um meio anisotrópico é aquele no qual a luz se propaga com a mesma velocidade em todas as direções e sentidos.
- 08. A trajetória de um raio luminoso sofre alteração quando são permutadas as posições da fonte e do observador.
- 16. Quando ocorre a reflexão da luz, o raio incidente, o raio refletido e a normal ao ponto de incidência são perpendiculares entre si.

Soma ( )

03. YOQG



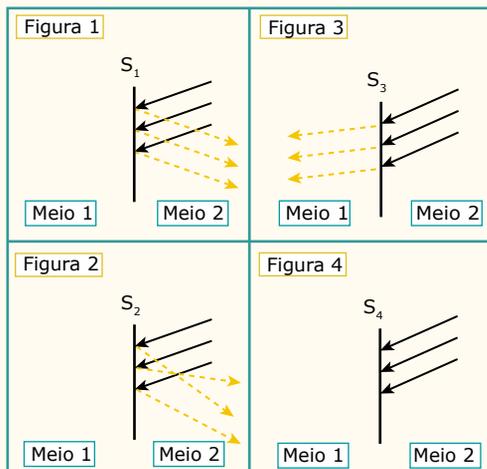
(EEAR-RJ) Um cidadão coloca um relógio marcando 12:25 (doze horas e vinte e cinco minutos) de cabeça para baixo de frente para um espelho plano, posicionando-o conforme mostra a figura.



Qual a leitura feita na imagem formada pela reflexão do relógio no espelho?

- A) 12:25
- B) 25:51
- C) 15:52
- D) 25:12

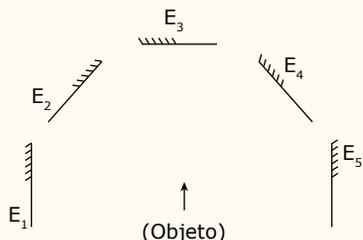
04. (Unifor-CE) Fisicamente a luz é uma forma de energia radiante que se propaga por meio de ondas eletromagnéticas. A luz é o agente físico responsável pela sensação visual. Quando a luz incide em uma superfície, podem ocorrer vários fenômenos: reflexão regular, reflexão difusa, refração ou absorção dos raios luminosos. Um feixe de raios de luz paralelos entre si incide sobre quatro superfícies, como mostram as figuras a seguir, e grande parte desses raios sofrem os seguintes fenômenos ópticos:
- (Figura 1) Na superfície  $S_1$ , os raios da luz incidentes voltam ao meio 2 e continuam paralelos.
  - (Figura 2) Na superfície  $S_2$ , os raios da luz incidentes não são mais refletidos paralelos entre si.
  - (Figura 3) Na superfície  $S_3$ , os raios da luz incidentes atravessam a superfície e ainda seguem paralelos.
  - (Figura 4) Na superfície  $S_4$ , os raios de luz incidentes são absorvidos.



Com base nos fenômenos ocorridos, pode-se concluir que as superfícies são:

- A) A superfície  $S_1$  é rugosa,  $S_2$  separa dois meios transparentes,  $S_3$  é metálica e muito bem polida, e  $S_4$  é um corpo de superfície preta.
- B) A superfície  $S_1$  é metálica e muito bem polida,  $S_2$  é um corpo de superfície preta,  $S_3$  separa dois meios transparentes, e  $S_4$  é rugosa.
- C) A superfície  $S_1$  é metálica e muito bem polida,  $S_2$  é rugosa,  $S_3$  separa dois meios transparentes, e  $S_4$  é um corpo de superfície preta.
- D) A superfície  $S_1$  separa dois meios transparentes,  $S_2$  é rugosa,  $S_3$  é metálica e muito bem polida, e  $S_4$  é um corpo de superfície preta.
- E) A superfície  $S_1$  é metálica e muito bem polida,  $S_2$  separa dois meios transparentes,  $S_3$  é rugosa, e  $S_4$  é um corpo de superfície preta.

05. (UNIFESP) A figura representa um objeto e cinco espelhos planos,  $E_1, E_2, E_3, E_4$  e  $E_5$ .



Assinale a sequência que representa corretamente as imagens do objeto conjugadas nesses espelhos.

- A)  $E_1 : \uparrow E_2 : \rightarrow E_3 : \downarrow E_4 : \leftarrow E_5 : \uparrow$
- B)  $E_1 : \uparrow E_2 : \nearrow E_3 : \downarrow E_4 : \nwarrow E_5 : \uparrow$
- C)  $E_1 : \uparrow E_2 : \nearrow E_3 : \uparrow E_4 : \nwarrow E_5 : \uparrow$
- D)  $E_1 : \uparrow E_2 : \nwarrow E_3 : \downarrow E_4 : \nearrow E_5 : \uparrow$
- E)  $E_1 : \downarrow E_2 : \rightarrow E_3 : \uparrow E_4 : \rightarrow E_5 : \downarrow$

06. (UEMG) Um espelho reflete raios de luz que nele incidem. Se usássemos os espelhos para refletir, quantas reflexões interessantes poderíamos fazer? Enquanto a Filosofia se incube de reflexões internas, que incidem e voltam para dentro da pessoa, um espelho trata de reflexões externas. Mas, como escreveu Luiz Vilela, "você verá". Você está diante de um espelho plano, vendo-se totalmente. Num certo instante, e é disso que é feita a vida, de instantes, você se aproxima do espelho a 1,5 m/s e está a 2,0 m de distância do espelho.



Nesse instante, a sua imagem, fornecida pelo espelho, estará

- A) a 2,0 m de distância do espelho, com uma velocidade de 3,0 m/s em relação a você.
- B) a 2,0 m de distância do espelho, com uma velocidade de 1,5 m/s em relação a você.
- C) a uma distância maior que 2,0 m de distância do espelho, com uma velocidade de 3,0 m/s em relação ao espelho.
- D) a uma distância maior que 2,0 m de distância do espelho, com uma velocidade de 1,5 m/s em relação ao espelho.

07. (UECE) Dois raios de luz coplanares incidem sobre um espelho plano. O primeiro raio incide normalmente no espelho e o segundo tem um ângulo de incidência  $30^\circ$ . Considere que o espelho é girado de modo que o segundo raio passe a ter incidência normal. Nessa nova configuração o primeiro raio passa a ter ângulo de incidência igual a

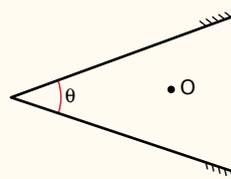


- A)  $15^\circ$ .
- B)  $60^\circ$ .
- C)  $30^\circ$ .
- D)  $90^\circ$ .

08. (Mackenzie-SP) Um objeto extenso de altura  $h$  está fixo, disposto frontalmente diante de uma superfície refletora de um espelho plano, a uma distância de 120,0 cm. Aproximando-se o espelho de uma distância de 20,0 cm, a imagem conjugada, nessa condição, encontra-se distante do objeto de

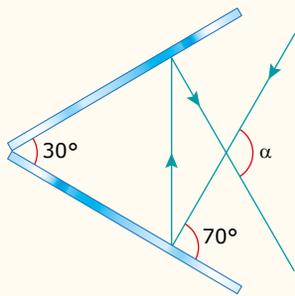
- A) 100,0 cm.
- B) 120,0 cm.
- C) 200,0 cm.
- D) 240,0 cm.
- E) 300,0 cm.

09. (PUC-SP) Um aluno colocou um objeto  $O$  entre as superfícies refletoras de dois espelhos planos associados e que formavam entre si um ângulo  $\theta$ , obtendo  $n$  imagens. Quando reduziu o ângulo entre os espelhos para  $\frac{\theta}{4}$ , passou a obter  $m$  imagens. A relação entre  $m$  e  $n$  é:



- A)  $m = 4n + 3$
- B)  $m = 4n - 3$
- C)  $m = 4(n + 1)$
- D)  $m = 4(n - 1)$
- E)  $m = 4n$

10. (UFMG) Observe a figura:



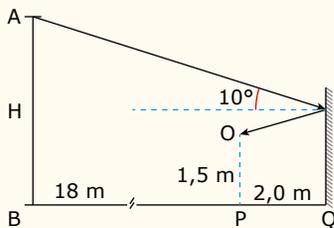
Nessa figura, dois espelhos planos estão dispostos de modo a formar um ângulo de  $30^\circ$  entre eles. Um raio luminoso incide sobre um dos espelhos, formando um ângulo de  $70^\circ$  com a sua superfície. Esse raio, depois de se refletir nos dois espelhos, cruza o raio incidente, formando um ângulo  $\alpha$  de

A)  $90^\circ$ .                      C)  $110^\circ$ .                      E)  $140^\circ$ .  
 B)  $100^\circ$ .                      D)  $120^\circ$ .

11. (EFOMM-RJ) Um espelho plano vertical reflete, sob um ângulo de incidência de  $10^\circ$ , o topo de uma árvore de altura  $H$ , para um observador  $O$ , cujos olhos estão a  $1,50$  m de altura e distantes  $2,00$  m do espelho. Se a base da árvore está situada  $18,0$  m atrás do observador, a altura  $H$ , em metros, vale

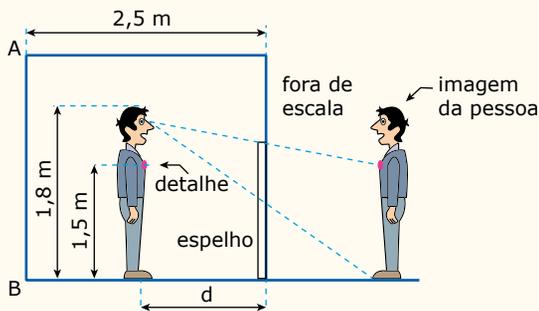


**Dados:**  $\sin(10^\circ) = 0,17$ ;  $\cos(10^\circ) = 0,98$ ;  $\text{tg}(10^\circ) = 0,18$ .



- A) 4,0.                      C) 5,5.                      E) 6,5.  
 B) 4,5.                      D) 6,0.

12. (Unesp) Uma pessoa de  $1,8$  m de altura está parada diante de um espelho plano apoiado no solo e preso em uma parede vertical. Como o espelho está mal posicionado, a pessoa não consegue ver a imagem de seu corpo inteiro, apesar de o espelho ser maior do que o mínimo necessário para isso. De seu corpo, ela enxerga apenas a imagem da parte compreendida entre seus pés e um detalhe de sua roupa, que está a  $1,5$  m do chão. Atrás dessa pessoa, há uma parede vertical  $AB$ , a  $2,5$  m do espelho.



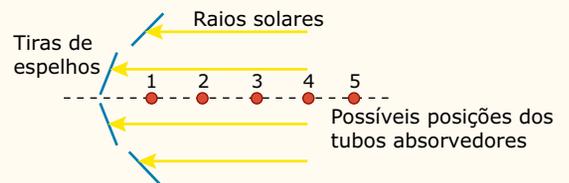
Sabendo que a distância entre os olhos da pessoa e a imagem da parede  $AB$  refletida no espelho é  $3,3$  m e que seus olhos, o detalhe em sua roupa e seus pés estão sobre uma mesma vertical, calcule a distância  $d$  entre a pessoa e o espelho e a menor distância que o espelho deve ser movido verticalmente para cima, de modo que ela possa ver sua imagem refletida por inteiro no espelho.

## SEÇÃO ENEM

01. Para reduzir o aquecimento global da Terra, a geração de energia por queima de combustíveis fósseis deve ser reduzida. Por isso, nos próximos anos, a utilização da energia solar deverá aumentar muito em localidades com alta taxa de insolação. Um sistema muito eficiente para captar essa energia é o coletor concentrador, mostrado a seguir, que converge os raios solares, através de espelhos cilíndricos, para tubos absorvedores cheios de água.



Para baratear a fabricação do espelho concentrador, uma empresa utiliza quatro longas "tiras" de espelhos montadas paralelamente ao tubo absorvedor, conforme mostra a figura seguinte.



Para que ocorra uma maior absorção dos raios solares, o tubo absorvedor deverá ficar na posição

A) 1.                      C) 3.                      E) 5.  
 B) 2.                      D) 4.

02. Numa apresentação de circo, um equilibrista ( $M$ ) faz uma apresentação sobre um cabo de aço esticado na horizontal, a  $5,0$  m do solo. Um grande espelho plano, colocado na vertical, permite que o artista e os observadores  $O_1$  e  $O_2$ , colocados nas posições indicadas nas figuras a seguir, vejam a imagem ( $I$ ) do equilibrista conforme indicado na figura 1. Dessa forma, o artista se aproxima e se afasta do espelho com facilidade, pois ele pode ver a imagem do cabo de aço por meio do espelho. Num determinado momento, o diretor de cena manda baixar uma espessa cortina opaca ( $C$ ), que cobre toda a metade superior do espelho, conforme a figura 2.

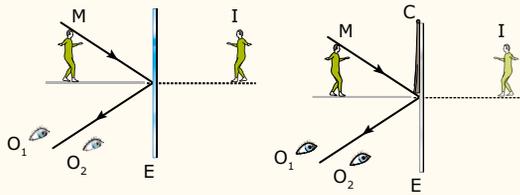


Figura 1

Figura 2

Apesar da colocação da cortina, uma imagem completa de todo o corpo do malabarista continua a ser formada pelo espelho. A imagem formada pelo espelho poderá ser vista

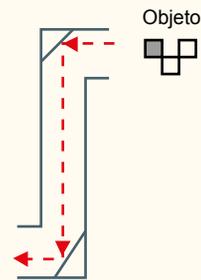
- A) apenas pelo observador  $O_1$ , e este enxerga a imagem completa do corpo do malabarista.
- B) apenas pelo observador  $O_2$ , e este enxerga a imagem completa do corpo do malabarista.
- C) apenas pelo observador  $O_1$ , e este enxerga apenas a metade da imagem do malabarista.
- D) apenas pelo observador  $O_2$ , e este enxerga apenas a metade da imagem do malabarista.
- E) pelos dois observadores, sendo que  $O_1$  enxerga apenas a parte inferior da imagem.

**03.** O periscópio é um acessório fundamental dos submarinos, usado para captar imagens acima da água. Também teve largo uso em guerras, para observar o movimento inimigo de dentro das trincheiras. Um periscópio básico utiliza dois espelhos paralelos, a certa distância um do outro. Os espelhos devem estar num ângulo de  $45^\circ$ , pois, caso contrário, a imagem não ficará perfeita. Os raios luminosos atingem o primeiro espelho, que os reflete para o segundo espelho, e daí são novamente refletidos para o visor. O trajeto completo da luz possui a forma aproximada da letra "Z", em que por uma das extremidades, a luz refletida pelos corpos a serem observados entra, e, pela outra, ela atinge os olhos do observador, possibilitando que este veja o que, a princípio, estaria fora do seu alcance de visão.



Soldado britânico utilizando um periscópio numa trincheira durante a Batalha de Gallipoli.

A figura a seguir mostra um objeto diante do periscópio.



Das opções seguintes, a que corresponde à imagem formada pelo periscópio é

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. D
- 02. E
- 03. E
- 04. A
- 05. B
- 06. C
- 07. C
- 08. A

#### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. C
- 02. Soma = 03
- 03. C
- 04. C
- 05. A
- 06. A
- 07. C
- 08. C
- 09. A
- 10. D
- 11. C
- 12.  $d = 80 \text{ cm}$ ;  
mover 15 cm.

#### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

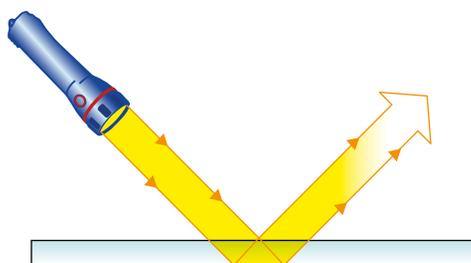
- 01. A
- 02. E
- 03. A

Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

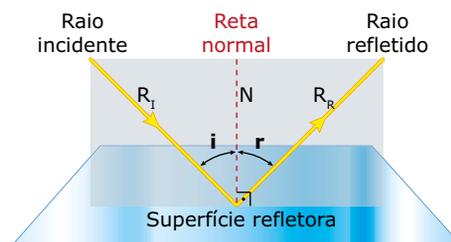
## Reflexão da Luz e Espelhos Planos

### REFLEXÃO DA LUZ

A reflexão é o fenômeno luminoso pelo qual a luz, após atingir uma superfície, continua no mesmo meio de propagação inicial. A reflexão é um fenômeno físico muito presente em nosso cotidiano e é responsável pela visão que temos dos objetos que nos cercam, tanto no que se refere à sua forma como também à sua cor. Conforme visto anteriormente, enxergamos os objetos, fontes secundárias de luz, pela luz que eles refletem. Além disso, a utilização dos espelhos só é possível devido à reflexão. A figura a seguir mostra a luz de uma lanterna que sofre reflexão ao atingir um espelho. Observe, com atenção, que a parte **de trás** do espelho é a superfície refletora (a parte da frente é um vidro transparente). Neste estudo, vamos considerar, exceto quando for especificado o contrário, que os nossos espelhos têm espessura desprezível. Assim, a reflexão vai ocorrer na face que recebe a luz.



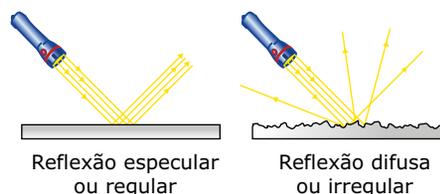
A reflexão sofrida pela luz é regida por duas leis, chamadas Leis da Reflexão. Considere um raio luminoso que chega à superfície refletora, chamado de raio incidente ( $R_I$ ). No ponto de incidência, traçamos uma reta imaginária, perpendicular à superfície, chamada de reta normal ( $N$ ). O raio que continua no meio inicial de propagação, após ser refletido na superfície, é chamado de raio refletido ( $R_R$ ). Considere que  $i$  seja o ângulo entre o raio incidente e a normal à superfície (ângulo de incidência) e que  $r$  seja o ângulo entre o raio refletido e a normal (ângulo de reflexão). Veja a figura a seguir:



Leis da Reflexão:

- 1ª Lei:  $R_I$ ,  $N$  e  $R_R$  são coplanares (estão sempre contidos no mesmo plano).
- 2ª Lei: Os ângulos de incidência e de reflexão são sempre congruentes ( $i = r$ ).

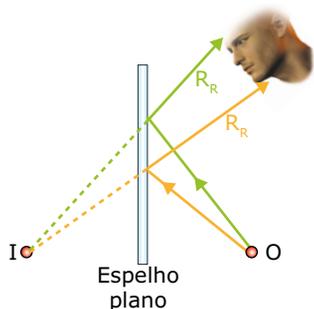
Quando a luz incide sobre uma superfície, ela pode ser refletida de duas maneiras diferentes, conforme representado a seguir. Na primeira figura, a reflexão é chamada de **especular** (ou regular) e ocorre em superfícies polidas, como um espelho ou uma lâmina de água parada. Na outra figura, a reflexão é **difusa** (ou irregular) e acontece quando a luz atinge superfícies rugosas, tais como uma parede, uma folha de caderno ou o rosto de uma pessoa. Esse tipo de reflexão permite que você possa enxergar e ler o texto impresso nas páginas deste livro de qualquer posição que olhar, pois a luz refletida pelas páginas difunde-se (espalha) em todas as direções.



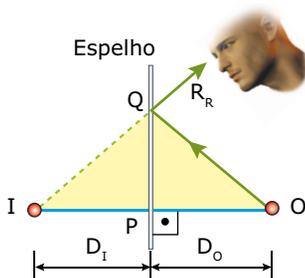
Na figura anterior, à esquerda, você percebe claramente que as duas Leis da Reflexão são obedecidas. Agora, pense e responda: as duas Leis da Reflexão valem na reflexão difusa (figura da direita)?

# ESPELHO PLANO

Neste estudo, vamos trabalhar apenas com objetos **reais**, que são corpos que não são formados por prolongamentos dos raios de luz (refletidos ou refratados). Assim, inicialmente, serão aqueles corpos colocados à **frente** dos dispositivos ópticos. Um espelho plano é uma superfície plana e polida que reflete a luz de forma regular. Na figura a seguir, representamos um objeto pontual  $O$  à frente de um espelho plano vertical. Nela, estão representados dois raios de luz que partiram do objeto e incidiram no espelho. Os raios refletidos pelo espelho foram traçados levando-se em conta as Leis da Reflexão. Os raios refletidos pelo espelho não se cruzam e, portanto, são divergentes. Assim, devemos traçar o que chamamos de prolongamento do raio refletido, um segmento de reta na direção do raio refletido e no sentido oposto a ele.



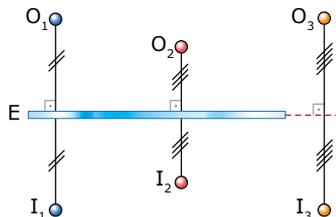
Observe que os prolongamentos dos raios refletidos (traços pontilhados) se encontram no ponto  $I$ , atrás do espelho. Esse ponto corresponde à imagem do objeto, formada pelo espelho. Um observador, diante do espelho, enxerga essa imagem porque seus olhos recebem os raios de luz como se estes estivessem saindo da imagem  $I$ . Toda imagem de um objeto real formada por **prolongamentos** de raios **refletidos** é chamada de imagem **virtual**. Uma imagem desse tipo não pode ser projetada em uma tela, pois ela não tem existência física real (nenhuma luz chega, de fato, onde está a imagem). A figura a seguir mostra um dos raios de luz refletidos pelo espelho. Os triângulos destacados ( $OPQ$  e  $IPQ$ ) são congruentes, e as suas bases são iguais ( $IP = OP$ ). Veja que a linha azul ( $OPI$ ) é perpendicular ao espelho – linha de simetria. Em todo espelho plano, o objeto e a sua imagem estão sobre a **linha de simetria**. Dessa forma, não é necessário desenhar os raios incidentes e refletidos para localizar a imagem.



Assim, podemos destacar três fatos importantes a respeito da imagem formada pelo espelho plano:

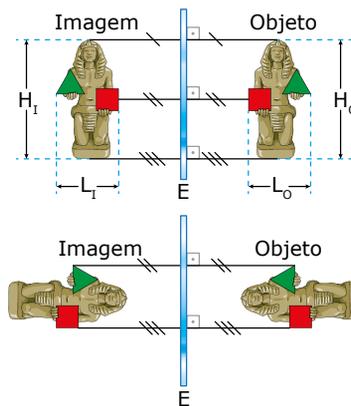
1. A imagem é sempre virtual.
2. O objeto e a imagem estão sobre uma linha perpendicular ao espelho (linha de simetria).
3. A distância do objeto ao espelho ( $D_o$ ) é igual à distância da imagem ao espelho ( $D_i$ ).

Veja a seguir a posição das imagens ( $I$ ) de alguns objetos ( $O$ ) colocados à frente de um espelho plano ( $E$ ).



Observe, na figura anterior, que o objeto  $O_3$ , mesmo estando em uma região “fora do espelho”, teve sua imagem  $I_3$  formada sobre a linha de simetria e à mesma distância do espelho que o objeto  $O_3$ . Assim, todo objeto colocado na parte anterior de um espelho plano tem sua imagem formada por este. Se o objeto for extenso, cada ponto dele terá uma imagem formada sobre a linha de simetria e à mesma distância do espelho que o ponto objeto.

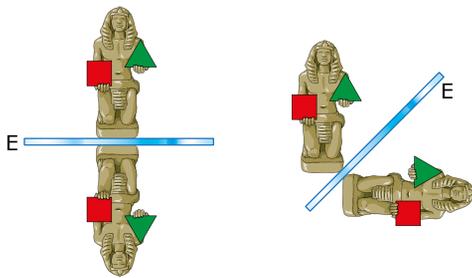
Veja, a seguir, a imagem de um boneco formada por um espelho colocado na vertical. O boneco carrega uma caixa quadrada (vermelha) e outra triangular (verde) nas mãos direita e esquerda, respectivamente. Sejam  $H_o$  e  $H_i$  as alturas e  $L_o$  e  $L_i$  as larguras do boneco e da sua imagem. Vamos colocar o boneco de duas maneiras: primeiro, paralelo ao espelho e, depois, perpendicular a este.



Observe que as linhas de simetria nos permitem determinar as imagens de cada ponto do objeto, à mesma distância que cada um deles se encontra do espelho. Assim, podemos concluir que, para todo espelho plano, colocado na **vertical**,

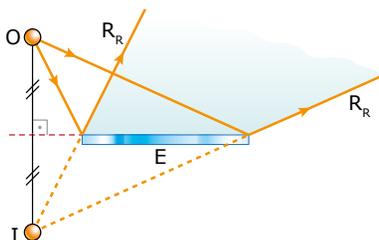
1. as dimensões do objeto e da imagem são iguais e independentes das distâncias ( $H_I = H_O$  e  $L_I = L_O$ ).
2. a direção vertical da imagem e do objeto não sofre inversão – a imagem formada é **DIRETA** (boneco e imagem de cabeça para cima).
3. a imagem é simétrica, em relação ao objeto, nas direções horizontais (inversão lateral direito-esquerda e inversão de profundidade).

Se o espelho estiver na **horizontal** ou **inclinado**, as duas últimas conclusões não se aplicam. Assim, quando for o caso, convém você determinar a imagem (usando a simetria) e analisar cada caso. Veja as figuras a seguir:



## Campo visual do espelho plano

Outro ponto importante diz respeito ao campo visual do espelho plano, que é definido como a região onde um observador deve se posicionar para poder enxergar a imagem de um objeto fixo. Esse campo pode ser encontrado traçando-se os raios incidentes, originados do objeto, e os respectivos raios refletidos nas duas extremidades do espelho, conforme ilustrado na figura a seguir. A região **azul**, compreendida entre o **espelho** (E) e os dois raios **refletidos** ( $R_R$ ), representa o campo visual do espelho para o objeto O da figura. De qualquer lugar dessa região, o observador pode ver a imagem do objeto. Estando fora dela, o observador não verá a imagem, embora esta continue a existir na mesma posição de simetria. Para facilitar o traçado dos raios refletidos, convém desenhar a imagem (I), na linha de simetria, e traçar um seguimento de reta passando pela imagem e pelas extremidades do espelho.



Em algumas situações, temos um observador, ao passo que queremos saber a região onde um ou mais objetos devem ser colocados para que o observador possa enxergar suas imagens. A determinação dessa região é feita de forma semelhante ao caso anterior. Traçamos dois raios de luz incidentes e dois raios de luz refletidos, tendo como base as extremidades do espelho e o **observador** (em vez do objeto). Ou seja, determinamos a "imagem do observador" por simetria. A região entre o espelho e os raios refletidos corresponderá ao local onde qualquer objeto deverá ser colocado para que a sua imagem possa ser vista por aquele observador fixo.

## Associação de espelhos planos

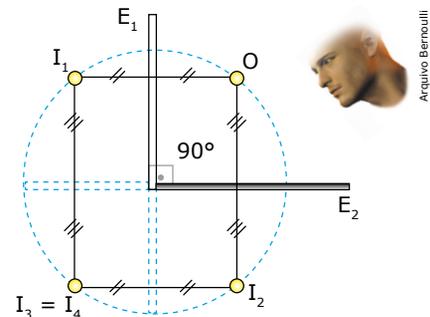
Quando dois espelhos planos,  $E_1$  e  $E_2$ , são postos frente a frente, segundo um ângulo  $\theta$  (em graus), a imagem  $I_1$  de um objeto (O), formada pelo espelho  $E_1$ , se comporta como objeto para o prolongamento do espelho  $E_2$  e vice-versa. Assim, os dois espelhos produzem múltiplas imagens. O número total (N) de imagens formadas pelos dois espelhos é dado por:

$$N = \frac{360}{\theta} - 1$$

Observe que,

1. se  $360^\circ/\theta$  for par, para qualquer posição do objeto entre os espelhos, o observador verá N imagens.
2. se  $360^\circ/\theta$  for ímpar, o observador verá N imagens apenas se o objeto estiver equidistante dos espelhos.

Para  $\theta = 90^\circ$ , temos 3 imagens ( $360/90 - 1 = 3$ ). Elas estão representadas na figura a seguir. Observe que as imagens e o objeto estão em uma circunferência cujo centro coincide com o ponto comum entre os espelhos. Veja, ainda, que as imagens  $I_3$  e  $I_4$  são coincidentes e, portanto, enxergamos apenas uma delas.



Veja, a seguir, uma foto das imagens formadas pelos espelhos.

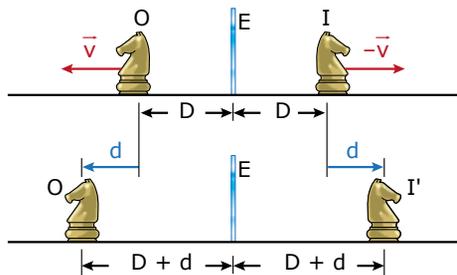


Cimglee / Creative Commons

Imagens formadas em espelhos conjugados.

## Translação e rotação de objetos e espelhos

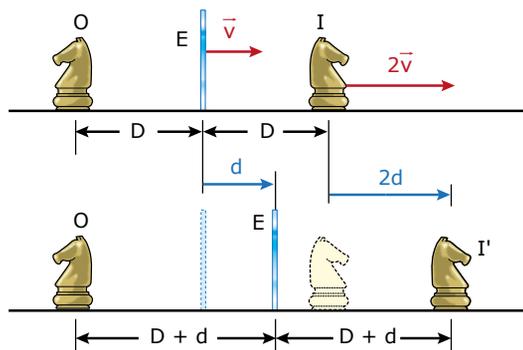
Considere um objeto colocado a uma distância  $D$  de um espelho plano ( $E$ ). Se o objeto for deslocado de uma distância  $d$ , sendo aproximado ou afastado do espelho, com velocidade constante  $v$ , a sua imagem se desloca na mesma quantidade. Veja a seguir que a simetria da imagem nos garante isso.



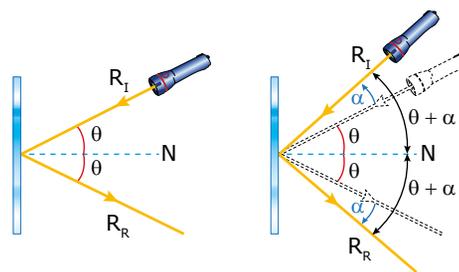
Analisando a figura anterior, chegamos a duas conclusões importantes:

1. A imagem e o objeto se deslocam em relação ao espelho, ao mesmo tempo e na mesma quantidade. Assim, eles têm velocidades de mesmo módulo  $v$  em relação ao espelho, porém de sentidos opostos. Logo, a velocidade da imagem, em relação ao objeto, terá módulo igual a  $2v$ .
2. A imagem **virtual** se desloca, em relação ao dispositivo óptico, da mesma forma que o objeto. Ou seja, se o objeto se **afasta** (ou se aproxima) do espelho, a imagem também se **afasta** (ou se aproxima) do espelho. Isso vale para qualquer imagem **virtual** (inclusive nos futuros casos), sendo essa uma informação útil que deve ser memorizada.

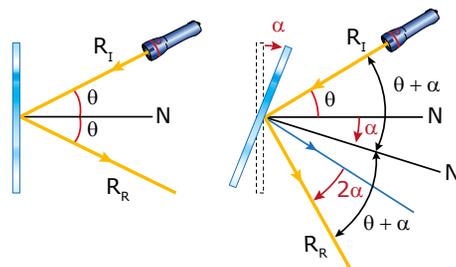
Agora, vamos considerar que o espelho foi deslocado. Considere um objeto colocado a uma distância  $D$  de um espelho plano ( $E$ ). Se o **espelho** for deslocado de uma distância  $d$ , se aproximando ou se afastando do objeto, a imagem do objeto será deslocada de  $2d$ . Veja a seguir. Na primeira figura, a distância objeto-imagem é:  $OI = D + D = 2D$ . Na segunda, a distância objeto-imagem é:  $OI' = (D + d) + (D + d) = 2D + 2d$ . Assim, a distância entre as imagens (deslocamento da imagem) é a diferença entre as medidas anteriores, ou seja,  $2d$ . Veja ainda que, se a velocidade do espelho em relação ao objeto é  $v$ , a velocidade da imagem em relação ao espelho tem módulo  $v$ , mas em relação ao objeto tem módulo  $2v$ .



Se um raio de luz incide sobre um espelho, formando um ângulo  $\theta$  com a normal, ele é refletido, formando o mesmo ângulo com a normal ( $2^a$  Lei da Reflexão). Isso nos permite concluir que, se o **raio incidente** gira em relação ao espelho de um ângulo  $\alpha$ , o raio refletido gira do mesmo ângulo  $\alpha$ . Assim, os raios incidente e refletido giram com a mesma velocidade angular. Veja a seguir.



Se o **espelho** gira, em relação à luz incidente, de um ângulo  $\alpha$ , o raio refletido gira o dobro desse ângulo, ou seja, o raio refletido gira de um ângulo  $2\alpha$ . Veja a seguir. O ângulo entre os raios incidente e refletido ( $\delta_1$ ), na primeira figura, é igual a  $\delta_1 = \theta + \theta$ , ou seja,  $\delta_1 = 2\theta$ . Após girar o espelho de  $\alpha$  (a normal também gira de  $\alpha$ ), os ângulos de incidência e de reflexão passam para  $\theta + \alpha$ , cada um.



Assim, o ângulo ( $\delta_2$ ) entre os raios incidente e refletido, na segunda figura, será  $\delta_2 = (\theta + \alpha) + (\theta + \alpha) = 2\theta + 2\alpha$ . A diferença entre  $\delta_2$  e  $\delta_1$  corresponde ao ângulo que o raio refletido gira, ou seja:  $\delta_2 - \delta_1 = (2\theta + 2\alpha) - (2\theta) = 2\alpha$ . Logo, se o espelho gira com velocidade angular  $\omega$ , o raio refletido gira com velocidade angular  $2\omega$ .

O fato anterior tem uma aplicação prática muito importante. Alguns aparelhos de medição, que usam ponteiros que se deslocam numa escala, têm afixado no ponteiro um pequeno espelho plano.

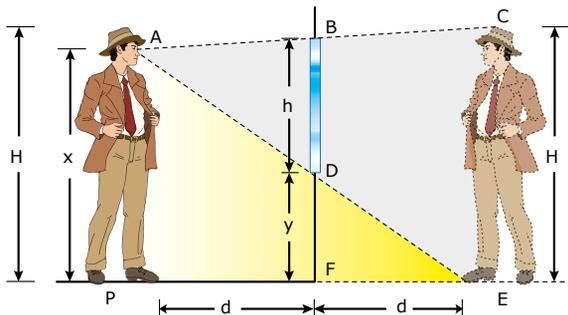
Um feixe de luz incide no espelho e o raio refletido é projetado sobre o zero de uma escala. Quando o ponteiro gira, indicando funcionamento, o raio refletido pelo espelho gira o dobro desse valor e se desloca bastante, indicando a leitura a ser efetuada. Isso permite que a sensibilidade do aparelho seja ajustada de acordo com a necessidade.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 01.** Um rapaz, usando chapéu, tem altura  $H$  e encontra-se diante de um espelho plano preso em uma parede vertical. A distância entre os olhos do rapaz e o chão mede  $x$ . Qual tamanho mínimo do espelho, e em que posição este deve ficar, para permitir ao rapaz enxergar a imagem completa de seu corpo?

### Resolução:

A figura a seguir representa o espelho de tamanho mínimo  $h$  (segmento  $BD$ ), o rapaz de altura  $H$  (em linha cheia) e a sua imagem (em linha tracejada). O espelho foi posicionado na parede de forma a permitir que o rapaz, visando os pontos  $B$  e  $D$ , possa ver a imagem do chapéu e dos seus pés, respectivamente. Lembre-se de que as distâncias da imagem e do rapaz ao espelho ( $d$ ) são iguais, e que a altura ( $H$ ) do rapaz e de sua imagem também são iguais. Na figura,  $A$  representa os olhos.



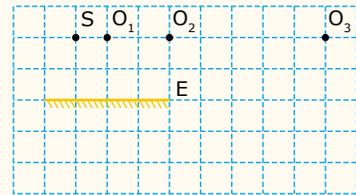
Seja  $y$  a distância da base inferior do espelho até o chão. Na figura anterior, temos:

- Triângulos  $ABD$  e  $ACE$  semelhantes.  
 $BD/CE = d/2d \Rightarrow h/H = d/2d \Rightarrow h = H/2$
- Triângulos  $EDF$  e  $EAP$  semelhantes.  
 $DF/AP = d/2d \Rightarrow y/x = d/2d \Rightarrow y = x/2$

Assim, podemos concluir que o tamanho mínimo do espelho é igual à metade da altura do rapaz ( $H/2$ ), e que o espelho deve ser colocado de forma que sua base fique distante do solo de um valor igual à metade do valor da distância dos olhos do rapaz até o chão ( $x/2$ ). Vale observar, também, que esse resultado é **independente** da distância que o rapaz se encontra do espelho.

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

- 01.** (UFRGS-RS) Na figura a seguir, estão representados um espelho plano  $E$ , perpendicular à página, e um pequeno objeto luminoso  $S$ , colocado diante do espelho, no plano da página. Os pontos  $O_1$ ,  $O_2$  e  $O_3$ , também no plano da página, representam as posições ocupadas sucessivamente por um observador.

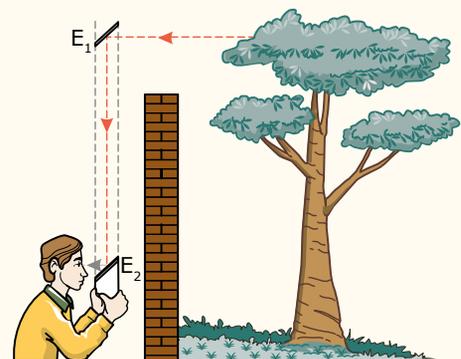


O observador verá a imagem do objeto  $S$ , fornecida pelo espelho  $E$ ,

- apenas da posição  $O_1$ .
- apenas da posição  $O_2$ .
- apenas da posição  $O_3$ .
- apenas das posições  $O_1$  e  $O_2$ .
- das posições  $O_1$ ,  $O_2$  e  $O_3$ .

- 02.** (UNIFICADO-RJ) Antônia vai correr a maratona (42,195 km), e o número de sua camiseta é 186. Ao olhar-se no espelho, Antônia vê, em sua camiseta,
- 186.
  - 189.
  - 681.
  - 981.
  - 818.

- 03.** (PUC-SP) O estudo da luz e dos fenômenos luminosos sempre atraiu os pensadores desde a antiga Grécia. Muitas são as aplicações dos espelhos e lentes, objetos construídos a partir dos estudos realizados em Óptica. A figura representa um periscópio, instrumento que permite a observação de objetos mesmo que existam obstáculos opacos entre o observador e uma região ou objeto, que se deseja observar. Considere que, nesse periscópio,  $E_1$  e  $E_2$  são espelhos planos.



A respeito do periscópio e dos fenômenos luminosos que a ele podem ser associados são feitas as afirmativas:

- I. A colocação de espelhos planos, como indicada na figura, permite que a luz proveniente da árvore atinja o observador, comprovando o princípio da propagação retilínea da luz.
- II. O ângulo de incidência do raio de luz e do espelho  $E_1$  é congruente ao ângulo de reflexão nesse mesmo espelho.
- III. Como os espelhos  $E_1$  e  $E_2$  foram colocados em posições paralelas, os ângulos de incidência do raio de luz no espelho  $E_1$  e de reflexão no espelho  $E_2$  são congruentes entre si.

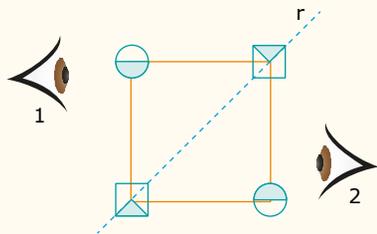
Dessas afirmativas, está correto apenas o que se lê em

- A) II.
- B) I e II.
- C) I e III.
- D) II e III.
- E) I, II e III.

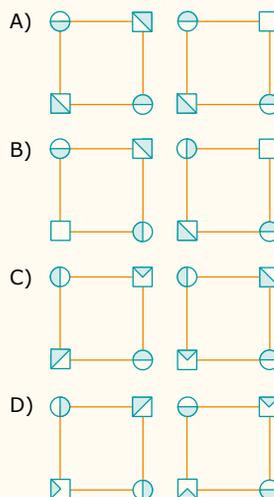
**04.** (FASEH-MG-2020) Martina, que tem um 1,70 m de altura, deseja comprar um espelho plano, a fim de se ver totalmente. A distância dos olhos de Martina ao solo é 1,66 m. De acordo com os estudos de Física, o tamanho mínimo e a altura mínima em relação ao solo, respectivamente, do espelho plano deverão ser:

- A) 0,85 m e 0,83 m
- B) 0,83 m e 0,83 m
- C) 0,85 m e 0,85 m
- D) 0,83 m e 0,85 m

**05.** (AFA-SP) Considere um objeto formado por uma combinação de um quadrado de aresta  $a$  cujos vértices são centros geométricos de círculo e quadrados menores, como mostra a figura seguinte.



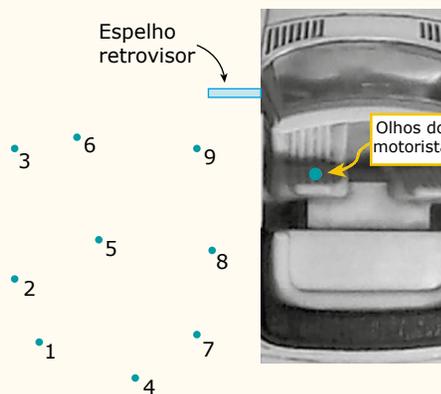
Colocando-se um espelho plano, espelhado em ambos os lados, de dimensões infinitas e de espessura desprezível ao longo da reta  $r$ , os observadores colocados nas posições 1 e 2 veriam, respectivamente, objetos completos com as seguintes formas:



**06.**  
ZQA4



(Unicamp-SP) A figura a seguir mostra um espelho retrovisor plano na lateral esquerda de um carro. O espelho está disposto verticalmente e a altura do seu centro coincide com a altura dos olhos do motorista. Os pontos da figura pertencem a um plano horizontal que passa pelo centro do espelho. Nesse caso, os pontos que podem ser vistos pelo motorista são

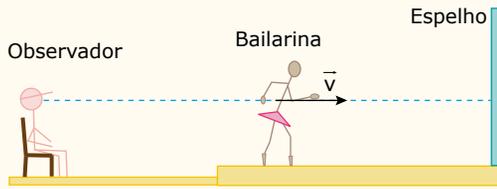


- A) 1, 4, 5 e 9.
- B) 4, 7, 8 e 9.
- C) 1, 2, 5 e 9.
- D) 2, 5, 6 e 9.

**07.**  
QWTH



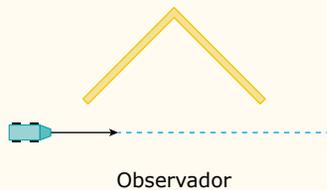
(UFMS) Um grande espelho plano serve como pano de fundo em um palco de teatro, durante a apresentação de uma dança. A bailarina se coloca entre o espelho e o público, que assiste à dança. Um observador do público está em uma posição da qual, num dado momento, vê a imagem refletida da bailarina no espelho e vê também a bailarina na mesma linha de seus olhos (veja a figura). Nesse momento, a bailarina se aproxima do espelho com velocidade  $v$  com relação ao palco. Se a bailarina vê sua própria imagem e também a do observador refletida no espelho, é correto afirmar que



- A) o observador percebe que a imagem da bailarina, refletida no espelho, aproxima-se dele com velocidade  $2v$ .
- B) a bailarina percebe que a imagem do observador, refletida no espelho, aproxima-se dela com velocidade  $2v$ .
- C) a bailarina percebe que sua própria imagem, refletida no espelho, aproxima-se dela com velocidade  $2v$ .
- D) a imagem refletida da bailarina no espelho é uma imagem real.
- E) a distância da bailarina até o espelho é o dobro da distância da bailarina até sua imagem refletida.

08. XSNM

(CMMG) Dois espelhos planos estão posicionados perpendicularmente entre si, como na figura seguinte.



Um carrinho de brinquedo passa na frente dos espelhos, movendo-se para a direita. O observador verá, através dos espelhos, a imagem do carrinho movendo-se, como na figura:

- A)
- B)
- C)
- D)

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (UPE-2019) Dois espelhos planos, associados a um ângulo de  $90^\circ$  entre suas superfícies refletoras, formam
- A) uma imagem enantiomorfa, uma imagem virtual e uma imagem real.
  - B) duas imagens virtuais e duas imagens reais.
  - C) duas imagens enantiomorfas e uma imagem igual ao objeto.
  - D) duas imagens reais e uma enantiomorfa.
  - E) uma imagem igual ao objeto e duas imagens reais.

02. (UEPG-PR) A Óptica Geométrica estuda os fenômenos luminosos sob um ponto de vista puramente geométrico, ou seja, ela não considera a natureza física da luz. Sobre a Óptica Geométrica, assinale os itens corretos e marque a soma deles.

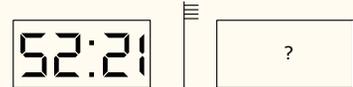
- 01. Um raio luminoso não tem existência física real. É um conceito puramente geométrico.
- 02. Sempre que um feixe convergente é interceptado por um sistema ótico, o ponto objeto, para esse sistema, é virtual.
- 04. Um meio anisotrópico é aquele no qual a luz se propaga com a mesma velocidade em todas as direções e sentidos.
- 08. A trajetória de um raio luminoso sofre alteração quando são permutadas as posições da fonte e do observador.
- 16. Quando ocorre a reflexão da luz, o raio incidente, o raio refletido e a normal ao ponto de incidência são perpendiculares entre si.

Soma ( )

03. YOQG



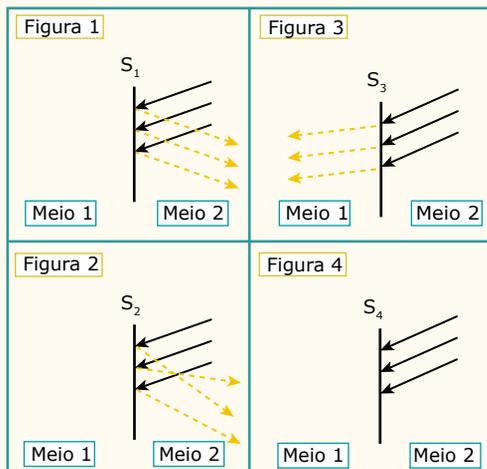
(EEAR-RJ) Um cidadão coloca um relógio marcando 12:25 (doze horas e vinte e cinco minutos) de cabeça para baixo de frente para um espelho plano, posicionando-o conforme mostra a figura.



Qual a leitura feita na imagem formada pela reflexão do relógio no espelho?

- A) 12:25
- B) 25:51
- C) 15:52
- D) 25:12

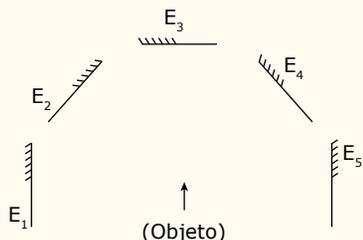
04. (Unifor-CE) Fisicamente a luz é uma forma de energia radiante que se propaga por meio de ondas eletromagnéticas. A luz é o agente físico responsável pela sensação visual. Quando a luz incide em uma superfície, podem ocorrer vários fenômenos: reflexão regular, reflexão difusa, refração ou absorção dos raios luminosos. Um feixe de raios de luz paralelos entre si incide sobre quatro superfícies, como mostram as figuras a seguir, e grande parte desses raios sofrem os seguintes fenômenos ópticos:
- (Figura 1) Na superfície  $S_1$ , os raios da luz incidentes voltam ao meio 2 e continuam paralelos.
  - (Figura 2) Na superfície  $S_2$ , os raios da luz incidentes não são mais refletidos paralelos entre si.
  - (Figura 3) Na superfície  $S_3$ , os raios da luz incidentes atravessam a superfície e ainda seguem paralelos.
  - (Figura 4) Na superfície  $S_4$ , os raios de luz incidentes são absorvidos.



Com base nos fenômenos ocorridos, pode-se concluir que as superfícies são:

- A) A superfície  $S_1$  é rugosa,  $S_2$  separa dois meios transparentes,  $S_3$  é metálica e muito bem polida, e  $S_4$  é um corpo de superfície preta.
- B) A superfície  $S_1$  é metálica e muito bem polida,  $S_2$  é um corpo de superfície preta,  $S_3$  separa dois meios transparentes, e  $S_4$  é rugosa.
- C) A superfície  $S_1$  é metálica e muito bem polida,  $S_2$  é rugosa,  $S_3$  separa dois meios transparentes, e  $S_4$  é um corpo de superfície preta.
- D) A superfície  $S_1$  separa dois meios transparentes,  $S_2$  é rugosa,  $S_3$  é metálica e muito bem polida, e  $S_4$  é um corpo de superfície preta.
- E) A superfície  $S_1$  é metálica e muito bem polida,  $S_2$  separa dois meios transparentes,  $S_3$  é rugosa, e  $S_4$  é um corpo de superfície preta.

05. (UNIFESP) A figura representa um objeto e cinco espelhos planos,  $E_1, E_2, E_3, E_4$  e  $E_5$ .



Assinale a sequência que representa corretamente as imagens do objeto conjugadas nesses espelhos.

- A)  $E_1: \uparrow E_2: \rightarrow E_3: \downarrow E_4: \leftarrow E_5: \uparrow$
- B)  $E_1: \uparrow E_2: \nearrow E_3: \downarrow E_4: \nwarrow E_5: \uparrow$
- C)  $E_1: \uparrow E_2: \nearrow E_3: \uparrow E_4: \nwarrow E_5: \uparrow$
- D)  $E_1: \uparrow E_2: \nwarrow E_3: \downarrow E_4: \nearrow E_5: \uparrow$
- E)  $E_1: \downarrow E_2: \rightarrow E_3: \uparrow E_4: \rightarrow E_5: \downarrow$

06. (UEMG) Um espelho reflete raios de luz que nele incidem. Se usássemos os espelhos para refletir, quantas reflexões interessantes poderíamos fazer? Enquanto a Filosofia se incube de reflexões internas, que incidem e voltam para dentro da pessoa, um espelho trata de reflexões externas. Mas, como escreveu Luiz Vilela, "você verá". Você está diante de um espelho plano, vendo-se totalmente. Num certo instante, e é disso que é feita a vida, de instantes, você se aproxima do espelho a 1,5 m/s e está a 2,0 m de distância do espelho.



Nesse instante, a sua imagem, fornecida pelo espelho, estará

- A) a 2,0 m de distância do espelho, com uma velocidade de 3,0 m/s em relação a você.
- B) a 2,0 m de distância do espelho, com uma velocidade de 1,5 m/s em relação a você.
- C) a uma distância maior que 2,0 m de distância do espelho, com uma velocidade de 3,0 m/s em relação ao espelho.
- D) a uma distância maior que 2,0 m de distância do espelho, com uma velocidade de 1,5 m/s em relação ao espelho.

07. (UECE) Dois raios de luz coplanares incidem sobre um espelho plano. O primeiro raio incide normalmente no espelho e o segundo tem um ângulo de incidência  $30^\circ$ . Considere que o espelho é girado de modo que o segundo raio passe a ter incidência normal. Nessa nova configuração o primeiro raio passa a ter ângulo de incidência igual a

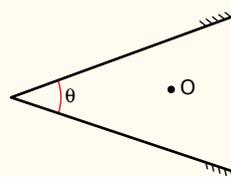


- A)  $15^\circ$ .
- B)  $60^\circ$ .
- C)  $30^\circ$ .
- D)  $90^\circ$ .

08. (Mackenzie-SP) Um objeto extenso de altura  $h$  está fixo, disposto frontalmente diante de uma superfície refletora de um espelho plano, a uma distância de 120,0 cm. Aproximando-se o espelho de uma distância de 20,0 cm, a imagem conjugada, nessa condição, encontra-se distante do objeto de

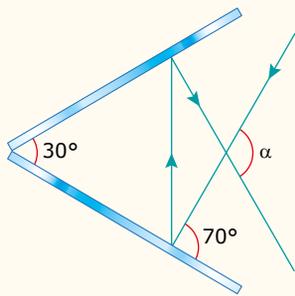
- A) 100,0 cm.
- B) 120,0 cm.
- C) 200,0 cm.
- D) 240,0 cm.
- E) 300,0 cm.

09. (PUC-SP) Um aluno colocou um objeto  $O$  entre as superfícies refletoras de dois espelhos planos associados e que formavam entre si um ângulo  $\theta$ , obtendo  $n$  imagens. Quando reduziu o ângulo entre os espelhos para  $\frac{\theta}{4}$ , passou a obter  $m$  imagens. A relação entre  $m$  e  $n$  é:



- A)  $m = 4n + 3$
- B)  $m = 4n - 3$
- C)  $m = 4(n + 1)$
- D)  $m = 4(n - 1)$
- E)  $m = 4n$

10. (UFMG) Observe a figura:



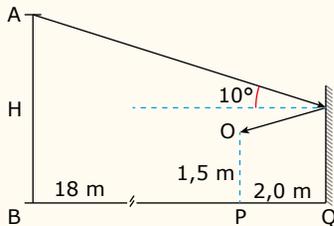
Nessa figura, dois espelhos planos estão dispostos de modo a formar um ângulo de  $30^\circ$  entre eles. Um raio luminoso incide sobre um dos espelhos, formando um ângulo de  $70^\circ$  com a sua superfície. Esse raio, depois de se refletir nos dois espelhos, cruza o raio incidente, formando um ângulo  $\alpha$  de

A)  $90^\circ$ .                      C)  $110^\circ$ .                      E)  $140^\circ$ .  
 B)  $100^\circ$ .                      D)  $120^\circ$ .

11. (EFOMM-RJ) Um espelho plano vertical reflete, sob um ângulo de incidência de  $10^\circ$ , o topo de uma árvore de altura  $H$ , para um observador  $O$ , cujos olhos estão a  $1,50$  m de altura e distantes  $2,00$  m do espelho. Se a base da árvore está situada  $18,0$  m atrás do observador, a altura  $H$ , em metros, vale

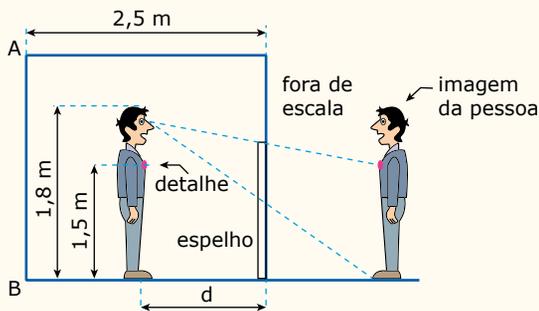


**Dados:**  $\sin(10^\circ) = 0,17$ ;  $\cos(10^\circ) = 0,98$ ;  $\text{tg}(10^\circ) = 0,18$ .



- A) 4,0.                      C) 5,5.                      E) 6,5.  
 B) 4,5.                      D) 6,0.

12. (Unesp) Uma pessoa de  $1,8$  m de altura está parada diante de um espelho plano apoiado no solo e preso em uma parede vertical. Como o espelho está mal posicionado, a pessoa não consegue ver a imagem de seu corpo inteiro, apesar de o espelho ser maior do que o mínimo necessário para isso. De seu corpo, ela enxerga apenas a imagem da parte compreendida entre seus pés e um detalhe de sua roupa, que está a  $1,5$  m do chão. Atrás dessa pessoa, há uma parede vertical  $AB$ , a  $2,5$  m do espelho.



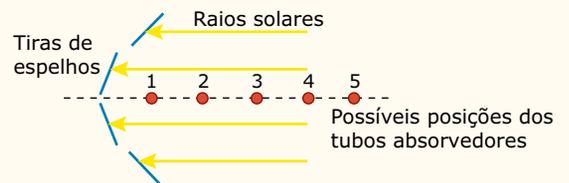
Sabendo que a distância entre os olhos da pessoa e a imagem da parede  $AB$  refletida no espelho é  $3,3$  m e que seus olhos, o detalhe em sua roupa e seus pés estão sobre uma mesma vertical, calcule a distância  $d$  entre a pessoa e o espelho e a menor distância que o espelho deve ser movido verticalmente para cima, de modo que ela possa ver sua imagem refletida por inteiro no espelho.

## SEÇÃO ENEM

01. Para reduzir o aquecimento global da Terra, a geração de energia por queima de combustíveis fósseis deve ser reduzida. Por isso, nos próximos anos, a utilização da energia solar deverá aumentar muito em localidades com alta taxa de insolação. Um sistema muito eficiente para captar essa energia é o coletor concentrador, mostrado a seguir, que converge os raios solares, através de espelhos cilíndricos, para tubos absorvedores cheios de água.



Para baratear a fabricação do espelho concentrador, uma empresa utiliza quatro longas "tiras" de espelhos montadas paralelamente ao tubo absorvedor, conforme mostra a figura seguinte.



Para que ocorra uma maior absorção dos raios solares, o tubo absorvedor deverá ficar na posição

A) 1.                      C) 3.                      E) 5.  
 B) 2.                      D) 4.

02. Numa apresentação de circo, um equilibrista ( $M$ ) faz uma apresentação sobre um cabo de aço esticado na horizontal, a  $5,0$  m do solo. Um grande espelho plano, colocado na vertical, permite que o artista e os observadores  $O_1$  e  $O_2$ , colocados nas posições indicadas nas figuras a seguir, vejam a imagem ( $I$ ) do equilibrista conforme indicado na figura 1. Dessa forma, o artista se aproxima e se afasta do espelho com facilidade, pois ele pode ver a imagem do cabo de aço por meio do espelho. Num determinado momento, o diretor de cena manda baixar uma espessa cortina opaca ( $C$ ), que cobre toda a metade superior do espelho, conforme a figura 2.

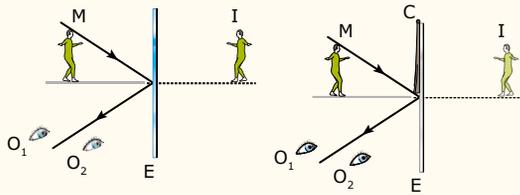


Figura 1

Figura 2

Apesar da colocação da cortina, uma imagem completa de todo o corpo do malabarista continua a ser formada pelo espelho. A imagem formada pelo espelho poderá ser vista

- A) apenas pelo observador  $O_1$ , e este enxerga a imagem completa do corpo do malabarista.
- B) apenas pelo observador  $O_2$ , e este enxerga a imagem completa do corpo do malabarista.
- C) apenas pelo observador  $O_1$ , e este enxerga apenas a metade da imagem do malabarista.
- D) apenas pelo observador  $O_2$ , e este enxerga apenas a metade da imagem do malabarista.
- E) pelos dois observadores, sendo que  $O_1$  enxerga apenas a parte inferior da imagem.

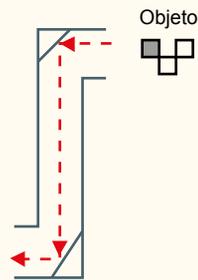
**03.** O periscópio é um acessório fundamental dos submarinos, usado para captar imagens acima da água. Também teve largo uso em guerras, para observar o movimento inimigo de dentro das trincheiras. Um periscópio básico utiliza dois espelhos paralelos, a certa distância um do outro. Os espelhos devem estar num ângulo de  $45^\circ$ , pois, caso contrário, a imagem não ficará perfeita. Os raios luminosos atingem o primeiro espelho, que os reflete para o segundo espelho, e daí são novamente refletidos para o visor. O trajeto completo da luz possui a forma aproximada da letra "Z", em que por uma das extremidades, a luz refletida pelos corpos a serem observados entra, e, pela outra, ela atinge os olhos do observador, possibilitando que este veja o que, a princípio, estaria fora do seu alcance de visão.



Autor desconhecido / Domínio Público

Soldado britânico utilizando um periscópio numa trincheira durante a Batalha de Gallipoli.

A figura a seguir mostra um objeto diante do periscópio.



Das opções seguintes, a que corresponde à imagem formada pelo periscópio é

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. D
- 02. E
- 03. E
- 04. A
- 05. B
- 06. C
- 07. C
- 08. A

#### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. C
- 02. Soma = 03
- 03. C
- 04. C
- 05. A
- 06. A
- 07. C
- 08. C
- 09. A
- 10. D
- 11. C
- 12.  $d = 80 \text{ cm}$ ;  
mover 15 cm.

#### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. A
- 02. E
- 03. A



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## Associação de Resistores

A corrente elétrica (um fluxo ordenado de cargas elétricas), ao percorrer um circuito elétrico (caminho por onde a corrente passa), conforme se sabe, produz consequências diversas, por exemplo, o aquecimento dos elementos do circuito, fenômeno conhecido como efeito Joule. Sabe-se, também, que a corrente elétrica pode ser contínua ou alternada, e aprendemos, em estudos anteriores, como calcular a potência elétrica e a energia elétrica “consumida” em um ou mais elementos de um circuito. Neste módulo, vamos retomar, complementar e aprofundar tais conceitos.

Chamamos de resistor qualquer elemento condutor colocado em um circuito, propositadamente, com o objetivo de transformar energia elétrica em energia térmica (caso dos aparelhos de aquecimento) ou de limitar a corrente fornecida a um dispositivo (muito usual em eletrônica). O resistor, assim como qualquer elemento colocado em um circuito elétrico, apresenta uma resistência elétrica, seja ela desejada ou não.

A maioria dos aparelhos que usamos e muitos dos circuitos utilizados em nosso cotidiano são combinações de dois ou mais resistores. Assim, eles devem ser conectados – de maneiras específicas – com o objetivo de nos fornecer o resultado que deles esperamos. Vamos descobrir como são essas ligações, denominadas associações de resistores, suas características e o uso que podemos fazer delas.

Antes de iniciar, vamos fazer uma convenção: os fios que interligam os elementos do circuito e a fonte de tensão (bateria, por exemplo) não oferecem dificuldade à passagem de corrente através deles, ou seja, os fios e a bateria apresentam resistência desprezível (são considerados ideais). Quando for importante considerar a resistência dos fios e / ou da fonte de tensão, isso será especificado.

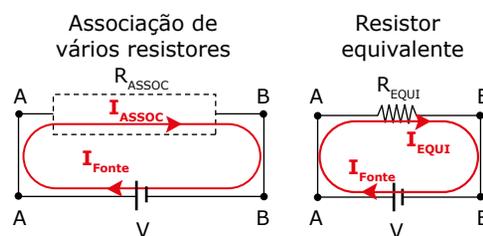
### ASSOCIAÇÕES DE RESISTORES

Em nosso estudo anterior, vimos que, num circuito formado por um resistor e por uma fonte de tensão (d.d.p.), existe uma transformação de energia. Os portadores de carga que constituem a corrente elétrica (elétrons ou íons) recebem energia quando passam através da fonte (a pilha, por exemplo, transforma energia química em

energia elétrica) e, ao passarem através do resistor, perdem a energia que a fonte lhes forneceu (ocorre transformação de energia elétrica em energia térmica). Observe, então, dois fatos importantes:

1. Toda corrente que **entra** por uma das extremidades de um resistor ou de uma fonte de tensão deve **sair** pela outra extremidade (o número de elétrons que entra é igual ao número de elétrons que sai – Princípio da Conservação das Cargas). Portanto, o resistor não “consome” corrente elétrica.
2. Em Eletricidade, a energia **fornecida** pela fonte de tensão deve ser “**consumida**” pelos elementos do circuito a cada instante (Princípio da Conservação da Energia). As usinas de eletricidade devem, a cada instante do dia, transformar outras formas de energia em energia elétrica para atender, exatamente, à demanda por energia elétrica que existe naquele momento.

Os resistores podem ser associados de várias maneiras: em série, em paralelo, em delta, em estrela, etc. Vamos considerar, aqui, apenas as ligações de elementos em série e em paralelo. Para tais associações, podemos montar um circuito equivalente, em que há um único resistor, chamado de resistor equivalente, que irá apresentar as mesmas características da associação.



Observe, na figura anterior, que as fontes, a associação de resistores e o resistor equivalente estão ligados, diretamente, aos pontos A e B. Sejam  $V$  = tensão,  $I$  = corrente,  $R$  = resistência e  $P$  = potência dissipada. Em qualquer tipo de associação de dois (ou mais) resistores, há características que são comuns a todas as associações e que, portanto, precisamos conhecer. São elas:

$$\begin{aligned}
 1 - V_{EQUI} &= V_{ASSOC} = V_{FONTE} \\
 2 - I_{EQUI} &= I_{ASSOC} = I_{FONTE} \\
 3 - R_{EQUI} &= R_{ASSOC} \\
 4 - P_{EQUI} &= P_{ASSOC} = P_1 + P_2 + \dots + P_n
 \end{aligned}$$

No quadro,  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_n$  são as potências dissipadas, individualmente, nos resistores que formam a associação, qualquer que seja ela.

## COMO FAZER ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Fazer uma associação de resistores, de qualquer tipo, envolve uma metodologia de como os resistores são conectados entre si e com a bateria que lhes vai prover a diferença de potencial (tensão) necessária. Ou seja, o tipo de associação depende da maneira (*modus operandi*) como os resistores são ligados.

### Associação de resistores em série

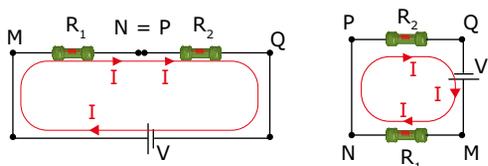
Considere os resistores 1 e 2 a seguir, de resistências  $R_1$  e  $R_2$ . Cada um apresenta duas extremidades livres (M, N e P, Q).



Fazer uma associação em série de dois resistores consiste em duas etapas:

1. Ligar as extremidades N (de  $R_1$ ) e P (de  $R_2$ );
2. Conectar a bateria aos terminais que estão livres – M (de  $R_1$ ) e Q (de  $R_2$ ).

Dessa forma, a corrente elétrica encontra apenas um caminho para percorrer o circuito conforme mostrado a seguir. Esse é um fato importante. Dizemos que dois ou mais resistores estão associados em **série** quando são percorridos pela **mesma corrente elétrica** (os mesmos portadores de carga atravessam os diversos resistores).



É possível notar que dois resistores em série não estão, necessariamente, na mesma reta.

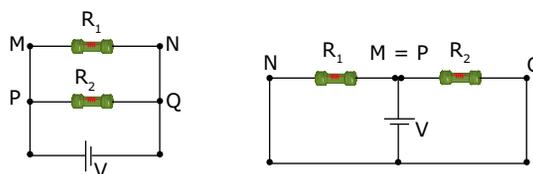
### Associação de resistores em paralelo

Para exemplificar a associação de dois resistores em paralelo, vamos usar os mesmos resistores 1 e 2 da montagem anterior. Fazer uma associação de dois resistores em paralelo exige três etapas, a saber:

1. Ligar a extremidade M (de  $R_1$ ) à extremidade P (de  $R_2$ );
2. Conectar as extremidades N (de  $R_1$ ) e Q (de  $R_2$ );

3. Estabelecer a conexão da bateria aos pontos que foram unidos (MP e NQ).

Observe que os pontos M e P estão submetidos a um mesmo potencial, assim como os pontos N e Q. Portanto,  $V_{MN} = V_{PQ} = V_{FONTE}$ . Logo, os dois resistores estão submetidos à mesma diferença de potencial ou tensão. Dizemos que dois ou mais resistores estão associados em **paralelo** se cada uma das extremidades de um dos resistores estiver no mesmo potencial em relação às extremidades dos outros resistores. Assim, resistores associados em paralelo estão submetidos à **mesma diferença de potencial**.

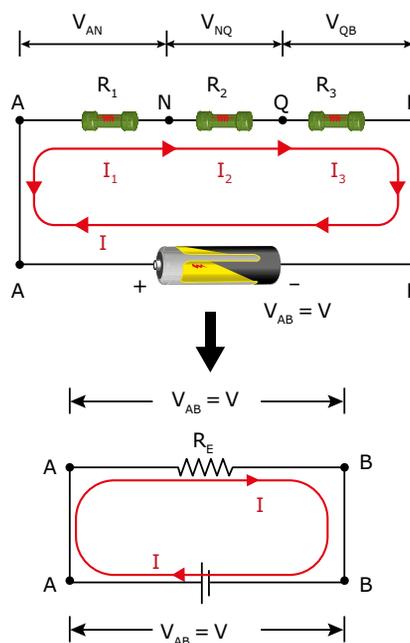


Com certeza, pode-se perceber que dois resistores associados em paralelo não são, obrigatoriamente, paralelos um ao outro.

## ESPECIFICIDADES DA ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

### Em série

A figura a seguir mostra três resistores ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) associados em série e conectados a uma pilha de tensão V. A figura mostra, também, o circuito equivalente dessa associação.



Observe que a corrente que percorre o circuito tem um único caminho para passar (seja na bateria, no resistor equivalente ou nos resistores da associação). Portanto, concluímos que os resistores estão ligados em série.

Observe, também, que os mesmos portadores de carga que formam a corrente devem passar, sucessivamente, nos resistores  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ . Portanto, os portadores de carga "gastam" uma parte da energia recebida da bateria em cada um dos resistores. Veja que  $V_1 = V_{AN}$ ,  $V_2 = V_{NQ}$  e  $V_3 = V_{QB}$ . Logo, podemos escrever:

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

$$V_{\text{FONTE}} = V_1 + V_2 + V_3$$

Sabemos que  $V = RI$ . Substituindo esse resultado na segunda relação do quadro anterior, temos:

$$RI = R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3$$

Simplificando as correntes, que são iguais, obtemos:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

A respeito dessa última relação, vamos fazer as seguintes considerações:

1. A resistência total (ou equivalente) de uma associação de resistores em série é sempre maior que a resistência de qualquer um dos resistores da associação. Podemos fazer uma analogia entre a associação de resistores em série e um fio a ser percorrido pela corrente quando dizemos que, ao fazer a associação dos resistores em série, é como se estivéssemos aumentando o comprimento ( $L$ ) do fio a ser percorrido pela corrente (lembre-se de que  $R = \rho L/A$ ).
2. Mais importante do que conhecer a relação entre os resistores que compõem a associação e o resistor equivalente é conhecer as relações entre corrente e tensão nesse tipo de circuito, sem as quais será difícil analisar circuitos em série.

Em estudos anteriores, vimos que a potência dissipada em um resistor pode ser calculada por:

$$P = VI = RI^2 = V^2/R$$

Dessa forma, uma vez que os resistores são percorridos pela mesma corrente elétrica, dois fatos merecem destaque na associação em série de resistores:

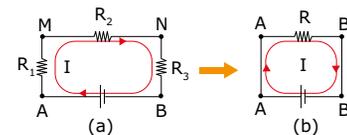
- A maior queda de tensão ou d.d.p. ( $V$ ) acontece no resistor que apresenta maior valor de resistência ( $I = \text{constante} \Rightarrow V \propto R$ ). Em outras palavras, esse resistor recebe a maior parcela da tensão total ( $V_{\text{FONTE}}$ );
- O resistor de resistência mais alta é aquele que vai dissipar a maior potência, esquentar mais e, conseqüentemente, consumir a maior parte da energia fornecida pela fonte ( $I = \text{constante} \Rightarrow P \propto R$  ou  $P \propto V^2$ ).

A seguir, apresentaremos um exercício resolvido no qual os conceitos até aqui abordados são revisados.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

**01.** Considere três resistores ligados em série e conectados a uma bateria, conforme mostrado.

**Dados:**  $V_{AB} = 16 \text{ V}$ ;  $R_1 = 1,0 \ \Omega$ ;  $R_2 = 4,0 \ \Omega$ ;  $R_3 = 3,0 \ \Omega$ .



Determine as correntes ( $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ) em cada resistor, a tensão nos terminais de cada um deles ( $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ ) e as potências dissipadas por eles ( $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ ).

### Resolução:

Observe na figura (a) que a corrente tem um único caminho para percorrer a associação. Assim, podemos afirmar que os resistores estão associados em série. Na figura (b), temos o circuito equivalente, no qual  $R = 8,0 \ \Omega$ .

Usando a relação  $V = RI$  no resistor equivalente (veja que ele está ligado diretamente aos terminais da bateria,  $V_R = V_{AB} = 16 \text{ V}$ ), temos:

$$16 = 8,0 \cdot I \Rightarrow I = 2,0 \text{ A (corrente no circuito).}$$

Como os resistores estão associados em série, temos que  $I = I_1 = I_2 = I_3 = 2,0 \text{ A}$ .

### OBSERVAÇÃO

Sabemos que  $Q = ne = I\Delta t$ . Em  $2,0 \text{ A}$ , temos, portanto, exatos  $1,25 \cdot 10^{19}$  elétrons (12,5 milhões de trilhões deles) percorrendo o circuito a cada segundo. Ou seja, a corrente obedece à quantização de cargas.

Vamos usar a relação  $V = RI$  em cada um dos resistores:

$$V_1 = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ V} \Rightarrow V_1 = 2,0 \text{ V}$$

$$V_2 = 4,0 \cdot 2,0 = 8,0 \text{ V} \Rightarrow V_2 = 8,0 \text{ V}$$

$$V_3 = 3,0 \cdot 2,0 = 6,0 \text{ V} \Rightarrow V_3 = 6,0 \text{ V}$$

Como os resistores estão associados em série, temos que  $V_{\text{Fonte}} = V_1 + V_2 + V_3 = 16 \text{ V}$ .

A potência dissipada nos resistores pode ser calculada por  $P = RI^2$ ; logo:

$$P_1 = 1,0 \cdot 2,0^2 = 4,0 \text{ W} \Rightarrow P_1 = 4,0 \text{ W}$$

$$P_2 = 4,0 \cdot 2,0^2 = 16 \text{ W} \Rightarrow P_2 = 16 \text{ W}$$

$$P_3 = 3,0 \cdot 2,0^2 = 12 \text{ W} \Rightarrow P_3 = 12 \text{ W}$$

$$P_T = 8,0 \cdot 2,0^2 \Rightarrow P_T = 32 \text{ W (potência total do circuito)}$$

Em qualquer associação:

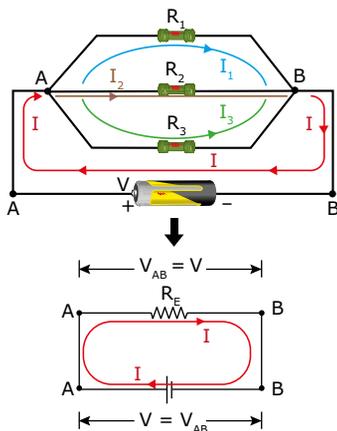
$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n \Rightarrow P_T = 4,0 + 16 + 12 = 32 \text{ W}$$

Da solução do exercício, é importante que se perceba que:

1. O resistor  $R_2$  não está ligado diretamente aos terminais da bateria e que a tensão entre os seus terminais é  $V_{MN} (V_2) = 8,0 \text{ V}$  e não  $V_{AB} = 16 \text{ V}$  (observe a figura original). Muitas pessoas têm dificuldade com isso.
2. Uma vez que a corrente é a mesma em todos os resistores da associação, o resistor  $R_2$ , de maior resistência, foi o que dissipou a maior potência ( $P \propto R$ ).

## Em paralelo

Na figura a seguir, temos três resistores ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) associados em paralelo e conectados a uma pilha de tensão  $V$ . A figura mostra também o circuito equivalente dessa associação.



Veja que os três resistores têm as suas extremidades ligadas diretamente aos terminais da bateria (pontos A e B). Dessa forma, todos os resistores estão submetidos à mesma diferença de potencial ( $V_{AB}$ ). Logo, podemos concluir que os três resistores estão associados em paralelo. Veja que, nesse caso, a tensão em qualquer um dos resistores é igual à d.d.p. fornecida pela fonte.

Observe, também, que a corrente total da associação (fornecida pela bateria) encontra três caminhos para ir de A para B (um em cada resistor). Dessa forma, ela se divide no ponto A e cada parcela da corrente passa por um dos resistores; ao chegarem ao ponto B, essas parcelas se juntam, formando novamente a corrente total que segue para a bateria. Assim, temos:

$$V_{\text{FONTE}} = V_1 = V_2 = V_3$$

$$I_{\text{TOTAL}} = I_1 + I_2 + I_3$$

Sabe-se que  $I = V/R$ . Utilizando essa relação na segunda equação do quadro anterior, temos:

$$\frac{V}{R} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

Simplificando as tensões, que são iguais, obtemos a seguinte relação:

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

Se apenas dois resistores estão associados em paralelo, podemos reescrever a relação anterior como:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

A respeito da resistência equivalente na associação de resistores em paralelo, vamos fazer três observações:

1. A resistência total (ou equivalente) da associação de resistores em paralelo é sempre menor que a resistência de qualquer um dos resistores da associação. Fazendo uma analogia entre a associação de resistores em paralelo e um fio a ser percorrido por uma corrente, podemos dizer que, ao fazer a associação em paralelo, é como se estivéssemos mantendo constante o comprimento do fio a ser percorrido pela corrente, mas estivéssemos aumentando a área ( $A$ ) do fio para a corrente passar (lembre-se de que  $R = \rho L/A$ ).
2. Conhecer a relação entre corrente e tensão nesse tipo de circuito é mais importante do que saber determinar sua resistência equivalente.
3. Se os resistores em paralelo apresentam resistências iguais, o resistor equivalente ( $R_E$ ) será obtido dividindo-se a resistência de um deles ( $R$ ) pelo número ( $n$ ) de resistores:

$$R_E = R/n$$

Em estudos anteriores, vimos que a potência dissipada em um resistor pode ser calculada por:

$$P = VI = RI^2 = V^2/R$$

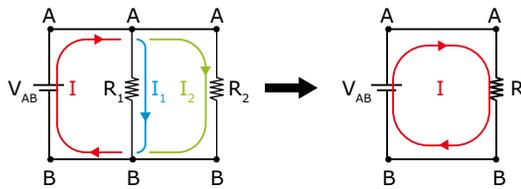
Uma vez que os resistores estão submetidos à mesma d.d.p. (ou tensão), dois fatos relevantes merecem destaque na ligação em paralelo de resistores:

- A maior corrente (mais intensa) vai atravessar o resistor de menor resistência ( $V = \text{constante} \Rightarrow I \propto 1/R$ ). Em outras palavras, a resistência menor recebe a maior parcela da corrente total ( $I$ );
- O resistor de resistência mais baixa é aquele que vai dissipar a maior potência (esquentar mais) e, conseqüentemente, consumir a maior parte da energia fornecida pela fonte ( $V = \text{constante} \Rightarrow P \propto I^2$  ou  $P \propto 1/R$ ).

Acompanhe com muita atenção o exercício a seguir.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 02.** Dois resistores ( $R_1 = 60 \Omega$  e  $R_2 = 30 \Omega$ ) são associados em paralelo e ligados a uma bateria ( $V_{AB} = 120 \text{ V}$ ).
- A) Determine a resistência equivalente ( $R$ ) da associação, as correntes ( $I_1$  e  $I_2$ ) e as potências dissipadas ( $P_1$  e  $P_2$ ) em cada resistor.
- B) Posteriormente, um outro resistor ( $R_3 = 20 \Omega$ ) é ligado em paralelo aos outros dois. Recalcule, agora, as correntes na associação.



### Resolução:

- A) Observe os pontos A e B colocados no esquema da associação. Eles nos garantem que os resistores 1 e 2 estão submetidos à mesma diferença de potencial ( $V_{AB}$ ) e, portanto, estão ligados em paralelo. Logo:

$$R = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2) = 60 \cdot 30 / 90 \Rightarrow R = 20 \Omega$$

No circuito equivalente,  $I_{\text{TOTAL}} = V/R = 120/20 \Rightarrow I = 6,0 \text{ A}$ .

Nessa associação,  $V_1 = V_2 = V_{AB} = 120 \text{ V}$  e  $I = V/R$ ; logo:

$$I_1 = V_1/R_1 = 120/60 \Rightarrow I_1 = 2,0 \text{ A}$$

$$I_2 = V_2/R_2 = 120/30 \Rightarrow I_2 = 4,0 \text{ A}$$

Como os resistores estão em paralelo,  $I_{\text{TOTAL}} = I_1 + I_2 = 6,0 \text{ A}$ .

Certamente, é possível perceber que, na associação, a corrente total (6,0 A) se dividiu em  $I_1 = 2,0 \text{ A}$  (azul) e  $I_2 = 4,0 \text{ A}$  (verde). No ponto B central, essas correntes ( $I_1$  e  $I_2$ ) se unem para formar, novamente, a corrente total.

Vamos calcular as potências dissipadas nos resistores  $R_1$  e  $R_2$  utilizando a relação  $P = RI^2$ :

$$P_1 = 60 \cdot 2,0^2 = 240 \text{ W} \Rightarrow P_1 = 240 \text{ W}$$

$$P_2 = 30 \cdot 4,0^2 = 480 \text{ W} \Rightarrow P_2 = 480 \text{ W}$$

$$P_T = 20 \cdot 6,0^2 = 720 \text{ W} \Rightarrow P_T = 720 \text{ W (potência total dissipada no circuito)}$$

Em qualquer associação:

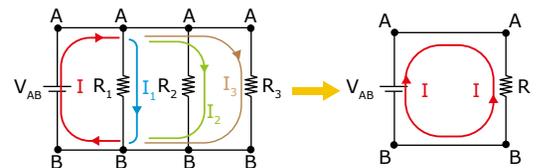
$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n \Rightarrow P_T = P_1 + P_2 = 240 + 480 = 720 \text{ W}$$

### OBSERVAÇÃO

O fato de o resistor apresentar uma resistência à passagem da corrente elétrica e, por causa disso, esquentar-se – efeito Joule – costuma provocar um erro conceitual. Muitos pensam que, quanto maior for a resistência elétrica, maior será o aquecimento. Isso não é totalmente verdadeiro, uma vez que a potência dissipada depende, também, da corrente que atravessa o resistor.

Veja o caso anterior. O resistor  $R_2$ , apesar de ter a metade da resistência de  $R_1$ , dissipa maior potência (esqueita mais). Isso acontece porque a corrente que atravessa o resistor  $R_2$  é o dobro daquela que passa por  $R_1$ . Note, na equação de potência ( $P = RI^2$ ), que a corrente está elevada ao quadrado e, nesse caso, é mais relevante do que a resistência.

- B) Vamos, agora, acrescentar o terceiro resistor ao circuito. Veja o esquema a seguir.



Calculando a resistência equivalente dessa associação, temos:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{60} + \frac{1}{30} + \frac{1}{20} \Rightarrow R = 10 \Omega$$

Antes de continuar, vamos constatar um fato importante. A resistência equivalente da associação com os resistores  $R_1$  e  $R_2$  é  $20 \Omega$ , menor que as resistências individuais de  $R_1$  e  $R_2$ . O resistor equivalente da associação com os resistores  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  tem resistência de  $10 \Omega$  (menor que a resistência equivalente da associação anterior). Ou seja, quanto mais resistores são colocados em paralelo, menor fica a resistência total do circuito e, conseqüentemente, maior será a corrente total, como veremos a seguir.

No circuito equivalente,  $I_{\text{TOTAL}} = V/R = 120/10 \Rightarrow I = 12 \text{ A}$ .

Nessa associação,  $V_1 = V_2 = V_3 = V_{AB} = 120 \text{ V}$  e  $I = V/R$ ; logo:

$$I_1 = V_1/R_1 = 120/60 \Rightarrow I_1 = 2,0 \text{ A}$$

$$I_2 = V_2/R_2 = 120/30 \Rightarrow I_2 = 4,0 \text{ A}$$

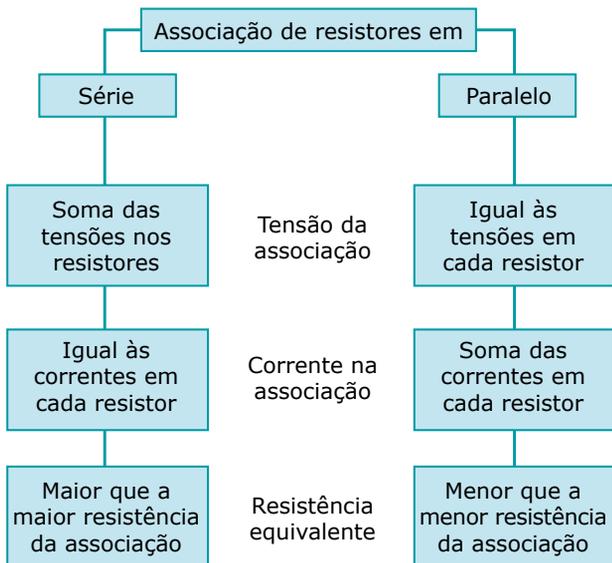
$$I_3 = V_3/R_3 = 120/20 \Rightarrow I_3 = 6,0 \text{ A}$$

Chegamos, agora, ao momento mais importante da solução. Observe que as correntes em  $R_1$  e  $R_2$  não sofreram alteração com a inserção do resistor  $R_3$ . Ou seja, na associação de elementos exclusivamente em paralelo, a corrente e a tensão em cada um dos elementos são independentes da corrente e da tensão dos demais elementos. Em outras palavras, cada um funciona sem tomar conhecimento dos outros que eventualmente estejam sendo inseridos ou retirados do circuito. O que é alterado é a corrente total da associação.

Da solução do exercício, é relevante notarmos que:

- Os resistores estão ligados diretamente aos terminais da bateria, e a tensão entre os terminais de todos eles é  $V_{AB} = 120 \text{ V}$  (volte à figura e observe). A grandeza que se divide entre os resistores é a corrente elétrica.
- Uma vez que a tensão é a mesma em todos os resistores da associação, o menor deles, no caso, o resistor  $R_3$ , é o que vai dissipar a maior potência ( $P \propto 1/R$ ).

Veja o mapa conceitual comparativo das associações de resistores em série e em paralelo:



**OBSERVAÇÃO**

Se os resistores formam uma associação exclusivamente em paralelo, como no Exercício Resolvido 02, não há necessidade de se calcular o resistor equivalente nem a corrente total. Uma vez que os resistores estão conectados diretamente à bateria, a tensão em cada um deles já é conhecida (tensão da bateria).

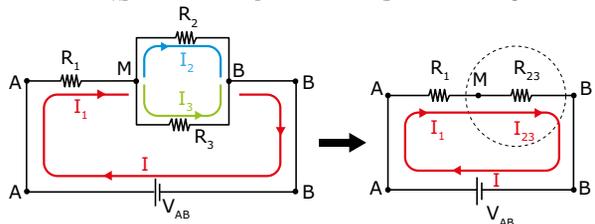
Assim, para calcular a corrente em cada resistor ( $n$ ), basta dividir a tensão da bateria pela resistência desse resistor ( $I_n = V_{BATERIA}/R_n$ ). A corrente total será a soma das correntes em cada resistor.

**Em associação mista**

É muito comum que os circuitos apresentem uma mistura de associações de elementos em série e em paralelo. Em uma associação mista de resistores, por mais complicada que seja, devemos trabalhar com cada associação separadamente. Deve-se começar com os resistores para os quais se tem certeza do tipo de associação – por isso é importante conhecer as características específicas da associação em série e da associação em paralelo. Vamos analisar dois exemplos de circuitos mistos.

**Exemplo 1:**

**Dados:**  $V_{AB} = 120 \text{ V}$ ;  $R_1 = 8,0 \Omega$ ;  $R_2 = 6,0 \Omega$ ;  $R_3 = 3,0 \Omega$ .



Veja que o resistor  $R_1$  não está em série com  $R_2$  e também não está em série com  $R_3$  (a corrente neles não é a mesma). Mas observe que as tensões em  $R_2$  e em  $R_3$  são iguais ( $V_2 = V_3 = V_{MB}$ ). Assim, os resistores  $R_2$  e  $R_3$  estão, com certeza, em paralelo. Deve-se, portanto, começar com eles e desenhar um outro circuito, colocando o resistor equivalente de  $R_2$  e  $R_3$ , conforme a figura anterior. Veja, nela, que os resistores  $R_1$  e  $R_{23}$  são percorridos pela mesma corrente. Assim, tais resistores estão associados em série, e o desenho do circuito equivalente a eles poderá ser feito. Vamos calcular a resistência equivalente e a corrente total no circuito, conforme a sequência a seguir.

$$R_{23} = (R_2 \cdot R_3)/(R_2 + R_3) = 6,0 \cdot 3,0/9,0 \Rightarrow R_{23} = 2,0 \Omega$$

$$R_E = R_1 + R_{23} = 8,0 + 2,0 \Rightarrow R_E = 10 \Omega$$

No circuito equivalente,  $I = V_{AB}/R_E = 120/10 \Rightarrow I = 12 \text{ A}$ .

As correntes em  $R_1$  e em  $R_{23}$  são iguais a  $I$ ; logo:

$$I_1 = I_{23} = 12 \text{ A}$$

A tensão em  $R_{23}$  é  $V_{MB} = R_{23} \cdot I_{23} = 2,0 \cdot 12 = 24 \text{ V}$ .

As correntes em  $R_2$  e  $R_3$  são  $I_2$  e  $I_3$ . Essas correntes podem ser calculadas como mostrado a seguir:

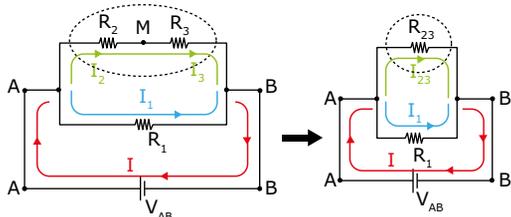
$$I_2 = V_{MB}/R_2 = 24/6,0 \Rightarrow I_2 = 4,0 \text{ A}$$

$$I_3 = V_{MB}/R_3 = 24/3,0 \Rightarrow I_3 = 8,0 \text{ A}$$

Observe que  $I = I_1 = I_2 + I_3$ .

**Exemplo 2:**

**Dados:**  $V_{AB} = 120 \text{ V}$ ;  $R_1 = 5,0 \ \Omega$ ;  $R_2 = 14 \ \Omega$ ;  $R_3 = 6,0 \ \Omega$ .



Veja que o resistor  $R_2$  está, com certeza, em série com  $R_3$ , pois a corrente elétrica que passa através deles é a mesma. Na análise dessa associação de resistores, devemos começar com os resistores  $R_2$  e  $R_3$  e desenhar um outro circuito (conforme o da direita), no qual é fácil perceber que  $R_1$  e  $R_{23}$  estão em paralelo ( $V_1 = V_{23} = V_{AB} = 120 \text{ V}$ ). Podemos representar o circuito equivalente e calcular a resistência elétrica total e a corrente total desse circuito conforme a sequência a seguir.

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 14 + 6,0 \Rightarrow R_{23} = 20 \ \Omega$$

$$R_E = (R_1 \cdot R_{23}) / (R_1 + R_{23}) = 5,0 \cdot 20 / 25 \Rightarrow R_E = 4,0 \ \Omega$$

$$\text{No circuito equivalente, } I = V_{AB} / R_E = 120 / 4,0 \Rightarrow I = 30 \text{ A.}$$

As correntes em  $R_1$  e  $R_{23}$  são  $I_1$  e  $I_{23}$  e podem ser calculadas como mostrado a seguir:

$$I_1 = V_{AB} / R_1 = 120 / 5,0 \Rightarrow I_1 = 24 \text{ A}$$

$$I_{23} = V_{AB} / R_{23} = 120 / 20 \Rightarrow I_{23} = 6,0 \text{ A}$$

Observe que  $I = I_1 + I_{23}$ .

As correntes que circulam pelos resistores  $R_2$  e  $R_3$  são iguais; logo,  $I_2 = I_3 = 6,0 \text{ A}$ .

As tensões em  $R_2$  e  $R_3$  são  $V_2$  e  $V_3$  e podem ser calculadas da seguinte maneira:

$$V_2 = V_{AM} = R_2 \cdot I_2 = 14 \cdot 6,0 \Rightarrow V_2 = 84 \text{ V}$$

$$V_3 = V_{MB} = R_3 \cdot I_3 = 6,0 \cdot 6,0 \Rightarrow V_3 = 36 \text{ V}$$

Note que  $V_{AB} = V_1 = V_2 + V_3 = 84 + 36 = 120 \text{ V}$ .

**OBSERVAÇÃO**

Nesse caso, não há necessidade de se calcular o circuito equivalente, uma vez que  $R_1$  está ligado diretamente aos terminais da bateria. A corrente no resistor  $R_1$  é  $I_1 = V_{AB} / R_1$ . Para resolver o circuito, basta calcular a corrente elétrica em  $R_2$  e  $R_3$ , que estão em série.

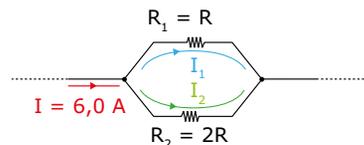
## DIVISÃO DE CORRENTE E DIVISÃO DE TENSÃO



A partir dos exercícios resolvidos anteriormente, foi possível perceber como dividir a corrente entre resistores associados em paralelo e como dividir a tensão entre resistores associados em série.

Uma ferramenta útil na análise das associações de resistores consiste em usar as proporcionalidades entre as grandezas para dividir a corrente ou a tensão entre os resistores sem necessidade de determinar o circuito equivalente.

Considere dois resistores associados em paralelo, que fazem parte de um circuito maior, e considere que conheçamos o valor da corrente que chega a eles. Como dividir essa corrente entre esses resistores?



Observe, na figura, que  $R_1 = R_2/2$ . Uma vez que eles estão em paralelo, as tensões são iguais e as correntes que atravessam cada um deles se somam para formar a corrente total. Sabemos que  $I = V/R$ , e, portanto, a corrente em cada resistor é inversamente proporcional à sua resistência (a tensão é a mesma para os dois).

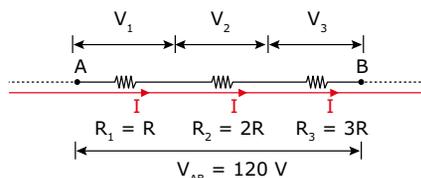
Como  $R_1 = R_2/2$ , temos que  $I_1 = 2I_2$ .

$$\text{Em paralelo, } I_1 + I_2 = I \Rightarrow 2I_2 + I_2 = 6,0 \text{ A} \Rightarrow 3I_2 = 6,0 \text{ A.}$$

$$\text{Assim, } I_2 = 2,0 \text{ A e } I_1 = 4,0 \text{ A.}$$

A associação em paralelo é um circuito chamado de divisor de corrente.

Observe, agora, três resistores associados em série e essa associação submetida a uma tensão  $V_{AB} = 120 \text{ V}$ . Como dividir a tensão entre os resistores?



Já que os resistores estão associados em série, a corrente é a mesma em todos eles, e as tensões em cada um se somam para formar a tensão total. Sabe-se que  $V = RI$  e, assim, a tensão em cada um dos resistores é diretamente proporcional à sua resistência (a corrente elétrica é a mesma). Portanto:

$$\text{Se } R_3 = 3R_1 \text{ e } R_2 = 2R_1, \text{ temos que } V_3 = 3V_1 \text{ e } V_2 = 2V_1.$$

$$\text{Em série, } V_1 + V_2 + V_3 = V_{AB} \Rightarrow V_1 + 2V_1 + 3V_1 = 120 \text{ V} \Rightarrow 6V_1 = 120 \Rightarrow V_1 = 20 \text{ V.}$$

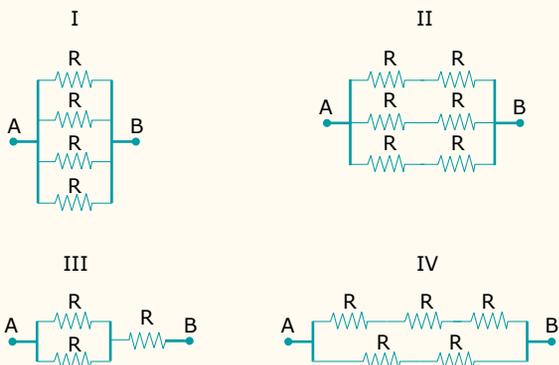
$$\text{Assim, } V_1 = 20 \text{ V, } V_2 = 40 \text{ V e } V_3 = 60 \text{ V.}$$

A associação em série é um circuito chamado de divisor de tensão. Assim, se você necessita de uma tensão menor do que aquela que está disponível, para fazer funcionar um aparelho, deverá ligar um resistor, de resistência específica, em série com o equipamento. Como haverá uma divisão da tensão entre eles, o aparelho usará apenas a tensão que lhe é devida.

# EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



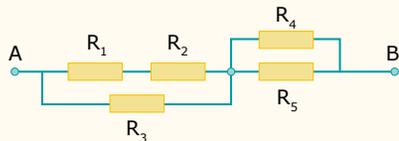
**01.** (UERJ-2019) B9ZK Resistores ôhmicos idênticos foram associados em quatro circuitos distintos e submetidos à mesma tensão  $U_{A,B}$ . Observe os esquemas:



Nessas condições, a corrente elétrica de menor intensidade se estabelece no seguinte circuito:

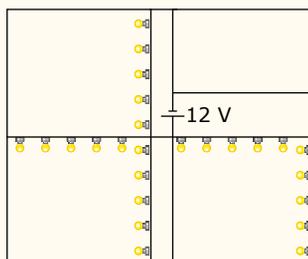
- A) I      B) II      C) III      D) IV

**02.** (PUC Minas) No circuito da figura a seguir, é correto afirmar que os resistores



- A)  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  estão em série.  
 B)  $R_1$  e  $R_2$  estão em série.  
 C)  $R_4$  e  $R_5$  não estão em paralelo.  
 D)  $R_1$  e  $R_3$  estão em paralelo.

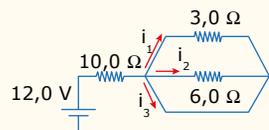
**03.** (FGV) Um barco de pesca era o mais iluminado do porto. Em cada cabresto, o pescador distribuiu 5 lâmpadas, todas idênticas e ligadas em série, conectando os extremos dessas ligações à bateria de 12 V da embarcação, segundo a configuração esquematizada.



Quando acesas todas essas lâmpadas, uma potência de 100 W era requisitada da bateria. Supondo que o fio utilizado nas conexões tenha resistência elétrica desprezível, a corrente elétrica que atravessava uma lâmpada do circuito é, aproximadamente,

- A) 2,4 A.      C) 1,7 A.      E) 0,4 A.  
 B) 2,1 A.      D) 1,5 A.

**04.** (UFV-MG) J5TP Os valores das correntes  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$  no circuito a seguir são, respectivamente,



- A) 0,33 A; 0,17 A e zero.      D) zero; zero e 1,00 A.  
 B) zero; zero e 1,20 A.      E) 33,3 A; 1,67 A e zero.  
 C) 3,33 A; 1,67 A e zero.

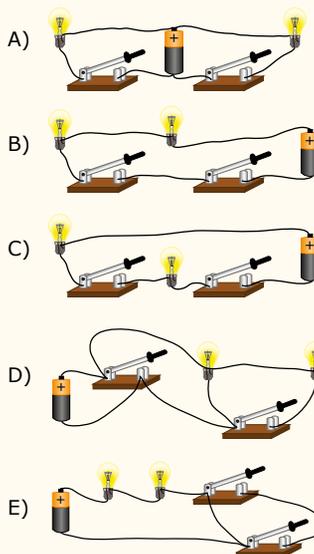
**05.** (CPS-SP) 9CC2 Tendo em vista a grande dificuldade em armazenar energia elétrica, a invenção da pilha representou um marco histórico importante.



Para demonstrar a versatilidade da pilha em circuitos elétricos fechados, um professor elaborou uma experiência usando uma pilha, duas chaves, duas lâmpadas e alguns pedaços de fio, construindo um circuito elétrico capaz de atender, em momentos distintos, às seguintes funções:

- I. Acender as duas lâmpadas ao mesmo tempo;
- II. Acender apenas uma lâmpada e manter, ao mesmo tempo, a outra apagada, podendo esta ação ser feita para ambas as lâmpadas;
- III. Manter apagadas as duas lâmpadas.

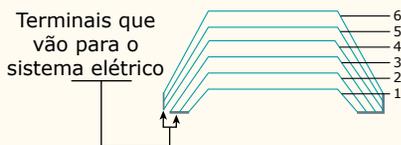
Sabendo que as tensões e correntes obtidas no circuito construído eram suficientes para que as lâmpadas se acendessem sem se queimarem, assinale a alternativa que contenha o esquema que corresponde ao circuito construído pelo professor.



06. ØKC7



(Vunesp) Alguns automóveis modernos são equipados com um vidro térmico traseiro para eliminar o embaçamento em dias úmidos. Para isso, "tiras resistivas" instaladas na face interna do vidro são conectadas ao sistema elétrico de modo que se possa transformar energia elétrica em energia térmica. Num dos veículos fabricados no país, por exemplo, essas tiras (resistores) são arranjadas como mostra a figura a seguir.



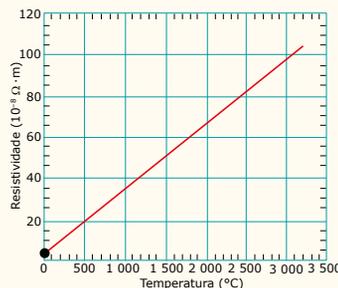
Se as resistências das tiras 1, 2..., 6 forem, respectivamente,  $R_1, R_2, \dots, R_6$ , a associação que corresponde ao arranjo das tiras da figura é:

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

07. (CMMG-2020) As lâmpadas incandescentes de filamento foram substituídas no mercado devido a sua baixa eficiência energética. A maior parte da energia elétrica que essas lâmpadas transformavam se dissipava na forma de calor, e pouco era aproveitado como fonte de luz. Entretanto, elas são usadas hoje como item de decoração, como mostra a figura.



O gráfico mostra a relação entre a resistividade do filamento da lâmpada e sua temperatura.



O comprimento do filamento de uma lâmpada de 40 W – 120 V é de 30 cm e o diâmetro de seu fio cilíndrico é de 0,03 mm. Considerando  $\pi = 3$ , a temperatura do filamento, quando a lâmpada está acesa, é de, aproximadamente,

- A) 700 °C.
- B) 1 500 °C.
- C) 2 000 °C.
- D) 2 500 °C.

08. P40C



(Unificado-RJ) Um resistor A tem o valor de sua resistência expresso por  $1 - x$ , enquanto um outro resistor B tem o valor de sua resistência expresso por  $1 + x$ , com  $0 < x < 1$ .  $R_1$  e  $R_2$  são, respectivamente, as resistências equivalentes obtidas quando A e B são associados em série e em paralelo. As expressões que representam  $R_1$  e  $R_2$ , nessa ordem, são:

- A)  $1 - x^2$  e  $\frac{1 - x^2}{2}$
- B)  $1 - x^2$  e  $\frac{2}{1 - x^2}$
- C)  $2$  e  $1 - x^2$
- D)  $2$  e  $\frac{1 - x^2}{2}$
- E)  $2$  e  $\frac{2}{1 - x^2}$

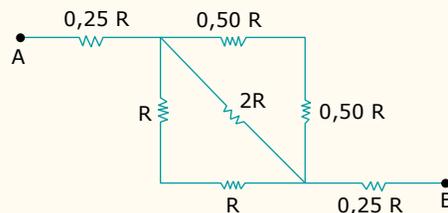
## EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. 8X0X



(PUC RS-2020) A figura apresenta parte de um circuito elétrico composto por resistores em uma associação mista.

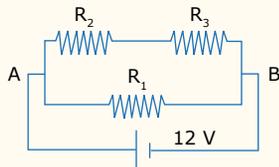


O resultado da resistência equivalente entre os pontos A e B é:

- A) 0,25R
- B) 0,50R
- C) 0,75R
- D) 1,00R

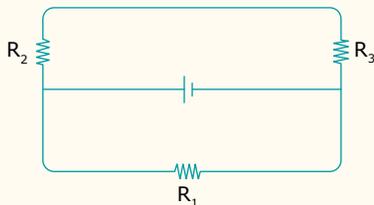


02. Observe o esquema. A bateria é ideal e as resistências de  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  são iguais a  $6 \Omega$ ,  $2 \Omega$  e  $4 \Omega$ , respectivamente. A respeito do circuito, é incorreto afirmar que



- A) as correntes que passam nos três resistores têm intensidades iguais.
- B) o resistor 1 libera, por segundo, mais calor do que a soma dos outros dois.
- C) se o resistor 3 queimar, a potência do resistor 1 fica a mesma de antes.
- D) a resistência total da associação, entre os pontos A e B, é igual a  $3 \Omega$ .
- E) se o resistor 1 queimar, as voltagens nos resistores 2 e 3 não se alteram.

03. (FMJ-SP) No circuito mostrado, o gerador e os fios de ligação são ideais, e os resistores  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  são ôhmicos e têm a mesma resistência elétrica.



Sabendo que o resistor  $R_1$  dissipa  $100 \text{ W}$  de potência, pode-se afirmar que o resistor  $R_2$  dissipa, em  $\text{W}$ , uma potência igual a

- A) 10.
- B) 25.
- C) 50.
- D) 75.
- E) 100.



04. (UPF-RS) Considere um circuito formado por dois resistores ôhmicos,  $R_1$  e  $R_2$  em série com uma bateria. Neste circuito, a energia dissipada por unidade de tempo pelo resistor  $R_2$  é o dobro do que a dissipada pelo resistor  $R_1$ . Sendo  $I_1$  e  $I_2$  as correntes elétricas que circulam pelos resistores, e  $V_1$  e  $V_2$  as quedas de potencial nos respectivos resistores, é correto afirmar que

- A)  $V_1 = V_2$ ;  $I_1 = I_2$ ;  $R_1 = R_2$ .
- B)  $V_1 \neq V_2$ ;  $I_1 = I_2$ ;  $R_1 = R_2$ .
- C)  $V_1 = V_2$ ;  $I_1 \neq I_2$ ;  $R_1 = R_2$ .
- D)  $V_1 \neq V_2$ ;  $I_1 = I_2$ ;  $2R_1 = R_2$ .
- E)  $V_1 \neq V_2$ ;  $I_1 = I_2$ ;  $R_1 = 2R_2$ .

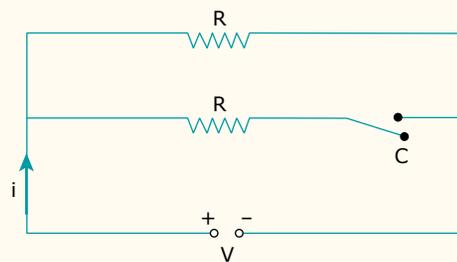
05.

(Uncisal) No recente blecaute que afetou a vida de milhões de brasileiros, um vestibulando de São Paulo, estado mais afetado pelo apagão, decidiu usar sua lanterna a pilha. Essa lanterna funciona com 3 pilhas comuns ( $1,5 \text{ V}$  cada) associadas em série, que vão constituir uma fonte de  $4,5 \text{ V}$  de tensão. Como a luminosidade fornecida pela lâmpada não lhe fosse suficiente e ele dispusesse de outra lâmpada idêntica, resolveu usar ambas simultaneamente improvisando uma associação. Para conseguir a luminosidade desejada, mais intensa, o vestibulando deve ter associado as lâmpadas em

- A) série, sabendo que assim as pilhas durariam a metade do tempo em comparação ao seu uso com uma lâmpada apenas.
- B) série, sabendo que as pilhas durariam o mesmo tempo que duram quando alimentam uma lâmpada apenas.
- C) paralelo, sabendo que as pilhas durariam menos tempo que duram quando alimentam uma lâmpada apenas.
- D) paralelo, sabendo que as pilhas durariam o mesmo tempo que duram quando alimentam uma lâmpada apenas.

06.

(PUC RS) No circuito representado a seguir, a diferença de potencial  $V$  é mantida constante, as resistências  $R$  são iguais e a chave  $C$  encontra-se inicialmente desligada.



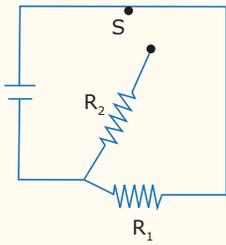
Ligando a chave  $C$ , os valores da resistência equivalente, intensidade de corrente  $i$  e potência elétrica total dissipada nos resistores, em relação aos valores iniciais, com a chave  $C$  aberta, ficam, respectivamente,

- A) o dobro, a metade, igual.
- B) a metade, o dobro, o dobro.
- C) a metade, o dobro, igual.
- D) o dobro, o dobro, a metade.
- E) o dobro, a metade, a metade.

07.

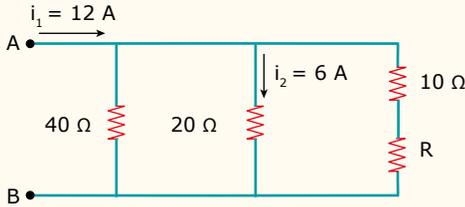


(UFJF-MG) Durante uma aula prática de Física, o professor pediu que os alunos medissem a corrente elétrica total que atravessa o circuito mostrado na figura a seguir, em duas situações distintas: a) com a chave  $S$  aberta e b) com a chave  $S$  fechada. Desprezando-se a resistência interna da bateria e sabendo-se que  $R_1 = 8,0 \Omega$ ,  $R_2 = 2,0 \Omega$  e  $V = 32,0 \text{ V}$ , calcule o valor da corrente elétrica total que atravessa o circuito com a chave  $S$  aberta e com a chave  $S$  fechada, respectivamente.



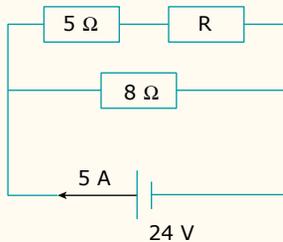
- A) 16,0 A e 4,0 A
- B) 3,2 A e 4,0 A
- C) 4,0 A e 51,2 A
- D) 3,2 A e 20,0 A
- E) 4,0 A e 20,0 A

**08.** (UERN) A resistência na associação de resistores a seguir é igual a



- A) 10 Ω.
- B) 20 Ω.
- C) 30 Ω.
- D) 40 Ω.

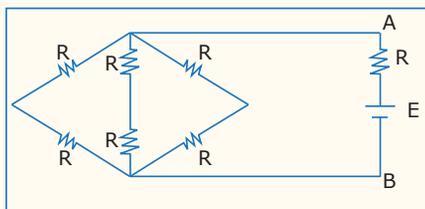
**09.** (IMED-RS) O circuito elétrico representado a seguir é composto por fios e bateria ideais.



Com base nas informações, qual é o valor da resistência indicada?

- A) 5 Ω.
- B) 6 Ω.
- C) 7 Ω.
- D) 8 Ω.
- E) 9 Ω.

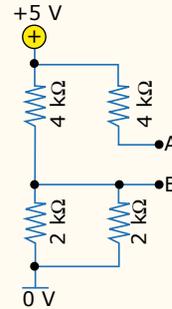
**10.** (EspCEX-SP) No circuito elétrico desenhado a seguir, todos os resistores ôhmicos são iguais e têm resistência  $R = 1,0 \Omega$ . Ele é alimentado por uma fonte ideal de tensão contínua de  $E = 5,0 \text{ V}$ . A diferença de potencial entre os pontos A e B é de



Desenho ilustrativo fora de escala.

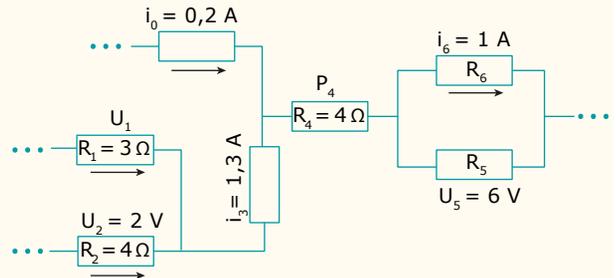
- A) 1,0 V.
- B) 2,0 V.
- C) 2,5 V.
- D) 3,0 V.
- E) 3,3 V.

**11.** (FUVEST-SP) No circuito da figura a seguir, a diferença de potencial, em módulo, entre os pontos A e B é de



- A) 5 V.
- B) 4 V.
- C) 3 V.
- D) 1 V.
- E) 0 V.

**12.** (UFPR) De um trecho de um circuito mais complexo, em que as setas indicam o sentido convencional da corrente elétrica, são conhecidas as informações apresentadas na figura a seguir.



Quanto aos valores que podem ser calculados no circuito, identifique as afirmativas a seguir como verdadeiras (v) ou falsas (f).

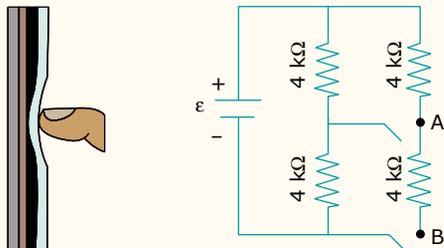
- ( ) A resistência elétrica no resistor  $R_5$  é de  $3 \Omega$ .
- ( ) A tensão elétrica no resistor  $R_1$  é de 2 V.
- ( ) A potência dissipada pelo resistor  $R_4$  é de 9 W.
- ( ) O valor da resistência elétrica  $R_6$  é de  $6 \Omega$ .

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta, de cima para baixo.

- A) V - F - V - F
- B) V - V - F - V
- C) F - F - V - V
- D) F - V - F - F
- E) V - F - V - V

## SEÇÃO ENEM

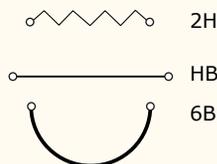
01. (Enem–2018) Muitos *smartphones* e *tablets* não precisam mais de teclas, uma vez que todos os comandos podem ser dados ao se pressionar a própria tela. Inicialmente essa tecnologia foi proporcionada por meio das telas resistivas, formadas basicamente por duas camadas de material condutor transparente que não se encostam até que alguém as pressione, modificando a resistência total do circuito de acordo com o ponto onde ocorre o toque. A imagem é uma simplificação do circuito formado pelas placas, em que A e B representam pontos onde o circuito pode ser fechado por meio do toque.



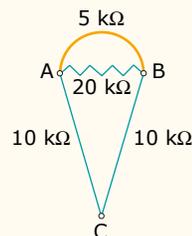
Qual é a resistência equivalente no circuito provocada por um toque que fecha o circuito no ponto A?

- A) 1,3 kΩ
- B) 4,0 kΩ
- C) 6,0 kΩ
- D) 6,7 kΩ
- E) 12,0 kΩ

02. (Enem) Por apresentar significativa resistência elétrica, o grafite pode ser utilizado para simular resistores elétricos em circuitos desenhados no papel, com o uso de lápis e lapiseiras. Dependendo da espessura e do comprimento das linhas desenhadas, é possível determinar a resistência elétrica de cada traçado produzido. No esquema foram utilizados três tipos de lápis diferentes (2H, HB e 6B) para efetuar três traçados distintos.



Munido dessas informações, um estudante pegou uma folha de papel e fez o desenho de um sorvete de casquinha utilizando-se desses traçados. Os valores encontrados nesse experimento, para as resistências elétricas (R), medidas com o auxílio de um ohmímetro ligado nas extremidades das resistências, são mostrados na figura. Verificou-se que os resistores obedeciam à Lei de Ohm.



Na sequência, conectou o ohmímetro nos terminais A e B do desenho e, em seguida, conectou-o nos terminais B e C, anotando as leituras  $R_{AB}$  e  $R_{BC}$ , respectivamente.

Ao estabelecer a razão  $\frac{R_{AB}}{R_{BC}}$ , qual resultado o estudante obteve?

- A) 1
- B)  $\frac{4}{7}$
- C)  $\frac{10}{27}$
- D)  $\frac{14}{81}$
- E)  $\frac{4}{81}$

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. C
- 02. B
- 03. C
- 04. B
- 05. A
- 06. B
- 07. D
- 08. D

#### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. D
- 02. B
- 03. B
- 04. D
- 05. C
- 06. B
- 07. E
- 08. C
- 09. C
- 10. B
- 11. B
- 12. C

#### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. C
- 02. B



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## Associação de Resistores

A corrente elétrica (um fluxo ordenado de cargas elétricas), ao percorrer um circuito elétrico (caminho por onde a corrente passa), conforme se sabe, produz consequências diversas, por exemplo, o aquecimento dos elementos do circuito, fenômeno conhecido como efeito Joule. Sabe-se, também, que a corrente elétrica pode ser contínua ou alternada, e aprendemos, em estudos anteriores, como calcular a potência elétrica e a energia elétrica “consumida” em um ou mais elementos de um circuito. Neste módulo, vamos retomar, complementar e aprofundar tais conceitos.

Chamamos de resistor qualquer elemento condutor colocado em um circuito, propositadamente, com o objetivo de transformar energia elétrica em energia térmica (caso dos aparelhos de aquecimento) ou de limitar a corrente fornecida a um dispositivo (muito usual em eletrônica). O resistor, assim como qualquer elemento colocado em um circuito elétrico, apresenta uma resistência elétrica, seja ela desejada ou não.

A maioria dos aparelhos que usamos e muitos dos circuitos utilizados em nosso cotidiano são combinações de dois ou mais resistores. Assim, eles devem ser conectados – de maneiras específicas – com o objetivo de nos fornecer o resultado que deles esperamos. Vamos descobrir como são essas ligações, denominadas associações de resistores, suas características e o uso que podemos fazer delas.

Antes de iniciar, vamos fazer uma convenção: os fios que interligam os elementos do circuito e a fonte de tensão (bateria, por exemplo) não oferecem dificuldade à passagem de corrente através deles, ou seja, os fios e a bateria apresentam resistência desprezível (são considerados ideais). Quando for importante considerar a resistência dos fios e / ou da fonte de tensão, isso será especificado.

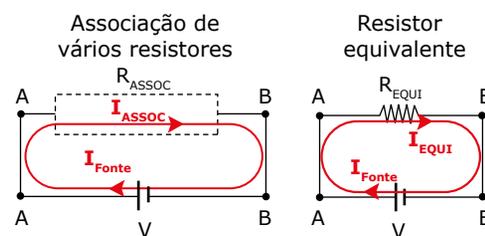
### ASSOCIAÇÕES DE RESISTORES

Em nosso estudo anterior, vimos que, num circuito formado por um resistor e por uma fonte de tensão (d.d.p.), existe uma transformação de energia. Os portadores de carga que constituem a corrente elétrica (elétrons ou íons) recebem energia quando passam através da fonte (a pilha, por exemplo, transforma energia química em

energia elétrica) e, ao passarem através do resistor, perdem a energia que a fonte lhes forneceu (ocorre transformação de energia elétrica em energia térmica). Observe, então, dois fatos importantes:

1. Toda corrente que **entra** por uma das extremidades de um resistor ou de uma fonte de tensão deve **sair** pela outra extremidade (o número de elétrons que entra é igual ao número de elétrons que sai – Princípio da Conservação das Cargas). Portanto, o resistor não “consome” corrente elétrica.
2. Em Eletricidade, a energia **fornecida** pela fonte de tensão deve ser “**consumida**” pelos elementos do circuito a cada instante (Princípio da Conservação da Energia). As usinas de eletricidade devem, a cada instante do dia, transformar outras formas de energia em energia elétrica para atender, exatamente, à demanda por energia elétrica que existe naquele momento.

Os resistores podem ser associados de várias maneiras: em série, em paralelo, em delta, em estrela, etc. Vamos considerar, aqui, apenas as ligações de elementos em série e em paralelo. Para tais associações, podemos montar um circuito equivalente, em que há um único resistor, chamado de resistor equivalente, que irá apresentar as mesmas características da associação.



Observe, na figura anterior, que as fontes, a associação de resistores e o resistor equivalente estão ligados, diretamente, aos pontos A e B. Sejam  $V$  = tensão,  $I$  = corrente,  $R$  = resistência e  $P$  = potência dissipada. Em qualquer tipo de associação de dois (ou mais) resistores, há características que são comuns a todas as associações e que, portanto, precisamos conhecer. São elas:

- 1 -  $V_{EQUI} = V_{ASSOC} = V_{FONTE}$
- 2 -  $I_{EQUI} = I_{ASSOC} = I_{FONTE}$
- 3 -  $R_{EQUI} = R_{ASSOC}$
- 4 -  $P_{EQUI} = P_{ASSOC} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$

No quadro,  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_n$  são as potências dissipadas, individualmente, nos resistores que formam a associação, qualquer que seja ela.

## COMO FAZER ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Fazer uma associação de resistores, de qualquer tipo, envolve uma metodologia de como os resistores são conectados entre si e com a bateria que lhes vai prover a diferença de potencial (tensão) necessária. Ou seja, o tipo de associação depende da maneira (*modus operandi*) como os resistores são ligados.

### Associação de resistores em série

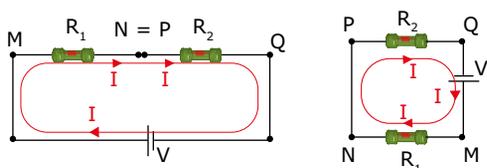
Considere os resistores 1 e 2 a seguir, de resistências  $R_1$  e  $R_2$ . Cada um apresenta duas extremidades livres (M, N e P, Q).



Fazer uma associação em série de dois resistores consiste em duas etapas:

1. Ligar as extremidades N (de  $R_1$ ) e P (de  $R_2$ );
2. Conectar a bateria aos terminais que estão livres – M (de  $R_1$ ) e Q (de  $R_2$ ).

Dessa forma, a corrente elétrica encontra apenas um caminho para percorrer o circuito conforme mostrado a seguir. Esse é um fato importante. Dizemos que dois ou mais resistores estão associados em **série** quando são percorridos pela **mesma corrente elétrica** (os mesmos portadores de carga atravessam os diversos resistores).



É possível notar que dois resistores em série não estão, necessariamente, na mesma reta.

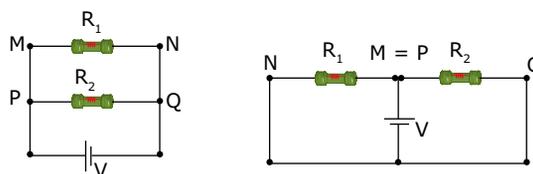
### Associação de resistores em paralelo

Para exemplificar a associação de dois resistores em paralelo, vamos usar os mesmos resistores 1 e 2 da montagem anterior. Fazer uma associação de dois resistores em paralelo exige três etapas, a saber:

1. Ligar a extremidade M (de  $R_1$ ) à extremidade P (de  $R_2$ );
2. Conectar as extremidades N (de  $R_1$ ) e Q (de  $R_2$ );

3. Estabelecer a conexão da bateria aos pontos que foram unidos (MP e NQ).

Observe que os pontos M e P estão submetidos a um mesmo potencial, assim como os pontos N e Q. Portanto,  $V_{MN} = V_{PQ} = V_{\text{FONTE}}$ . Logo, os dois resistores estão submetidos à mesma diferença de potencial ou tensão. Dizemos que dois ou mais resistores estão associados em **paralelo** se cada uma das extremidades de um dos resistores estiver no mesmo potencial em relação às extremidades dos outros resistores. Assim, resistores associados em paralelo estão submetidos à **mesma diferença de potencial**.

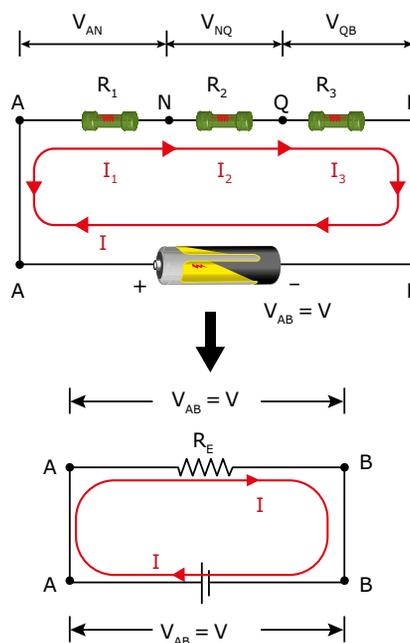


Com certeza, pode-se perceber que dois resistores associados em paralelo não são, obrigatoriamente, paralelos um ao outro.

## ESPECIFICIDADES DA ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

### Em série

A figura a seguir mostra três resistores ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) associados em série e conectados a uma pilha de tensão  $V$ . A figura mostra, também, o circuito equivalente dessa associação.



Observe que a corrente que percorre o circuito tem um único caminho para passar (seja na bateria, no resistor equivalente ou nos resistores da associação). Portanto, concluímos que os resistores estão ligados em série.

Observe, também, que os mesmos portadores de carga que formam a corrente devem passar, sucessivamente, nos resistores  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ . Portanto, os portadores de carga "gastam" uma parte da energia recebida da bateria em cada um dos resistores. Veja que  $V_1 = V_{AN}$ ,  $V_2 = V_{NQ}$  e  $V_3 = V_{QB}$ . Logo, podemos escrever:

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

$$V_{\text{FONTE}} = V_1 + V_2 + V_3$$

Sabemos que  $V = RI$ . Substituindo esse resultado na segunda relação do quadro anterior, temos:

$$RI = R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3$$

Simplificando as correntes, que são iguais, obtemos:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

A respeito dessa última relação, vamos fazer as seguintes considerações:

1. A resistência total (ou equivalente) de uma associação de resistores em série é sempre maior que a resistência de qualquer um dos resistores da associação. Podemos fazer uma analogia entre a associação de resistores em série e um fio a ser percorrido pela corrente quando dizemos que, ao fazer a associação dos resistores em série, é como se estivéssemos aumentando o comprimento ( $L$ ) do fio a ser percorrido pela corrente (lembre-se de que  $R = \rho L/A$ ).
2. Mais importante do que conhecer a relação entre os resistores que compõem a associação e o resistor equivalente é conhecer as relações entre corrente e tensão nesse tipo de circuito, sem as quais será difícil analisar circuitos em série.

Em estudos anteriores, vimos que a potência dissipada em um resistor pode ser calculada por:

$$P = VI = RI^2 = V^2/R$$

Dessa forma, uma vez que os resistores são percorridos pela mesma corrente elétrica, dois fatos merecem destaque na associação em série de resistores:

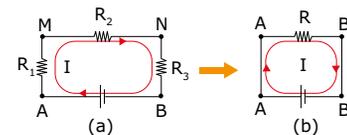
- A maior queda de tensão ou d.d.p. ( $V$ ) acontece no resistor que apresenta maior valor de resistência ( $I = \text{constante} \Rightarrow V \propto R$ ). Em outras palavras, esse resistor recebe a maior parcela da tensão total ( $V_{\text{FONTE}}$ );
- O resistor de resistência mais alta é aquele que vai dissipar a maior potência, esquentar mais e, conseqüentemente, consumir a maior parte da energia fornecida pela fonte ( $I = \text{constante} \Rightarrow P \propto R$  ou  $P \propto V^2$ ).

A seguir, apresentaremos um exercício resolvido no qual os conceitos até aqui abordados são revisados.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

**01.** Considere três resistores ligados em série e conectados a uma bateria, conforme mostrado.

**Dados:**  $V_{AB} = 16 \text{ V}$ ;  $R_1 = 1,0 \Omega$ ;  $R_2 = 4,0 \Omega$ ;  $R_3 = 3,0 \Omega$ .



Determine as correntes ( $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ) em cada resistor, a tensão nos terminais de cada um deles ( $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ ) e as potências dissipadas por eles ( $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ ).

### Resolução:

Observe na figura (a) que a corrente tem um único caminho para percorrer a associação. Assim, podemos afirmar que os resistores estão associados em série. Na figura (b), temos o circuito equivalente, no qual  $R = 8,0 \Omega$ .

Usando a relação  $V = RI$  no resistor equivalente (veja que ele está ligado diretamente aos terminais da bateria,  $V_R = V_{AB} = 16 \text{ V}$ ), temos:

$$16 = 8,0 \cdot I \Rightarrow I = 2,0 \text{ A (corrente no circuito).}$$

Como os resistores estão associados em série, temos que  $I = I_1 = I_2 = I_3 = 2,0 \text{ A}$ .

### OBSERVAÇÃO

Sabemos que  $Q = ne = I\Delta t$ . Em  $2,0 \text{ A}$ , temos, portanto, exatos  $1,25 \cdot 10^{19}$  elétrons (12,5 milhões de trilhões deles) percorrendo o circuito a cada segundo. Ou seja, a corrente obedece à quantização de cargas.

Vamos usar a relação  $V = RI$  em cada um dos resistores:

$$V_1 = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ V} \Rightarrow V_1 = 2,0 \text{ V}$$

$$V_2 = 4,0 \cdot 2,0 = 8,0 \text{ V} \Rightarrow V_2 = 8,0 \text{ V}$$

$$V_3 = 3,0 \cdot 2,0 = 6,0 \text{ V} \Rightarrow V_3 = 6,0 \text{ V}$$

Como os resistores estão associados em série, temos que  $V_{\text{Fonte}} = V_1 + V_2 + V_3 = 16 \text{ V}$ .

A potência dissipada nos resistores pode ser calculada por  $P = RI^2$ ; logo:

$$P_1 = 1,0 \cdot 2,0^2 = 4,0 \text{ W} \Rightarrow P_1 = 4,0 \text{ W}$$

$$P_2 = 4,0 \cdot 2,0^2 = 16 \text{ W} \Rightarrow P_2 = 16 \text{ W}$$

$$P_3 = 3,0 \cdot 2,0^2 = 12 \text{ W} \Rightarrow P_3 = 12 \text{ W}$$

$$P_T = 8,0 \cdot 2,0^2 \Rightarrow P_T = 32 \text{ W (potência total do circuito)}$$

Em qualquer associação:

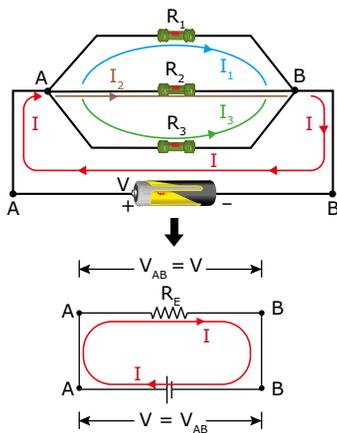
$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n \Rightarrow P_T = 4,0 + 16 + 12 = 32 \text{ W}$$

Da solução do exercício, é importante que se perceba que:

1. O resistor  $R_2$  não está ligado diretamente aos terminais da bateria e que a tensão entre os seus terminais é  $V_{MN} (V_2) = 8,0 \text{ V}$  e não  $V_{AB} = 16 \text{ V}$  (observe a figura original). Muitas pessoas têm dificuldade com isso.
2. Uma vez que a corrente é a mesma em todos os resistores da associação, o resistor  $R_2$ , de maior resistência, foi o que dissipou a maior potência ( $P \propto R$ ).

## Em paralelo

Na figura a seguir, temos três resistores ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) associados em paralelo e conectados a uma pilha de tensão  $V$ . A figura mostra também o circuito equivalente dessa associação.



Veja que os três resistores têm as suas extremidades ligadas diretamente aos terminais da bateria (pontos A e B). Dessa forma, todos os resistores estão submetidos à mesma diferença de potencial ( $V_{AB}$ ). Logo, podemos concluir que os três resistores estão associados em paralelo. Veja que, nesse caso, a tensão em qualquer um dos resistores é igual à d.d.p. fornecida pela fonte.

Observe, também, que a corrente total da associação (fornecida pela bateria) encontra três caminhos para ir de A para B (um em cada resistor). Dessa forma, ela se divide no ponto A e cada parcela da corrente passa por um dos resistores; ao chegarem ao ponto B, essas parcelas se juntam, formando novamente a corrente total que segue para a bateria. Assim, temos:

$$V_{\text{FONTE}} = V_1 = V_2 = V_3$$

$$I_{\text{TOTAL}} = I_1 + I_2 + I_3$$

Sabe-se que  $I = V/R$ . Utilizando essa relação na segunda equação do quadro anterior, temos:

$$\frac{V}{R} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

Simplificando as tensões, que são iguais, obtemos a seguinte relação:

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

Se apenas dois resistores estão associados em paralelo, podemos reescrever a relação anterior como:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

A respeito da resistência equivalente na associação de resistores em paralelo, vamos fazer três observações:

1. A resistência total (ou equivalente) da associação de resistores em paralelo é sempre menor que a resistência de qualquer um dos resistores da associação. Fazendo uma analogia entre a associação de resistores em paralelo e um fio a ser percorrido por uma corrente, podemos dizer que, ao fazer a associação em paralelo, é como se estivéssemos mantendo constante o comprimento do fio a ser percorrido pela corrente, mas estivéssemos aumentando a área ( $A$ ) do fio para a corrente passar (lembre-se de que  $R = \rho L/A$ ).
2. Conhecer a relação entre corrente e tensão nesse tipo de circuito é mais importante do que saber determinar sua resistência equivalente.
3. Se os resistores em paralelo apresentam resistências iguais, o resistor equivalente ( $R_E$ ) será obtido dividindo-se a resistência de um deles ( $R$ ) pelo número ( $n$ ) de resistores:

$$R_E = R/n$$

Em estudos anteriores, vimos que a potência dissipada em um resistor pode ser calculada por:

$$P = VI = RI^2 = V^2/R$$

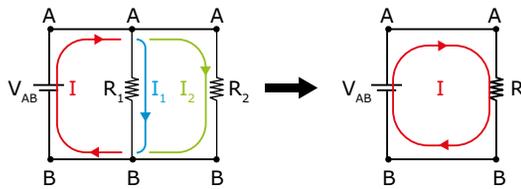
Uma vez que os resistores estão submetidos à mesma d.d.p. (ou tensão), dois fatos relevantes merecem destaque na ligação em paralelo de resistores:

- A maior corrente (mais intensa) vai atravessar o resistor de menor resistência ( $V = \text{constante} \Rightarrow I \propto 1/R$ ). Em outras palavras, a resistência menor recebe a maior parcela da corrente total ( $I$ );
- O resistor de resistência mais baixa é aquele que vai dissipar a maior potência (esquentar mais) e, conseqüentemente, consumir a maior parte da energia fornecida pela fonte ( $V = \text{constante} \Rightarrow P \propto I^2$  ou  $P \propto 1/R$ ).

Acompanhe com muita atenção o exercício a seguir.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 02.** Dois resistores ( $R_1 = 60 \Omega$  e  $R_2 = 30 \Omega$ ) são associados em paralelo e ligados a uma bateria ( $V_{AB} = 120 \text{ V}$ ).
- A) Determine a resistência equivalente ( $R$ ) da associação, as correntes ( $I_1$  e  $I_2$ ) e as potências dissipadas ( $P_1$  e  $P_2$ ) em cada resistor.
- B) Posteriormente, um outro resistor ( $R_3 = 20 \Omega$ ) é ligado em paralelo aos outros dois. Recalcule, agora, as correntes na associação.



### Resolução:

- A) Observe os pontos A e B colocados no esquema da associação. Eles nos garantem que os resistores 1 e 2 estão submetidos à mesma diferença de potencial ( $V_{AB}$ ) e, portanto, estão ligados em paralelo. Logo:

$$R = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2) = 60 \cdot 30 / 90 \Rightarrow R = 20 \Omega$$

No circuito equivalente,  $I_{\text{TOTAL}} = V/R = 120/20 \Rightarrow I = 6,0 \text{ A}$ .

Nessa associação,  $V_1 = V_2 = V_{AB} = 120 \text{ V}$  e  $I = V/R$ ; logo:

$$I_1 = V_1/R_1 = 120/60 \Rightarrow I_1 = 2,0 \text{ A}$$

$$I_2 = V_2/R_2 = 120/30 \Rightarrow I_2 = 4,0 \text{ A}$$

Como os resistores estão em paralelo,  $I_{\text{TOTAL}} = I_1 + I_2 = 6,0 \text{ A}$ .

Certamente, é possível perceber que, na associação, a corrente total (6,0 A) se dividiu em  $I_1 = 2,0 \text{ A}$  (azul) e  $I_2 = 4,0 \text{ A}$  (verde). No ponto B central, essas correntes ( $I_1$  e  $I_2$ ) se unem para formar, novamente, a corrente total.

Vamos calcular as potências dissipadas nos resistores  $R_1$  e  $R_2$  utilizando a relação  $P = RI^2$ :

$$P_1 = 60 \cdot 2,0^2 = 240 \text{ W} \Rightarrow P_1 = 240 \text{ W}$$

$$P_2 = 30 \cdot 4,0^2 = 480 \text{ W} \Rightarrow P_2 = 480 \text{ W}$$

$$P_T = 20 \cdot 6,0^2 = 720 \text{ W} \Rightarrow P_T = 720 \text{ W (potência total dissipada no circuito)}$$

Em qualquer associação:

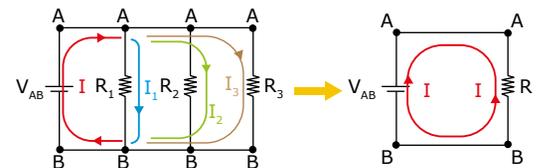
$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n \Rightarrow P_T = P_1 + P_2 = 240 + 480 = 720 \text{ W}$$

### OBSERVAÇÃO

O fato de o resistor apresentar uma resistência à passagem da corrente elétrica e, por causa disso, esquentar-se – efeito Joule – costuma provocar um erro conceitual. Muitos pensam que, quanto maior for a resistência elétrica, maior será o aquecimento. Isso não é totalmente verdadeiro, uma vez que a potência dissipada depende, também, da corrente que atravessa o resistor.

Veja o caso anterior. O resistor  $R_2$ , apesar de ter a metade da resistência de  $R_1$ , dissipa maior potência (esqueita mais). Isso acontece porque a corrente que atravessa o resistor  $R_2$  é o dobro daquela que passa por  $R_1$ . Note, na equação de potência ( $P = RI^2$ ), que a corrente está elevada ao quadrado e, nesse caso, é mais relevante do que a resistência.

- B) Vamos, agora, acrescentar o terceiro resistor ao circuito. Veja o esquema a seguir.



Calculando a resistência equivalente dessa associação, temos:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{60} + \frac{1}{30} + \frac{1}{20} \Rightarrow R = 10 \Omega$$

Antes de continuar, vamos constatar um fato importante. A resistência equivalente da associação com os resistores  $R_1$  e  $R_2$  é  $20 \Omega$ , menor que as resistências individuais de  $R_1$  e  $R_2$ . O resistor equivalente da associação com os resistores  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  tem resistência de  $10 \Omega$  (menor que a resistência equivalente da associação anterior). Ou seja, quanto mais resistores são colocados em paralelo, menor fica a resistência total do circuito e, conseqüentemente, maior será a corrente total, como veremos a seguir.

No circuito equivalente,  $I_{\text{TOTAL}} = V/R = 120/10 \Rightarrow I = 12 \text{ A}$ .

Nessa associação,  $V_1 = V_2 = V_3 = V_{AB} = 120 \text{ V}$  e  $I = V/R$ ; logo:

$$I_1 = V_1/R_1 = 120/60 \Rightarrow I_1 = 2,0 \text{ A}$$

$$I_2 = V_2/R_2 = 120/30 \Rightarrow I_2 = 4,0 \text{ A}$$

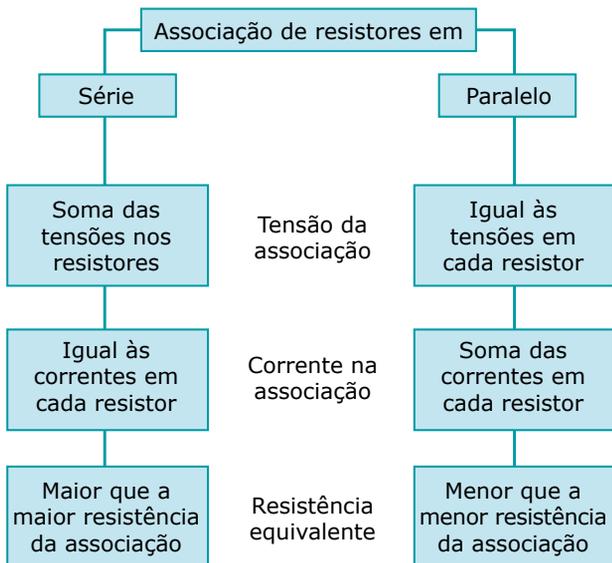
$$I_3 = V_3/R_3 = 120/20 \Rightarrow I_3 = 6,0 \text{ A}$$

Chegamos, agora, ao momento mais importante da solução. Observe que as correntes em  $R_1$  e  $R_2$  não sofreram alteração com a inserção do resistor  $R_3$ . Ou seja, na associação de elementos exclusivamente em paralelo, a corrente e a tensão em cada um dos elementos são independentes da corrente e da tensão dos demais elementos. Em outras palavras, cada um funciona sem tomar conhecimento dos outros que eventualmente estejam sendo inseridos ou retirados do circuito. O que é alterado é a corrente total da associação.

Da solução do exercício, é relevante notarmos que:

- Os resistores estão ligados diretamente aos terminais da bateria, e a tensão entre os terminais de todos eles é  $V_{AB} = 120 \text{ V}$  (volte à figura e observe). A grandeza que se divide entre os resistores é a corrente elétrica.
- Uma vez que a tensão é a mesma em todos os resistores da associação, o menor deles, no caso, o resistor  $R_3$ , é o que vai dissipar a maior potência ( $P \propto 1/R$ ).

Veja o mapa conceitual comparativo das associações de resistores em série e em paralelo:



**OBSERVAÇÃO**

Se os resistores formam uma associação exclusivamente em paralelo, como no Exercício Resolvido 02, não há necessidade de se calcular o resistor equivalente nem a corrente total. Uma vez que os resistores estão conectados diretamente à bateria, a tensão em cada um deles já é conhecida (tensão da bateria).

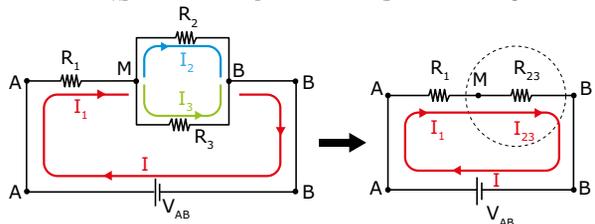
Assim, para calcular a corrente em cada resistor ( $n$ ), basta dividir a tensão da bateria pela resistência desse resistor ( $I_n = V_{BAT}/R_n$ ). A corrente total será a soma das correntes em cada resistor.

**Em associação mista**

É muito comum que os circuitos apresentem uma mistura de associações de elementos em série e em paralelo. Em uma associação mista de resistores, por mais complicada que seja, devemos trabalhar com cada associação separadamente. Deve-se começar com os resistores para os quais se tem certeza do tipo de associação – por isso é importante conhecer as características específicas da associação em série e da associação em paralelo. Vamos analisar dois exemplos de circuitos mistos.

**Exemplo 1:**

**Dados:**  $V_{AB} = 120 \text{ V}$ ;  $R_1 = 8,0 \Omega$ ;  $R_2 = 6,0 \Omega$ ;  $R_3 = 3,0 \Omega$ .



Veja que o resistor  $R_1$  não está em série com  $R_2$  e também não está em série com  $R_3$  (a corrente neles não é a mesma). Mas observe que as tensões em  $R_2$  e em  $R_3$  são iguais ( $V_2 = V_3 = V_{MB}$ ). Assim, os resistores  $R_2$  e  $R_3$  estão, com certeza, em paralelo. Deve-se, portanto, começar com eles e desenhar um outro circuito, colocando o resistor equivalente de  $R_2$  e  $R_3$ , conforme a figura anterior. Veja, nela, que os resistores  $R_1$  e  $R_{23}$  são percorridos pela mesma corrente. Assim, tais resistores estão associados em série, e o desenho do circuito equivalente a eles poderá ser feito. Vamos calcular a resistência equivalente e a corrente total no circuito, conforme a sequência a seguir.

$$R_{23} = (R_2 \cdot R_3)/(R_2 + R_3) = 6,0 \cdot 3,0/9,0 \Rightarrow R_{23} = 2,0 \Omega$$

$$R_E = R_1 + R_{23} = 8,0 + 2,0 \Rightarrow R_E = 10 \Omega$$

No circuito equivalente,  $I = V_{AB}/R_E = 120/10 \Rightarrow I = 12 \text{ A}$ .

As correntes em  $R_1$  e em  $R_{23}$  são iguais a  $I$ ; logo:

$$I_1 = I_{23} = 12 \text{ A}$$

A tensão em  $R_{23}$  é  $V_{MB} = R_{23} \cdot I_{23} = 2,0 \cdot 12 = 24 \text{ V}$ .

As correntes em  $R_2$  e  $R_3$  são  $I_2$  e  $I_3$ . Essas correntes podem ser calculadas como mostrado a seguir:

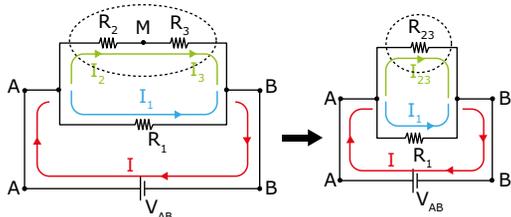
$$I_2 = V_{MB}/R_2 = 24/6,0 \Rightarrow I_2 = 4,0 \text{ A}$$

$$I_3 = V_{MB}/R_3 = 24/3,0 \Rightarrow I_3 = 8,0 \text{ A}$$

Observe que  $I = I_1 = I_2 + I_3$ .

**Exemplo 2:**

**Dados:**  $V_{AB} = 120 \text{ V}$ ;  $R_1 = 5,0 \ \Omega$ ;  $R_2 = 14 \ \Omega$ ;  $R_3 = 6,0 \ \Omega$ .



Veja que o resistor  $R_2$  está, com certeza, em série com  $R_3$ , pois a corrente elétrica que passa através deles é a mesma. Na análise dessa associação de resistores, devemos começar com os resistores  $R_2$  e  $R_3$  e desenhar um outro circuito (conforme o da direita), no qual é fácil perceber que  $R_1$  e  $R_{23}$  estão em paralelo ( $V_1 = V_{23} = V_{AB} = 120 \text{ V}$ ). Podemos representar o circuito equivalente e calcular a resistência elétrica total e a corrente total desse circuito conforme a sequência a seguir.

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 14 + 6,0 \Rightarrow R_{23} = 20 \ \Omega$$

$$R_E = (R_1 \cdot R_{23}) / (R_1 + R_{23}) = 5,0 \cdot 20 / 25 \Rightarrow R_E = 4,0 \ \Omega$$

$$\text{No circuito equivalente, } I = V_{AB} / R_E = 120 / 4,0 \Rightarrow I = 30 \text{ A.}$$

As correntes em  $R_1$  e  $R_{23}$  são  $I_1$  e  $I_{23}$  e podem ser calculadas como mostrado a seguir:

$$I_1 = V_{AB} / R_1 = 120 / 5,0 \Rightarrow I_1 = 24 \text{ A}$$

$$I_{23} = V_{AB} / R_{23} = 120 / 20 \Rightarrow I_{23} = 6,0 \text{ A}$$

Observe que  $I = I_1 + I_{23}$ .

As correntes que circulam pelos resistores  $R_2$  e  $R_3$  são iguais; logo,  $I_2 = I_3 = 6,0 \text{ A}$ .

As tensões em  $R_2$  e  $R_3$  são  $V_2$  e  $V_3$  e podem ser calculadas da seguinte maneira:

$$V_2 = V_{AM} = R_2 \cdot I_2 = 14 \cdot 6,0 \Rightarrow V_2 = 84 \text{ V}$$

$$V_3 = V_{MB} = R_3 \cdot I_3 = 6,0 \cdot 6,0 \Rightarrow V_3 = 36 \text{ V}$$

Note que  $V_{AB} = V_1 = V_2 + V_3 = 84 + 36 = 120 \text{ V}$ .

**OBSERVAÇÃO**

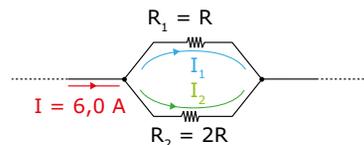
Nesse caso, não há necessidade de se calcular o circuito equivalente, uma vez que  $R_1$  está ligado diretamente aos terminais da bateria. A corrente no resistor  $R_1$  é  $I_1 = V_{AB} / R_1$ . Para resolver o circuito, basta calcular a corrente elétrica em  $R_2$  e  $R_3$ , que estão em série.

## DIVISÃO DE CORRENTE E DIVISÃO DE TENSÃO

A partir dos exercícios resolvidos anteriormente, foi possível perceber como dividir a corrente entre resistores associados em paralelo e como dividir a tensão entre resistores associados em série.

Uma ferramenta útil na análise das associações de resistores consiste em usar as proporcionalidades entre as grandezas para dividir a corrente ou a tensão entre os resistores sem necessidade de determinar o circuito equivalente.

Considere dois resistores associados em paralelo, que fazem parte de um circuito maior, e considere que conheçamos o valor da corrente que chega a eles. Como dividir essa corrente entre esses resistores?



Observe, na figura, que  $R_1 = R_2/2$ . Uma vez que eles estão em paralelo, as tensões são iguais e as correntes que atravessam cada um deles se somam para formar a corrente total. Sabemos que  $I = V/R$ , e, portanto, a corrente em cada resistor é inversamente proporcional à sua resistência (a tensão é a mesma para os dois).

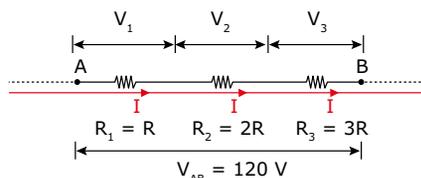
Como  $R_1 = R_2/2$ , temos que  $I_1 = 2I_2$ .

$$\text{Em paralelo, } I_1 + I_2 = I \Rightarrow 2I_2 + I_2 = 6,0 \text{ A} \Rightarrow 3I_2 = 6,0 \text{ A.}$$

$$\text{Assim, } I_2 = 2,0 \text{ A e } I_1 = 4,0 \text{ A.}$$

A associação em paralelo é um circuito chamado de divisor de corrente.

Observe, agora, três resistores associados em série e essa associação submetida a uma tensão  $V_{AB} = 120 \text{ V}$ . Como dividir a tensão entre os resistores?



Já que os resistores estão associados em série, a corrente é a mesma em todos eles, e as tensões em cada um se somam para formar a tensão total. Sabe-se que  $V = RI$  e, assim, a tensão em cada um dos resistores é diretamente proporcional à sua resistência (a corrente elétrica é a mesma). Portanto:

$$\text{Se } R_3 = 3R_1 \text{ e } R_2 = 2R_1, \text{ temos que } V_3 = 3V_1 \text{ e } V_2 = 2V_1.$$

$$\text{Em série, } V_1 + V_2 + V_3 = V_{AB} \Rightarrow V_1 + 2V_1 + 3V_1 = 120 \text{ V} \Rightarrow 6V_1 = 120 \Rightarrow V_1 = 20 \text{ V.}$$

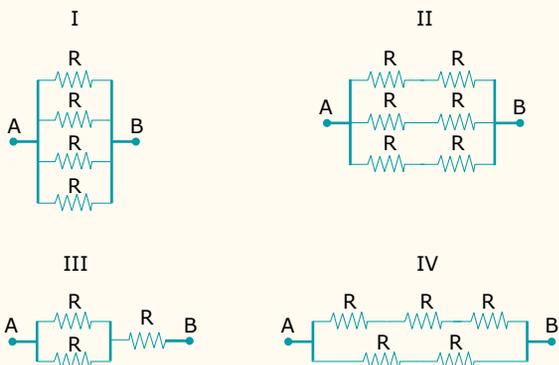
$$\text{Assim, } V_1 = 20 \text{ V, } V_2 = 40 \text{ V e } V_3 = 60 \text{ V.}$$

A associação em série é um circuito chamado de divisor de tensão. Assim, se você necessita de uma tensão menor do que aquela que está disponível, para fazer funcionar um aparelho, deverá ligar um resistor, de resistência específica, em série com o equipamento. Como haverá uma divisão da tensão entre eles, o aparelho usará apenas a tensão que lhe é devida.

# EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



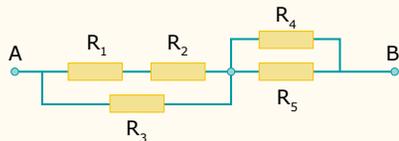
**01.** (UERJ-2019) B9ZK Resistores ôhmicos idênticos foram associados em quatro circuitos distintos e submetidos à mesma tensão  $U_{A,B}$ . Observe os esquemas:



Nessas condições, a corrente elétrica de menor intensidade se estabelece no seguinte circuito:

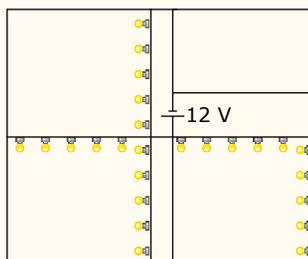
- A) I      B) II      C) III      D) IV

**02.** (PUC Minas) No circuito da figura a seguir, é correto afirmar que os resistores



- A)  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  estão em série.  
 B)  $R_1$  e  $R_2$  estão em série.  
 C)  $R_4$  e  $R_5$  não estão em paralelo.  
 D)  $R_1$  e  $R_3$  estão em paralelo.

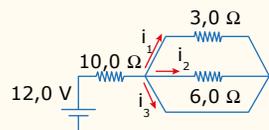
**03.** (FGV) Um barco de pesca era o mais iluminado do porto. Em cada cabresto, o pescador distribuiu 5 lâmpadas, todas idênticas e ligadas em série, conectando os extremos dessas ligações à bateria de 12 V da embarcação, segundo a configuração esquematizada.



Quando acesas todas essas lâmpadas, uma potência de 100 W era requisitada da bateria. Supondo que o fio utilizado nas conexões tenha resistência elétrica desprezível, a corrente elétrica que atravessava uma lâmpada do circuito é, aproximadamente,

- A) 2,4 A.      C) 1,7 A.      E) 0,4 A.  
 B) 2,1 A.      D) 1,5 A.

**04.** (UFV-MG) J5TP Os valores das correntes  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$  no circuito a seguir são, respectivamente,



- A) 0,33 A; 0,17 A e zero.      D) zero; zero e 1,00 A.  
 B) zero; zero e 1,20 A.      E) 33,3 A; 1,67 A e zero.  
 C) 3,33 A; 1,67 A e zero.

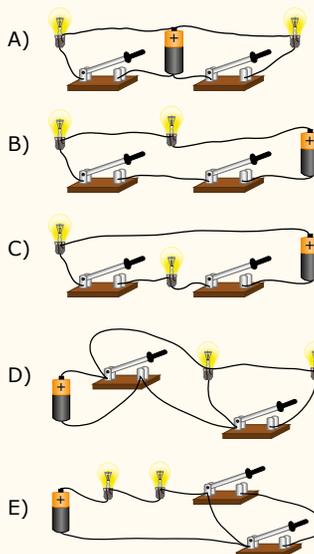
**05.** (CPS-SP) 9CC2 Tendo em vista a grande dificuldade em armazenar energia elétrica, a invenção da pilha representou um marco histórico importante.



Para demonstrar a versatilidade da pilha em circuitos elétricos fechados, um professor elaborou uma experiência usando uma pilha, duas chaves, duas lâmpadas e alguns pedaços de fio, construindo um circuito elétrico capaz de atender, em momentos distintos, às seguintes funções:

- I. Acender as duas lâmpadas ao mesmo tempo;
- II. Acender apenas uma lâmpada e manter, ao mesmo tempo, a outra apagada, podendo esta ação ser feita para ambas as lâmpadas;
- III. Manter apagadas as duas lâmpadas.

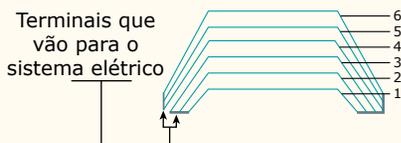
Sabendo que as tensões e correntes obtidas no circuito construído eram suficientes para que as lâmpadas se acendessem sem se queimarem, assinale a alternativa que contenha o esquema que corresponde ao circuito construído pelo professor.



06. ØKC7



(Vunesp) Alguns automóveis modernos são equipados com um vidro térmico traseiro para eliminar o embaçamento em dias úmidos. Para isso, "tiras resistivas" instaladas na face interna do vidro são conectadas ao sistema elétrico de modo que se possa transformar energia elétrica em energia térmica. Num dos veículos fabricados no país, por exemplo, essas tiras (resistores) são arranjadas como mostra a figura a seguir.



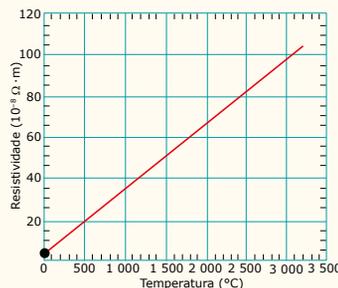
Se as resistências das tiras 1, 2..., 6 forem, respectivamente,  $R_1, R_2, \dots, R_6$ , a associação que corresponde ao arranjo das tiras da figura é:

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

07. (CMMG-2020) As lâmpadas incandescentes de filamento foram substituídas no mercado devido a sua baixa eficiência energética. A maior parte da energia elétrica que essas lâmpadas transformavam se dissipava na forma de calor, e pouco era aproveitado como fonte de luz. Entretanto, elas são usadas hoje como item de decoração, como mostra a figura.



O gráfico mostra a relação entre a resistividade do filamento da lâmpada e sua temperatura.



O comprimento do filamento de uma lâmpada de 40 W – 120 V é de 30 cm e o diâmetro de seu fio cilíndrico é de 0,03 mm. Considerando  $\pi = 3$ , a temperatura do filamento, quando a lâmpada está acesa, é de, aproximadamente,

- A) 700 °C.
- B) 1 500 °C.
- C) 2 000 °C.
- D) 2 500 °C.

08. P40C



(Unificado-RJ) Um resistor A tem o valor de sua resistência expresso por  $1 - x$ , enquanto um outro resistor B tem o valor de sua resistência expresso por  $1 + x$ , com  $0 < x < 1$ .  $R_1$  e  $R_2$  são, respectivamente, as resistências equivalentes obtidas quando A e B são associados em série e em paralelo. As expressões que representam  $R_1$  e  $R_2$ , nessa ordem, são:

- A)  $1 - x^2$  e  $\frac{1 - x^2}{2}$
- B)  $1 - x^2$  e  $\frac{2}{1 - x^2}$
- C)  $2$  e  $1 - x^2$
- D)  $2$  e  $\frac{1 - x^2}{2}$
- E)  $2$  e  $\frac{2}{1 - x^2}$

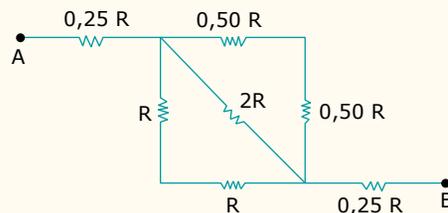
## EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. 8X0X



(PUC RS-2020) A figura apresenta parte de um circuito elétrico composto por resistores em uma associação mista.

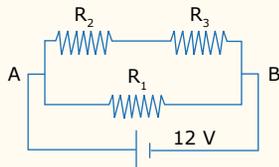


O resultado da resistência equivalente entre os pontos A e B é:

- A) 0,25R
- B) 0,50R
- C) 0,75R
- D) 1,00R

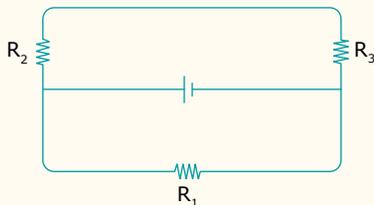


02. Observe o esquema. A bateria é ideal e as resistências de  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  são iguais a  $6 \Omega$ ,  $2 \Omega$  e  $4 \Omega$ , respectivamente. A respeito do circuito, é incorreto afirmar que



- A) as correntes que passam nos três resistores têm intensidades iguais.
- B) o resistor 1 libera, por segundo, mais calor do que a soma dos outros dois.
- C) se o resistor 3 queimar, a potência do resistor 1 fica a mesma de antes.
- D) a resistência total da associação, entre os pontos A e B, é igual a  $3 \Omega$ .
- E) se o resistor 1 queimar, as voltagens nos resistores 2 e 3 não se alteram.

03. (FMJ-SP) No circuito mostrado, o gerador e os fios de ligação são ideais, e os resistores  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  são ôhmicos e têm a mesma resistência elétrica.



Sabendo que o resistor  $R_1$  dissipa  $100 \text{ W}$  de potência, pode-se afirmar que o resistor  $R_2$  dissipa, em  $\text{W}$ , uma potência igual a

- A) 10.
- B) 25.
- C) 50.
- D) 75.
- E) 100.



04. (UPF-RS) Considere um circuito formado por dois resistores ôhmicos,  $R_1$  e  $R_2$  em série com uma bateria. Neste circuito, a energia dissipada por unidade de tempo pelo resistor  $R_2$  é o dobro do que a dissipada pelo resistor  $R_1$ . Sendo  $I_1$  e  $I_2$  as correntes elétricas que circulam pelos resistores, e  $V_1$  e  $V_2$  as quedas de potencial nos respectivos resistores, é correto afirmar que

- A)  $V_1 = V_2$ ;  $I_1 = I_2$ ;  $R_1 = R_2$ .
- B)  $V_1 \neq V_2$ ;  $I_1 = I_2$ ;  $R_1 = R_2$ .
- C)  $V_1 = V_2$ ;  $I_1 \neq I_2$ ;  $R_1 = R_2$ .
- D)  $V_1 \neq V_2$ ;  $I_1 = I_2$ ;  $2R_1 = R_2$ .
- E)  $V_1 \neq V_2$ ;  $I_1 = I_2$ ;  $R_1 = 2R_2$ .

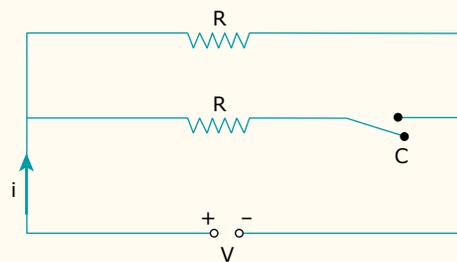
05.

(Uncisal) No recente blecaute que afetou a vida de milhões de brasileiros, um vestibulando de São Paulo, estado mais afetado pelo apagão, decidiu usar sua lanterna a pilha. Essa lanterna funciona com 3 pilhas comuns ( $1,5 \text{ V}$  cada) associadas em série, que vão constituir uma fonte de  $4,5 \text{ V}$  de tensão. Como a luminosidade fornecida pela lâmpada não lhe fosse suficiente e ele dispusesse de outra lâmpada idêntica, resolveu usar ambas simultaneamente improvisando uma associação. Para conseguir a luminosidade desejada, mais intensa, o vestibulando deve ter associado as lâmpadas em

- A) série, sabendo que assim as pilhas durariam a metade do tempo em comparação ao seu uso com uma lâmpada apenas.
- B) série, sabendo que as pilhas durariam o mesmo tempo que duram quando alimentam uma lâmpada apenas.
- C) paralelo, sabendo que as pilhas durariam menos tempo que duram quando alimentam uma lâmpada apenas.
- D) paralelo, sabendo que as pilhas durariam o mesmo tempo que duram quando alimentam uma lâmpada apenas.

06.

(PUC RS) No circuito representado a seguir, a diferença de potencial  $V$  é mantida constante, as resistências  $R$  são iguais e a chave  $C$  encontra-se inicialmente desligada.



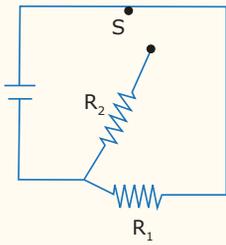
Ligando a chave  $C$ , os valores da resistência equivalente, intensidade de corrente  $i$  e potência elétrica total dissipada nos resistores, em relação aos valores iniciais, com a chave  $C$  aberta, ficam, respectivamente,

- A) o dobro, a metade, igual.
- B) a metade, o dobro, o dobro.
- C) a metade, o dobro, igual.
- D) o dobro, o dobro, a metade.
- E) o dobro, a metade, a metade.

07.

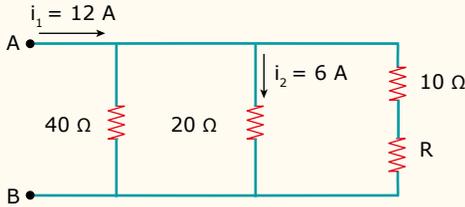


(UFJF-MG) Durante uma aula prática de Física, o professor pediu que os alunos medissem a corrente elétrica total que atravessa o circuito mostrado na figura a seguir, em duas situações distintas: a) com a chave  $S$  aberta e b) com a chave  $S$  fechada. Desprezando-se a resistência interna da bateria e sabendo-se que  $R_1 = 8,0 \Omega$ ,  $R_2 = 2,0 \Omega$  e  $V = 32,0 \text{ V}$ , calcule o valor da corrente elétrica total que atravessa o circuito com a chave  $S$  aberta e com a chave  $S$  fechada, respectivamente.



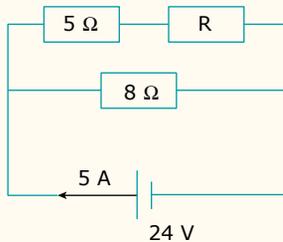
- A) 16,0 A e 4,0 A
- B) 3,2 A e 4,0 A
- C) 4,0 A e 51,2 A
- D) 3,2 A e 20,0 A
- E) 4,0 A e 20,0 A

**08.** (UERN) A resistência na associação de resistores a seguir é igual a



- A) 10 Ω.
- B) 20 Ω.
- C) 30 Ω.
- D) 40 Ω.

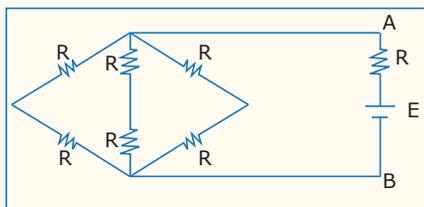
**09.** (IMED-RS) O circuito elétrico representado a seguir é composto por fios e bateria ideais.



Com base nas informações, qual é o valor da resistência indicada?

- A) 5 Ω.
- B) 6 Ω.
- C) 7 Ω.
- D) 8 Ω.
- E) 9 Ω.

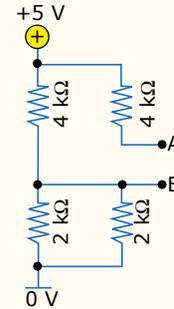
**10.** (EspCEX-SP) No circuito elétrico desenhado a seguir, todos os resistores ôhmicos são iguais e têm resistência  $R = 1,0 \Omega$ . Ele é alimentado por uma fonte ideal de tensão contínua de  $E = 5,0 \text{ V}$ . A diferença de potencial entre os pontos A e B é de



Desenho ilustrativo fora de escala.

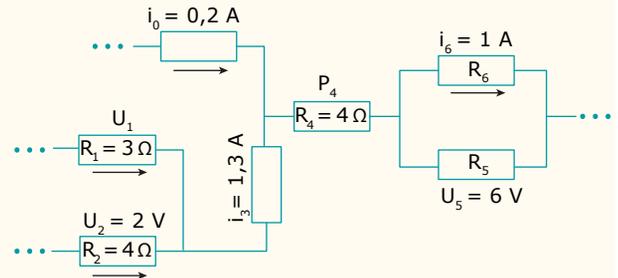
- A) 1,0 V.
- B) 2,0 V.
- C) 2,5 V.
- D) 3,0 V.
- E) 3,3 V.

**11.** (FUVEST-SP) No circuito da figura a seguir, a diferença de potencial, em módulo, entre os pontos A e B é de



- A) 5 V.
- B) 4 V.
- C) 3 V.
- D) 1 V.
- E) 0 V.

**12.** (UFPR) De um trecho de um circuito mais complexo, em que as setas indicam o sentido convencional da corrente elétrica, são conhecidas as informações apresentadas na figura a seguir.



Quanto aos valores que podem ser calculados no circuito, identifique as afirmativas a seguir como verdadeiras (v) ou falsas (f).

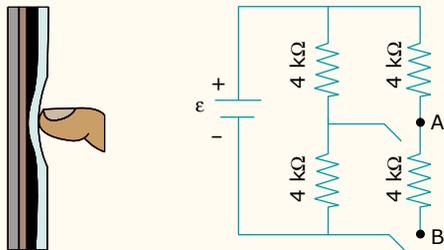
- ( ) A resistência elétrica no resistor  $R_5$  é de  $3 \Omega$ .
- ( ) A tensão elétrica no resistor  $R_1$  é de 2 V.
- ( ) A potência dissipada pelo resistor  $R_4$  é de 9 W.
- ( ) O valor da resistência elétrica  $R_6$  é de  $6 \Omega$ .

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta, de cima para baixo.

- A) V - F - V - F
- B) V - V - F - V
- C) F - F - V - V
- D) F - V - F - F
- E) V - F - V - V

## SEÇÃO ENEM

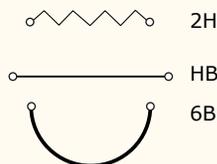
01. (Enem–2018) Muitos *smartphones* e *tablets* não precisam mais de teclas, uma vez que todos os comandos podem ser dados ao se pressionar a própria tela. Inicialmente essa tecnologia foi proporcionada por meio das telas resistivas, formadas basicamente por duas camadas de material condutor transparente que não se encostam até que alguém as pressione, modificando a resistência total do circuito de acordo com o ponto onde ocorre o toque. A imagem é uma simplificação do circuito formado pelas placas, em que A e B representam pontos onde o circuito pode ser fechado por meio do toque.



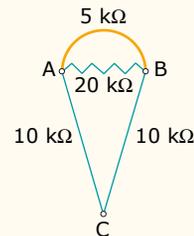
Qual é a resistência equivalente no circuito provocada por um toque que fecha o circuito no ponto A?

- A) 1,3 kΩ
- B) 4,0 kΩ
- C) 6,0 kΩ
- D) 6,7 kΩ
- E) 12,0 kΩ

02. (Enem) Por apresentar significativa resistência elétrica, o grafite pode ser utilizado para simular resistores elétricos em circuitos desenhados no papel, com o uso de lápis e lapiseiras. Dependendo da espessura e do comprimento das linhas desenhadas, é possível determinar a resistência elétrica de cada traçado produzido. No esquema foram utilizados três tipos de lápis diferentes (2H, HB e 6B) para efetuar três traçados distintos.



Munido dessas informações, um estudante pegou uma folha de papel e fez o desenho de um sorvete de casquinha utilizando-se desses traçados. Os valores encontrados nesse experimento, para as resistências elétricas (R), medidas com o auxílio de um ohmímetro ligado nas extremidades das resistências, são mostrados na figura. Verificou-se que os resistores obedeciam à Lei de Ohm.



Na sequência, conectou o ohmímetro nos terminais A e B do desenho e, em seguida, conectou-o nos terminais B e C, anotando as leituras  $R_{AB}$  e  $R_{BC}$ , respectivamente.

Ao estabelecer a razão  $\frac{R_{AB}}{R_{BC}}$ , qual resultado o estudante obteve?

- A) 1
- B)  $\frac{4}{7}$
- C)  $\frac{10}{27}$
- D)  $\frac{14}{81}$
- E)  $\frac{4}{81}$

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. C
- 02. B
- 03. C
- 04. B
- 05. A
- 06. B
- 07. D
- 08. D

#### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. D
- 02. B
- 03. B
- 04. D
- 05. C
- 06. B
- 07. E
- 08. C
- 09. C
- 10. B
- 11. B
- 12. C

#### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. C
- 02. B

Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## Associação de Resistores

A corrente elétrica (um fluxo ordenado de cargas elétricas), ao percorrer um circuito elétrico (caminho por onde a corrente passa), conforme se sabe, produz consequências diversas, por exemplo, o aquecimento dos elementos do circuito, fenômeno conhecido como efeito Joule. Sabe-se, também, que a corrente elétrica pode ser contínua ou alternada, e aprendemos, em estudos anteriores, como calcular a potência elétrica e a energia elétrica “consumida” em um ou mais elementos de um circuito. Neste módulo, vamos retomar, complementar e aprofundar tais conceitos.

Chamamos de resistor qualquer elemento condutor colocado em um circuito, propositadamente, com o objetivo de transformar energia elétrica em energia térmica (caso dos aparelhos de aquecimento) ou de limitar a corrente fornecida a um dispositivo (muito usual em eletrônica). O resistor, assim como qualquer elemento colocado em um circuito elétrico, apresenta uma resistência elétrica, seja ela desejada ou não.

A maioria dos aparelhos que usamos e muitos dos circuitos utilizados em nosso cotidiano são combinações de dois ou mais resistores. Assim, eles devem ser conectados – de maneiras específicas – com o objetivo de nos fornecer o resultado que deles esperamos. Vamos descobrir como são essas ligações, denominadas associações de resistores, suas características e o uso que podemos fazer delas.

Antes de iniciar, vamos fazer uma convenção: os fios que interligam os elementos do circuito e a fonte de tensão (bateria, por exemplo) não oferecem dificuldade à passagem de corrente através deles, ou seja, os fios e a bateria apresentam resistência desprezível (são considerados ideais). Quando for importante considerar a resistência dos fios e / ou da fonte de tensão, isso será especificado.

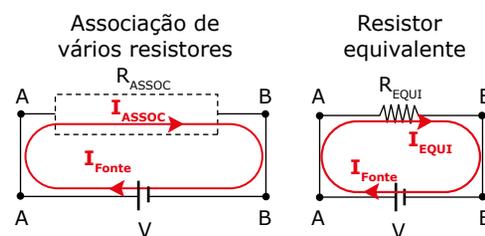
### ASSOCIAÇÕES DE RESISTORES

Em nosso estudo anterior, vimos que, num circuito formado por um resistor e por uma fonte de tensão (d.d.p.), existe uma transformação de energia. Os portadores de carga que constituem a corrente elétrica (elétrons ou íons) recebem energia quando passam através da fonte (a pilha, por exemplo, transforma energia química em

energia elétrica) e, ao passarem através do resistor, perdem a energia que a fonte lhes forneceu (ocorre transformação de energia elétrica em energia térmica). Observe, então, dois fatos importantes:

1. Toda corrente que **entra** por uma das extremidades de um resistor ou de uma fonte de tensão deve **sair** pela outra extremidade (o número de elétrons que entra é igual ao número de elétrons que sai – Princípio da Conservação das Cargas). Portanto, o resistor não “consome” corrente elétrica.
2. Em Eletricidade, a energia **fornecida** pela fonte de tensão deve ser “**consumida**” pelos elementos do circuito a cada instante (Princípio da Conservação da Energia). As usinas de eletricidade devem, a cada instante do dia, transformar outras formas de energia em energia elétrica para atender, exatamente, à demanda por energia elétrica que existe naquele momento.

Os resistores podem ser associados de várias maneiras: em série, em paralelo, em delta, em estrela, etc. Vamos considerar, aqui, apenas as ligações de elementos em série e em paralelo. Para tais associações, podemos montar um circuito equivalente, em que há um único resistor, chamado de resistor equivalente, que irá apresentar as mesmas características da associação.



Observe, na figura anterior, que as fontes, a associação de resistores e o resistor equivalente estão ligados, diretamente, aos pontos A e B. Sejam  $V$  = tensão,  $I$  = corrente,  $R$  = resistência e  $P$  = potência dissipada. Em qualquer tipo de associação de dois (ou mais) resistores, há características que são comuns a todas as associações e que, portanto, precisamos conhecer. São elas:

- 1 -  $V_{EQUI} = V_{ASSOC} = V_{FONTE}$
- 2 -  $I_{EQUI} = I_{ASSOC} = I_{FONTE}$
- 3 -  $R_{EQUI} = R_{ASSOC}$
- 4 -  $P_{EQUI} = P_{ASSOC} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$

No quadro,  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_n$  são as potências dissipadas, individualmente, nos resistores que formam a associação, qualquer que seja ela.

## COMO FAZER ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Fazer uma associação de resistores, de qualquer tipo, envolve uma metodologia de como os resistores são conectados entre si e com a bateria que lhes vai prover a diferença de potencial (tensão) necessária. Ou seja, o tipo de associação depende da maneira (*modus operandi*) como os resistores são ligados.

### Associação de resistores em série

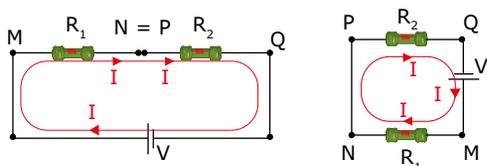
Considere os resistores 1 e 2 a seguir, de resistências  $R_1$  e  $R_2$ . Cada um apresenta duas extremidades livres (M, N e P, Q).



Fazer uma associação em série de dois resistores consiste em duas etapas:

1. Ligar as extremidades N (de  $R_1$ ) e P (de  $R_2$ );
2. Conectar a bateria aos terminais que estão livres – M (de  $R_1$ ) e Q (de  $R_2$ ).

Dessa forma, a corrente elétrica encontra apenas um caminho para percorrer o circuito conforme mostrado a seguir. Esse é um fato importante. Dizemos que dois ou mais resistores estão associados em **série** quando são percorridos pela **mesma corrente elétrica** (os mesmos portadores de carga atravessam os diversos resistores).



É possível notar que dois resistores em série não estão, necessariamente, na mesma reta.

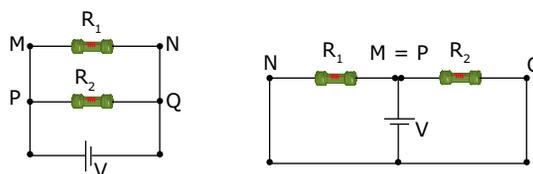
### Associação de resistores em paralelo

Para exemplificar a associação de dois resistores em paralelo, vamos usar os mesmos resistores 1 e 2 da montagem anterior. Fazer uma associação de dois resistores em paralelo exige três etapas, a saber:

1. Ligar a extremidade M (de  $R_1$ ) à extremidade P (de  $R_2$ );
2. Conectar as extremidades N (de  $R_1$ ) e Q (de  $R_2$ );

3. Estabelecer a conexão da bateria aos pontos que foram unidos (MP e NQ).

Observe que os pontos M e P estão submetidos a um mesmo potencial, assim como os pontos N e Q. Portanto,  $V_{MN} = V_{PQ} = V_{\text{FONTE}}$ . Logo, os dois resistores estão submetidos à mesma diferença de potencial ou tensão. Dizemos que dois ou mais resistores estão associados em **paralelo** se cada uma das extremidades de um dos resistores estiver no mesmo potencial em relação às extremidades dos outros resistores. Assim, resistores associados em paralelo estão submetidos à **mesma diferença de potencial**.

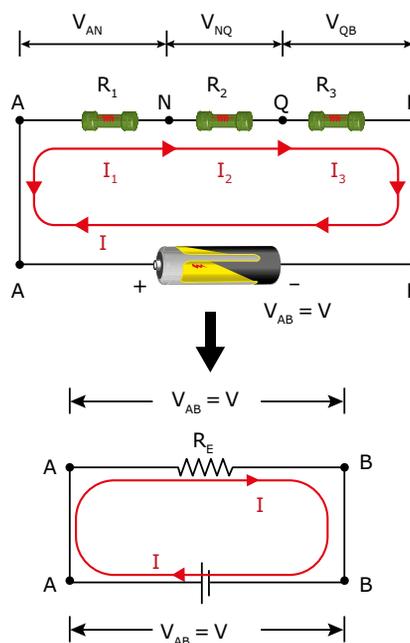


Com certeza, pode-se perceber que dois resistores associados em paralelo não são, obrigatoriamente, paralelos um ao outro.

## ESPECIFICIDADES DA ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

### Em série

A figura a seguir mostra três resistores ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) associados em série e conectados a uma pilha de tensão  $V$ . A figura mostra, também, o circuito equivalente dessa associação.



Observe que a corrente que percorre o circuito tem um único caminho para passar (seja na bateria, no resistor equivalente ou nos resistores da associação). Portanto, concluímos que os resistores estão ligados em série.

Observe, também, que os mesmos portadores de carga que formam a corrente devem passar, sucessivamente, nos resistores  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ . Portanto, os portadores de carga "gastam" uma parte da energia recebida da bateria em cada um dos resistores. Veja que  $V_1 = V_{AN}$ ,  $V_2 = V_{NQ}$  e  $V_3 = V_{QB}$ . Logo, podemos escrever:

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

$$V_{\text{FONTE}} = V_1 + V_2 + V_3$$

Sabemos que  $V = RI$ . Substituindo esse resultado na segunda relação do quadro anterior, temos:

$$RI = R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3$$

Simplificando as correntes, que são iguais, obtemos:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

A respeito dessa última relação, vamos fazer as seguintes considerações:

1. A resistência total (ou equivalente) de uma associação de resistores em série é sempre maior que a resistência de qualquer um dos resistores da associação. Podemos fazer uma analogia entre a associação de resistores em série e um fio a ser percorrido pela corrente quando dizemos que, ao fazer a associação dos resistores em série, é como se estivéssemos aumentando o comprimento ( $L$ ) do fio a ser percorrido pela corrente (lembre-se de que  $R = \rho L/A$ ).
2. Mais importante do que conhecer a relação entre os resistores que compõem a associação e o resistor equivalente é conhecer as relações entre corrente e tensão nesse tipo de circuito, sem as quais será difícil analisar circuitos em série.

Em estudos anteriores, vimos que a potência dissipada em um resistor pode ser calculada por:

$$P = VI = RI^2 = V^2/R$$

Dessa forma, uma vez que os resistores são percorridos pela mesma corrente elétrica, dois fatos merecem destaque na associação em série de resistores:

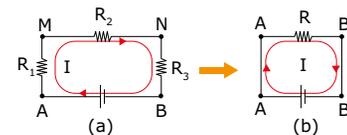
- A maior queda de tensão ou d.d.p. ( $V$ ) acontece no resistor que apresenta maior valor de resistência ( $I = \text{constante} \Rightarrow V \propto R$ ). Em outras palavras, esse resistor recebe a maior parcela da tensão total ( $V_{\text{FONTE}}$ );
- O resistor de resistência mais alta é aquele que vai dissipar a maior potência, esquentar mais e, conseqüentemente, consumir a maior parte da energia fornecida pela fonte ( $I = \text{constante} \Rightarrow P \propto R$  ou  $P \propto V^2$ ).

A seguir, apresentaremos um exercício resolvido no qual os conceitos até aqui abordados são revisados.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

**01.** Considere três resistores ligados em série e conectados a uma bateria, conforme mostrado.

**Dados:**  $V_{AB} = 16 \text{ V}$ ;  $R_1 = 1,0 \Omega$ ;  $R_2 = 4,0 \Omega$ ;  $R_3 = 3,0 \Omega$ .



Determine as correntes ( $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ) em cada resistor, a tensão nos terminais de cada um deles ( $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ ) e as potências dissipadas por eles ( $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ ).

### Resolução:

Observe na figura (a) que a corrente tem um único caminho para percorrer a associação. Assim, podemos afirmar que os resistores estão associados em série. Na figura (b), temos o circuito equivalente, no qual  $R = 8,0 \Omega$ .

Usando a relação  $V = RI$  no resistor equivalente (veja que ele está ligado diretamente aos terminais da bateria,  $V_R = V_{AB} = 16 \text{ V}$ ), temos:

$$16 = 8,0 \cdot I \Rightarrow I = 2,0 \text{ A (corrente no circuito).}$$

Como os resistores estão associados em série, temos que  $I = I_1 = I_2 = I_3 = 2,0 \text{ A}$ .

### OBSERVAÇÃO

Sabemos que  $Q = ne = I\Delta t$ . Em  $2,0 \text{ A}$ , temos, portanto, exatos  $1,25 \cdot 10^{19}$  elétrons (12,5 milhões de trilhões deles) percorrendo o circuito a cada segundo. Ou seja, a corrente obedece à quantização de cargas.

Vamos usar a relação  $V = RI$  em cada um dos resistores:

$$V_1 = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ V} \Rightarrow V_1 = 2,0 \text{ V}$$

$$V_2 = 4,0 \cdot 2,0 = 8,0 \text{ V} \Rightarrow V_2 = 8,0 \text{ V}$$

$$V_3 = 3,0 \cdot 2,0 = 6,0 \text{ V} \Rightarrow V_3 = 6,0 \text{ V}$$

Como os resistores estão associados em série, temos que  $V_{\text{Fonte}} = V_1 + V_2 + V_3 = 16 \text{ V}$ .

A potência dissipada nos resistores pode ser calculada por  $P = RI^2$ ; logo:

$$P_1 = 1,0 \cdot 2,0^2 = 4,0 \text{ W} \Rightarrow P_1 = 4,0 \text{ W}$$

$$P_2 = 4,0 \cdot 2,0^2 = 16 \text{ W} \Rightarrow P_2 = 16 \text{ W}$$

$$P_3 = 3,0 \cdot 2,0^2 = 12 \text{ W} \Rightarrow P_3 = 12 \text{ W}$$

$$P_T = 8,0 \cdot 2,0^2 \Rightarrow P_T = 32 \text{ W (potência total do circuito)}$$

Em qualquer associação:

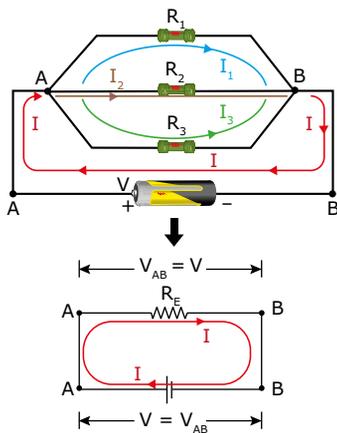
$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n \Rightarrow P_T = 4,0 + 16 + 12 = 32 \text{ W}$$

Da solução do exercício, é importante que se perceba que:

1. O resistor  $R_2$  não está ligado diretamente aos terminais da bateria e que a tensão entre os seus terminais é  $V_{MN} (V_2) = 8,0 \text{ V}$  e não  $V_{AB} = 16 \text{ V}$  (observe a figura original). Muitas pessoas têm dificuldade com isso.
2. Uma vez que a corrente é a mesma em todos os resistores da associação, o resistor  $R_2$ , de maior resistência, foi o que dissipou a maior potência ( $P \propto R$ ).

## Em paralelo

Na figura a seguir, temos três resistores ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) associados em paralelo e conectados a uma pilha de tensão  $V$ . A figura mostra também o circuito equivalente dessa associação.



Veja que os três resistores têm as suas extremidades ligadas diretamente aos terminais da bateria (pontos A e B). Dessa forma, todos os resistores estão submetidos à mesma diferença de potencial ( $V_{AB}$ ). Logo, podemos concluir que os três resistores estão associados em paralelo. Veja que, nesse caso, a tensão em qualquer um dos resistores é igual à d.d.p. fornecida pela fonte.

Observe, também, que a corrente total da associação (fornecida pela bateria) encontra três caminhos para ir de A para B (um em cada resistor). Dessa forma, ela se divide no ponto A e cada parcela da corrente passa por um dos resistores; ao chegarem ao ponto B, essas parcelas se juntam, formando novamente a corrente total que segue para a bateria. Assim, temos:

$$V_{\text{FONTE}} = V_1 = V_2 = V_3$$

$$I_{\text{TOTAL}} = I_1 + I_2 + I_3$$

Sabe-se que  $I = V/R$ . Utilizando essa relação na segunda equação do quadro anterior, temos:

$$\frac{V}{R} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

Simplificando as tensões, que são iguais, obtemos a seguinte relação:

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

Se apenas dois resistores estão associados em paralelo, podemos reescrever a relação anterior como:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

A respeito da resistência equivalente na associação de resistores em paralelo, vamos fazer três observações:

1. A resistência total (ou equivalente) da associação de resistores em paralelo é sempre menor que a resistência de qualquer um dos resistores da associação. Fazendo uma analogia entre a associação de resistores em paralelo e um fio a ser percorrido por uma corrente, podemos dizer que, ao fazer a associação em paralelo, é como se estivéssemos mantendo constante o comprimento do fio a ser percorrido pela corrente, mas estivéssemos aumentando a área ( $A$ ) do fio para a corrente passar (lembre-se de que  $R = \rho L/A$ ).
2. Conhecer a relação entre corrente e tensão nesse tipo de circuito é mais importante do que saber determinar sua resistência equivalente.
3. Se os resistores em paralelo apresentam resistências iguais, o resistor equivalente ( $R_E$ ) será obtido dividindo-se a resistência de um deles ( $R$ ) pelo número ( $n$ ) de resistores:

$$R_E = R/n$$

Em estudos anteriores, vimos que a potência dissipada em um resistor pode ser calculada por:

$$P = VI = RI^2 = V^2/R$$

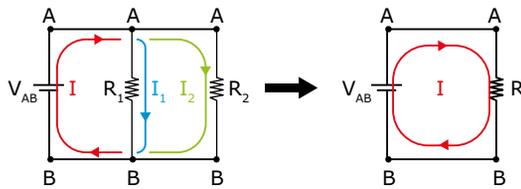
Uma vez que os resistores estão submetidos à mesma d.d.p. (ou tensão), dois fatos relevantes merecem destaque na ligação em paralelo de resistores:

- A maior corrente (mais intensa) vai atravessar o resistor de menor resistência ( $V = \text{constante} \Rightarrow I \propto 1/R$ ). Em outras palavras, a resistência menor recebe a maior parcela da corrente total ( $I$ );
- O resistor de resistência mais baixa é aquele que vai dissipar a maior potência (esquentar mais) e, conseqüentemente, consumir a maior parte da energia fornecida pela fonte ( $V = \text{constante} \Rightarrow P \propto I^2$  ou  $P \propto 1/R$ ).

Acompanhe com muita atenção o exercício a seguir.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 02.** Dois resistores ( $R_1 = 60 \Omega$  e  $R_2 = 30 \Omega$ ) são associados em paralelo e ligados a uma bateria ( $V_{AB} = 120 \text{ V}$ ).
- A) Determine a resistência equivalente ( $R$ ) da associação, as correntes ( $I_1$  e  $I_2$ ) e as potências dissipadas ( $P_1$  e  $P_2$ ) em cada resistor.
- B) Posteriormente, um outro resistor ( $R_3 = 20 \Omega$ ) é ligado em paralelo aos outros dois. Recalcule, agora, as correntes na associação.



### Resolução:

- A) Observe os pontos A e B colocados no esquema da associação. Eles nos garantem que os resistores 1 e 2 estão submetidos à mesma diferença de potencial ( $V_{AB}$ ) e, portanto, estão ligados em paralelo. Logo:

$$R = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2) = 60 \cdot 30 / 90 \Rightarrow R = 20 \Omega$$

No circuito equivalente,  $I_{\text{TOTAL}} = V/R = 120/20 \Rightarrow I = 6,0 \text{ A}$ .

Nessa associação,  $V_1 = V_2 = V_{AB} = 120 \text{ V}$  e  $I = V/R$ ; logo:

$$I_1 = V_1/R_1 = 120/60 \Rightarrow I_1 = 2,0 \text{ A}$$

$$I_2 = V_2/R_2 = 120/30 \Rightarrow I_2 = 4,0 \text{ A}$$

Como os resistores estão em paralelo,  $I_{\text{TOTAL}} = I_1 + I_2 = 6,0 \text{ A}$ .

Certamente, é possível perceber que, na associação, a corrente total (6,0 A) se dividiu em  $I_1 = 2,0 \text{ A}$  (azul) e  $I_2 = 4,0 \text{ A}$  (verde). No ponto B central, essas correntes ( $I_1$  e  $I_2$ ) se unem para formar, novamente, a corrente total.

Vamos calcular as potências dissipadas nos resistores  $R_1$  e  $R_2$  utilizando a relação  $P = RI^2$ :

$$P_1 = 60 \cdot 2,0^2 = 240 \text{ W} \Rightarrow P_1 = 240 \text{ W}$$

$$P_2 = 30 \cdot 4,0^2 = 480 \text{ W} \Rightarrow P_2 = 480 \text{ W}$$

$$P_T = 20 \cdot 6,0^2 = 720 \text{ W} \Rightarrow P_T = 720 \text{ W (potência total dissipada no circuito)}$$

Em qualquer associação:

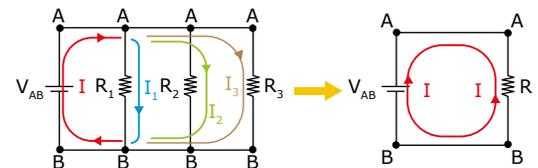
$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n \Rightarrow P_T = P_1 + P_2 = 240 + 480 = 720 \text{ W}$$

### OBSERVAÇÃO

O fato de o resistor apresentar uma resistência à passagem da corrente elétrica e, por causa disso, esquentar-se – efeito Joule – costuma provocar um erro conceitual. Muitos pensam que, quanto maior for a resistência elétrica, maior será o aquecimento. Isso não é totalmente verdadeiro, uma vez que a potência dissipada depende, também, da corrente que atravessa o resistor.

Veja o caso anterior. O resistor  $R_2$ , apesar de ter a metade da resistência de  $R_1$ , dissipa maior potência (esquenta mais). Isso acontece porque a corrente que atravessa o resistor  $R_2$  é o dobro daquela que passa por  $R_1$ . Note, na equação de potência ( $P = RI^2$ ), que a corrente está elevada ao quadrado e, nesse caso, é mais relevante do que a resistência.

- B) Vamos, agora, acrescentar o terceiro resistor ao circuito. Veja o esquema a seguir.



Calculando a resistência equivalente dessa associação, temos:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{60} + \frac{1}{30} + \frac{1}{20} \Rightarrow R = 10 \Omega$$

Antes de continuar, vamos constatar um fato importante. A resistência equivalente da associação com os resistores  $R_1$  e  $R_2$  é  $20 \Omega$ , menor que as resistências individuais de  $R_1$  e  $R_2$ . O resistor equivalente da associação com os resistores  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  tem resistência de  $10 \Omega$  (menor que a resistência equivalente da associação anterior). Ou seja, quanto mais resistores são colocados em paralelo, menor fica a resistência total do circuito e, conseqüentemente, maior será a corrente total, como veremos a seguir.

No circuito equivalente,  $I_{\text{TOTAL}} = V/R = 120/10 \Rightarrow I = 12 \text{ A}$ .

Nessa associação,  $V_1 = V_2 = V_3 = V_{AB} = 120 \text{ V}$  e  $I = V/R$ ; logo:

$$I_1 = V_1/R_1 = 120/60 \Rightarrow I_1 = 2,0 \text{ A}$$

$$I_2 = V_2/R_2 = 120/30 \Rightarrow I_2 = 4,0 \text{ A}$$

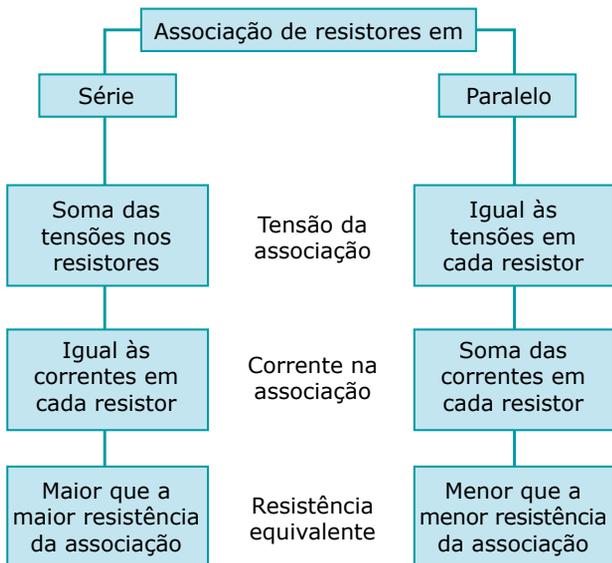
$$I_3 = V_3/R_3 = 120/20 \Rightarrow I_3 = 6,0 \text{ A}$$

Chegamos, agora, ao momento mais importante da solução. Observe que as correntes em  $R_1$  e  $R_2$  não sofreram alteração com a inserção do resistor  $R_3$ . Ou seja, na associação de elementos exclusivamente em paralelo, a corrente e a tensão em cada um dos elementos são independentes da corrente e da tensão dos demais elementos. Em outras palavras, cada um funciona sem tomar conhecimento dos outros que eventualmente estejam sendo inseridos ou retirados do circuito. O que é alterado é a corrente total da associação.

Da solução do exercício, é relevante notarmos que:

- Os resistores estão ligados diretamente aos terminais da bateria, e a tensão entre os terminais de todos eles é  $V_{AB} = 120 \text{ V}$  (volte à figura e observe). A grandeza que se divide entre os resistores é a corrente elétrica.
- Uma vez que a tensão é a mesma em todos os resistores da associação, o menor deles, no caso, o resistor  $R_3$ , é o que vai dissipar a maior potência ( $P \propto 1/R$ ).

Veja o mapa conceitual comparativo das associações de resistores em série e em paralelo:



**OBSERVAÇÃO**

Se os resistores formam uma associação exclusivamente em paralelo, como no Exercício Resolvido 02, não há necessidade de se calcular o resistor equivalente nem a corrente total. Uma vez que os resistores estão conectados diretamente à bateria, a tensão em cada um deles já é conhecida (tensão da bateria).

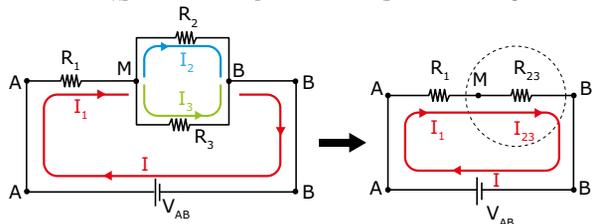
Assim, para calcular a corrente em cada resistor ( $n$ ), basta dividir a tensão da bateria pela resistência desse resistor ( $I_n = V_{BATERIA}/R_n$ ). A corrente total será a soma das correntes em cada resistor.

**Em associação mista**

É muito comum que os circuitos apresentem uma mistura de associações de elementos em série e em paralelo. Em uma associação mista de resistores, por mais complicada que seja, devemos trabalhar com cada associação separadamente. Deve-se começar com os resistores para os quais se tem certeza do tipo de associação – por isso é importante conhecer as características específicas da associação em série e da associação em paralelo. Vamos analisar dois exemplos de circuitos mistos.

**Exemplo 1:**

**Dados:**  $V_{AB} = 120 \text{ V}$ ;  $R_1 = 8,0 \Omega$ ;  $R_2 = 6,0 \Omega$ ;  $R_3 = 3,0 \Omega$ .



Veja que o resistor  $R_1$  não está em série com  $R_2$  e também não está em série com  $R_3$  (a corrente neles não é a mesma). Mas observe que as tensões em  $R_2$  e em  $R_3$  são iguais ( $V_2 = V_3 = V_{MB}$ ). Assim, os resistores  $R_2$  e  $R_3$  estão, com certeza, em paralelo. Deve-se, portanto, começar com eles e desenhar um outro circuito, colocando o resistor equivalente de  $R_2$  e  $R_3$ , conforme a figura anterior. Veja, nela, que os resistores  $R_1$  e  $R_{23}$  são percorridos pela mesma corrente. Assim, tais resistores estão associados em série, e o desenho do circuito equivalente a eles poderá ser feito. Vamos calcular a resistência equivalente e a corrente total no circuito, conforme a sequência a seguir.

$$R_{23} = (R_2 \cdot R_3)/(R_2 + R_3) = 6,0 \cdot 3,0/9,0 \Rightarrow R_{23} = 2,0 \Omega$$

$$R_E = R_1 + R_{23} = 8,0 + 2,0 \Rightarrow R_E = 10 \Omega$$

No circuito equivalente,  $I = V_{AB}/R_E = 120/10 \Rightarrow I = 12 \text{ A}$ .

As correntes em  $R_1$  e em  $R_{23}$  são iguais a  $I$ ; logo:

$$I_1 = I_{23} = 12 \text{ A}$$

A tensão em  $R_{23}$  é  $V_{MB} = R_{23} \cdot I_{23} = 2,0 \cdot 12 = 24 \text{ V}$ .

As correntes em  $R_2$  e  $R_3$  são  $I_2$  e  $I_3$ . Essas correntes podem ser calculadas como mostrado a seguir:

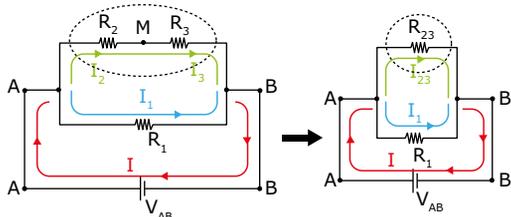
$$I_2 = V_{MB}/R_2 = 24/6,0 \Rightarrow I_2 = 4,0 \text{ A}$$

$$I_3 = V_{MB}/R_3 = 24/3,0 \Rightarrow I_3 = 8,0 \text{ A}$$

Observe que  $I = I_1 = I_2 + I_3$ .

**Exemplo 2:**

**Dados:**  $V_{AB} = 120 \text{ V}$ ;  $R_1 = 5,0 \ \Omega$ ;  $R_2 = 14 \ \Omega$ ;  $R_3 = 6,0 \ \Omega$ .



Veja que o resistor  $R_2$  está, com certeza, em série com  $R_3$ , pois a corrente elétrica que passa através deles é a mesma. Na análise dessa associação de resistores, devemos começar com os resistores  $R_2$  e  $R_3$  e desenhar um outro circuito (conforme o da direita), no qual é fácil perceber que  $R_1$  e  $R_{23}$  estão em paralelo ( $V_1 = V_{23} = V_{AB} = 120 \text{ V}$ ). Podemos representar o circuito equivalente e calcular a resistência elétrica total e a corrente total desse circuito conforme a sequência a seguir.

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 14 + 6,0 \Rightarrow R_{23} = 20 \ \Omega$$

$$R_E = (R_1 \cdot R_{23}) / (R_1 + R_{23}) = 5,0 \cdot 20 / 25 \Rightarrow R_E = 4,0 \ \Omega$$

$$\text{No circuito equivalente, } I = V_{AB} / R_E = 120 / 4,0 \Rightarrow I = 30 \text{ A.}$$

As correntes em  $R_1$  e  $R_{23}$  são  $I_1$  e  $I_{23}$  e podem ser calculadas como mostrado a seguir:

$$I_1 = V_{AB} / R_1 = 120 / 5,0 \Rightarrow I_1 = 24 \text{ A}$$

$$I_{23} = V_{AB} / R_{23} = 120 / 20 \Rightarrow I_{23} = 6,0 \text{ A}$$

Observe que  $I = I_1 + I_{23}$ .

As correntes que circulam pelos resistores  $R_2$  e  $R_3$  são iguais; logo,  $I_2 = I_3 = 6,0 \text{ A}$ .

As tensões em  $R_2$  e  $R_3$  são  $V_2$  e  $V_3$  e podem ser calculadas da seguinte maneira:

$$V_2 = V_{AM} = R_2 \cdot I_2 = 14 \cdot 6,0 \Rightarrow V_2 = 84 \text{ V}$$

$$V_3 = V_{MB} = R_3 \cdot I_3 = 6,0 \cdot 6,0 \Rightarrow V_3 = 36 \text{ V}$$

Note que  $V_{AB} = V_1 = V_2 + V_3 = 84 + 36 = 120 \text{ V}$ .

**OBSERVAÇÃO**

Nesse caso, não há necessidade de se calcular o circuito equivalente, uma vez que  $R_1$  está ligado diretamente aos terminais da bateria. A corrente no resistor  $R_1$  é  $I_1 = V_{AB} / R_1$ . Para resolver o circuito, basta calcular a corrente elétrica em  $R_2$  e  $R_3$ , que estão em série.

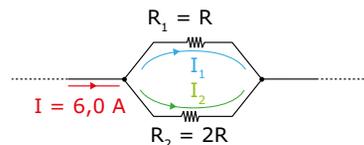
## DIVISÃO DE CORRENTE E DIVISÃO DE TENSÃO



A partir dos exercícios resolvidos anteriormente, foi possível perceber como dividir a corrente entre resistores associados em paralelo e como dividir a tensão entre resistores associados em série.

Uma ferramenta útil na análise das associações de resistores consiste em usar as proporcionalidades entre as grandezas para dividir a corrente ou a tensão entre os resistores sem necessidade de determinar o circuito equivalente.

Considere dois resistores associados em paralelo, que fazem parte de um circuito maior, e considere que conheçamos o valor da corrente que chega a eles. Como dividir essa corrente entre esses resistores?



Observe, na figura, que  $R_1 = R_2/2$ . Uma vez que eles estão em paralelo, as tensões são iguais e as correntes que atravessam cada um deles se somam para formar a corrente total. Sabemos que  $I = V/R$ , e, portanto, a corrente em cada resistor é inversamente proporcional à sua resistência (a tensão é a mesma para os dois).

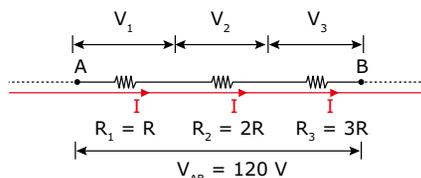
Como  $R_1 = R_2/2$ , temos que  $I_1 = 2I_2$ .

$$\text{Em paralelo, } I_1 + I_2 = I \Rightarrow 2I_2 + I_2 = 6,0 \text{ A} \Rightarrow 3I_2 = 6,0 \text{ A.}$$

$$\text{Assim, } I_2 = 2,0 \text{ A e } I_1 = 4,0 \text{ A.}$$

A associação em paralelo é um circuito chamado de divisor de corrente.

Observe, agora, três resistores associados em série e essa associação submetida a uma tensão  $V_{AB} = 120 \text{ V}$ . Como dividir a tensão entre os resistores?



Já que os resistores estão associados em série, a corrente é a mesma em todos eles, e as tensões em cada um se somam para formar a tensão total. Sabe-se que  $V = RI$  e, assim, a tensão em cada um dos resistores é diretamente proporcional à sua resistência (a corrente elétrica é a mesma). Portanto:

$$\text{Se } R_3 = 3R_1 \text{ e } R_2 = 2R_1, \text{ temos que } V_3 = 3V_1 \text{ e } V_2 = 2V_1.$$

$$\text{Em série, } V_1 + V_2 + V_3 = V_{AB} \Rightarrow V_1 + 2V_1 + 3V_1 = 120 \text{ V} \Rightarrow 6V_1 = 120 \Rightarrow V_1 = 20 \text{ V.}$$

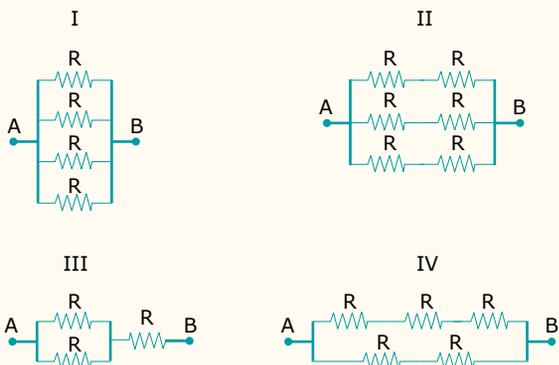
$$\text{Assim, } V_1 = 20 \text{ V, } V_2 = 40 \text{ V e } V_3 = 60 \text{ V.}$$

A associação em série é um circuito chamado de divisor de tensão. Assim, se você necessita de uma tensão menor do que aquela que está disponível, para fazer funcionar um aparelho, deverá ligar um resistor, de resistência específica, em série com o equipamento. Como haverá uma divisão da tensão entre eles, o aparelho usará apenas a tensão que lhe é devida.

# EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



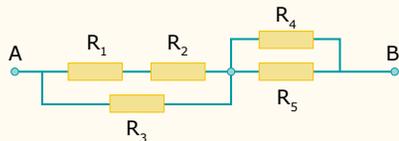
**01.** (UERJ-2019) B9ZK Resistores ôhmicos idênticos foram associados em quatro circuitos distintos e submetidos à mesma tensão  $U_{A,B}$ . Observe os esquemas:



Nessas condições, a corrente elétrica de menor intensidade se estabelece no seguinte circuito:

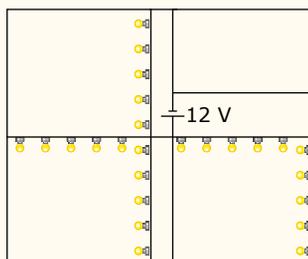
- A) I      B) II      C) III      D) IV

**02.** (PUC Minas) No circuito da figura a seguir, é correto afirmar que os resistores



- A)  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_5$  estão em série.  
 B)  $R_1$  e  $R_2$  estão em série.  
 C)  $R_4$  e  $R_5$  não estão em paralelo.  
 D)  $R_1$  e  $R_3$  estão em paralelo.

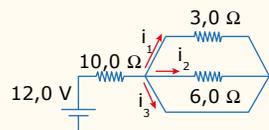
**03.** (FGV) Um barco de pesca era o mais iluminado do porto. Em cada cabresto, o pescador distribuiu 5 lâmpadas, todas idênticas e ligadas em série, conectando os extremos dessas ligações à bateria de 12 V da embarcação, segundo a configuração esquematizada.



Quando acesas todas essas lâmpadas, uma potência de 100 W era requisitada da bateria. Supondo que o fio utilizado nas conexões tenha resistência elétrica desprezível, a corrente elétrica que atravessava uma lâmpada do circuito é, aproximadamente,

- A) 2,4 A.      C) 1,7 A.      E) 0,4 A.  
 B) 2,1 A.      D) 1,5 A.

**04.** (UFV-MG) J5TP Os valores das correntes  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$  no circuito a seguir são, respectivamente,



- A) 0,33 A; 0,17 A e zero.      D) zero; zero e 1,00 A.  
 B) zero; zero e 1,20 A.      E) 33,3 A; 1,67 A e zero.  
 C) 3,33 A; 1,67 A e zero.

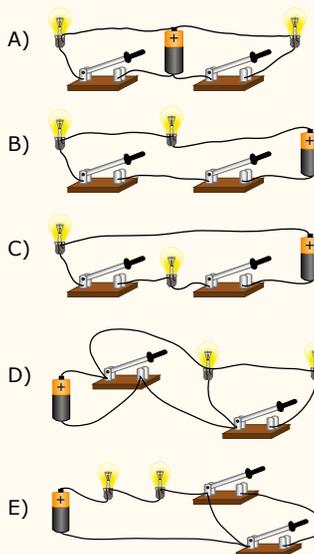
**05.** (CPS-SP) 9CC2 Tendo em vista a grande dificuldade em armazenar energia elétrica, a invenção da pilha representou um marco histórico importante.



Para demonstrar a versatilidade da pilha em circuitos elétricos fechados, um professor elaborou uma experiência usando uma pilha, duas chaves, duas lâmpadas e alguns pedaços de fio, construindo um circuito elétrico capaz de atender, em momentos distintos, às seguintes funções:

- I. Acender as duas lâmpadas ao mesmo tempo;
- II. Acender apenas uma lâmpada e manter, ao mesmo tempo, a outra apagada, podendo esta ação ser feita para ambas as lâmpadas;
- III. Manter apagadas as duas lâmpadas.

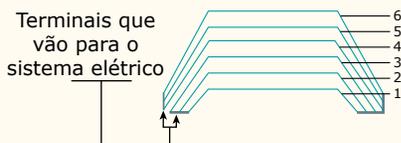
Sabendo que as tensões e correntes obtidas no circuito construído eram suficientes para que as lâmpadas se acendessem sem se queimarem, assinale a alternativa que contenha o esquema que corresponde ao circuito construído pelo professor.



06. ØKC7



(Vunesp) Alguns automóveis modernos são equipados com um vidro térmico traseiro para eliminar o embaçamento em dias úmidos. Para isso, "tiras resistivas" instaladas na face interna do vidro são conectadas ao sistema elétrico de modo que se possa transformar energia elétrica em energia térmica. Num dos veículos fabricados no país, por exemplo, essas tiras (resistores) são arranjadas como mostra a figura a seguir.



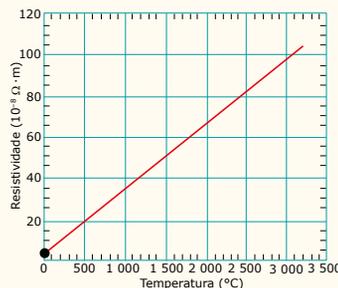
Se as resistências das tiras 1, 2..., 6 forem, respectivamente,  $R_1, R_2, \dots, R_6$ , a associação que corresponde ao arranjo das tiras da figura é:

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

07. (CMMG-2020) As lâmpadas incandescentes de filamento foram substituídas no mercado devido a sua baixa eficiência energética. A maior parte da energia elétrica que essas lâmpadas transformavam se dissipava na forma de calor, e pouco era aproveitado como fonte de luz. Entretanto, elas são usadas hoje como item de decoração, como mostra a figura.



O gráfico mostra a relação entre a resistividade do filamento da lâmpada e sua temperatura.



O comprimento do filamento de uma lâmpada de 40 W – 120 V é de 30 cm e o diâmetro de seu fio cilíndrico é de 0,03 mm. Considerando  $\pi = 3$ , a temperatura do filamento, quando a lâmpada está acesa, é de, aproximadamente,

- A) 700 °C.
- B) 1 500 °C.
- C) 2 000 °C.
- D) 2 500 °C.

08. P40C



(Unificado-RJ) Um resistor A tem o valor de sua resistência expresso por  $1 - x$ , enquanto um outro resistor B tem o valor de sua resistência expresso por  $1 + x$ , com  $0 < x < 1$ .  $R_1$  e  $R_2$  são, respectivamente, as resistências equivalentes obtidas quando A e B são associados em série e em paralelo. As expressões que representam  $R_1$  e  $R_2$ , nessa ordem, são:

- A)  $1 - x^2$  e  $\frac{1 - x^2}{2}$
- B)  $1 - x^2$  e  $\frac{2}{1 - x^2}$
- C)  $2$  e  $1 - x^2$
- D)  $2$  e  $\frac{1 - x^2}{2}$
- E)  $2$  e  $\frac{2}{1 - x^2}$

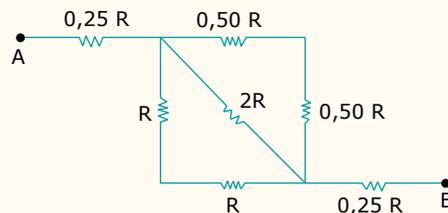
## EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. 8X0X



(PUC RS-2020) A figura apresenta parte de um circuito elétrico composto por resistores em uma associação mista.

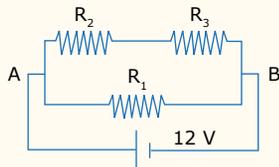


O resultado da resistência equivalente entre os pontos A e B é:

- A) 0,25R
- B) 0,50R
- C) 0,75R
- D) 1,00R

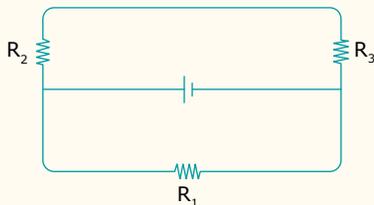


02. Observe o esquema. A bateria é ideal e as resistências de  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  são iguais a  $6 \Omega$ ,  $2 \Omega$  e  $4 \Omega$ , respectivamente. A respeito do circuito, é incorreto afirmar que



- A) as correntes que passam nos três resistores têm intensidades iguais.
- B) o resistor 1 libera, por segundo, mais calor do que a soma dos outros dois.
- C) se o resistor 3 queimar, a potência do resistor 1 fica a mesma de antes.
- D) a resistência total da associação, entre os pontos A e B, é igual a  $3 \Omega$ .
- E) se o resistor 1 queimar, as voltagens nos resistores 2 e 3 não se alteram.

03. (FMJ-SP) No circuito mostrado, o gerador e os fios de ligação são ideais, e os resistores  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  são ôhmicos e têm a mesma resistência elétrica.



Sabendo que o resistor  $R_1$  dissipa  $100 \text{ W}$  de potência, pode-se afirmar que o resistor  $R_2$  dissipa, em  $\text{W}$ , uma potência igual a

- A) 10.
- B) 25.
- C) 50.
- D) 75.
- E) 100.



04. (UPF-RS) Considere um circuito formado por dois resistores ôhmicos,  $R_1$  e  $R_2$  em série com uma bateria. Neste circuito, a energia dissipada por unidade de tempo pelo resistor  $R_2$  é o dobro do que a dissipada pelo resistor  $R_1$ . Sendo  $I_1$  e  $I_2$  as correntes elétricas que circulam pelos resistores, e  $V_1$  e  $V_2$  as quedas de potencial nos respectivos resistores, é correto afirmar que

- A)  $V_1 = V_2$ ;  $I_1 = I_2$ ;  $R_1 = R_2$ .
- B)  $V_1 \neq V_2$ ;  $I_1 = I_2$ ;  $R_1 = R_2$ .
- C)  $V_1 = V_2$ ;  $I_1 \neq I_2$ ;  $R_1 = R_2$ .
- D)  $V_1 \neq V_2$ ;  $I_1 = I_2$ ;  $2R_1 = R_2$ .
- E)  $V_1 \neq V_2$ ;  $I_1 = I_2$ ;  $R_1 = 2R_2$ .

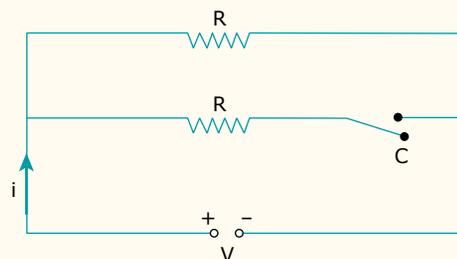
05.

(Uncisal) No recente blecaute que afetou a vida de milhões de brasileiros, um vestibulando de São Paulo, estado mais afetado pelo apagão, decidiu usar sua lanterna a pilha. Essa lanterna funciona com 3 pilhas comuns ( $1,5 \text{ V}$  cada) associadas em série, que vão constituir uma fonte de  $4,5 \text{ V}$  de tensão. Como a luminosidade fornecida pela lâmpada não lhe fosse suficiente e ele dispusesse de outra lâmpada idêntica, resolveu usar ambas simultaneamente improvisando uma associação. Para conseguir a luminosidade desejada, mais intensa, o vestibulando deve ter associado as lâmpadas em

- A) série, sabendo que assim as pilhas durariam a metade do tempo em comparação ao seu uso com uma lâmpada apenas.
- B) série, sabendo que as pilhas durariam o mesmo tempo que duram quando alimentam uma lâmpada apenas.
- C) paralelo, sabendo que as pilhas durariam menos tempo que duram quando alimentam uma lâmpada apenas.
- D) paralelo, sabendo que as pilhas durariam o mesmo tempo que duram quando alimentam uma lâmpada apenas.

06.

(PUC RS) No circuito representado a seguir, a diferença de potencial  $V$  é mantida constante, as resistências  $R$  são iguais e a chave  $C$  encontra-se inicialmente desligada.



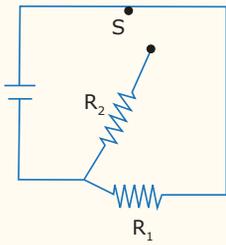
Ligando a chave  $C$ , os valores da resistência equivalente, intensidade de corrente  $i$  e potência elétrica total dissipada nos resistores, em relação aos valores iniciais, com a chave  $C$  aberta, ficam, respectivamente,

- A) o dobro, a metade, igual.
- B) a metade, o dobro, o dobro.
- C) a metade, o dobro, igual.
- D) o dobro, o dobro, a metade.
- E) o dobro, a metade, a metade.

07.

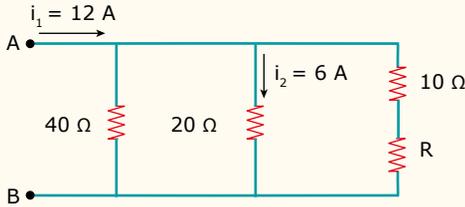


(UFJF-MG) Durante uma aula prática de Física, o professor pediu que os alunos medissem a corrente elétrica total que atravessa o circuito mostrado na figura a seguir, em duas situações distintas: a) com a chave  $S$  aberta e b) com a chave  $S$  fechada. Desprezando-se a resistência interna da bateria e sabendo-se que  $R_1 = 8,0 \Omega$ ,  $R_2 = 2,0 \Omega$  e  $V = 32,0 \text{ V}$ , calcule o valor da corrente elétrica total que atravessa o circuito com a chave  $S$  aberta e com a chave  $S$  fechada, respectivamente.



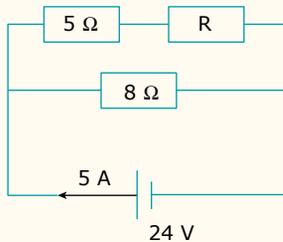
- A) 16,0 A e 4,0 A
- B) 3,2 A e 4,0 A
- C) 4,0 A e 51,2 A
- D) 3,2 A e 20,0 A
- E) 4,0 A e 20,0 A

**08.** (UERN) A resistência na associação de resistores a seguir é igual a



- A) 10 Ω.
- B) 20 Ω.
- C) 30 Ω.
- D) 40 Ω.

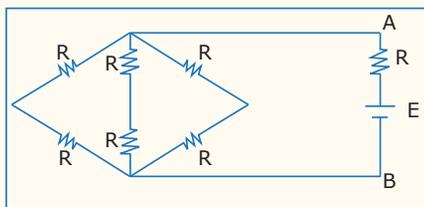
**09.** (IMED-RS) O circuito elétrico representado a seguir é composto por fios e bateria ideais.



Com base nas informações, qual é o valor da resistência indicada?

- A) 5 Ω.
- B) 6 Ω.
- C) 7 Ω.
- D) 8 Ω.
- E) 9 Ω.

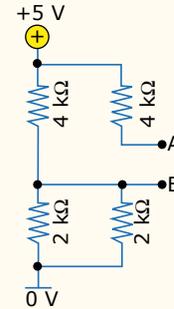
**10.** (EspCEX-SP) No circuito elétrico desenhado a seguir, todos os resistores ôhmicos são iguais e têm resistência  $R = 1,0 \Omega$ . Ele é alimentado por uma fonte ideal de tensão contínua de  $E = 5,0 \text{ V}$ . A diferença de potencial entre os pontos A e B é de



Desenho ilustrativo fora de escala.

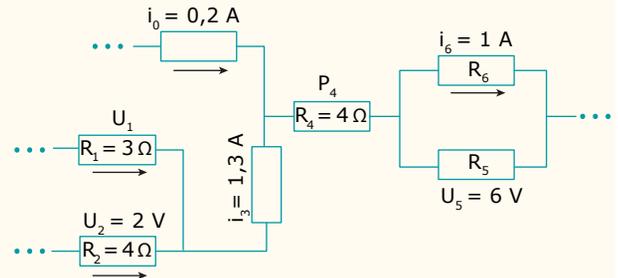
- A) 1,0 V.
- B) 2,0 V.
- C) 2,5 V.
- D) 3,0 V.
- E) 3,3 V.

**11.** (FUVEST-SP) No circuito da figura a seguir, a diferença de potencial, em módulo, entre os pontos A e B é de



- A) 5 V.
- B) 4 V.
- C) 3 V.
- D) 1 V.
- E) 0 V.

**12.** (UFPR) De um trecho de um circuito mais complexo, em que as setas indicam o sentido convencional da corrente elétrica, são conhecidas as informações apresentadas na figura a seguir.



Quanto aos valores que podem ser calculados no circuito, identifique as afirmativas a seguir como verdadeiras (v) ou falsas (f).

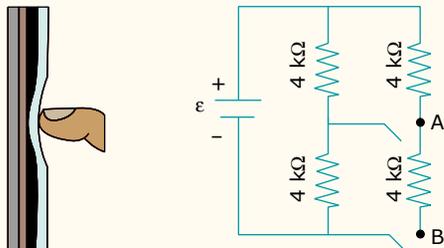
- ( ) A resistência elétrica no resistor  $R_5$  é de  $3 \Omega$ .
- ( ) A tensão elétrica no resistor  $R_1$  é de 2 V.
- ( ) A potência dissipada pelo resistor  $R_4$  é de 9 W.
- ( ) O valor da resistência elétrica  $R_6$  é de  $6 \Omega$ .

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta, de cima para baixo.

- A) V - F - V - F
- B) V - V - F - V
- C) F - F - V - V
- D) F - V - F - F
- E) V - F - V - V

## SEÇÃO ENEM

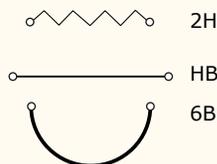
01. (Enem–2018) Muitos *smartphones* e *tablets* não precisam mais de teclas, uma vez que todos os comandos podem ser dados ao se pressionar a própria tela. Inicialmente essa tecnologia foi proporcionada por meio das telas resistivas, formadas basicamente por duas camadas de material condutor transparente que não se encostam até que alguém as pressione, modificando a resistência total do circuito de acordo com o ponto onde ocorre o toque. A imagem é uma simplificação do circuito formado pelas placas, em que A e B representam pontos onde o circuito pode ser fechado por meio do toque.



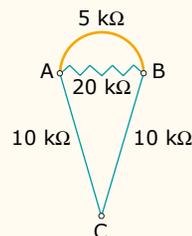
Qual é a resistência equivalente no circuito provocada por um toque que fecha o circuito no ponto A?

- A) 1,3 kΩ
- B) 4,0 kΩ
- C) 6,0 kΩ
- D) 6,7 kΩ
- E) 12,0 kΩ

02. (Enem) Por apresentar significativa resistência elétrica, o grafite pode ser utilizado para simular resistores elétricos em circuitos desenhados no papel, com o uso de lápis e lapiseiras. Dependendo da espessura e do comprimento das linhas desenhadas, é possível determinar a resistência elétrica de cada traçado produzido. No esquema foram utilizados três tipos de lápis diferentes (2H, HB e 6B) para efetuar três traçados distintos.



Munido dessas informações, um estudante pegou uma folha de papel e fez o desenho de um sorvete de casquinha utilizando-se desses traçados. Os valores encontrados nesse experimento, para as resistências elétricas (R), medidas com o auxílio de um ohmímetro ligado nas extremidades das resistências, são mostrados na figura. Verificou-se que os resistores obedeciam à Lei de Ohm.



Na sequência, conectou o ohmímetro nos terminais A e B do desenho e, em seguida, conectou-o nos terminais B e C, anotando as leituras  $R_{AB}$  e  $R_{BC}$ , respectivamente.

Ao estabelecer a razão  $\frac{R_{AB}}{R_{BC}}$ , qual resultado o estudante obteve?

- A) 1
- B)  $\frac{4}{7}$
- C)  $\frac{10}{27}$
- D)  $\frac{14}{81}$
- E)  $\frac{4}{81}$

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. C
- 02. B
- 03. C
- 04. B
- 05. A
- 06. B
- 07. D
- 08. D

#### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. D
- 02. B
- 03. B
- 04. D
- 05. C
- 06. B
- 07. E
- 08. C
- 09. C
- 10. B
- 11. B
- 12. C

#### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. C
- 02. B



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## Resistores no Dia a Dia

### CIRCUITOS ELÉTRICOS – APLICAÇÕES

A maioria das pessoas tem muito temor de eletricidade, uma tecnologia muito útil que requer cautela, mas não medo. Vamos, neste módulo, descobrir como o chuveiro pode nos fornecer água morna e quente (além de desligar de vez em quando durante o nosso banho), vamos aprender por que aquele secador de cabelos, levado de viagem a outra cidade, pode se queimar ao ser ligado e muito mais. Vamos levar o estudo da eletricidade para o nosso cotidiano.

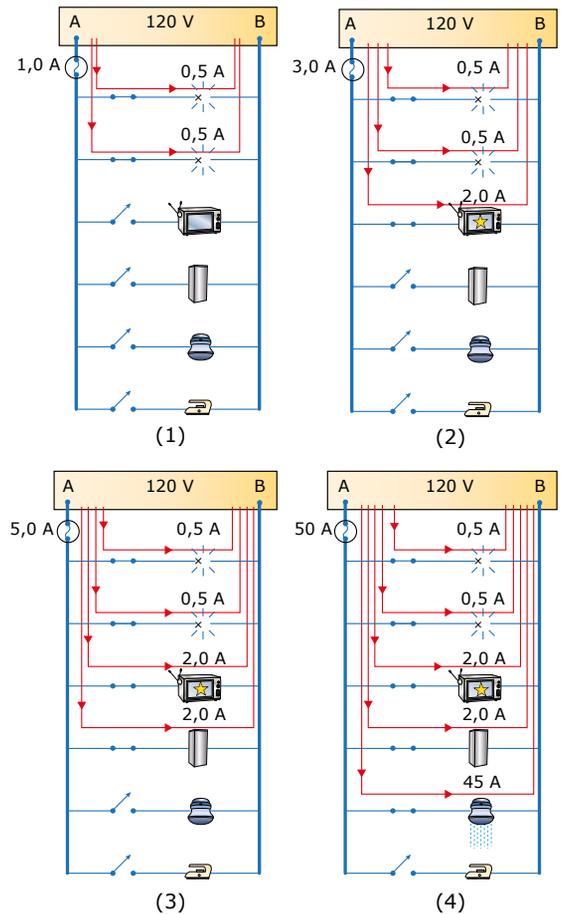
### O CIRCUITO RESIDENCIAL

No dia a dia, podemos notar que os aparelhos elétricos funcionam de forma independente uns dos outros em uma residência ou em um escritório. Além disso, a inserção ou a retirada de um ou mais deles, em um circuito bem dimensionado, não afeta o funcionamento ou o desempenho dos demais. Qual deve ser a associação entre os aparelhos para que isso aconteça? Com certeza você respondeu: em paralelo. Vejamos.

Considere uma residência com apenas um circuito ligando todos os aparelhos (na prática, como veremos adiante, não é bem assim). Como se sabe, a corrente elétrica no circuito residencial é alternada, isto é, ela muda de sentido muito rapidamente. No entanto, vamos considerá-la contínua e de valor igual ao seu valor eficaz.

O circuito residencial é protegido por uma chave disjuntora (disjuntor), colocada na entrada da rede, logo após o ponto A (mostrado nos esquemas a seguir). Vamos considerar que o circuito possua um disjuntor de 60 A. Isso quer dizer que, se a corrente no circuito ultrapassar 60 A, o disjuntor desarmará e desligará todo o circuito.

O circuito residencial representado a seguir possui apenas duas lâmpadas de 60 W ( $I = 0,5$  A) cada uma, um aparelho de TV de 240 W ( $I = 2,0$  A), uma geladeira de 240 W ( $I = 2$  A), um chuveiro de 5 400 W ( $I = 45$  A) e um ferro de passar roupa de 1 800 W ( $I = 15$  A). O circuito é alimentado pela companhia de energia elétrica que fornece uma tensão eficaz de 120 V entre os pontos A e B. Assim, a d.d.p. entre os dois fios principais do circuito (que estão entre A e B) é de 120 V.



As figuras 1, 2, 3 e 4 mostram os valores das correntes nos aparelhos do circuito à medida que estes são ligados. Em (1), apenas as lâmpadas estão ligadas e a corrente eficaz que vem da fornecedora de energia é de 1,0 A (0,5 A para cada lâmpada). Certamente, você está se lembrando de que, na ligação em paralelo, os aparelhos operam de forma independente (o funcionamento de um não interfere no funcionamento do outro).

Leobard / Creative Commons



A figura (2) mostra que a TV foi ligada. Veja que ela puxa da rede uma corrente de 2,0 A, e, assim, a corrente total no disjuntor passa a ser de 3,0 A.

Em certo momento, figura (3), o motor da geladeira se arma, e uma corrente de 2,0 A percorre o seu circuito. A partir daí, a corrente total no disjuntor é de 5,0 A.

Enquanto você estava assistindo à TV, sua irmã foi tomar banho (4). O chuveiro necessita de uma corrente de 45 A e, dessa forma, a corrente total que atravessa o disjuntor é de 50 A. E, justamente nesse momento, seu irmão resolveu passar roupa. Com o funcionamento do ferro elétrico, que utiliza uma corrente de 15 A, a corrente total no disjuntor passaria para 65 A. Passaria... Mas o que acontece? Como o disjuntor suporta 60 A no máximo, ele vai desarmar e cortar todo o fornecimento de energia para a sua casa. Lá se foram a TV e o banho quente. (Você conhece uma história parecida com essa?)

O circuito representado anteriormente está mal dimensionado. A solução seria chamar o electricista e pedir para ele colocar um disjuntor que suporte uma corrente maior? Não. Se ele fizer isso, o disjuntor não vai mais se desarmar e, portanto, vai perder a sua função – que é a de proteger o circuito elétrico da residência. Embora a resistência dos fios ( $r$ ) tenha sido desprezada até agora, ela existe, e esses fios, percorridos por correntes elevadas, se aquecem muito ( $P = rI^2$ ). Assim, o que determina o dimensionamento do disjuntor é a espessura (chamada “bitola”) dos fios do circuito. Para correntes elevadas, seria necessário trocar a fiação do circuito, utilizando fios mais grossos. Esse é o principal motivo para que uma residência apresente vários circuitos independentes, cada um com a sua fiação, seu disjuntor e os aparelhos a ele ligados.

Uma sugestão importante: localize a caixa de disjuntores em sua casa e chame um amigo para lhe ajudar. Ligue todos os aparelhos simultaneamente. Desligue um disjuntor de cada vez e descubra, e, principalmente, anote na própria caixa quais aparelhos aquele disjuntor está protegendo. Assim, havendo necessidade de se desligar determinado aparelho, você vai cortar a corrente dele especificamente. Isso pode ser útil, principalmente à noite, pois não ficará sem a iluminação das lâmpadas.

## ALGUNS RESISTORES IMPORTANTES



Uma aplicação muito comum do resistor é a sua utilização nos sistemas de aquecimento. Neles, o fato de o resistor apresentar uma resistência e, por meio do efeito Joule, transformar a energia elétrica em energia térmica (“calor”) é desejável e é o objetivo de seu uso no aparelho em questão.

### O chuveiro elétrico

O chuveiro é um equipamento bastante familiar a todos. Entretanto, como é o funcionamento do chuveiro para que possamos tomar banho com a água na temperatura desejada? Bem simples. Veja a seguir:



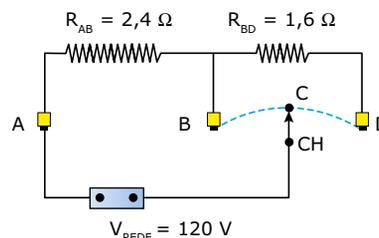
HenriqueBarraMansa / Creative Commons  
dogotuls.com.br / Divulgação

Dentro do chuveiro, existe um resistor, conforme mostrado na figura anterior. O resistor pode queimar e, assim, precisará ser substituído. No entanto, o que vai queimar é o resistor, e não a sua resistência. Esta não queima, pois é uma propriedade do resistor (que continua a existir nos pedaços do resistor “queimado”).

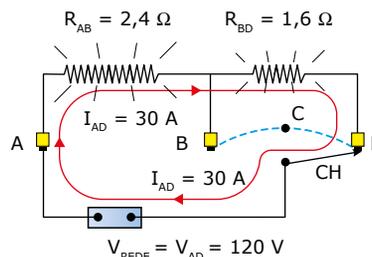


crpaenlinea.com / Divulgação

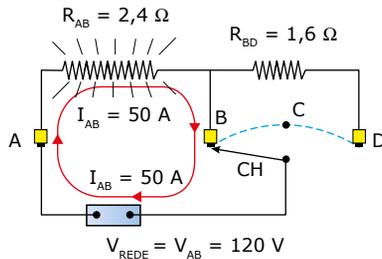
Observe o resistor da figura anterior. Note que o resistor do chuveiro apresenta três bornes por onde a corrente pode circular. Vamos analisar um tipo de circuito de ligação de chuveiro bem simples mostrado a seguir.



A rede elétrica fica ligada entre o ponto A e a chave seletora de temperatura. Na figura anterior, a chave (CH) está conectada ao ponto C. Observe que o circuito está aberto (uma corrente que viesse da rede pelo ponto A não teria por onde “sair”, pois os pontos B ou D estão desligados da rede). Esse banho vai ser uma fria!



A chave (CH), agora, está ligada ao ponto D (figura anterior), e a corrente percorre os resistores  $R_{AB}$  e  $R_{BD}$ . A d.d.p. fornecida ao dispositivo é  $V_{REDE} = 120\text{ V}$ , e a “resistência do chuveiro” vale  $R_{AD} = 4,0\ \Omega$ . Logo, a corrente que percorre o aparelho é  $I_{AD} = V_{AD}/R_{AD} = 120/4,0 = 30\text{ A}$ . O chuveiro dissipa, então, uma potência  $P_{AD} = V_{REDE}^2/R_{AD} = 120^2/4,0 = 3\ 600\text{ W}$ . O banho começou a esquentar!



A chave (CH), dessa vez, foi conectada ao ponto B. A corrente atravessa, apenas, o resistor  $R_{AB} = 2,4\ \Omega$ , que, nesse caso, é a resistência do chuveiro. Assim,  $I_{AB} = V_{AB}/R_{AB} = 120/2,4 = 50\text{ A}$ . Observe que a corrente que percorre o chuveiro aumentou em relação à situação anterior. Assim, apesar de a resistência ter diminuído, a potência dissipada vai aumentar,  $P_{AB} = V_{REDE}^2/R_{AB} = 120^2/2,4 = 6\ 000\text{ W}$ . Agora vai sair fumaça!

#### Resumo das variáveis:

Chave (CH) na posição	C	D	B
Resistência do chuveiro	$\infty$	$4,0\ \Omega$	$2,4\ \Omega$
Corrente que circula	0	30 A	50 A
Potência dissipada	0	3 600 W	6 000 W
Água do banho	Fria	Morna	Quente

Duas considerações, no que diz respeito à água que passa através do chuveiro, merecem destaque:

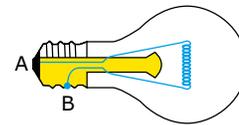
- A quantidade de água que passa através do chuveiro não interfere na potência dissipada por este. Se a torneira jorra menos água, esta fica mais quente porque temos uma quantidade menor de água recebendo, a cada instante, a mesma quantidade de energia fornecida pelo chuveiro.
- Evite passar pouca água pelo chuveiro fechando a torneira para esquentar mais a água, pois ela tem a função de refrigerar o chuveiro. Se não há água suficiente, o chuveiro e a fiação que o liga à rede vão esquentar muito e podem queimar, gerando um curto-circuito. Se o seu chuveiro está aquecendo pouco, compre outro!

É importante ressaltar que tudo o que foi dito a respeito do chuveiro vale para qualquer outro aparelho usado em aquecimento, como o forno ou fogão elétrico, o aquecedor de ambiente, o ferro de solda, o ebullidor (“mergulhão”), o ferro elétrico e outros.

## A lâmpada elétrica incandescente

Sabemos do conforto que é chegar em casa, à noite, abrir a porta e ligar o interruptor de luz. Tudo fica iluminado. Porém, como isso funciona? É, também, graças ao efeito Joule (nas lâmpadas incandescentes).

Todo corpo emite radiação eletromagnética. Você percebe isso quando chega perto de um forno que está assando pão de queijo, por exemplo. Dependendo da temperatura em que o corpo se encontra, ele pode emitir uma radiação eletromagnética que ilumina os objetos à sua volta. É o que acontece com a lâmpada. O seu filamento, ao ser percorrido por uma corrente elétrica, se aquece, fica incandescente e emite luz.

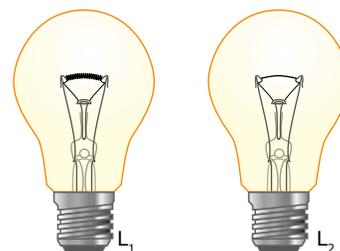


Observe, na figura anterior, que o filamento é soldado aos pontos A (“pé” da lâmpada) e B (parte metálica da rosca). Dessa forma, para que a lâmpada funcione, a corrente deve “entrar pelo pé” e “sair pela rosca” ou vice-versa. O sentido da corrente não importa, pois o filamento se aquecerá da mesma forma, independentemente do sentido dela.

Dentro do bulbo de vidro, existe um gás inerte (não reage com o metal do filamento) e de baixa densidade. Se a densidade do gás não fosse baixa, sua temperatura elevada faria a pressão dentro do bulbo atingir valores muito elevados, a ponto de “explodir” a lâmpada. A parte amarela na figura anterior é formada de material isolante e serve, apenas, para dar sustentação ao filamento e à rosca da lâmpada.

A ligação convencional, e mais usada, é a associação de lâmpadas em paralelo. Já sabemos que, em paralelo, elas são independentes umas das outras. Assim, podemos ligar e desligar quantas lâmpadas forem necessárias sem afetar o funcionamento das demais.

Quando uma lâmpada é montada, o fabricante dimensiona o filamento, com uma resistência específica, para que ela, em funcionamento normal, emita a quantidade de luz desejada. Como temos lâmpadas de diversas potências, cada lâmpada apresenta uma resistência própria. Observe duas lâmpadas com filamentos diferentes.



Como determinar a resistência de uma lâmpada? Já sabemos que a resistência pode ser calculada de duas maneiras:

$$(1) R = V/I = V^2/P \quad (2) R = \rho(L/A)$$

Na última equação, a resistividade ( $\rho$ ) depende do material do filamento e da temperatura, mas não das dimensões do resistor ( $L/A$ ). Normalmente, os valores de resistividade são dados à temperatura ambiente. Dessa forma, o uso da equação (2) fica restrito ao cálculo da resistência da lâmpada fria, a não ser que as grandezas sejam dadas para a temperatura da lâmpada acesa.

Quando a lâmpada encontra-se em funcionamento, a temperatura do filamento pode atingir 3 000 °C, e sua resistência aumenta muito. Duas grandezas sempre estão anotadas no bulbo de uma lâmpada: a potência (60 W, por exemplo) e a tensão (127 V ou 220 V). Esses valores são chamados nominais. A tensão nominal indica o valor de tensão a ser fornecido à lâmpada para que ela dissipe a potência que está indicada no bulbo, potência nominal. Assim, para calcular a resistência da lâmpada, em funcionamento, devemos usar a equação (1) da seguinte forma:

$$R_L = \frac{V_N^2}{P_N}$$

Aqui,  $V_N$  e  $P_N$  são os valores que vêm indicados no bulbo da lâmpada (tensão e potência nominais). Imagine uma lâmpada com a seguinte especificação:  $P_N = 60$  W e  $V_N = 120$  V. A resistência de funcionamento dessa lâmpada é dada por  $R_L = V_N^2/P_N = 120^2/60 = 240 \Omega$ . Vejamos o que acontece se essa lâmpada for conectada a fontes de tensão ( $V_{\text{real}}$ ) de diferentes valores. Considere que a resistência da lâmpada permaneça constante nos três casos.

1. Se  $V_{\text{REAL}} = 120$  V  $\rightarrow$  A lâmpada será percorrida por uma corrente  $I = V_{\text{REAL}}/R_L = 120 / 240 = 0,50$  A e dissipará uma potência  $P_{\text{REAL}} = P_{\text{NOMINAL}} = 60$  W.
2. Se  $V_{\text{Real}} = 60$  V  $\rightarrow$  A corrente que passa pela lâmpada será  $I = V_{\text{REAL}}/R_L = 60 / 240 = 0,25$  A e a lâmpada estará dissipando uma potência  $P_{\text{REAL}} = V_{\text{REAL}}^2/R_L = 60^2 / 240 = 15$  W (quarta parte da potência nominal).
3. Se  $V_{\text{Real}} = 240$  V  $\rightarrow$  A corrente que passaria pela lâmpada seria  $I = V_{\text{REAL}}/R_L = 240 / 240 = 1,0$  A e a lâmpada estaria dissipando uma potência  $P_{\text{REAL}} = V_{\text{REAL}}^2/R_L = 240^2 / 240 = 240$  W (quatro vezes a potência nominal).

Uma consideração importante deve ser feita:

O “brilho” de uma lâmpada incandescente está relacionado com a quantidade de energia luminosa que ela emite a cada segundo. Por isso, para comparar os “brilhos”, você deve avaliar as potências realmente dissipadas pelas lâmpadas.

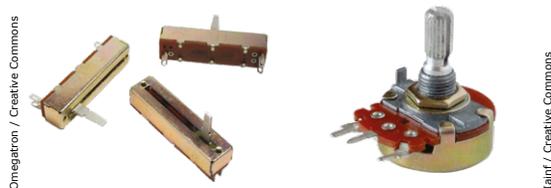
Vimos, no 2º caso ( $V_{\text{REAL}} = 60$  V), que a potência dissipada pela lâmpada foi quatro vezes menor do que a potência nominal dela. Isso significa que a lâmpada terá um “brilho” bem menor do que aquele que ela apresentaria caso estivesse funcionando sob as condições nominais e vai iluminar muito pouco. Entretanto, ela não corre o risco de se queimar.

Você percebeu que, no 3º caso ( $V_{\text{REAL}} = 240$  V), o verbo foi colocado no futuro do pretérito? Se a lâmpada for ligada em 240 V, ela vai fundir o filamento (“queimar”) e deixar de funcionar. Por esse motivo, nenhum aparelho elétrico deve ser ligado em uma tensão acima daquela para a qual foi fabricado, sob o risco de se queimar – a não ser que ele tenha sido montado com esse objetivo.

Volte à figura anterior das duas lâmpadas. Nela, percebemos que o filamento da lâmpada (1) é mais grosso que o da lâmpada (2). Portanto, de acordo com a equação  $R = \rho L/A$ , a lâmpada (1) possui menor resistência que a lâmpada (2). A potência nominal de cada uma das lâmpadas pode ser calculada por  $P = V^2/R$ . Como a lâmpada (1) possui menor resistência que a lâmpada (2) e ambas estão submetidas à mesma d.d.p., conclui-se que a lâmpada (1) terá maior potência que a lâmpada (2). De fato, as lâmpadas mostradas são de 100 W e 40 W, respectivamente.

## O reostato ou potenciômetro

Muitas vezes, necessitamos que a corrente em um circuito tenha o seu valor variado de forma contínua (analógica). Para isso, utilizamos um dispositivo chamado reostato ou potenciômetro. Esse tipo de circuito é muito usado em vários aparelhos elétricos, como o ventilador, no qual você altera, de forma contínua, a velocidade de rotação, ou o interruptor em quartos de crianças, no controle da intensidade luminosa, por exemplo.

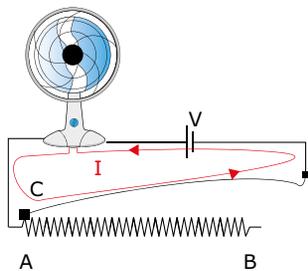
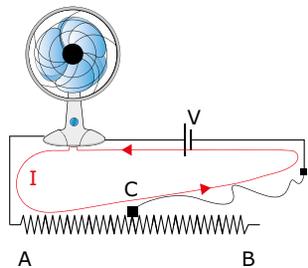
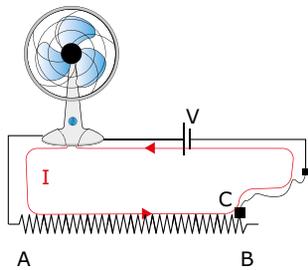


O funcionamento do reostato é simples e baseado no fato de que a resistência varia com o comprimento do resistor a ser percorrido por uma corrente ( $R \propto L$ ). O potenciômetro deve ser ligado em série com o aparelho cuja corrente se quer controlar (ele vai dividir a voltagem com o dispositivo – divisor de tensão).

O reostato é representado nos circuitos elétricos pelos símbolos a seguir:

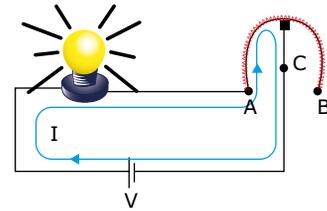


Veja o esquema a seguir. No reostato deslizante, um contato (C) pode ser deslocado ao longo do dispositivo. A resistência do reostato ( $R_{AC}$ ) aumenta ou diminui de acordo com a posição do contato. Seja  $R_V$  a resistência do ventilador.



A resistência total do circuito é dada por  $R = R_V + R_{AC}$ . Observe as três posições do contato nas figuras anteriores. Na primeira, o contato está no fim do reostato ( $R_{AC}$  possui o maior valor possível), a resistência total é grande e a corrente no circuito é pequena (o ventilador gira lentamente). Na segunda figura, o contato está no meio do reostato ( $R_{AC}$  possui um valor intermediário, porém menor), a corrente é maior que aquela do primeiro circuito e a velocidade de rotação do ventilador aumenta. Na última, o contato está no início do reostato ( $R_{AC}$  possui o menor valor possível,  $R_{AC} = 0$ ) e a corrente é grande, pois encontra, apenas, a resistência do ventilador. Nesse caso, o ventilador apresenta a maior velocidade de rotação possível. Assim, utilizando o reostato, você pode controlar a rotação do aparelho.

No reostato de rotação, você gira o contato (C) para aumentar ou diminuir a resistência do aparelho. Veja a figura a seguir. Se girar o contato (C) para a esquerda (sentido anti-horário), você diminui a resistência do reostato e a lâmpada ilumina mais. Se, ao contrário, girar o contato para a direita (sentido horário), a resistência aumenta e o brilho da lâmpada diminui. Reostatos desse tipo são utilizados em ferros elétricos e em geladeiras, nos quais a temperatura é controlada pela rotação do reostato.



Existem vários aparelhos que possuem uma chave com algumas posições que permitem que eles funcionem com maior ou menor eficiência. É o caso, por exemplo, do liquidificador e de outros eletrodomésticos. Nestes, não existe reostato. Eles possuem dois ou mais resistores ligados em série (dentro do aparelho), assim como o chuveiro elétrico.

## CIRCUITOS COM LÂMPADAS INCANDESCENTES

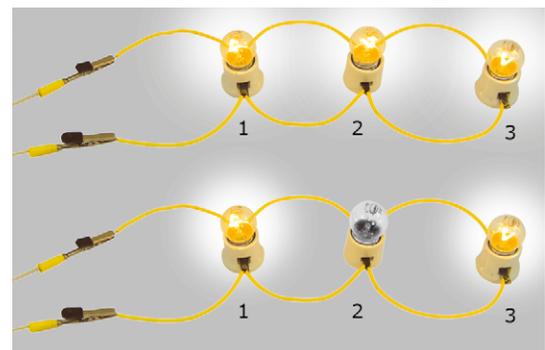


Conforme já foi citado, o "brilho" de uma lâmpada incandescente (energia luminosa emitida por ela a cada instante) está associado à potência real dissipada por ela. Conhecer situações diversas a esse respeito e o que acontece quando uma lâmpada é inserida ou retirada de um circuito é importante.

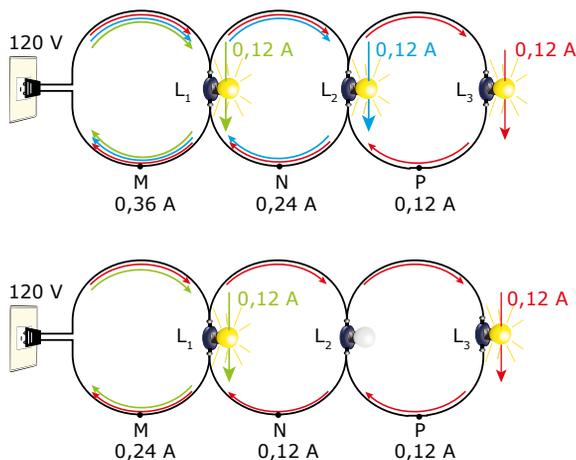
Duas ou mais lâmpadas são idênticas se elas apresentam a mesma resistência. Isso não quer dizer, necessariamente, que as lâmpadas dissipam a mesma potência (forneçam a mesma luminosidade). Vejamos, então, algumas situações.

### Caso 1:

Considere três lâmpadas idênticas ( $R = 1\ 000\ \Omega$ ), associadas em paralelo e ligadas à rede elétrica de 120 V. Observe que, se a lâmpada do meio ( $L_2$ ) for desligada ou se queimar, esta se apaga, e os brilhos das outras duas lâmpadas não são alterados.



Considere a figura a seguir. Nela, a corrente em cada lâmpada é de 0,12 A. Você já sabe que, na associação em paralelo, as lâmpadas funcionam de forma independente. Assim, as correntes que passam pelos pontos M, N e P são, respectivamente, 0,36 A (corrente total), 0,24 A (corrente das lâmpadas 2 e 3) e 0,12 A (corrente da lâmpada 3) conforme mostrado a seguir.



O que acontece com as correntes nos pontos M, N e P do circuito quando a lâmpada 2 é desligada, queima ou quebra? A corrente no ponto P não sofreu qualquer alteração, uma vez que por ele passa, apenas, a corrente da lâmpada  $L_3$  ( $I = 0,12$  A). Entretanto, as correntes nos pontos M e N diminuirão. No ponto N, passavam as correntes das lâmpadas 2 e 3 ( $I = 0,24$  A) e, no ponto M, as correntes das três lâmpadas ( $I = 0,36$  A). Como a do meio é desligada, as correntes nos pontos N e M são, agora, iguais a 0,12 A e 0,24 A, respectivamente.

A potência total dissipada pelas duas lâmpadas que permaneceram no circuito é  $P = V \cdot I = 120 \cdot 0,24 = 28,8$  W.

**Caso 2:**

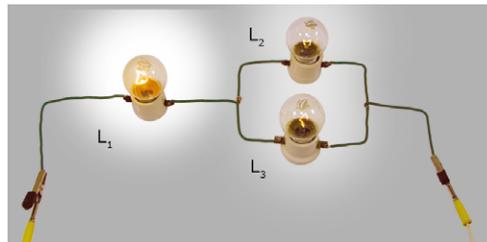
Sejam duas lâmpadas idênticas, as mesmas da associação anterior, ligadas em série e conectadas a uma fonte de tensão (a mesma da ligação anterior). Perceba, primeiramente, que o brilho delas é muito menor do que no Caso 1. Agora, houve uma divisão da d.d.p. da fonte de tensão entre as duas lâmpadas. A resistência total delas é  $R = 2\ 000\ \Omega$ , e a potência total dissipada por elas é  $P = 120^2 / 2\ 000 = 7,2$  W (quatro vezes menor que do caso anterior).



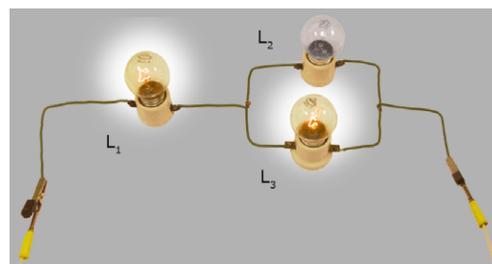
Observe que, se qualquer uma das lâmpadas for desligada do circuito, queimar ou quebrar, a corrente ficará impedida de passar por ela (existe um único caminho para ela circular) e nenhuma das lâmpadas acenderá.

**Caso 3:**

Veja um circuito simples, mas importante, de três lâmpadas idênticas ( $R_L = 1\ 000\ \Omega$ ) associadas em circuito misto e ligadas à rede elétrica de 120 V.



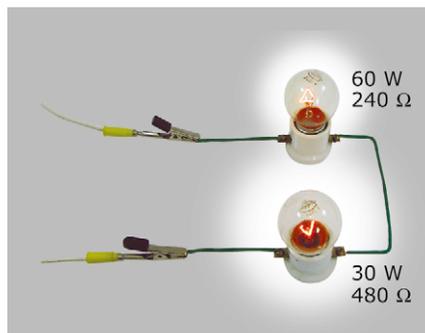
Observe que a lâmpada  $L_1$  ilumina mais que as outras duas lâmpadas juntas. A resistência total desse circuito é  $R = 1\ 500\ \Omega$ , e a corrente total é  $I = 0,08$  A. Assim, a corrente na lâmpada  $L_1$  é 0,08 A e nas lâmpadas  $L_2$  e  $L_3$  é  $I_2 = I_3 = 0,04$  A. Vamos calcular as potências utilizando a equação  $P = RI^2$ . As potências de  $L_2$  e  $L_3$  são  $P_2 = P_3 = 1\ 000(0,04)^2 = 1,6$  W (a potência total de  $L_2$  e  $L_3$  será  $P_{23} = 3,2$  W). A potência da lâmpada  $L_1$  é  $P_1 = 1\ 000(0,08)^2 = 6,4$  W, maior que a potência total de  $L_2$  e  $L_3$ . Veja o que acontece se a lâmpada  $L_2$ , por exemplo, queimar ou for retirada do circuito.



Você percebeu que o brilho da lâmpada  $L_3$  aumentou e que o brilho da lâmpada  $L_1$  diminuiu? Vejamos por que isso aconteceu. Observe que, agora, a resistência total do circuito é  $R = 2\ 000\ \Omega$  (as duas lâmpadas ficaram em série). A corrente nas lâmpadas é  $I = 0,06$  A, e a potência de cada uma delas é  $P = 1\ 000(0,06)^2 = 3,6$  W. Assim, a potência da lâmpada  $L_1$  diminuiu e a da lâmpada  $L_3$  aumentou.

**Caso 4:**

Considere duas lâmpadas de potências diferentes. As características nominais das lâmpadas são:  $L_1$  (60 W, 120 V e  $240\ \Omega$ ) e  $L_2$  (30 W, 120 V e  $480\ \Omega$ ). As lâmpadas  $L_1$  e  $L_2$  são ligadas em série e conectadas à rede ( $V = 120$  V).



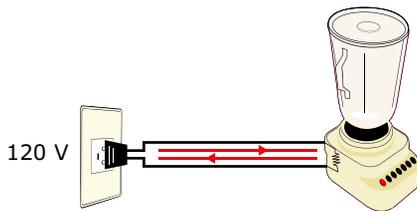
O circuito é um divisor de tensão. Como  $R_2 = 2R_1$ , temos que  $V_2 = 2V_1 \Rightarrow V_1 = 40$  V e  $V_2 = 80$  V. As potências reais das lâmpadas podem ser calculadas por  $P = V^2/R$ . Assim,  $P_1 = 40^2/240 \cong 6,67$  W e  $P_2 = 80^2/480 \cong 13,3$  W. Ou seja, a lâmpada de menor potência nominal está dissipando a maior potência real (brilha mais).

## O CURTO-CIRCUITO

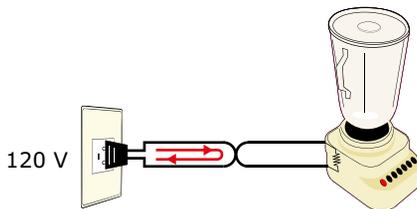
Dizemos que um resistor está em curto-circuito se as suas extremidades estiverem no mesmo potencial elétrico. Quando isso acontece, não há diferença de potencial (tensão) entre tais pontos e, assim, não existe corrente passando pelo resistor.

O curto-circuito é obtido conectando-se os terminais do resistor (ou da associação de resistores) um ao outro ou ligando-se um fio de resistência desprezível a tais pontos. Vejamos um exemplo de cada situação.

Considere um circuito formado por um liquidificador, pelos fios de ligação e pela tomada de energia da rede elétrica de uma residência. A resistência do circuito é formada pela soma das resistências do liquidificador (grande) e dos fios de ligação (pequena) – os fios estão em série com o aparelho. Nesse caso, a potência dissipada no circuito será  $P = V^2/(R_L + R_f)$ .



Se os fios que alimentam o liquidificador fazem contato um com o outro (por exemplo, se o plástico em volta dos fios derreter), eles fecham um curto-circuito nesse ponto. A corrente vai passar por um circuito mais “curto” – apenas nos fios de ligação conforme mostrado a seguir.



Nessa situação, a corrente elétrica e a potência dissipada no circuito serão muito altas, pois a resistência do circuito é apenas a dos fios. Dessa forma, pode acontecer de o curto-circuito causar incêndio nos fios do liquidificador e nos fios da rede elétrica da casa. Muito cuidado com isso!

Outra situação em que pode ocorrer um curto-circuito está mostrada a seguir. Veja que as duas lâmpadas estão associadas em série e conectadas à rede elétrica. Se os terminais de uma das lâmpadas forem curto-circuitados por um fio de resistência desprezível, essa lâmpada não vai ser percorrida pela corrente elétrica e, dessa forma, apenas a outra lâmpada vai permanecer acesa.



## O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Com certeza, você tem acompanhado as notícias sobre os problemas climáticos, sobre a possibilidade de redução da atividade econômica por questões de dependência energética e sobre a busca de fontes energéticas alternativas, economicamente viáveis e ecologicamente corretas. Agora, mais do que nunca, existe a necessidade urgente de se economizar energia em todas as suas formas. E essa é uma atitude ao alcance de todos nós. Basta uma mudança nos pequenos hábitos do nosso dia a dia, que não afetarão, significativamente, nosso conforto e nossa segurança.

Veja, a seguir, algumas maneiras de contribuir para a redução do consumo de energia.

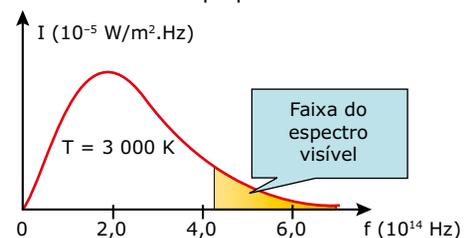
1. Tenha o costume de desligar todas as lâmpadas e todos os aparelhos elétricos (TV, por exemplo) quando sair de um ambiente. Há muita gente que deixa as “paredes” assistirem à televisão.
2. Quando sair de casa, desconecte da rede elétrica os aparelhos que podem ser desligados.
3. Evite sobrecarregar a geladeira, remova o gelo do congelador semanalmente e abra a porta da geladeira apenas quando for necessário, fechando-a novamente o mais rápido possível (a geladeira é um dos aparelhos que mais consomem energia em uma residência).
4. Procure reduzir o tempo do seu banho ou feche a torneira enquanto estiver se ensaboando (o desperdício de água também merece a nossa atenção).

Tais atitudes exigem um compromisso diário para a sua realização. Pode parecer pouco, mas, se todos fizerem sua parte, os problemas energéticos do mundo podem ser minimizados.

Além das mudanças de hábito citadas anteriormente, podemos tomar outras atitudes que contribuam para a economia de energia e que não exigem ação diária. Veja a seguir.

### Lâmpada incandescente x lâmpada fluorescente

A lâmpada incandescente comum, a mais utilizada pela população na iluminação residencial e comercial, tem uma eficiência energética muito pequena. O gráfico a seguir mostra, de forma aproximada, o espectro de emissão de um corpo aquecido, à temperatura de 3 000 K (temperatura média do filamento da lâmpada incandescente em funcionamento normal). Observe que apenas uma pequena parcela da energia emitida pela lâmpada (cerca de 10% a 20%) é convertida em luz visível, e o restante dessa energia é dissipada na forma de calor radiante (infravermelho). Por esse motivo, a eficiência energética da lâmpada incandescente é pequena.



Veja a figura seguinte, que mostra uma lâmpada incandescente e uma lâmpada fluorescente compacta.



Vamos comparar as características de uma lâmpada incandescente de 60 W com as características de uma lâmpada fluorescente compacta de 15 W. Os valores técnicos foram obtidos nas embalagens das lâmpadas citadas.

	Incandescente	Fluorescente
Potência nominal	60 W	15 W
Eficiência luminosa (quantidade de luz emitida)	778 lumens	1 059 lumens
Energia consumida (6 horas/dia – 01 ano)	131 kWh	33 kWh
Custo anual médio	R\$ 83,00	R\$ 21,00
Expectativa média de vida útil	06 meses	04 anos
Preço médio no mercado	R\$ 2,00	R\$ 8,00

Veja que a lâmpada fluorescente custa, em média, quatro vezes mais. Porém, ilumina 36% a mais que a lâmpada incandescente, possui uma vida útil, em média, oito vezes maior e o seu custo energético anual é, aproximadamente, quatro vezes menor. Diante do exposto, cabe a você decidir pela troca das lâmpadas incandescentes pelas fluorescentes. O planeta agradece o seu ato de sensatez!

Um alerta importante: compre lâmpadas de fabricantes confiáveis. Uma pequena economia, com produtos de procedência duvidosa, não compensa o risco à sua saúde.

## Chuveiro de 127 V × 220 V (ou 220 V × 380 V)

Conforme vimos no estudo sobre corrente elétrica, a rede elétrica residencial apresenta tensões de 127 V (fase-neutro) e 220 V (fase-fase). Em algumas cidades, tais valores são, respectivamente, 220 V e 380 V. Em estudos anteriores, vimos, também, que os fios de ligação, na realidade, possuem uma pequena resistência. Assim,

se a corrente que os percorre é alta, eles aquecem muito (consumo de energia desnecessário e perigoso) e provocam uma queda de tensão significativa na própria fiação. Dessa maneira, uma forma de minimizar a energia desperdiçada seria trocar o resistor do chuveiro por um de maior resistência e aumentar a tensão de alimentação do chuveiro para 220 V (ou 380 V, conforme a cidade). Veja o exercício resolvido a seguir.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 01.** Renata possui em sua residência um chuveiro de 4 800 W, com a chave seletora na posição inverno. Todos os aparelhos elétricos em sua casa apresentam tensão nominal de 120 V. Ela dispõe de tensões de alimentação de 120 V (fase-neutro) e de 240 V (fase-fase). Sempre que o chuveiro é ligado, as lâmpadas do escritório, ligadas no mesmo circuito que o chuveiro, diminuem a intensidade luminosa emitida. Para resolver o problema, ela foi aconselhada a mudar a instalação do chuveiro para 240 V.
- Determine a corrente que percorre o chuveiro e a sua resistência nas condições atuais de funcionamento.
  - O electricista troca o resistor do chuveiro e o instala em 240 V. Determine, nesse caso, a nova resistência do chuveiro e a corrente que o percorre, de modo que, quando na posição inverno, ele continue com a potência de 4 800 W.
  - Explique por que as lâmpadas do escritório podem não mais alterar a intensidade luminosa quando o chuveiro for ligado nessa nova situação.

### Resolução:

- A) A corrente elétrica e a resistência do chuveiro, nas condições atuais de funcionamento, são dadas por:

$$I = P/V \Rightarrow I = 4\,800/120 = 40 \text{ A}$$

$$R = V/I = 120/40 = 3,0 \, \Omega$$

- B) A resistência do chuveiro e a corrente elétrica, na nova situação, são:

$$R = V^2/P \Rightarrow R = 240^2/4\,800 = 12 \, \Omega$$

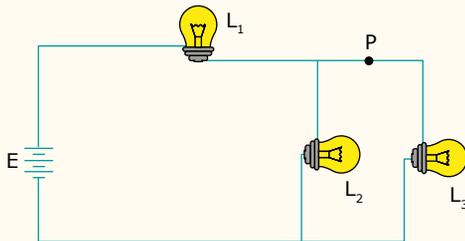
$$I = V/R \Rightarrow I = 240/12 = 20 \text{ A}$$

- C) O valor da corrente que percorre o chuveiro foi reduzido à metade. Assim, a queda de tensão na fiação da casa diminuiu, o que permite maior tensão de alimentação para as lâmpadas, fazendo com que estas não mais alterem sua intensidade luminosa e evite o desperdício de energia.

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (FGV-RJ-2020) O esquema representa um circuito elétrico composto por uma bateria ideal de força eletromotriz  $\epsilon$  e três pequenas lâmpadas incandescentes idênticas.



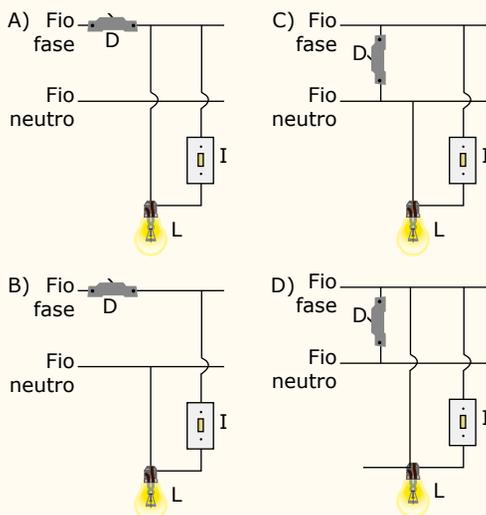
Supondo que as resistências das lâmpadas sejam constantes, se o circuito for interrompido no ponto P, o brilho

- de  $L_1$  aumentará e o de  $L_2$  diminuirá.
- de  $L_1$  e  $L_2$  aumentarão.
- de  $L_1$  e  $L_2$  não se alterarão.
- de  $L_1$  diminuirá e o de  $L_2$  aumentará.
- de  $L_1$  diminuirá e o de  $L_2$  não se alterará.

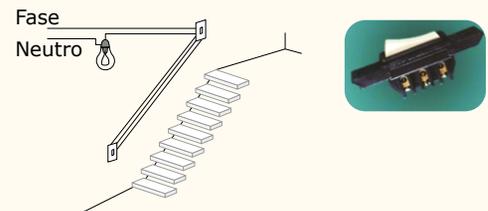
02. ZQ1A



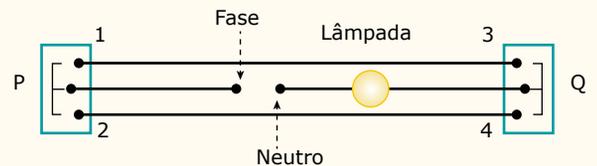
(UFRN) No mundo atual, é muito difícil viver sem a eletricidade e seus benefícios. No entanto, o seu uso adequado envolve o domínio técnico associado a conceitos e princípios físicos. Neste sentido, considere um ramo de um circuito residencial montado por estudantes em uma aula prática de eletricidade, composto pelos seguintes elementos: um disjuntor (D), uma lâmpada (L), um interruptor (I), o fio neutro e o fio fase. O circuito que está corretamente montado é o representado pela opção



03. (CMMG) Uma ligação elétrica residencial chamada de *three-way* é usada quando se necessita acender ou apagar uma mesma lâmpada a partir de dois interruptores, como no exemplo da figura esquerda a seguir. Antes de subir a escada, a pessoa acende a lâmpada por meio de um primeiro interruptor e, quando chega ao andar de cima, apaga a lâmpada pelo outro interruptor.



Os interruptores *three-way* (figura anterior da direita) possuem três saídas de fios. O *three-way* P pode estar ligado nos contatos 1 ou 2; o *three-way* Q pode estar ligado nos contatos 3 ou 4. A figura a seguir mostra o esquema da ligação entre os dois *three-ways*, a lâmpada, a fase e o neutro.



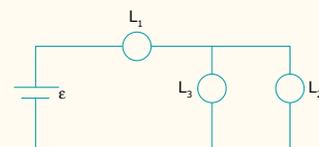
A lâmpada estará acesa se os interruptores P e Q estiverem conectados, respectivamente, em

- 1 e 4 ou 2 e 4.
- 1 e 4 ou 2 e 3.
- 1 e 3 ou 2 e 3.
- 1 e 3 ou 2 e 4.

04. SIAA



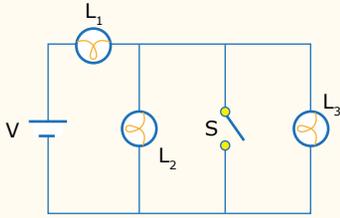
(CEFET-MG) O circuito elétrico seguinte é constituído por três lâmpadas  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ , que são idênticas, e ligadas a uma bateria  $\epsilon$ .



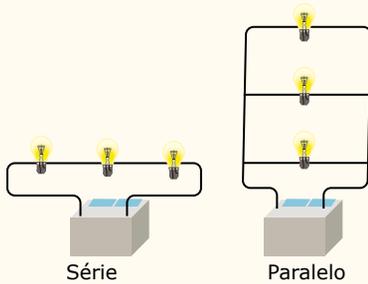
Se a lâmpada  $L_3$  repentinamente se queimar, é correto afirmar que

- $L_2$  diminuirá o seu brilho.
- $L_1$  dissipará mais energia.
- $L_2$  dissipará menos energia.
- $L_1$  terá o mesmo brilho de  $L_2$ .

- 05.** UXPØ (UFC-CE) Três lâmpadas,  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ , são alimentadas por uma bateria ideal  $V$ , conforme mostra a figura. As três lâmpadas estão acesas. Quando a chave  $S$  é fechada, o resultado esperado está indicado na opção:



- A)  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  permanecem acesas.
  - B)  $L_1$  e  $L_2$  permanecem acesas.
  - C)  $L_1$  permanece acesa, mas  $L_2$  e  $L_3$  se apagam.
  - D)  $L_1$  e  $L_3$  se apagam, mas  $L_2$  permanece acesa.
  - E) As três lâmpadas se apagam.
- 06.** (UFRN) As instalações elétricas podem ser feitas em série ou em paralelo, como mostra a figura a seguir.



Considere as afirmações a seguir, em relação a esses tipos de instalações.

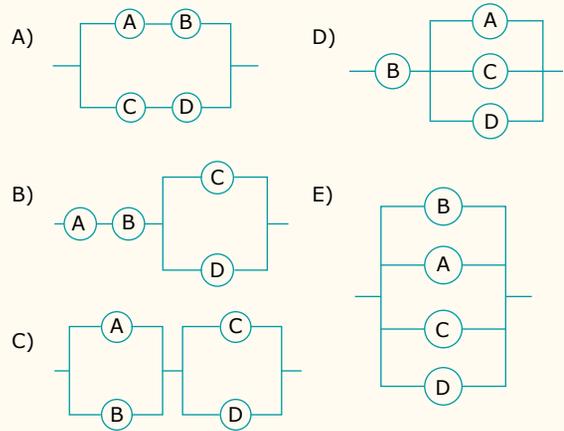
- I. A ligação em série é a mais adequada para a instalação da iluminação de uma residência.
- II. Nos dois tipos de instalação, se uma lâmpada se queimar, o circuito elétrico ficará interrompido, e todas as lâmpadas se apagarão.
- III. No circuito em paralelo, se uma lâmpada se queimar, a corrente elétrica deixará de passar pela lâmpada queimada, mas as outras continuarão acesas, porque há um circuito fechado formado pelas outras lâmpadas, e a corrente continuará a circular.
- IV. A ligação em paralelo é a mais adequada para a instalação da iluminação de uma residência.

Dessas afirmações, são corretas apenas

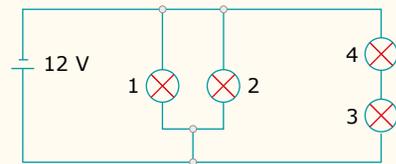
- A) III e IV.
- B) II e III.
- C) I e IV.
- D) I e II.

- 07.** L38D (EspEx-SP) Quatro lâmpadas ôhmicas idênticas A, B, C e D foram associadas e, em seguida, a associação é ligada a um gerador de energia elétrica ideal. Em um dado instante, a lâmpada A queima, interrompendo o circuito no trecho em que ela se encontra. As lâmpadas B, C e D permanecem acesas, porém o brilho da lâmpada B aumenta e o brilho das lâmpadas C e D diminui.

Com base nesses dados, a alternativa que indica a associação formada por essas lâmpadas é:



- 08.** VV6W (PUC RS) O circuito alimentado com uma diferença de potencial de 12 V representado na figura a seguir mostra quatro lâmpadas associadas, cada uma com a inscrição 12 V / 15 W.



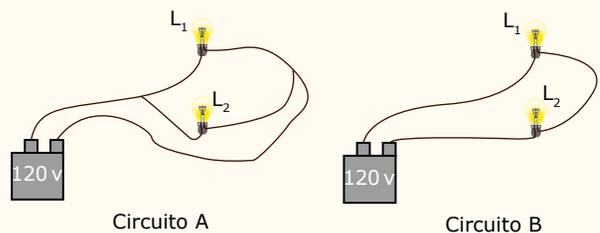
Considerando essa associação entre as lâmpadas, é correto afirmar que

- A) a intensidade da corrente elétrica é diferente nas lâmpadas 1 e 2.
- B) a diferença de potencial é diferente nas lâmpadas 1 e 2.
- C) a intensidade de corrente elétrica na lâmpada 2 é maior do que na 3.
- D) cada uma das lâmpadas 1 e 2 está sujeita à diferença de potencial de 6,0 V.
- E) cada uma das lâmpadas 3 e 4 está sujeita à diferença de potencial de 12 V.

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS



- 01.** (FGV) Os valores nominais de potência de duas lâmpadas,  $L_1$  e  $L_2$ , em 120 V, são, respectivamente, 40 W e 60 W. A figura a seguir mostra dois circuitos, A e B, montados com essas lâmpadas.



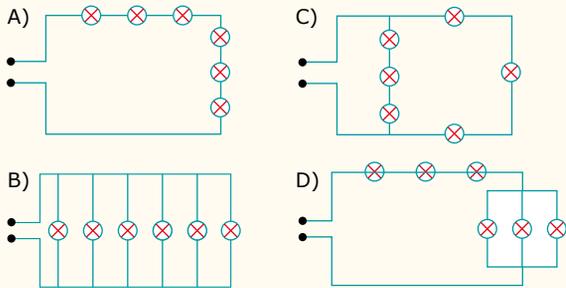
Entre as afirmações que seguem, a única correta é:

- A) No circuito A,  $L_1$  e  $L_2$  brilham com a mesma intensidade.
- B) No circuito B,  $L_1$  e  $L_2$  brilham com a mesma intensidade.
- C) No circuito A,  $L_1$  brilha mais que  $L_2$ .
- D) No circuito B,  $L_1$  brilha mais que  $L_2$ .
- E)  $L_1$  e  $L_2$  brilham mais no circuito B que no circuito A.

02.  
NJES



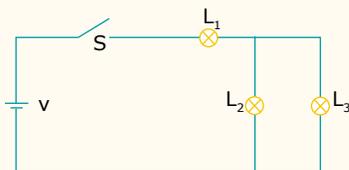
(COLTEC-MG) Uma mulher estava montando uma árvore de Natal, usando um conjunto de 6 lâmpadas, quando uma delas se quebrou. Para sua surpresa, 3 lâmpadas ainda continuaram a se acender com o mesmo brilho. Na produção desse conjunto, qual destes esquemas mostra a ligação das lâmpadas?



03.  
SZ11



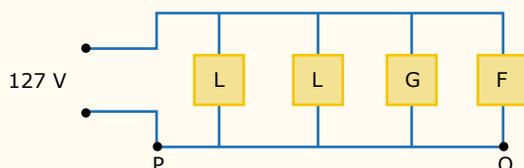
(CEFET-MG) A chave  $S$ , a bateria  $V$  e as três lâmpadas idênticas,  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  estão ligadas conforme o circuito elétrico a seguir.



Quando a chave  $S$  é fechada, a(s)

- A) lâmpadas  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  brilham com a mesma intensidade.
- B) corrente elétrica que flui em  $L_1$  é o dobro da que flui em  $L_2$ .
- C) correntes elétricas que fluem nas lâmpadas  $L_2$  e  $L_3$  são diferentes.
- D) lâmpadas  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  estão submetidas ao mesmo potencial,  $V$ , da bateria.
- E) potência elétrica dissipada por  $L_2$  é maior do que a potência elétrica dissipada por  $L_1$ .

04. (UFMG) O circuito da rede elétrica de uma cozinha está representado, esquematicamente, nesta figura:



Nessa cozinha, há duas lâmpadas  $L$ , uma geladeira  $G$  e um forno elétrico  $F$ . Considere que a diferença de potencial na rede elétrica é constante. Inicialmente, apenas as lâmpadas e o forno estão em funcionamento. Nessa situação, as correntes elétricas nos pontos  $P$  e  $Q$ , indicados na figura, são, respectivamente,  $i_p$  e  $i_Q$ . Em um certo instante, a geladeira entra em funcionamento. Considerando-se essa nova situação, é correto afirmar que

- A)  $i_p$  e  $i_Q$  se alteram.
- B) apenas  $i_p$  se altera.
- C)  $i_p$  e  $i_Q$  não se alteram.
- D) apenas  $i_Q$  se altera.

05.  
J6KV



(FGV-SP) Um electricista modifica a instalação elétrica de uma casa e substitui um chuveiro elétrico ligado em 110 V por outro, de mesma potência, mas ligado em 220 V. Observa-se que esse chuveiro passará, então, a

- A) consumir mais energia elétrica.
- B) consumir menos energia elétrica.
- C) ser percorrido por uma corrente elétrica maior.
- D) ser percorrido por uma corrente elétrica menor.
- E) dissipar maior quantidade de calor.

06.  
4RLF



(CMMG) A seguir, são listados quatro dispositivos residenciais acompanhados de suas especificações elétricas:

- I. Lâmpada de 200 W – 127 V;
- II. Geladeira de 400 W – 127 V;
- III. Ebulidor de 1 000 W – 127 V;
- IV. Chuveiro de 5 000 W – 127 V.

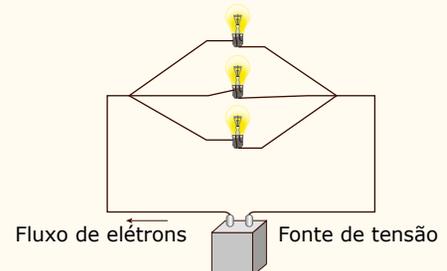
Qual(is) dos dispositivos relacionados pode(m) ser instalado(s) em uma residência, sem riscos de provocar incêndio, se os fios usados suportam uma corrente máxima de 5 A?

- A) Apenas I.
- B) Apenas I e II.
- C) Apenas I, II e III.
- D) Todos.

07.  
JE44



(FMP-RJ-2017) Numa instalação elétrica de um escritório, são colocadas 3 lâmpadas idênticas em paralelo conectadas a uma fonte de tensão.



Se uma das lâmpadas queimar, o que acontecerá com a corrente nas outras lâmpadas?

- A) Aumentará por um fator 1,5.
- B) Aumentará por um fator 2.
- C) Diminuirá por um fator 1,5.
- D) Diminuirá por um fator 2.
- E) Permanecerá a mesma.

- 08.** (UFRRJ) Numa residência, são utilizados, eventualmente, diversos aparelhos elétricos cujas potências estão indicadas no quadro a seguir:

Dispositivo	Potência (W)
Bomba-d'água	950
Geladeira	350
20 lâmpadas	60 (cada)
Televisão	150
Chuveiro	3 000
Ferro de passar	1 100

A residência é alimentada com uma diferença de potencial de 220 V e está instalado um fusível de 25 A. O fusível se queimará se forem utilizados, simultaneamente,

- A) bomba-d'água, 20 lâmpadas de 60 W, televisão e ferro de passar.  
 B) bomba-d'água, geladeira, chuveiro e ferro de passar.  
 C) geladeira, 20 lâmpadas de 60 W, televisão e chuveiro.  
 D) bomba-d'água, 20 lâmpadas de 60 W, chuveiro e ferro de passar.  
 E) 20 lâmpadas de 60 W, televisão, chuveiro e ferro de passar.
- 09.** (UECE) Uma lâmpada incandescente é conectada por dois fios à bateria (12 V) de um carro através de um interruptor cuja resistência é desprezível. Após a lâmpada ser ligada, a corrente elétrica que passa pelo interruptor e a diferença de potencial elétrico entre seus terminais são sempre
- A) 12 V e zero, respectivamente.  
 B) igual a zero e 12 V, respectivamente.  
 C) maior que zero e zero, respectivamente.  
 D) 12 A e 12 V, respectivamente.

- 10.** (UNIPAC-MG) Um chuveiro, geralmente, tem uma chave para ajustar a temperatura do banho conforme a estação do ano. Sobre esse tipo de chuveiro, afirma-se:



- I. Ao mudar a posição da chave para "Verão", a temperatura do banho é menor, pois nessa posição a resistência elétrica é menor.  
 II. Na posição "Inverno", o banho é mais quente, pois nesse aquecimento, de acordo com o efeito Joule, quanto menor a resistência, maior será a dissipação de energia.  
 III. Tanto na posição "Verão" quanto na posição "Inverno", a temperatura do banho depende da vazão da água.  
 IV. A posição da chave altera a temperatura do banho, pois permite variar a diferença de potencial aplicada à resistência do chuveiro.

Assinale a opção que apresenta as afirmativas verdadeiras.

- A) I e II  
 B) I e III  
 C) II e III  
 D) II e IV  
 E) III e IV

**11.**



(UFV-MG) Duas lâmpadas incandescentes comuns, uma de 60 W e 120 V, e outra de 100 W e 120 V, são ligadas em série e a associação é ligada a uma d.d.p. de 120 V. Com relação a esse circuito, considere as seguintes afirmativas:

- I. A corrente na lâmpada de 60 W é igual à corrente na lâmpada de 100 W.  
 II. A lâmpada de 60 W brilha mais que a lâmpada de 100 W.  
 III. A lâmpada de 100 W brilha mais que a lâmpada de 60 W.

Está correto o que se afirma apenas em

- A) I e II.  
 B) I e III.  
 C) II.  
 D) III.

- 12.** (UEG-GO-2019) Visando economizar energia elétrica em sua casa, um estudante resolveu trocar todas as lâmpadas de gás, conhecidas como econômicas, por lâmpadas de LED. As características das lâmpadas de gás estão na tabela a seguir:

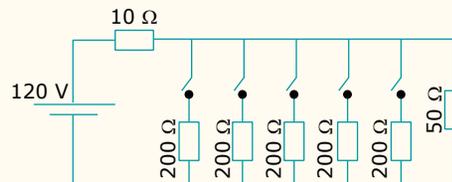
Quantidade de lâmpadas	Potência	Tempo que a lâmpada fica ligada por dia
4	40 W	5 h
2	20 W	4 h
1	15 W	1 h

Considerando que ele troque todas as lâmpadas por lâmpadas de LED de 10 W, sua economia diária, no consumo de energia, em kWh, será de:

- A) 0,975  
 B) 0,290  
 C) 0,450  
 D) 0,685  
 E) 1,265

## SEÇÃO ENEM

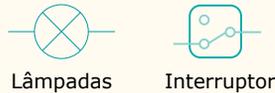
- 01.** (Enem-2019) Uma casa tem um cabo elétrico mal dimensionado, de resistência igual a 10 Ω, que a conecta à rede elétrica de 120 V. Nessa casa, cinco lâmpadas, de resistência igual a 200 Ω, estão conectadas ao mesmo circuito que uma televisão de resistência igual a 50 Ω, conforme ilustrado no esquema. A televisão funciona apenas entre 90 V e 130 V.



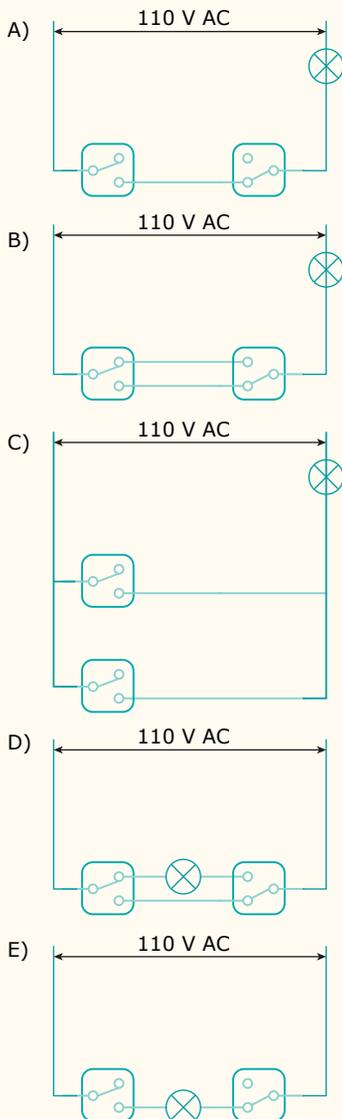
O número máximo de lâmpadas que podem ser ligadas sem que a televisão pare de funcionar é:

- A) 1  
 B) 2  
 C) 3  
 D) 4  
 E) 5

02. (Enem-2017) Durante a reforma da sua residência, um casal decidiu que seria prático poder acender a luz do quarto acionando um interruptor ao lado da porta e apagá-la com outro interruptor próximo à cama. Um eletrotécnico explicou que esse sistema usado para controlar uma lâmpada a partir de dois pontos é conhecido como circuito de interruptores paralelos.



Como deve ser feita a montagem do circuito da lâmpada no quarto desse casal?



03. (Enem) Em um manual de um chuveiro elétrico são encontradas informações sobre algumas características técnicas, ilustradas no quadro, como a tensão de alimentação, a potência dissipada, o dimensionamento do disjuntor ou fusível, e a área da seção transversal dos condutores utilizados.

Características técnicas			
Especificação			
Modelo		A	B
Tensão (V~)		127	220
Potência (watt)	Seletor de temperatura multitemperaturas	○	0
		●	2 440
		● ●	4 400
		● ● ●	5 500
Disjuntor ou fusível (ampere)		50	30
Seção dos condutores (mm <sup>2</sup> )		10	4

Uma pessoa adquiriu um chuveiro do modelo A e, ao ler o manual, verificou que precisava ligá-lo a um disjuntor de 50 amperes. No entanto, intrigou-se com o fato de que o disjuntor a ser utilizado para uma correta instalação de um chuveiro do modelo B devia possuir amperagem 40% menor. Considerando-se os chuveiros de modelos A e B, funcionando à mesma potência de 4 400 W, a razão entre as suas respectivas resistências elétricas,  $R_A$  e  $R_B$ , que justifica a diferença de dimensionamento dos disjuntores, é mais próxima de

- A) 0,3.                      C) 0,8.                      E) 3,0.  
B) 0,6.                      D) 1,7.

04. (Enem) Observe a tabela seguinte. Ela traz especificações técnicas constantes no manual de instruções fornecido pelo fabricante de uma torneira elétrica.

Modelo	Torneira				
Tensão nominal (volts)	127		220		
Potência nominal (watts)	Frio	Desligado			
	Morno	2 800	3 200	2 800	3 200
	Quente	4 500	5 500	4 500	5 500
Corrente nominal (amperes)	35,4	43,3	20,4	25,0	
Fiação mínima (Até 30 m)	6 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	
Fiação mínima (Acima 30 m)	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	
Disjuntor (amperes)	40	50	25	30	

Disponível em: [http://www.cardal.com.br/manualprod/Manuais/Torneira%20Suprema/Manual\\_Torneira\\_Suprema\\_roo.pdf](http://www.cardal.com.br/manualprod/Manuais/Torneira%20Suprema/Manual_Torneira_Suprema_roo.pdf).

Considerando que o modelo de maior potência da versão 220 V da torneira suprema foi inadvertidamente conectado a uma rede com tensão nominal de 127 V, e que o aparelho está configurado para trabalhar em sua máxima potência, qual o valor aproximado da potência ao ligar a torneira?

- A) 1 830 W.                      D) 4 030 W.  
B) 2 800 W.                      E) 5 500 W.  
C) 3 200 W.

**05.** (Enem) Quando ocorre um curto-circuito em uma instalação elétrica, como na figura, a resistência elétrica total do circuito diminui muito, estabelecendo nele uma corrente muito elevada.



O superaquecimento da fiação, devido a esse aumento da corrente elétrica, pode ocasionar incêndios, que seriam evitados instalando-se fusíveis e disjuntores que interrompem essa corrente, quando a mesma atinge um valor acima do especificado nesses dispositivos de proteção.

Suponha que um chuveiro instalado em uma rede elétrica de 110 V, em uma residência, possua três posições de regulagem da temperatura da água. Na posição verão, utiliza 2 100 W, na posição primavera, 2 400 W, e na posição inverno, 3 200 W.

REF. Física 3: Eletromagnetismo. São Paulo: EDUSP, 1993 (Adaptação).

Deseja-se que o chuveiro funcione em qualquer uma das três posições de regulagem da temperatura, sem que haja riscos de incêndio. Qual deve ser o valor mínimo adequado do disjuntor a ser utilizado?

- A) 40 A.
- B) 30 A.
- C) 25 A.
- D) 23 A.
- E) 20 A.

**06.** (Enem) Entre as inúmeras recomendações dadas para a economia de energia elétrica em uma residência, destacamos as seguintes:

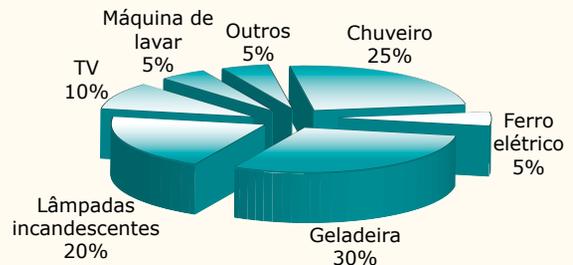
- Substitua lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas.
- Evite usar o chuveiro elétrico com a chave na posição "inverno" ou "quente".
- Acumule uma quantidade de roupa para ser passada a ferro elétrico de uma só vez.
- Evite o uso de tomadas múltiplas para ligar vários aparelhos simultaneamente.
- Utilize, na instalação elétrica, fios de diâmetros recomendados às suas finalidades.

A característica comum a todas essas recomendações é a proposta de economizar energia através da tentativa de, no dia a dia, reduzir

- A) a potência dos aparelhos e dispositivos elétricos.
- B) o tempo de utilização dos aparelhos e dispositivos.
- C) o consumo de energia elétrica convertida em energia térmica.
- D) o consumo de energia térmica convertida em energia elétrica.
- E) o consumo de energia elétrica através de correntes de fuga.

**Instrução:** Gráfico para a questão **07**.

A distribuição média, por tipo de equipamento, do consumo de energia elétrica nas residências no Brasil é apresentada no gráfico a seguir.



**07.** (Enem) Em associação com os dados do gráfico, considere as variáveis:

- I. Potência do equipamento.
- II. Horas de funcionamento.
- III. Número de equipamentos.

O valor das frações percentuais do consumo de energia depende de

- A) I, apenas.
- B) II, apenas.
- C) I e II, apenas.
- D) II e III, apenas.
- E) I, II e III.

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- |                             |                             |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <input type="radio"/> 01. D | <input type="radio"/> 03. D | <input type="radio"/> 05. C | <input type="radio"/> 07. C |
| <input type="radio"/> 02. B | <input type="radio"/> 04. D | <input type="radio"/> 06. A | <input type="radio"/> 08. C |

#### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- |                             |                             |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <input type="radio"/> 01. D | <input type="radio"/> 04. B | <input type="radio"/> 07. E | <input type="radio"/> 10. C |
| <input type="radio"/> 02. C | <input type="radio"/> 05. D | <input type="radio"/> 08. D | <input type="radio"/> 11. A |
| <input type="radio"/> 03. B | <input type="radio"/> 06. B | <input type="radio"/> 09. C | <input type="radio"/> 12. D |

#### Seção Enem

- |                             |                             |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <input type="radio"/> 01. B | <input type="radio"/> 03. A | <input type="radio"/> 05. B | <input type="radio"/> 07. E |
| <input type="radio"/> 02. B | <input type="radio"/> 04. A | <input type="radio"/> 06. C |                             |



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## Resistores no Dia a Dia

### CIRCUITOS ELÉTRICOS – APLICAÇÕES

A maioria das pessoas tem muito temor de eletricidade, uma tecnologia muito útil que requer cautela, mas não medo. Vamos, neste módulo, descobrir como o chuveiro pode nos fornecer água morna e quente (além de desligar de vez em quando durante o nosso banho), vamos aprender por que aquele secador de cabelos, levado de viagem a outra cidade, pode se queimar ao ser ligado e muito mais. Vamos levar o estudo da eletricidade para o nosso cotidiano.

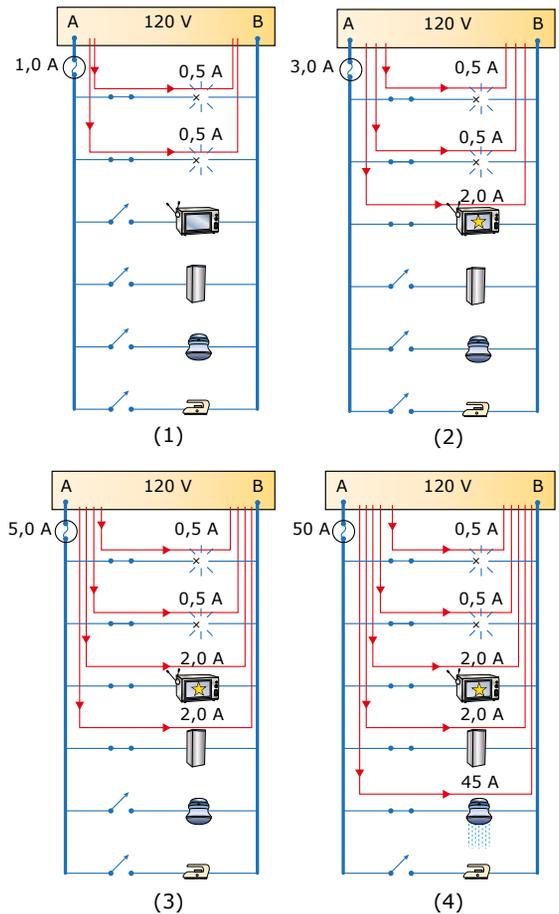
### O CIRCUITO RESIDENCIAL

No dia a dia, podemos notar que os aparelhos elétricos funcionam de forma independente uns dos outros em uma residência ou em um escritório. Além disso, a inserção ou a retirada de um ou mais deles, em um circuito bem dimensionado, não afeta o funcionamento ou o desempenho dos demais. Qual deve ser a associação entre os aparelhos para que isso aconteça? Com certeza você respondeu: em paralelo. Vejamos.

Considere uma residência com apenas um circuito ligando todos os aparelhos (na prática, como veremos adiante, não é bem assim). Como se sabe, a corrente elétrica no circuito residencial é alternada, isto é, ela muda de sentido muito rapidamente. No entanto, vamos considerá-la contínua e de valor igual ao seu valor eficaz.

O circuito residencial é protegido por uma chave disjuntora (disjuntor), colocada na entrada da rede, logo após o ponto A (mostrado nos esquemas a seguir). Vamos considerar que o circuito possua um disjuntor de 60 A. Isso quer dizer que, se a corrente no circuito ultrapassar 60 A, o disjuntor desarmará e desligará todo o circuito.

O circuito residencial representado a seguir possui apenas duas lâmpadas de 60 W ( $I = 0,5$  A) cada uma, um aparelho de TV de 240 W ( $I = 2,0$  A), uma geladeira de 240 W ( $I = 2$  A), um chuveiro de 5 400 W ( $I = 45$  A) e um ferro de passar roupa de 1 800 W ( $I = 15$  A). O circuito é alimentado pela companhia de energia elétrica que fornece uma tensão eficaz de 120 V entre os pontos A e B. Assim, a d.d.p. entre os dois fios principais do circuito (que estão entre A e B) é de 120 V.



As figuras 1, 2, 3 e 4 mostram os valores das correntes nos aparelhos do circuito à medida que estes são ligados. Em (1), apenas as lâmpadas estão ligadas e a corrente eficaz que vem da fornecedora de energia é de 1,0 A (0,5 A para cada lâmpada). Certamente, você está se lembrando de que, na ligação em paralelo, os aparelhos operam de forma independente (o funcionamento de um não interfere no funcionamento do outro).

Leobard / Creative Commons



A figura (2) mostra que a TV foi ligada. Veja que ela puxa da rede uma corrente de 2,0 A, e, assim, a corrente total no disjuntor passa a ser de 3,0 A.

Em certo momento, figura (3), o motor da geladeira se arma, e uma corrente de 2,0 A percorre o seu circuito. A partir daí, a corrente total no disjuntor é de 5,0 A.

Enquanto você estava assistindo à TV, sua irmã foi tomar banho (4). O chuveiro necessita de uma corrente de 45 A e, dessa forma, a corrente total que atravessa o disjuntor é de 50 A. E, justamente nesse momento, seu irmão resolveu passar roupa. Com o funcionamento do ferro elétrico, que utiliza uma corrente de 15 A, a corrente total no disjuntor passaria para 65 A. Passaria... Mas o que acontece? Como o disjuntor suporta 60 A no máximo, ele vai desarmar e cortar todo o fornecimento de energia para a sua casa. Lá se foram a TV e o banho quente. (Você conhece uma história parecida com essa?)

O circuito representado anteriormente está mal dimensionado. A solução seria chamar o electricista e pedir para ele colocar um disjuntor que suporte uma corrente maior? Não. Se ele fizer isso, o disjuntor não vai mais se desarmar e, portanto, vai perder a sua função – que é a de proteger o circuito elétrico da residência. Embora a resistência dos fios ( $r$ ) tenha sido desprezada até agora, ela existe, e esses fios, percorridos por correntes elevadas, se aquecem muito ( $P = rI^2$ ). Assim, o que determina o dimensionamento do disjuntor é a espessura (chamada “bitola”) dos fios do circuito. Para correntes elevadas, seria necessário trocar a fiação do circuito, utilizando fios mais grossos. Esse é o principal motivo para que uma residência apresente vários circuitos independentes, cada um com a sua fiação, seu disjuntor e os aparelhos a ele ligados.

Uma sugestão importante: localize a caixa de disjuntores em sua casa e chame um amigo para lhe ajudar. Ligue todos os aparelhos simultaneamente. Desligue um disjuntor de cada vez e descubra, e, principalmente, anote na própria caixa quais aparelhos aquele disjuntor está protegendo. Assim, havendo necessidade de se desligar determinado aparelho, você vai cortar a corrente dele especificamente. Isso pode ser útil, principalmente à noite, pois não ficará sem a iluminação das lâmpadas.

## ALGUNS RESISTORES IMPORTANTES



Uma aplicação muito comum do resistor é a sua utilização nos sistemas de aquecimento. Neles, o fato de o resistor apresentar uma resistência e, por meio do efeito Joule, transformar a energia elétrica em energia térmica (“calor”) é desejável e é o objetivo de seu uso no aparelho em questão.

### O chuveiro elétrico

O chuveiro é um equipamento bastante familiar a todos. Entretanto, como é o funcionamento do chuveiro para que possamos tomar banho com a água na temperatura desejada? Bem simples. Veja a seguir:



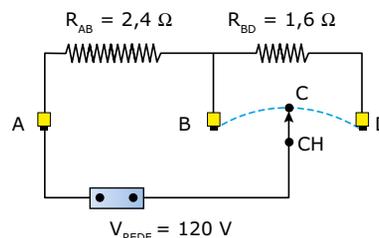
HenriqueBarraMansa / Creative Commons  
dogotuls.com.br / Divulgação

Dentro do chuveiro, existe um resistor, conforme mostrado na figura anterior. O resistor pode queimar e, assim, precisará ser substituído. No entanto, o que vai queimar é o resistor, e não a sua resistência. Esta não queima, pois é uma propriedade do resistor (que continua a existir nos pedaços do resistor “queimado”).

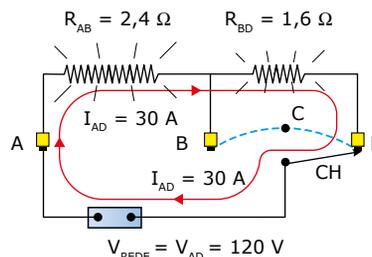


crpaenlinea.com / Divulgação

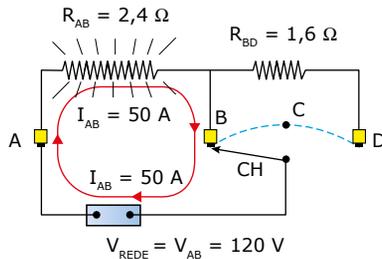
Observe o resistor da figura anterior. Note que o resistor do chuveiro apresenta três bornes por onde a corrente pode circular. Vamos analisar um tipo de circuito de ligação de chuveiro bem simples mostrado a seguir.



A rede elétrica fica ligada entre o ponto A e a chave seletora de temperatura. Na figura anterior, a chave (CH) está conectada ao ponto C. Observe que o circuito está aberto (uma corrente que viesse da rede pelo ponto A não teria por onde “sair”, pois os pontos B ou D estão desligados da rede). Esse banho vai ser uma fria!



A chave (CH), agora, está ligada ao ponto D (figura anterior), e a corrente percorre os resistores  $R_{AB}$  e  $R_{BD}$ . A d.d.p. fornecida ao dispositivo é  $V_{REDE} = 120\text{ V}$ , e a "resistência do chuveiro" vale  $R_{AD} = 4,0\ \Omega$ . Logo, a corrente que percorre o aparelho é  $I_{AD} = V_{AD}/R_{AD} = 120/4,0 = 30\text{ A}$ . O chuveiro dissipa, então, uma potência  $P_{AD} = V_{REDE}^2/R_{AD} = 120^2/4,0 = 3\ 600\text{ W}$ . O banho começou a esquentar!



A chave (CH), dessa vez, foi conectada ao ponto B. A corrente atravessa, apenas, o resistor  $R_{AB} = 2,4\ \Omega$ , que, nesse caso, é a resistência do chuveiro. Assim,  $I_{AB} = V_{AB}/R_{AB} = 120/2,4 = 50\text{ A}$ . Observe que a corrente que percorre o chuveiro aumentou em relação à situação anterior. Assim, apesar de a resistência ter diminuído, a potência dissipada vai aumentar,  $P_{AB} = V_{REDE}^2/R_{AB} = 120^2/2,4 = 6\ 000\text{ W}$ . Agora vai sair fumaça!

#### Resumo das variáveis:

Chave (CH) na posição	C	D	B
Resistência do chuveiro	$\infty$	$4,0\ \Omega$	$2,4\ \Omega$
Corrente que circula	0	30 A	50 A
Potência dissipada	0	3 600 W	6 000 W
Água do banho	Fria	Morna	Quente

Dois considerações, no que diz respeito à água que passa através do chuveiro, merecem destaque:

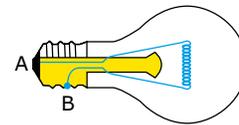
- A quantidade de água que passa através do chuveiro não interfere na potência dissipada por este. Se a torneira jorra menos água, esta fica mais quente porque temos uma quantidade menor de água recebendo, a cada instante, a mesma quantidade de energia fornecida pelo chuveiro.
- Evite passar pouca água pelo chuveiro fechando a torneira para esquentar mais a água, pois ela tem a função de refrigerar o chuveiro. Se não há água suficiente, o chuveiro e a fiação que o liga à rede vão esquentar muito e podem queimar, gerando um curto-circuito. Se o seu chuveiro está aquecendo pouco, compre outro!

É importante ressaltar que tudo o que foi dito a respeito do chuveiro vale para qualquer outro aparelho usado em aquecimento, como o forno ou fogão elétrico, o aquecedor de ambiente, o ferro de solda, o ebullidor ("mergulhão"), o ferro elétrico e outros.

## A lâmpada elétrica incandescente

Sabemos do conforto que é chegar em casa, à noite, abrir a porta e ligar o interruptor de luz. Tudo fica iluminado. Porém, como isso funciona? É, também, graças ao efeito Joule (nas lâmpadas incandescentes).

Todo corpo emite radiação eletromagnética. Você percebe isso quando chega perto de um forno que está assando pão de queijo, por exemplo. Dependendo da temperatura em que o corpo se encontra, ele pode emitir uma radiação eletromagnética que ilumina os objetos à sua volta. É o que acontece com a lâmpada. O seu filamento, ao ser percorrido por uma corrente elétrica, se aquece, fica incandescente e emite luz.

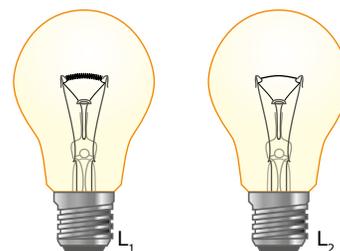


Observe, na figura anterior, que o filamento é soldado aos pontos A ("pé" da lâmpada) e B (parte metálica da rosca). Dessa forma, para que a lâmpada funcione, a corrente deve "entrar pelo pé" e "sair pela rosca" ou vice-versa. O sentido da corrente não importa, pois o filamento se aquecerá da mesma forma, independentemente do sentido dela.

Dentro do bulbo de vidro, existe um gás inerte (não reage com o metal do filamento) e de baixa densidade. Se a densidade do gás não fosse baixa, sua temperatura elevada faria a pressão dentro do bulbo atingir valores muito elevados, a ponto de "explodir" a lâmpada. A parte amarela na figura anterior é formada de material isolante e serve, apenas, para dar sustentação ao filamento e à rosca da lâmpada.

A ligação convencional, e mais usada, é a associação de lâmpadas em paralelo. Já sabemos que, em paralelo, elas são independentes umas das outras. Assim, podemos ligar e desligar quantas lâmpadas forem necessárias sem afetar o funcionamento das demais.

Quando uma lâmpada é montada, o fabricante dimensiona o filamento, com uma resistência específica, para que ela, em funcionamento normal, emita a quantidade de luz desejada. Como temos lâmpadas de diversas potências, cada lâmpada apresenta uma resistência própria. Observe duas lâmpadas com filamentos diferentes.



Como determinar a resistência de uma lâmpada? Já sabemos que a resistência pode ser calculada de duas maneiras:

$$(1) R = V/I = V^2/P \quad (2) R = \rho(L/A)$$

Na última equação, a resistividade ( $\rho$ ) depende do material do filamento e da temperatura, mas não das dimensões do resistor ( $L/A$ ). Normalmente, os valores de resistividade são dados à temperatura ambiente. Dessa forma, o uso da equação (2) fica restrito ao cálculo da resistência da lâmpada fria, a não ser que as grandezas sejam dadas para a temperatura da lâmpada acesa.

Quando a lâmpada encontra-se em funcionamento, a temperatura do filamento pode atingir 3 000 °C, e sua resistência aumenta muito. Duas grandezas sempre estão anotadas no bulbo de uma lâmpada: a potência (60 W, por exemplo) e a tensão (127 V ou 220 V). Esses valores são chamados nominais. A tensão nominal indica o valor de tensão a ser fornecido à lâmpada para que ela dissipe a potência que está indicada no bulbo, potência nominal. Assim, para calcular a resistência da lâmpada, em funcionamento, devemos usar a equação (1) da seguinte forma:

$$R_L = \frac{V_N^2}{P_N}$$

Aqui,  $V_N$  e  $P_N$  são os valores que vêm indicados no bulbo da lâmpada (tensão e potência nominais). Imagine uma lâmpada com a seguinte especificação:  $P_N = 60$  W e  $V_N = 120$  V. A resistência de funcionamento dessa lâmpada é dada por  $R_L = V_N^2/P_N = 120^2/60 = 240 \Omega$ . Vejamos o que acontece se essa lâmpada for conectada a fontes de tensão ( $V_{\text{real}}$ ) de diferentes valores. Considere que a resistência da lâmpada permaneça constante nos três casos.

1. Se  $V_{\text{REAL}} = 120$  V  $\rightarrow$  A lâmpada será percorrida por uma corrente  $I = V_{\text{REAL}}/R_L = 120 / 240 = 0,50$  A e dissipará uma potência  $P_{\text{REAL}} = P_{\text{NOMINAL}} = 60$  W.
2. Se  $V_{\text{Real}} = 60$  V  $\rightarrow$  A corrente que passa pela lâmpada será  $I = V_{\text{REAL}}/R_L = 60 / 240 = 0,25$  A e a lâmpada estará dissipando uma potência  $P_{\text{REAL}} = V_{\text{REAL}}^2/R_L = 60^2 / 240 = 15$  W (quarta parte da potência nominal).
3. Se  $V_{\text{Real}} = 240$  V  $\rightarrow$  A corrente que passaria pela lâmpada seria  $I = V_{\text{REAL}}/R_L = 240 / 240 = 1,0$  A e a lâmpada estaria dissipando uma potência  $P_{\text{REAL}} = V_{\text{REAL}}^2/R_L = 240^2 / 240 = 240$  W (quatro vezes a potência nominal).

Uma consideração importante deve ser feita:

O “brilho” de uma lâmpada incandescente está relacionado com a quantidade de energia luminosa que ela emite a cada segundo. Por isso, para comparar os “brilhos”, você deve avaliar as potências realmente dissipadas pelas lâmpadas.

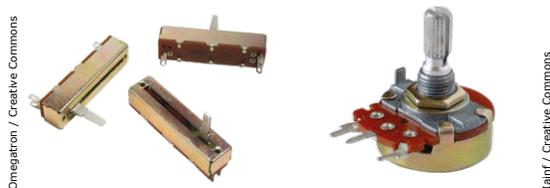
Vimos, no 2º caso ( $V_{\text{REAL}} = 60$  V), que a potência dissipada pela lâmpada foi quatro vezes menor do que a potência nominal dela. Isso significa que a lâmpada terá um “brilho” bem menor do que aquele que ela apresentaria caso estivesse funcionando sob as condições nominais e vai iluminar muito pouco. Entretanto, ela não corre o risco de se queimar.

Você percebeu que, no 3º caso ( $V_{\text{REAL}} = 240$  V), o verbo foi colocado no futuro do pretérito? Se a lâmpada for ligada em 240 V, ela vai fundir o filamento (“queimar”) e deixar de funcionar. Por esse motivo, nenhum aparelho elétrico deve ser ligado em uma tensão acima daquela para a qual foi fabricado, sob o risco de se queimar – a não ser que ele tenha sido montado com esse objetivo.

Volte à figura anterior das duas lâmpadas. Nela, percebemos que o filamento da lâmpada (1) é mais grosso que o da lâmpada (2). Portanto, de acordo com a equação  $R = \rho L/A$ , a lâmpada (1) possui menor resistência que a lâmpada (2). A potência nominal de cada uma das lâmpadas pode ser calculada por  $P = V^2/R$ . Como a lâmpada (1) possui menor resistência que a lâmpada (2) e ambas estão submetidas à mesma d.d.p., conclui-se que a lâmpada (1) terá maior potência que a lâmpada (2). De fato, as lâmpadas mostradas são de 100 W e 40 W, respectivamente.

## O reostato ou potenciômetro

Muitas vezes, necessitamos que a corrente em uma circuito tenha o seu valor variado de forma contínua (analógica). Para isso, utilizamos um dispositivo chamado reostato ou potenciômetro. Esse tipo de circuito é muito usado em vários aparelhos elétricos, como o ventilador, no qual você altera, de forma contínua, a velocidade de rotação, ou o interruptor em quartos de crianças, no controle da intensidade luminosa, por exemplo.

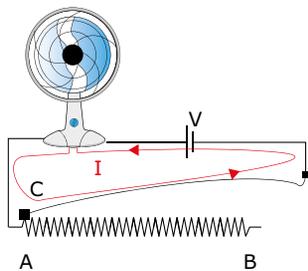
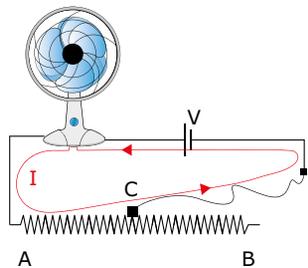
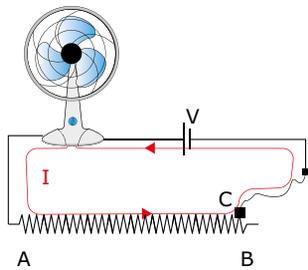


O funcionamento do reostato é simples e baseado no fato de que a resistência varia com o comprimento do resistor a ser percorrido por uma corrente ( $R \propto L$ ). O potenciômetro deve ser ligado em série com o aparelho cuja corrente se quer controlar (ele vai dividir a voltagem com o dispositivo – divisor de tensão).

O reostato é representado nos circuitos elétricos pelos símbolos a seguir:

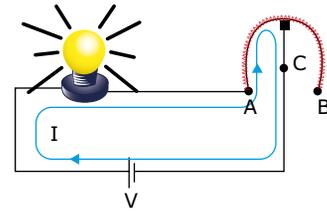


Veja o esquema a seguir. No reostato deslizante, um contato (C) pode ser deslocado ao longo do dispositivo. A resistência do reostato ( $R_{AC}$ ) aumenta ou diminui de acordo com a posição do contato. Seja  $R_V$  a resistência do ventilador.



A resistência total do circuito é dada por  $R = R_V + R_{AC}$ . Observe as três posições do contato nas figuras anteriores. Na primeira, o contato está no fim do reostato ( $R_{AC}$  possui o maior valor possível), a resistência total é grande e a corrente no circuito é pequena (o ventilador gira lentamente). Na segunda figura, o contato está no meio do reostato ( $R_{AC}$  possui um valor intermediário, porém menor), a corrente é maior que aquela do primeiro circuito e a velocidade de rotação do ventilador aumenta. Na última, o contato está no início do reostato ( $R_{AC}$  possui o menor valor possível,  $R_{AC} = 0$ ) e a corrente é grande, pois encontra, apenas, a resistência do ventilador. Nesse caso, o ventilador apresenta a maior velocidade de rotação possível. Assim, utilizando o reostato, você pode controlar a rotação do aparelho.

No reostato de rotação, você gira o contato (C) para aumentar ou diminuir a resistência do aparelho. Veja a figura a seguir. Se girar o contato (C) para a esquerda (sentido anti-horário), você diminui a resistência do reostato e a lâmpada ilumina mais. Se, ao contrário, girar o contato para a direita (sentido horário), a resistência aumenta e o brilho da lâmpada diminui. Reostatos desse tipo são utilizados em ferros elétricos e em geladeiras, nos quais a temperatura é controlada pela rotação do reostato.



Existem vários aparelhos que possuem uma chave com algumas posições que permitem que eles funcionem com maior ou menor eficiência. É o caso, por exemplo, do liquidificador e de outros eletrodomésticos. Nestes, não existe reostato. Eles possuem dois ou mais resistores ligados em série (dentro do aparelho), assim como o chuveiro elétrico.

## CIRCUITOS COM LÂMPADAS INCANDESCENTES

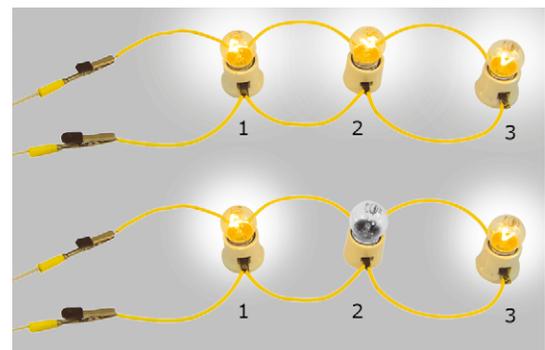


Conforme já foi citado, o “brilho” de uma lâmpada incandescente (energia luminosa emitida por ela a cada instante) está associado à potência real dissipada por ela. Conhecer situações diversas a esse respeito e o que acontece quando uma lâmpada é inserida ou retirada de um circuito é importante.

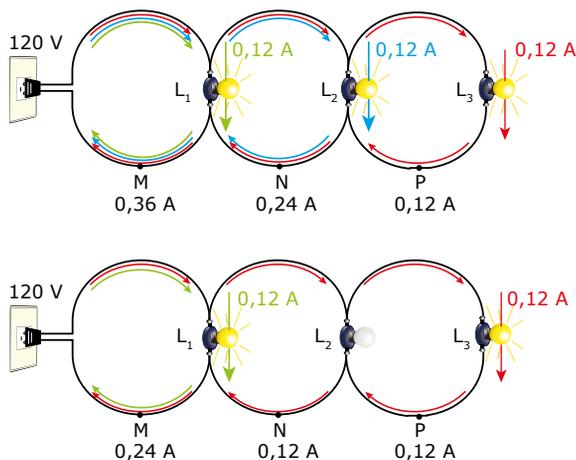
Duas ou mais lâmpadas são idênticas se elas apresentam a mesma resistência. Isso não quer dizer, necessariamente, que as lâmpadas dissipam a mesma potência (forneçam a mesma luminosidade). Vejamos, então, algumas situações.

### Caso 1:

Considere três lâmpadas idênticas ( $R = 1\ 000\ \Omega$ ), associadas em paralelo e ligadas à rede elétrica de 120 V. Observe que, se a lâmpada do meio ( $L_2$ ) for desligada ou se queimar, esta se apaga, e os brilhos das outras duas lâmpadas não são alterados.



Considere a figura a seguir. Nela, a corrente em cada lâmpada é de 0,12 A. Você já sabe que, na associação em paralelo, as lâmpadas funcionam de forma independente. Assim, as correntes que passam pelos pontos M, N e P são, respectivamente, 0,36 A (corrente total), 0,24 A (corrente das lâmpadas 2 e 3) e 0,12 A (corrente da lâmpada 3) conforme mostrado a seguir.



O que acontece com as correntes nos pontos M, N e P do circuito quando a lâmpada 2 é desligada, queima ou quebra? A corrente no ponto P não sofreu qualquer alteração, uma vez que por ele passa, apenas, a corrente da lâmpada  $L_3$  ( $I = 0,12$  A). Entretanto, as correntes nos pontos M e N diminuirão. No ponto N, passavam as correntes das lâmpadas 2 e 3 ( $I = 0,24$  A) e, no ponto M, as correntes das três lâmpadas ( $I = 0,36$  A). Como a do meio é desligada, as correntes nos pontos N e M são, agora, iguais a 0,12 A e 0,24 A, respectivamente.

A potência total dissipada pelas duas lâmpadas que permaneceram no circuito é  $P = V \cdot I = 120 \cdot 0,24 = 28,8$  W.

**Caso 2:**

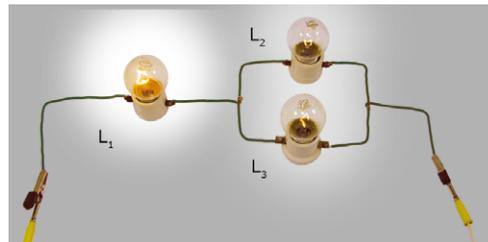
Sejam duas lâmpadas idênticas, as mesmas da associação anterior, ligadas em série e conectadas a uma fonte de tensão (a mesma da ligação anterior). Perceba, primeiramente, que o brilho delas é muito menor do que no Caso 1. Agora, houve uma divisão da d.d.p. da fonte de tensão entre as duas lâmpadas. A resistência total delas é  $R = 2\ 000\ \Omega$ , e a potência total dissipada por elas é  $P = 120^2 / 2\ 000 = 7,2$  W (quatro vezes menor que do caso anterior).



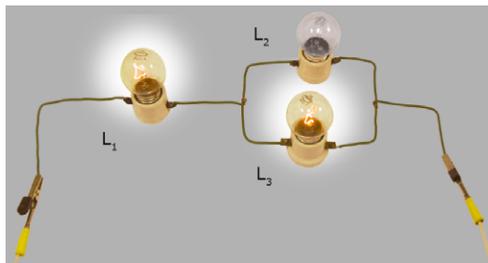
Observe que, se qualquer uma das lâmpadas for desligada do circuito, queimar ou quebrar, a corrente ficará impedida de passar por ela (existe um único caminho para ela circular) e nenhuma das lâmpadas acenderá.

**Caso 3:**

Veja um circuito simples, mas importante, de três lâmpadas idênticas ( $R_L = 1\ 000\ \Omega$ ) associadas em circuito misto e ligadas à rede elétrica de 120 V.



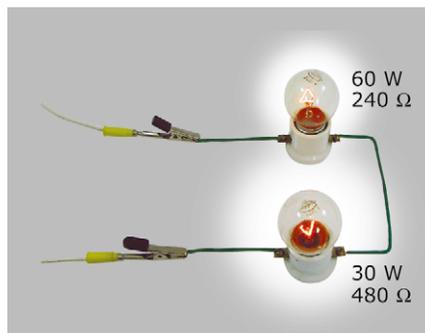
Observe que a lâmpada  $L_1$  ilumina mais que as outras duas lâmpadas juntas. A resistência total desse circuito é  $R = 1\ 500\ \Omega$ , e a corrente total é  $I = 0,08$  A. Assim, a corrente na lâmpada  $L_1$  é 0,08 A e nas lâmpadas  $L_2$  e  $L_3$  é  $I_2 = I_3 = 0,04$  A. Vamos calcular as potências utilizando a equação  $P = RI^2$ . As potências de  $L_2$  e  $L_3$  são  $P_2 = P_3 = 1\ 000(0,04)^2 = 1,6$  W (a potência total de  $L_2$  e  $L_3$  será  $P_{23} = 3,2$  W). A potência da lâmpada  $L_1$  é  $P_1 = 1\ 000(0,08)^2 = 6,4$  W, maior que a potência total de  $L_2$  e  $L_3$ . Veja o que acontece se a lâmpada  $L_2$ , por exemplo, queimar ou for retirada do circuito.



Você percebeu que o brilho da lâmpada  $L_3$  aumentou e que o brilho da lâmpada  $L_1$  diminuiu? Vejamos por que isso aconteceu. Observe que, agora, a resistência total do circuito é  $R = 2\ 000\ \Omega$  (as duas lâmpadas ficaram em série). A corrente nas lâmpadas é  $I = 0,06$  A, e a potência de cada uma delas é  $P = 1\ 000(0,06)^2 = 3,6$  W. Assim, a potência da lâmpada  $L_1$  diminuiu e a da lâmpada  $L_3$  aumentou.

**Caso 4:**

Considere duas lâmpadas de potências diferentes. As características nominais das lâmpadas são:  $L_1$  (60 W, 120 V e  $240\ \Omega$ ) e  $L_2$  (30 W, 120 V e  $480\ \Omega$ ). As lâmpadas  $L_1$  e  $L_2$  são ligadas em série e conectadas à rede ( $V = 120$  V).



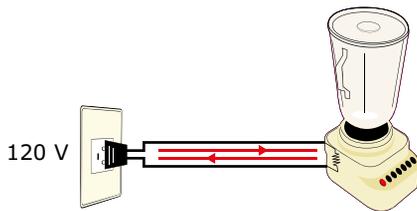
O circuito é um divisor de tensão. Como  $R_2 = 2R_1$ , temos que  $V_2 = 2V_1 \Rightarrow V_1 = 40$  V e  $V_2 = 80$  V. As potências reais das lâmpadas podem ser calculadas por  $P = V^2/R$ . Assim,  $P_1 = 40^2/240 \cong 6,67$  W e  $P_2 = 80^2/480 \cong 13,3$  W. Ou seja, a lâmpada de menor potência nominal está dissipando a maior potência real (brilha mais).

## O CURTO-CIRCUITO

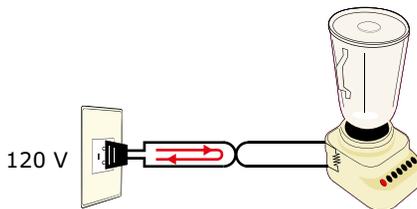
Dizemos que um resistor está em curto-circuito se as suas extremidades estiverem no mesmo potencial elétrico. Quando isso acontece, não há diferença de potencial (tensão) entre tais pontos e, assim, não existe corrente passando pelo resistor.

O curto-circuito é obtido conectando-se os terminais do resistor (ou da associação de resistores) um ao outro ou ligando-se um fio de resistência desprezível a tais pontos. Vejamos um exemplo de cada situação.

Considere um circuito formado por um liquidificador, pelos fios de ligação e pela tomada de energia da rede elétrica de uma residência. A resistência do circuito é formada pela soma das resistências do liquidificador (grande) e dos fios de ligação (pequena) – os fios estão em série com o aparelho. Nesse caso, a potência dissipada no circuito será  $P = V^2/(R_L + R_f)$ .



Se os fios que alimentam o liquidificador fazem contato um com o outro (por exemplo, se o plástico em volta dos fios derreter), eles fecham um curto-circuito nesse ponto. A corrente vai passar por um circuito mais “curto” – apenas nos fios de ligação conforme mostrado a seguir.



Nessa situação, a corrente elétrica e a potência dissipada no circuito serão muito altas, pois a resistência do circuito é apenas a dos fios. Dessa forma, pode acontecer de o curto-circuito causar incêndio nos fios do liquidificador e nos fios da rede elétrica da casa. Muito cuidado com isso!

Outra situação em que pode ocorrer um curto-circuito está mostrada a seguir. Veja que as duas lâmpadas estão associadas em série e conectadas à rede elétrica. Se os terminais de uma das lâmpadas forem curto-circuitados por um fio de resistência desprezível, essa lâmpada não vai ser percorrida pela corrente elétrica e, dessa forma, apenas a outra lâmpada vai permanecer acesa.



## O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Com certeza, você tem acompanhado as notícias sobre os problemas climáticos, sobre a possibilidade de redução da atividade econômica por questões de dependência energética e sobre a busca de fontes energéticas alternativas, economicamente viáveis e ecologicamente corretas. Agora, mais do que nunca, existe a necessidade urgente de se economizar energia em todas as suas formas. E essa é uma atitude ao alcance de todos nós. Basta uma mudança nos pequenos hábitos do nosso dia a dia, que não afetarão, significativamente, nosso conforto e nossa segurança.

Veja, a seguir, algumas maneiras de contribuir para a redução do consumo de energia.

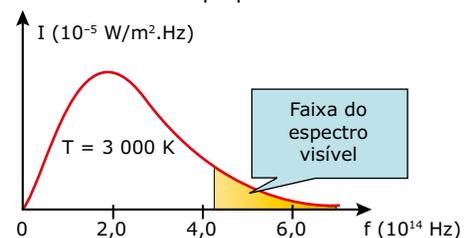
1. Tenha o costume de desligar todas as lâmpadas e todos os aparelhos elétricos (TV, por exemplo) quando sair de um ambiente. Há muita gente que deixa as “paredes” assistirem à televisão.
2. Quando sair de casa, desconecte da rede elétrica os aparelhos que podem ser desligados.
3. Evite sobrecarregar a geladeira, remova o gelo do congelador semanalmente e abra a porta da geladeira apenas quando for necessário, fechando-a novamente o mais rápido possível (a geladeira é um dos aparelhos que mais consomem energia em uma residência).
4. Procure reduzir o tempo do seu banho ou feche a torneira enquanto estiver se ensaboando (o desperdício de água também merece a nossa atenção).

Tais atitudes exigem um compromisso diário para a sua realização. Pode parecer pouco, mas, se todos fizerem sua parte, os problemas energéticos do mundo podem ser minimizados.

Além das mudanças de hábito citadas anteriormente, podemos tomar outras atitudes que contribuam para a economia de energia e que não exigem ação diária. Veja a seguir.

## Lâmpada incandescente x lâmpada fluorescente

A lâmpada incandescente comum, a mais utilizada pela população na iluminação residencial e comercial, tem uma eficiência energética muito pequena. O gráfico a seguir mostra, de forma aproximada, o espectro de emissão de um corpo aquecido, à temperatura de 3 000 K (temperatura média do filamento da lâmpada incandescente em funcionamento normal). Observe que apenas uma pequena parcela da energia emitida pela lâmpada (cerca de 10% a 20%) é convertida em luz visível, e o restante dessa energia é dissipada na forma de calor radiante (infravermelho). Por esse motivo, a eficiência energética da lâmpada incandescente é pequena.



Veja a figura seguinte, que mostra uma lâmpada incandescente e uma lâmpada fluorescente compacta.



Vamos comparar as características de uma lâmpada incandescente de 60 W com as características de uma lâmpada fluorescente compacta de 15 W. Os valores técnicos foram obtidos nas embalagens das lâmpadas citadas.

	Incandescente	Fluorescente
Potência nominal	60 W	15 W
Eficiência luminosa (quantidade de luz emitida)	778 lumens	1 059 lumens
Energia consumida (6 horas/dia – 01 ano)	131 kWh	33 kWh
Custo anual médio	R\$ 83,00	R\$ 21,00
Expectativa média de vida útil	06 meses	04 anos
Preço médio no mercado	R\$ 2,00	R\$ 8,00

Veja que a lâmpada fluorescente custa, em média, quatro vezes mais. Porém, ilumina 36% a mais que a lâmpada incandescente, possui uma vida útil, em média, oito vezes maior e o seu custo energético anual é, aproximadamente, quatro vezes menor. Diante do exposto, cabe a você decidir pela troca das lâmpadas incandescentes pelas fluorescentes. O planeta agradece o seu ato de sensatez!

Um alerta importante: compre lâmpadas de fabricantes confiáveis. Uma pequena economia, com produtos de procedência duvidosa, não compensa o risco à sua saúde.

## Chuveiro de 127 V × 220 V (ou 220 V × 380 V)

Conforme vimos no estudo sobre corrente elétrica, a rede elétrica residencial apresenta tensões de 127 V (fase-neutro) e 220 V (fase-fase). Em algumas cidades, tais valores são, respectivamente, 220 V e 380 V. Em estudos anteriores, vimos, também, que os fios de ligação, na realidade, possuem uma pequena resistência. Assim,

se a corrente que os percorre é alta, eles aquecem muito (consumo de energia desnecessário e perigoso) e provocam uma queda de tensão significativa na própria fiação. Dessa maneira, uma forma de minimizar a energia desperdiçada seria trocar o resistor do chuveiro por um de maior resistência e aumentar a tensão de alimentação do chuveiro para 220 V (ou 380 V, conforme a cidade). Veja o exercício resolvido a seguir.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 01.** Renata possui em sua residência um chuveiro de 4 800 W, com a chave seletora na posição inverno. Todos os aparelhos elétricos em sua casa apresentam tensão nominal de 120 V. Ela dispõe de tensões de alimentação de 120 V (fase-neutro) e de 240 V (fase-fase). Sempre que o chuveiro é ligado, as lâmpadas do escritório, ligadas no mesmo circuito que o chuveiro, diminuem a intensidade luminosa emitida. Para resolver o problema, ela foi aconselhada a mudar a instalação do chuveiro para 240 V.
- Determine a corrente que percorre o chuveiro e a sua resistência nas condições atuais de funcionamento.
  - O electricista troca o resistor do chuveiro e o instala em 240 V. Determine, nesse caso, a nova resistência do chuveiro e a corrente que o percorre, de modo que, quando na posição inverno, ele continue com a potência de 4 800 W.
  - Explique por que as lâmpadas do escritório podem não mais alterar a intensidade luminosa quando o chuveiro for ligado nessa nova situação.

### Resolução:

- A) A corrente elétrica e a resistência do chuveiro, nas condições atuais de funcionamento, são dadas por:

$$I = P/V \Rightarrow I = 4\,800/120 = 40 \text{ A}$$

$$R = V/I = 120/40 = 3,0 \, \Omega$$

- B) A resistência do chuveiro e a corrente elétrica, na nova situação, são:

$$R = V^2/P \Rightarrow R = 240^2/4\,800 = 12 \, \Omega$$

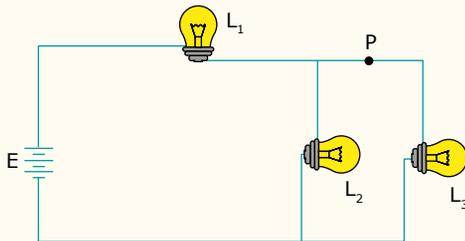
$$I = V/R \Rightarrow I = 240/12 = 20 \text{ A}$$

- C) O valor da corrente que percorre o chuveiro foi reduzido à metade. Assim, a queda de tensão na fiação da casa diminuiu, o que permite maior tensão de alimentação para as lâmpadas, fazendo com que estas não mais alterem sua intensidade luminosa e evite o desperdício de energia.

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (FGV-RJ-2020) O esquema representa um circuito elétrico composto por uma bateria ideal de força eletromotriz  $\epsilon$  e três pequenas lâmpadas incandescentes idênticas.



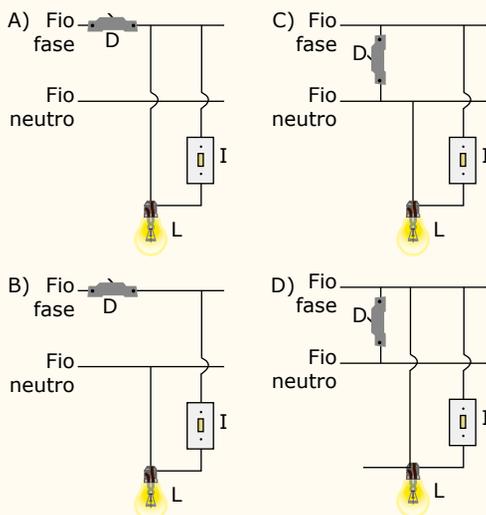
Supondo que as resistências das lâmpadas sejam constantes, se o circuito for interrompido no ponto P, o brilho

- de  $L_1$  aumentará e o de  $L_2$  diminuirá.
- de  $L_1$  e  $L_2$  aumentarão.
- de  $L_1$  e  $L_2$  não se alterarão.
- de  $L_1$  diminuirá e o de  $L_2$  aumentará.
- de  $L_1$  diminuirá e o de  $L_2$  não se alterará.

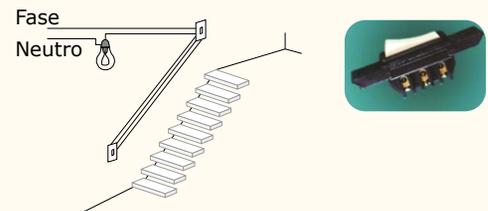
02. ZQ1A



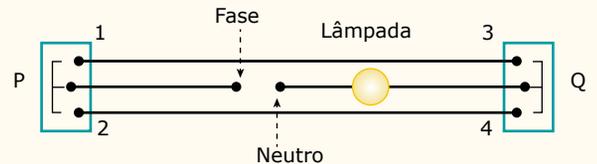
(UFRN) No mundo atual, é muito difícil viver sem a eletricidade e seus benefícios. No entanto, o seu uso adequado envolve o domínio técnico associado a conceitos e princípios físicos. Neste sentido, considere um ramo de um circuito residencial montado por estudantes em uma aula prática de eletricidade, composto pelos seguintes elementos: um disjuntor (D), uma lâmpada (L), um interruptor (I), o fio neutro e o fio fase. O circuito que está corretamente montado é o representado pela opção



03. (CMMG) Uma ligação elétrica residencial chamada de *three-way* é usada quando se necessita acender ou apagar uma mesma lâmpada a partir de dois interruptores, como no exemplo da figura esquerda a seguir. Antes de subir a escada, a pessoa acende a lâmpada por meio de um primeiro interruptor e, quando chega ao andar de cima, apaga a lâmpada pelo outro interruptor.



Os interruptores *three-way* (figura anterior da direita) possuem três saídas de fios. O *three-way* P pode estar ligado nos contatos 1 ou 2; o *three-way* Q pode estar ligado nos contatos 3 ou 4. A figura a seguir mostra o esquema da ligação entre os dois *three-ways*, a lâmpada, a fase e o neutro.



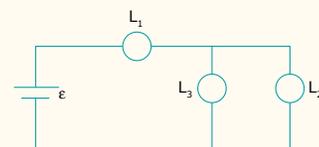
A lâmpada estará acesa se os interruptores P e Q estiverem conectados, respectivamente, em

- 1 e 4 ou 2 e 4.
- 1 e 4 ou 2 e 3.
- 1 e 3 ou 2 e 3.
- 1 e 3 ou 2 e 4.

04. SIAA



(CEFET-MG) O circuito elétrico seguinte é constituído por três lâmpadas  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ , que são idênticas, e ligadas a uma bateria  $\epsilon$ .



Se a lâmpada  $L_3$  repentinamente se queimar, é correto afirmar que

- $L_2$  diminuirá o seu brilho.
- $L_1$  dissipará mais energia.
- $L_2$  dissipará menos energia.
- $L_1$  terá o mesmo brilho de  $L_2$ .



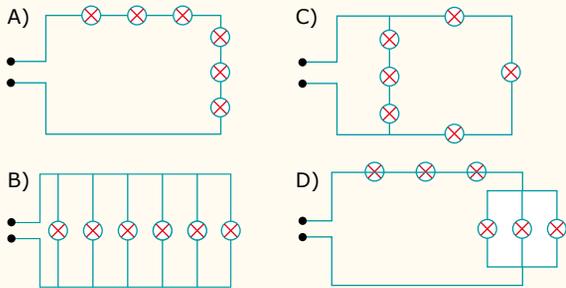
Entre as afirmações que seguem, a única correta é:

- A) No circuito A,  $L_1$  e  $L_2$  brilham com a mesma intensidade.
- B) No circuito B,  $L_1$  e  $L_2$  brilham com a mesma intensidade.
- C) No circuito A,  $L_1$  brilha mais que  $L_2$ .
- D) No circuito B,  $L_1$  brilha mais que  $L_2$ .
- E)  $L_1$  e  $L_2$  brilham mais no circuito B que no circuito A.

02.  
NJES



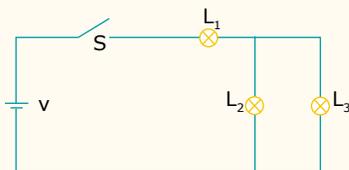
(COLTEC-MG) Uma mulher estava montando uma árvore de Natal, usando um conjunto de 6 lâmpadas, quando uma delas se quebrou. Para sua surpresa, 3 lâmpadas ainda continuaram a se acender com o mesmo brilho. Na produção desse conjunto, qual destes esquemas mostra a ligação das lâmpadas?



03.  
SZ11



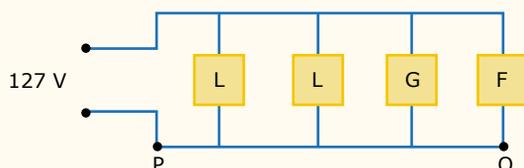
(CEFET-MG) A chave  $S$ , a bateria  $V$  e as três lâmpadas idênticas,  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  estão ligadas conforme o circuito elétrico a seguir.



Quando a chave  $S$  é fechada, a(s)

- A) lâmpadas  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  brilham com a mesma intensidade.
- B) corrente elétrica que flui em  $L_1$  é o dobro da que flui em  $L_2$ .
- C) correntes elétricas que fluem nas lâmpadas  $L_2$  e  $L_3$  são diferentes.
- D) lâmpadas  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  estão submetidas ao mesmo potencial,  $V$ , da bateria.
- E) potência elétrica dissipada por  $L_2$  é maior do que a potência elétrica dissipada por  $L_1$ .

04. (UFMG) O circuito da rede elétrica de uma cozinha está representado, esquematicamente, nesta figura:



Nessa cozinha, há duas lâmpadas  $L$ , uma geladeira  $G$  e um forno elétrico  $F$ . Considere que a diferença de potencial na rede elétrica é constante. Inicialmente, apenas as lâmpadas e o forno estão em funcionamento. Nessa situação, as correntes elétricas nos pontos  $P$  e  $Q$ , indicados na figura, são, respectivamente,  $i_p$  e  $i_q$ . Em um certo instante, a geladeira entra em funcionamento. Considerando-se essa nova situação, é correto afirmar que

- A)  $i_p$  e  $i_q$  se alteram.
- B) apenas  $i_p$  se altera.
- C)  $i_p$  e  $i_q$  não se alteram.
- D) apenas  $i_q$  se altera.

05.  
J6KV



(FGV-SP) Um electricista modifica a instalação elétrica de uma casa e substitui um chuveiro elétrico ligado em 110 V por outro, de mesma potência, mas ligado em 220 V. Observa-se que esse chuveiro passará, então, a

- A) consumir mais energia elétrica.
- B) consumir menos energia elétrica.
- C) ser percorrido por uma corrente elétrica maior.
- D) ser percorrido por uma corrente elétrica menor.
- E) dissipar maior quantidade de calor.

06.  
4RLF



(CMMG) A seguir, são listados quatro dispositivos residenciais acompanhados de suas especificações elétricas:

- I. Lâmpada de 200 W – 127 V;
- II. Geladeira de 400 W – 127 V;
- III. Ebulidor de 1 000 W – 127 V;
- IV. Chuveiro de 5 000 W – 127 V.

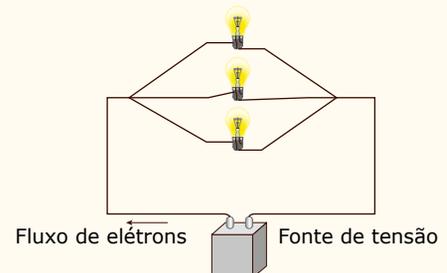
Qual(is) dos dispositivos relacionados pode(m) ser instalado(s) em uma residência, sem riscos de provocar incêndio, se os fios usados suportam uma corrente máxima de 5 A?

- A) Apenas I.
- B) Apenas I e II.
- C) Apenas I, II e III.
- D) Todos.

07.  
JE44



(FMP-RJ-2017) Numa instalação elétrica de um escritório, são colocadas 3 lâmpadas idênticas em paralelo conectadas a uma fonte de tensão.



Se uma das lâmpadas queimar, o que acontecerá com a corrente nas outras lâmpadas?

- A) Aumentará por um fator 1,5.
- B) Aumentará por um fator 2.
- C) Diminuirá por um fator 1,5.
- D) Diminuirá por um fator 2.
- E) Permanecerá a mesma.

- 08.** (UFRRJ) Numa residência, são utilizados, eventualmente, diversos aparelhos elétricos cujas potências estão indicadas no quadro a seguir:

Dispositivo	Potência (W)
Bomba-d'água	950
Geladeira	350
20 lâmpadas	60 (cada)
Televisão	150
Chuveiro	3 000
Ferro de passar	1 100

A residência é alimentada com uma diferença de potencial de 220 V e está instalado um fusível de 25 A. O fusível se queimará se forem utilizados, simultaneamente,

- A) bomba-d'água, 20 lâmpadas de 60 W, televisão e ferro de passar.  
 B) bomba-d'água, geladeira, chuveiro e ferro de passar.  
 C) geladeira, 20 lâmpadas de 60 W, televisão e chuveiro.  
 D) bomba-d'água, 20 lâmpadas de 60 W, chuveiro e ferro de passar.  
 E) 20 lâmpadas de 60 W, televisão, chuveiro e ferro de passar.
- 09.** (UECE) Uma lâmpada incandescente é conectada por dois fios à bateria (12 V) de um carro através de um interruptor cuja resistência é desprezível. Após a lâmpada ser ligada, a corrente elétrica que passa pelo interruptor e a diferença de potencial elétrico entre seus terminais são sempre
- A) 12 V e zero, respectivamente.  
 B) igual a zero e 12 V, respectivamente.  
 C) maior que zero e zero, respectivamente.  
 D) 12 A e 12 V, respectivamente.

- 10.** (UNIPAC-MG) Um chuveiro, geralmente, tem uma chave para ajustar a temperatura do banho conforme a estação do ano. Sobre esse tipo de chuveiro, afirma-se:



- I. Ao mudar a posição da chave para "Verão", a temperatura do banho é menor, pois nessa posição a resistência elétrica é menor.  
 II. Na posição "Inverno", o banho é mais quente, pois nesse aquecimento, de acordo com o efeito Joule, quanto menor a resistência, maior será a dissipação de energia.  
 III. Tanto na posição "Verão" quanto na posição "Inverno", a temperatura do banho depende da vazão da água.  
 IV. A posição da chave altera a temperatura do banho, pois permite variar a diferença de potencial aplicada à resistência do chuveiro.

Assinale a opção que apresenta as afirmativas verdadeiras.

- A) I e II  
 B) I e III  
 C) II e III  
 D) II e IV  
 E) III e IV

**11.**



(UFV-MG) Duas lâmpadas incandescentes comuns, uma de 60 W e 120 V, e outra de 100 W e 120 V, são ligadas em série e a associação é ligada a uma d.d.p. de 120 V. Com relação a esse circuito, considere as seguintes afirmativas:

- I. A corrente na lâmpada de 60 W é igual à corrente na lâmpada de 100 W.  
 II. A lâmpada de 60 W brilha mais que a lâmpada de 100 W.  
 III. A lâmpada de 100 W brilha mais que a lâmpada de 60 W.

Está correto o que se afirma apenas em

- A) I e II.  
 B) I e III.  
 C) II.  
 D) III.

- 12.** (UEG-GO-2019) Visando economizar energia elétrica em sua casa, um estudante resolveu trocar todas as lâmpadas de gás, conhecidas como econômicas, por lâmpadas de LED. As características das lâmpadas de gás estão na tabela a seguir:

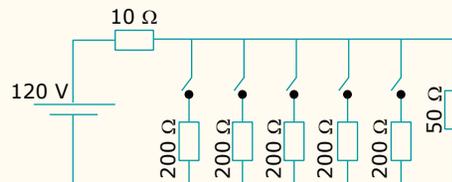
Quantidade de lâmpadas	Potência	Tempo que a lâmpada fica ligada por dia
4	40 W	5 h
2	20 W	4 h
1	15 W	1 h

Considerando que ele troque todas as lâmpadas por lâmpadas de LED de 10 W, sua economia diária, no consumo de energia, em kWh, será de:

- A) 0,975  
 B) 0,290  
 C) 0,450  
 D) 0,685  
 E) 1,265

## SEÇÃO ENEM

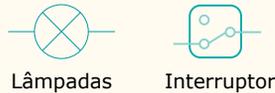
- 01.** (Enem-2019) Uma casa tem um cabo elétrico mal dimensionado, de resistência igual a 10 Ω, que a conecta à rede elétrica de 120 V. Nessa casa, cinco lâmpadas, de resistência igual a 200 Ω, estão conectadas ao mesmo circuito que uma televisão de resistência igual a 50 Ω, conforme ilustrado no esquema. A televisão funciona apenas entre 90 V e 130 V.



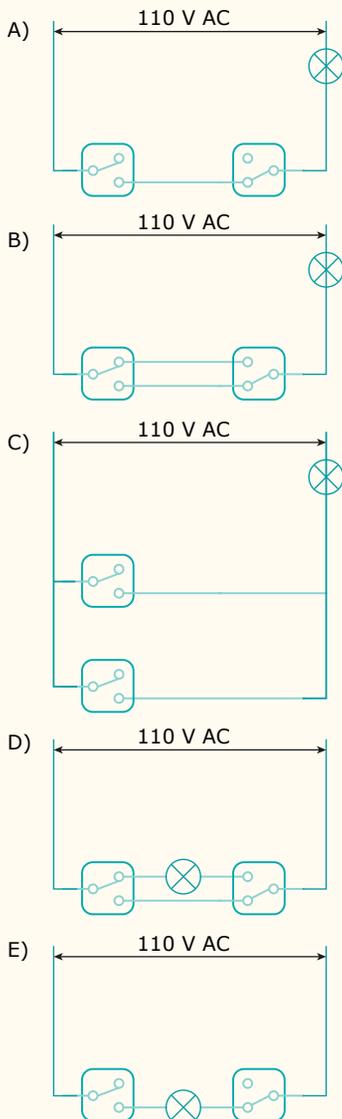
O número máximo de lâmpadas que podem ser ligadas sem que a televisão pare de funcionar é:

- A) 1  
 B) 2  
 C) 3  
 D) 4  
 E) 5

- 02.** (Enem-2017) Durante a reforma da sua residência, um casal decidiu que seria prático poder acender a luz do quarto acionando um interruptor ao lado da porta e apagá-la com outro interruptor próximo à cama. Um eletrotécnico explicou que esse sistema usado para controlar uma lâmpada a partir de dois pontos é conhecido como circuito de interruptores paralelos.



Como deve ser feita a montagem do circuito da lâmpada no quarto desse casal?



- 03.** (Enem) Em um manual de um chuveiro elétrico são encontradas informações sobre algumas características técnicas, ilustradas no quadro, como a tensão de alimentação, a potência dissipada, o dimensionamento do disjuntor ou fusível, e a área da seção transversal dos condutores utilizados.

Características técnicas			
Especificação			
Modelo		A	B
Tensão (V~)		127	220
Potência (watt)	Seletor de temperatura multitemperaturas	○	0
		●	2 440
		●●	4 400
		●●●	5 500
Disjuntor ou fusível (ampere)		50	30
Seção dos condutores (mm <sup>2</sup> )		10	4

Uma pessoa adquiriu um chuveiro do modelo A e, ao ler o manual, verificou que precisava ligá-lo a um disjuntor de 50 amperes. No entanto, intrigou-se com o fato de que o disjuntor a ser utilizado para uma correta instalação de um chuveiro do modelo B devia possuir amperagem 40% menor. Considerando-se os chuveiros de modelos A e B, funcionando à mesma potência de 4 400 W, a razão entre as suas respectivas resistências elétricas,  $R_A$  e  $R_B$ , que justifica a diferença de dimensionamento dos disjuntores, é mais próxima de

- A) 0,3.                      C) 0,8.                      E) 3,0.  
B) 0,6.                      D) 1,7.

- 04.** (Enem) Observe a tabela seguinte. Ela traz especificações técnicas constantes no manual de instruções fornecido pelo fabricante de uma torneira elétrica.

Modelo	Torneira				
Tensão nominal (volts)	127		220		
Potência nominal (watts)	Frio	Desligado			
	Morno	2 800	3 200	2 800	3 200
	Quente	4 500	5 500	4 500	5 500
Corrente nominal (amperes)	35,4	43,3	20,4	25,0	
Fiação mínima (Até 30 m)	6 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	
Fiação mínima (Acima 30 m)	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	
Disjuntor (amperes)	40	50	25	30	

Disponível em: [http://www.cardal.com.br/manualprod/Manuais/Torneira%20Suprema/Manual\\_Torneira\\_Suprema\\_roo.pdf](http://www.cardal.com.br/manualprod/Manuais/Torneira%20Suprema/Manual_Torneira_Suprema_roo.pdf).

Considerando que o modelo de maior potência da versão 220 V da torneira suprema foi inadvertidamente conectado a uma rede com tensão nominal de 127 V, e que o aparelho está configurado para trabalhar em sua máxima potência, qual o valor aproximado da potência ao ligar a torneira?

- A) 1 830 W.                      D) 4 030 W.  
B) 2 800 W.                      E) 5 500 W.  
C) 3 200 W.

**05.** (Enem) Quando ocorre um curto-circuito em uma instalação elétrica, como na figura, a resistência elétrica total do circuito diminui muito, estabelecendo nele uma corrente muito elevada.



O superaquecimento da fiação, devido a esse aumento da corrente elétrica, pode ocasionar incêndios, que seriam evitados instalando-se fusíveis e disjuntores que interrompem essa corrente, quando a mesma atinge um valor acima do especificado nesses dispositivos de proteção.

Suponha que um chuveiro instalado em uma rede elétrica de 110 V, em uma residência, possua três posições de regulagem da temperatura da água. Na posição verão, utiliza 2 100 W, na posição primavera, 2 400 W, e na posição inverno, 3 200 W.

REF. Física 3: Eletromagnetismo. São Paulo: EDUSP, 1993 (Adaptação).

Deseja-se que o chuveiro funcione em qualquer uma das três posições de regulagem da temperatura, sem que haja riscos de incêndio. Qual deve ser o valor mínimo adequado do disjuntor a ser utilizado?

- A) 40 A.
- B) 30 A.
- C) 25 A.
- D) 23 A.
- E) 20 A.

**06.** (Enem) Entre as inúmeras recomendações dadas para a economia de energia elétrica em uma residência, destacamos as seguintes:

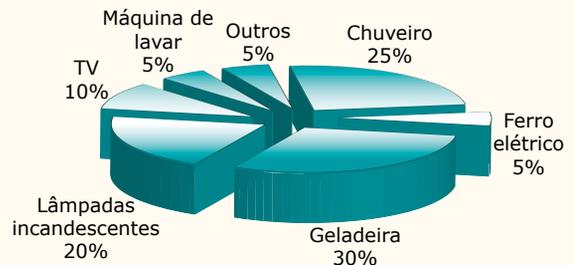
- Substitua lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas.
- Evite usar o chuveiro elétrico com a chave na posição "inverno" ou "quente".
- Acumule uma quantidade de roupa para ser passada a ferro elétrico de uma só vez.
- Evite o uso de tomadas múltiplas para ligar vários aparelhos simultaneamente.
- Utilize, na instalação elétrica, fios de diâmetros recomendados às suas finalidades.

A característica comum a todas essas recomendações é a proposta de economizar energia através da tentativa de, no dia a dia, reduzir

- A) a potência dos aparelhos e dispositivos elétricos.
- B) o tempo de utilização dos aparelhos e dispositivos.
- C) o consumo de energia elétrica convertida em energia térmica.
- D) o consumo de energia térmica convertida em energia elétrica.
- E) o consumo de energia elétrica através de correntes de fuga.

**Instrução:** Gráfico para a questão **07**.

A distribuição média, por tipo de equipamento, do consumo de energia elétrica nas residências no Brasil é apresentada no gráfico a seguir.



**07.** (Enem) Em associação com os dados do gráfico, considere as variáveis:

- I. Potência do equipamento.
- II. Horas de funcionamento.
- III. Número de equipamentos.

O valor das frações percentuais do consumo de energia depende de

- A) I, apenas.
- B) II, apenas.
- C) I e II, apenas.
- D) II e III, apenas.
- E) I, II e III.

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



### GABARITO

Meu aproveitamento

#### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. D     03. D     05. C     07. C
- 02. B     04. D     06. A     08. C

#### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. D     04. B     07. E     10. C
- 02. C     05. D     08. D     11. A
- 03. B     06. B     09. C     12. D

#### Seção Enem

- 01. B     03. A     05. B     07. E
- 02. B     04. A     06. C



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## Instrumentos de Medidas Elétricas

Até aqui, estudamos a tensão, a corrente e a resistência elétrica. Aprendemos alguns princípios e relações entre essas grandezas e os usamos para resolver muitos problemas de circuitos elétricos. Agora, vamos tratar especificamente da medição dessas três grandezas elétricas. As medições de corrente, tensão e resistência elétrica são realizadas por meio de instrumentos de medidas elétrica denominados amperímetro, voltímetro e ohmímetro, respectivamente.

Iniciaremos este módulo discutindo os procedimentos básicos para realizar medições de corrente e tensão elétricas por meio de amperímetros e voltímetros. Depois, veremos os procedimentos para medir a resistência por meio de ohmímetros. Veremos, ainda, que a determinação da resistência pode ser feita indiretamente por meio de medições simultâneas de corrente e de tensão, utilizando amperímetros e voltímetros, respectivamente. Na parte final do módulo, analisaremos um importante circuito usado em medições elétricas de precisão, a ponte de Wheatstone.

### MEDIÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA



Para medir a corrente que passa por um elemento de um circuito elétrico (um resistor, por exemplo), basta inserir um amperímetro em série com esse elemento de forma que ambos sejam percorridos pela mesma corrente elétrica. Como o amperímetro possui certa resistência elétrica, a resistência equivalente do circuito aumenta um pouco, e a corrente torna-se um pouco menor quando esse instrumento é inserido no circuito. Em um caso ideal, a resistência do amperímetro deveria ser ínfima, de modo a provocar uma redução insignificante no valor da corrente a ser medida. Todavia, desde que a resistência do amperímetro seja pequena comparada à resistência do elemento, a leitura de corrente indicada pelo instrumento será muito próxima do valor real. A seguir, apresentamos um exemplo para ilustrar isso.

Considere a figura 1, que mostra um circuito elétrico constituído por uma fonte de tensão  $V_{AB} = 12,0 \text{ V}$ , uma lâmpada de resistência elétrica  $R_L = 10,0 \Omega$  e um amperímetro. Observe que o amperímetro está ligado em série com a lâmpada. Sem a presença do amperímetro no circuito, a corrente através da lâmpada seria  $I = 1,20 \text{ A}$  (valor dado por  $I = V_{AB}/R_L$ ). No caso ideal, o amperímetro não possui resistência interna. Assim, a sua presença não afetaria a resistência equivalente do circuito, de forma que a sua leitura seria exatamente igual a  $1,20 \text{ A}$ . No caso real, contudo, o amperímetro apresenta uma pequena resistência interna. Se esse valor for  $R_A = 0,10 \Omega$ , a resistência equivalente do circuito será igual a  $10,1 \Omega$ , e a corrente será reduzida a  $1,19 \text{ A}$ . Esse é o valor que o amperímetro registrará. Como a resistência do amperímetro é muito menor que a resistência da lâmpada ( $0,10 \Omega$  é 100 vezes menor que  $10,0 \Omega$ ), a corrente registrada no aparelho é praticamente igual ao valor da corrente no circuito original (sem a presença do amperímetro). Nesse caso, o erro é menor que 1%.

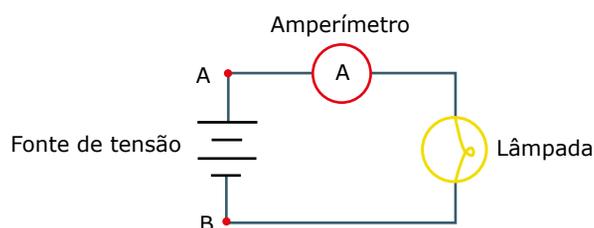


Figura 1. Montagem para medição da corrente elétrica.

### MEDIÇÃO DA TENSÃO ELÉTRICA



Considere um circuito com dois resistores, ambos de resistência  $R$ , ligados em série e alimentados por uma fonte de tensão  $V_{AB} = 12 \text{ V}$ . Obviamente, como as resistências são iguais, as tensões nos resistores também são iguais, cada uma valendo  $6 \text{ V}$ . Podemos medir a tensão elétrica em um desses resistores, inserindo um voltímetro em paralelo com ele, como mostra a figura 2, de forma que a tensão no voltímetro seja igual à tensão nesse resistor. Porém, como o voltímetro é ligado em paralelo, a sua presença reduz a resistência entre os pontos C e B, provocando um aumento da corrente no circuito.

O resultado é que a tensão  $V_{AC}$  no outro resistor torna-se um pouco maior que 6 V, enquanto a tensão  $V_{CB}$  fica um pouco inferior a 6 V. Para que o efeito da medição de tensão sobre um circuito seja minimizado, o voltímetro deve possuir uma resistência muito grande, bem maior que a resistência do resistor ao qual ele é ligado em paralelo, de modo que a resistência equivalente, praticamente, não seja alterada com a presença do instrumento.

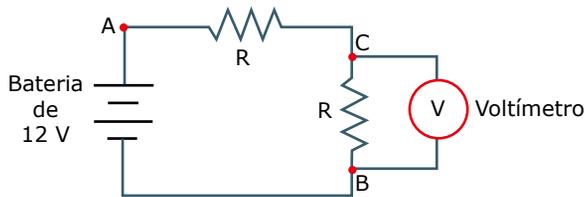


Figura 2. Montagem para medição da tensão elétrica.

Agora, vamos considerar os seguintes valores para ilustrar a discussão do parágrafo anterior: a resistência de cada resistor é  $R = 100 \Omega$ , e a resistência interna do voltímetro é  $R_V = 900 \Omega$ . Sem a presença do voltímetro, a resistência equivalente do circuito vale  $200 \Omega$ , e a corrente elétrica no circuito é igual a  $0,060 \text{ A}$  (valor dado por  $I = 12/200$ ). Com a introdução do voltímetro no circuito, a resistência do trecho CB diminui para o seguinte valor:

$$R_{CB} = \frac{R \cdot R_V}{R + R_V} = \frac{100 \cdot 900}{100 + 900} = 90 \Omega$$

Assim, a resistência equivalente do circuito diminui para  $R_E = 190 \Omega$ , e a corrente no circuito torna-se maior e igual a:

$$I = \frac{V_{AB}}{R_E} = \frac{12}{190} = 0,063 \text{ A}$$

Finalmente, multiplicando essa corrente pelas resistências dos trechos AC e CB, obtemos as tensões elétricas correspondentes:

$$V_{CB} = 90 \cdot 0,063 = 5,7 \text{ V} \quad \text{e} \quad V_{AC} = 100 \cdot 0,063 = 6,3 \text{ V}$$

Observe que a introdução do voltímetro no circuito alterou a distribuição de tensões nos resistores (antes, a tensão em cada resistor era 6 V). Como o voltímetro registra um valor igual a 5,7 V, existe um erro de 5% nessa medição. Para reduzir o erro, um voltímetro de melhor qualidade (de maior resistência interna) deve ser usado.



**PARA REFLETIR**

Por que os amperímetros, em geral, possuem um fusível interno para proteger o circuito interno, mas os voltímetros não?

## MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA



Podemos medir a resistência elétrica de um resistor ligando-o diretamente aos terminais de um ohmímetro. A figura 3 ilustra a medição da resistência elétrica de um resistor de resistência nominal igual a  $2,0 \text{ k}\Omega$ , por meio dessa técnica. Observe que, para realizar a medição, o resistor deve estar isolado, isto é, desconectado do seu circuito elétrico de origem.

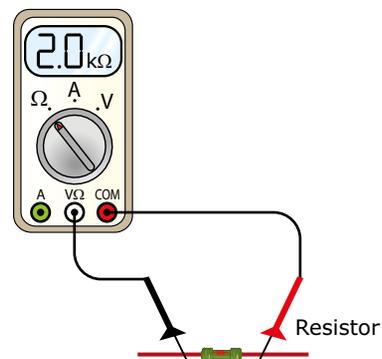
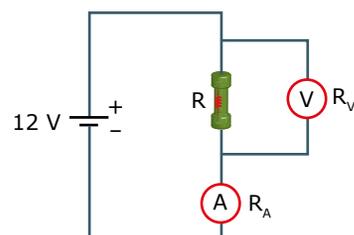


Figura 3. Medição da resistência elétrica.

A resistência de um resistor pode ser obtida indiretamente, ligando-o a uma bateria e medindo-se a tensão  $V$  e a corrente  $I$  no resistor. A razão  $R = V/I$  nos fornece o valor dessa resistência. Nesse caso, um amperímetro e um voltímetro são necessários para registrar os valores da tensão e da corrente. O Exercício Resolvido 01 apresenta uma discussão interessante sobre essa metodologia de medição da resistência elétrica.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

**01.** Considere que o resistor da figura 3 seja ligado conforme o circuito mostrado esquematicamente na figura a seguir. A resistência do voltímetro é  $R_V = 40 \text{ k}\Omega$ , e a do amperímetro é  $R_A = 2 \Omega$ . Em relação à medição direta mostrada na figura 3, calcule o erro cometido se a resistência  $R$  do resistor for calculada pelo quociente entre a leitura do voltímetro e a do amperímetro.



**Resolução:**

Nesse circuito, o voltímetro mede a tensão no resistor. Porém, o amperímetro não mede a corrente no resistor, mas a soma da corrente que passa pelo resistor com a corrente que passa pelo voltímetro. Podemos calcular a corrente e a tensão no resistor a partir dos valores numéricos fornecidos pelo enunciado da questão. Para isso, primeiramente devemos calcular a resistência equivalente do circuito. A resistência equivalente do resistor e do voltímetro é:

$$R'_E = \frac{R \cdot R_V}{R + R_V} = \frac{2 \cdot 40}{2 + 40} = 1,905 \text{ k}\Omega = 1\,905 \Omega$$

E a resistência equivalente do circuito é:

$$R_E = R_A + R'_E = 2 + 1\,905 = 1\,907 \Omega$$

Então, a corrente total (registrada no amperímetro) é:

$$I = \frac{V_{\text{bat}}}{R_E} = \frac{12}{1\,907} = 0,00629 \text{ A}$$

Com o valor dessa corrente, podemos calcular a tensão eléctrica entre os terminais do amperímetro:

$$V_A = R_A \cdot I = 2 \cdot 0,00629 = 0,0126 \text{ V}$$

Portanto, a tensão entre os terminais do resistor e do voltímetro (registrada por esse instrumento) é:

$$V' = V_{\text{bat}} - V_A = 12 - 0,0126 = 11,987 \text{ V}$$

Assim, nesse circuito, o voltímetro marca uma tensão de 11,987 V, e o amperímetro marca uma corrente de 0,00629 A. Como o quociente entre esses valores representa a resistência do resistor, temos:

$$R = \frac{V'}{I} = \frac{11,987}{0,00629} = 1\,906 \Omega = 1,906 \text{ k}\Omega$$

Esse valor difere em, aproximadamente, 5% do valor  $R = 2 \text{ k}\Omega$ , o que é um erro significativo.

**Comentário:**

O erro obtido era esperado, pois a resistência do voltímetro é apenas 20 vezes maior que a do resistor. Por isso, o voltímetro em paralelo com o resistor altera significativamente o valor da corrente no circuito.

## A PONTE DE WHEATSTONE

Ponte de Wheatstone é um circuito eléctrico constituído por uma rede de quatro resistores, três de valores fixos ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) e um quarto variável  $R_v$ , ligados entre si, como mostra a figura 4. O circuito é alimentado por uma fonte de tensão  $V_{AB}$  e um galvanómetro detecta a corrente entre os pontos M e N. A resistência  $R_v$  pode ser ajustada de modo que os potenciais eléctricos dos pontos M e N sejam exactamente iguais.

Quando esse equilíbrio é atingido, o galvanómetro não indica passagem de corrente ( $I_G = 0$ ). Um amperímetro pode ser usado para achar o equilíbrio da ponte, mas a sua sensibilidade é menor que a do galvanómetro. O uso do galvanómetro, todavia, deve ser feito com a ponte próxima ao equilíbrio, pois uma corrente acima do fundo de escala (que é muito baixo) pode danificar o aparelho.

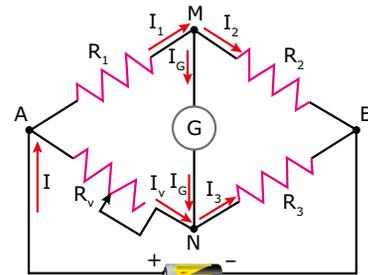


Figura 4. Ponte de Wheatstone.

Observe que, nessa figura, a ponte não está equilibrada. O potencial do ponto M é maior que o potencial do ponto N ( $V_M > V_N$ ), pois a corrente  $I_G$  é voltada para baixo. Para a ponte equilibrada,  $I_G$  vale zero. Consequentemente, as correntes  $I_1$  e  $I_2$  são iguais, o mesmo ocorrendo com as correntes  $I_v$  e  $I_3$ . Além disso, outra igualdade importante para a ponte equilibrada é a seguinte:

$$R_1 \cdot R_3 = R_v \cdot R_2$$

É fácil demonstrar essa igualdade. Primeiramente, vamos determinar uma relação entre as d.d.p.s. e as resistências nas partes superior e inferior do circuito. Para isso, podemos usar as igualdades entre as correntes mencionadas anteriormente. Assim:

$$\text{Parte de cima: } I_1 = I_2 \Rightarrow \frac{V_{AM}}{R_1} = \frac{V_{MB}}{R_2} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{V_{AM}}{V_{MB}}$$

$$\text{Parte de baixo: } I_v = I_3 \Rightarrow \frac{V_{AN}}{R_v} = \frac{V_{NB}}{R_3} \Rightarrow \frac{R_v}{R_3} = \frac{V_{AN}}{V_{NB}}$$

Como os potenciais  $V_M$  e  $V_N$  são iguais, concluímos que  $V_{AM} = V_{AN}$  e  $V_{MB} = V_{NB}$ . Portanto, as frações envolvendo as d.d.p.s. nas duas relações anteriores são iguais. Logo, as frações envolvendo as resistências podem ser igualadas, de modo que:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_v}{R_3} \text{ ou } R_1 \cdot R_3 = R_v \cdot R_2$$

Para facilitar a memorização dessa equação (necessária em alguns vestibulares), observe que as resistências  $R_1$  e  $R_3$  se acham em posições opostas: a primeira situa-se na parte superior esquerda do circuito, já a outra está na região inferior direita.

O mesmo ocorre com as resistências  $R_v$  e  $R_2$ . Assim, os estudantes memorizam essa equação com a ajuda da seguinte frase: "Em uma ponte de Wheatstone equilibrada, os produtos das resistências opostas são iguais".

Agora, vamos estudar algumas aplicações da ponte de Wheatstone. Uma das utilidades desse circuito é a determinação de uma das resistências a partir dos valores das outras três. Na figura 4, considere  $R_1 = 10,01 \Omega$ ,  $R_2 = 19,99 \Omega$  e que a resistência  $R_3$  seja desconhecida. Imagine que a resistência  $R_v$  tenha sido ajustada para  $33,52 \Omega$ , de modo que a ponte tenha ficado equilibrada. Assim, usando a equação anterior, podemos calcular o valor  $R_3$ :

$$R_3 = \frac{R_v R_2}{R_1} = \frac{33,52 \cdot 19,99}{10,01} = 66,94 \Omega$$

Em geral, nesse método, as resistências são conhecidas com bastante precisão. Assim, usando um galvanômetro sensível, a resistência desconhecida é calculada também com boa precisão.

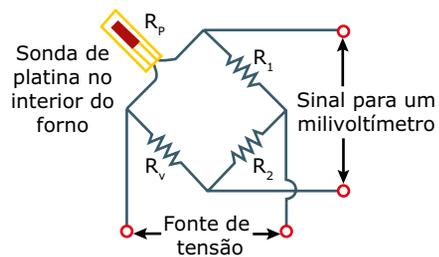
Outra aplicação da ponte de Wheatstone refere-se à medição de grandezas físicas relacionadas com a resistência elétrica. Por exemplo, a resistência de uma barra metálica depende da geometria e da resistividade elétrica da barra. Essa última propriedade, por sua vez, é função da temperatura. Assim, usando um procedimento bastante semelhante ao descrito no parágrafo anterior, podemos obter o valor da temperatura em um ambiente por meio do cálculo da resistência de uma barra metálica presente nesse local. Nesse caso, a barra faz o papel da resistência desconhecida da ponte de Wheatstone. A determinação dessa resistência conduz ao valor da temperatura da barra e do local onde ela se acha. A seguir, apresentamos o Exercício Resolvido 02, que descreve esse método de medição de temperatura.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

**02.** A figura a seguir mostra uma ponte de Wheatstone usada para a medição da temperatura de um forno. A resistência  $R_p$  é uma sonda de platina, cuja relação com a temperatura  $T$  é:

$$T = 500 + 10R_p \text{ (Unidades: K, } \Omega \text{)}$$

A resistência  $R_v$  pode ser ajustada de  $10,0$  até  $20,0 \Omega$ . A razão entre as outras duas resistências é  $R_1/R_2 = 2,00$ .



- A) Determine a temperatura do forno se a regulagem de sinal zero para o milivoltímetro corresponde a  $R_v = 15,0 \Omega$ .
- B) Determine a maior e a menor temperatura do forno que podem ser registradas por esse sistema.

### Resolução:

Observe que não há um galvanômetro ou um amperímetro para medir a corrente entre as extremidades superior e inferior do circuito. Nesse sistema, optou-se por medir a diferença de potencial entre essas extremidades por meio de um milivoltímetro. Ajustando a resistência  $R_v$  para um valor adequado, obtém-se o registro zero dessa diferença de potencial, indicando o equilíbrio da ponte.

- A) Vamos chamar de  $T_{15}$  a temperatura do forno para o ajuste de  $R_v = 15,0 \Omega$ . Como a ponte está equilibrada, podemos calcular  $R_p$  pela relação a seguir:

$$R_p = R_v \frac{R_1}{R_2} = 15,0 \cdot 2,00 = 30,0 \Omega$$

Substituindo esse valor na equação de temperatura fornecida pelo enunciado, obtemos a temperatura do forno:

$$T = 500 + 10R_p = 500 + 10 \cdot 30,0 = 800 \text{ K} = 527 \text{ }^\circ\text{C}$$

- B) A faixa de temperaturas do sistema de medição é limitada pelos valores mínimo e máximo de  $R_v$ ,  $10,0 \Omega$  e  $20,0 \Omega$ . Substituindo esses valores na equação da ponte equilibrada, obtemos os valores correspondentes de  $R_p$ :

$$R_{p_{\min}} = 10,0 \cdot 2,00 = 20,0 \Omega \text{ e } R_{p_{\max}} = 20,0 \cdot 2,00 = 40 \Omega$$

Substituindo essas resistências na equação de temperatura, obtemos a faixa de temperaturas que o sistema pode medir:

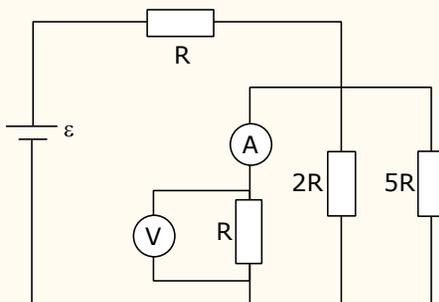
$$T_{\min} = 500 + 10R_p = 500 + 10 \cdot 20,0 = 700 \text{ K} = 427 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\max} = 500 + 10R_p = 500 + 10 \cdot 40,0 = 900 \text{ K} = 627 \text{ }^\circ\text{C}$$

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



- 01.** (CEFET-MG) No diagrama do circuito a seguir, o amperímetro A mede uma corrente elétrica de 10,0 mA, o voltímetro V mede uma tensão de 60,0 V e R, 2R e 5R são resistores desconhecidos.



A tensão da bateria  $\epsilon$ , medida em V, é igual a

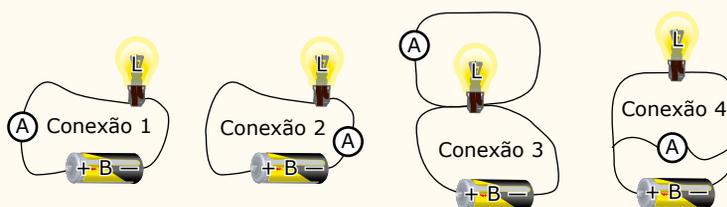
- A) 158.                      B) 159.                      C) 160.                      D) 161.                      E) 162.

- 02.** (UEL-PR) Sobre o funcionamento de voltímetros e o funcionamento de amperímetros, assinale a alternativa correta.



- A) A resistência elétrica interna de um voltímetro deve ser muito pequena para que, quando ligado em paralelo às resistências elétricas de um circuito, não altere a tensão elétrica que se deseja medir.
- B) A resistência elétrica interna de um voltímetro deve ser muito alta para que, quando ligado em série às resistências elétricas de um circuito, não altere a tensão elétrica que se deseja medir.
- C) A resistência elétrica interna de um amperímetro deve ser muito pequena para que, quando ligado em paralelo às resistências elétricas de um circuito, não altere a intensidade de corrente elétrica que se deseja medir.
- D) A resistência elétrica interna de um amperímetro deve ser muito pequena para que, quando ligado em série às resistências elétricas de um circuito, não altere a intensidade de corrente elétrica que se deseja medir.
- E) A resistência elétrica interna de um amperímetro deve ser muito alta para que, quando ligado em série às resistências elétricas de um circuito, não altere a intensidade de corrente elétrica que se deseja medir.

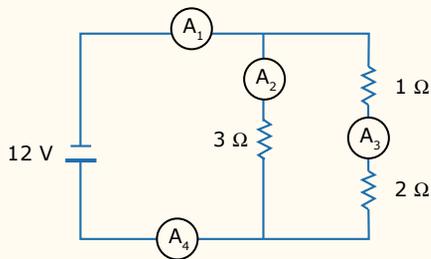
- 03.** (UEG-GO) Um circuito simples é composto apenas por uma bateria (B) e uma lâmpada (L). Com esse circuito elétrico, um estudante montou quatro conexões diferentes, com um mesmo medidor de intensidade de corrente elétrica, conhecido como amperímetro (A).



Após as montagens, conforme a figura anterior, o estudante apresentou versões das conexões realizadas. Em qual dessas versões o amperímetro irá fornecer a leitura real da intensidade de corrente no circuito?

- A) A conexão 1 apresenta uma maneira correta de se ler a corrente elétrica em um circuito; nesse caso, optou-se por colocar o amperímetro do lado esquerdo da bateria.
- B) A conexão 2 fornece uma leitura menor que a da conexão 1, já que parte da corrente elétrica dissipou-se ao percorrer todo o circuito.
- C) A conexão 3 é melhor que as conexões 1 e 2, pois esse procedimento fez com que somente a leitura da corrente elétrica percorrida na lâmpada fosse mensurada.
- D) A conexão 4 é quase idêntica à conexão 3 e, portanto, fornecerá a real leitura da corrente elétrica percorrida na lâmpada e também na pilha.

**04.** (UFRGS-RS) No circuito elétrico a seguir, os amperímetros  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  e  $A_4$ , a fonte de tensão e os resistores são todos ideais.

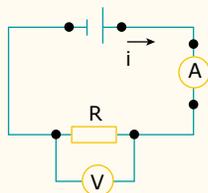


Nessas condições, pode-se afirmar que

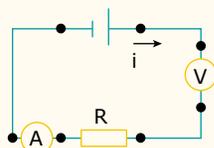
- A)  $A_1$  e  $A_2$  registram correntes de mesma intensidade.
- B)  $A_1$  e  $A_4$  registram correntes de mesma intensidade.
- C) a corrente em  $A_1$  é mais intensa do que a corrente em  $A_4$ .
- D) a corrente em  $A_2$  é mais intensa do que a corrente em  $A_3$ .
- E) a corrente em  $A_3$  é mais intensa do que a corrente em  $A_4$ .

**05.** (UPF-RS) Em uma aula no laboratório de Física, o professor solicita aos alunos que meçam o valor da resistência elétrica de um resistor utilizando um voltímetro ideal e um amperímetro ideal. Dos esquemas a seguir, que representam arranjos experimentais, qual o mais indicado para a realização dessa medição?

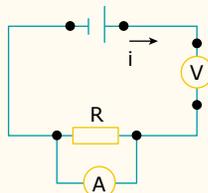
A) Esquema A



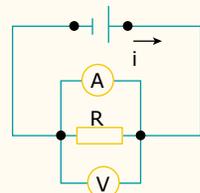
D) Esquema D



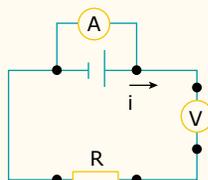
B) Esquema B



E) Esquema E

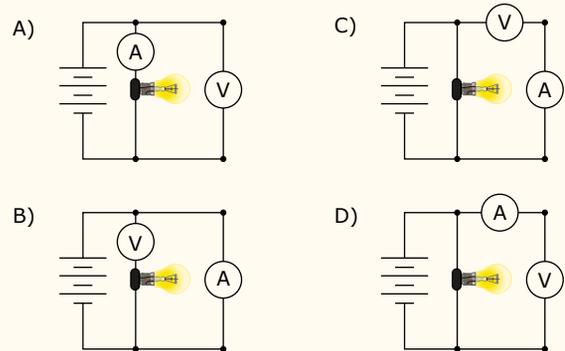


C) Esquema C

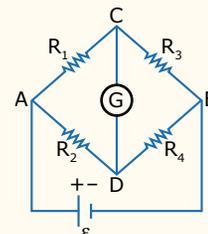


**06.** (ACAFE-SC) Em uma atividade experimental um estudante dispõe de um voltímetro V e um amperímetro A. Uma lâmpada de potência desconhecida é ligada a uma fonte de tensão, estabelecendo um circuito acrescido de tais medidores.

A alternativa correta que mostra a conexão de circuito que permite achar o valor da potência dessa lâmpada é:



**07.** (PAS-UEM) A ponte de Wheatstone é um instrumento que permite a comparação e a medida de resistências elétricas. A figura a seguir é uma das formas usuais de se representar esse sistema. G simboliza o galvanômetro, R, as resistências,  $\epsilon$ , a fonte de corrente contínua.

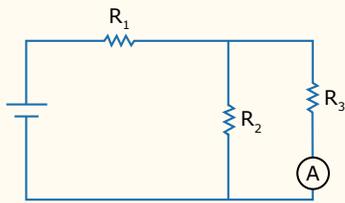


Considerando as informações do texto e da figura, assinale o que for correto.

- 01. A ponte de Wheatstone está em equilíbrio quando nenhuma corrente passa pelo galvanômetro.
- 02. Na condição de equilíbrio, os resistores  $R_1$  e  $R_2$  estão associados em série.
- 04. Se a corrente for igual a zero ( $i = 0$ ) no galvanômetro, a diferença de potencial entre os pontos C e D será zero ( $V_C - V_D = 0$ ).
- 08. Se a resistência  $R_1$  for desconhecida, seu valor poderá ser obtido pela relação  $R_1 = R_3(R_2/R_4)$ .
- 16. A ponte de Wheatstone está em equilíbrio quando os valores dos resistores satisfazem à igualdade  $R_1R_2 = R_3R_4$ .

Soma ( )

08. (PUC Rio)



No circuito apresentado na figura, em que o amperímetro A mede uma corrente  $I = 1,0 \text{ A}$ ,  $R_1 = 4,0 \, \Omega$ ,  $R_2 = 0,5 \, \Omega$  e  $R_3 = 1,0 \, \Omega$ , a diferença de potencial aplicada pela bateria em Volts é

- A) 9.
- B) 10.
- C) 11.
- D) 12.
- E) 13.

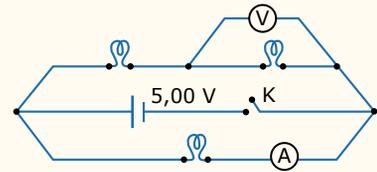
## EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (UFTM-MG) Assinale a alternativa que explica corretamente o funcionamento dos elementos componentes de um circuito elétrico.

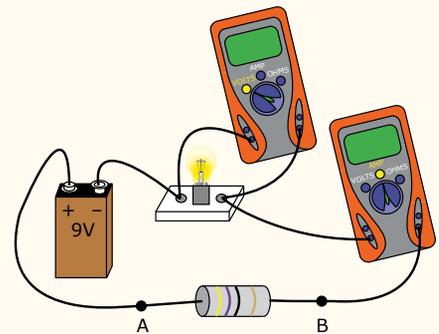
- A) A resistência interna do amperímetro deve ser muito pequena, de forma a não interferir no valor da corrente a ser medida.
- B) Os fusíveis são elementos de proteção, pois não deixam passar qualquer corrente que os atinja.
- C) Os resistores são elementos muito utilizados para economizar energia elétrica, pois produzem energia térmica.
- D) A capacidade de geração de energia por uma bateria termina quando sua resistência interna diminui, esgotando-a.
- E) Os receptores de um circuito elétrico convertem toda a energia elétrica recebida em energia térmica.

02. (Mackenzie-SP) No circuito elétrico esquematizado a seguir, o gerador elétrico possui resistência elétrica desprezível. Tanto o amperímetro quanto o voltímetro são considerados ideais. As lâmpadas ilustradas são idênticas e trazem as informações nominais (1 W – 10 V). Após fechar-se a chave K, o amperímetro e o voltímetro indicarão, respectivamente,



- A) 50 mA e 1,25 V.
- B) 25 mA e 1,25 V.
- C) 50 mA e 2,50 V.
- D) 25 mA e 2,50 V.
- E) 75 mA e 5,00 V.

03. (Unesp-2018) Para obter experimentalmente a curva da diferença de potencial  $U$  em função da intensidade da corrente elétrica  $i$  para uma lâmpada, um aluno montou o circuito a seguir. Colocando entre os pontos A e B resistores com diversos valores de resistência, ele obteve diferentes valores de  $U$  e de  $i$  para a lâmpada.



Considerando que a bateria de 9,0 V, os aparelhos de medida e os fios de ligação sejam ideais, quando o aluno obteve as medidas  $U = 5,70 \text{ V}$  e  $i = 0,15 \text{ A}$ , a resistência do resistor colocado entre os pontos A e B era de

- A) 100  $\Omega$ .
- B) 33  $\Omega$ .
- C) 56  $\Omega$ .
- D) 68  $\Omega$ .
- E) 22  $\Omega$ .

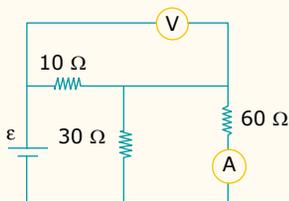
04. 3YRA



(Fatec-SP) Um gerador é ligado a um resistor de resistência 11  $\Omega$ , e verifica-se no circuito uma corrente elétrica de 1,0 A. Em outra experiência, o mesmo gerador é ligado a um resistor de resistência 5,0  $\Omega$ , e a corrente elétrica é de 2,0 A. Pode-se concluir que a força eletromotriz do gerador e sua resistência interna são, respectivamente:

- A) 12 V e 2,0  $\Omega$ .
- B) 12 V e 1,0  $\Omega$ .
- C) 10 V e 2,0  $\Omega$ .
- D) 10 V e 1,0  $\Omega$ .
- E) 6,0 V e 3,0  $\Omega$ .

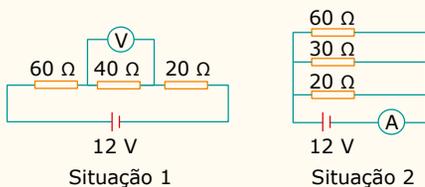
**05.** (Unifor-CE) No circuito elétrico alimentado pela fonte E, tem-se três resistores com os valores de resistência indicados e dois instrumentos de medida considerados ideais.



Se a leitura do amperímetro é 0,50 A, o voltímetro marca, em volts,

A) 45.  
 B) 35.  
 C) 25.  
 D) 20.  
 E) 15.

**06.** (CN-RJ) Considere que um determinado estudante, utilizando resistores disponíveis no laboratório de sua escola, montou os circuitos apresentados a seguir:



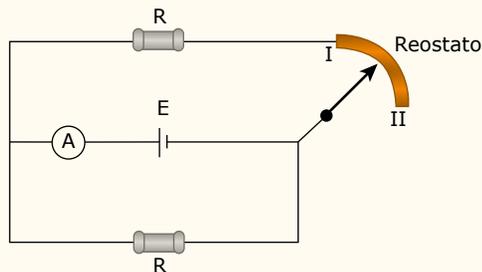
Querendo fazer algumas medidas elétricas, usou um voltímetro (V) para medir a tensão e um amperímetro (A) para medir a intensidade da corrente elétrica. Considerando todos os elementos envolvidos como sendo ideais, os valores medidos pelo voltímetro (situação 1) e pelo amperímetro (situação 2) foram, respectivamente:

A) 2 V e 1,2 A.                      D) 4 V e 2,4 A.  
 B) 4 V e 1,2 A.                      E) 6 V e 1,2 A.  
 C) 2 V e 2,4 A.

**07.** (PUC-Campinas-SP) O mostrador digital de um amperímetro fornece indicação de 0,40 A em um circuito elétrico simples contendo uma fonte de força eletromotriz ideal e um resistor ôhmico de resistência elétrica 10 Ω. Se for colocado no circuito um outro resistor, de mesmas características, em série com o primeiro, a nova potência elétrica dissipada no circuito será, em watts,

A) 0,64.  
 B) 0,32.  
 C) 0,50.  
 D) 0,20.  
 E) 0,80.

**08.** (UFTM-MG) O circuito da figura é constituído por dois resistores de resistências constantes e iguais a R, um reostato, cuja resistência pode variar de zero (com o cursor no ponto I) a R (com o cursor no ponto II), um gerador ideal de força eletromotriz constante E, um amperímetro também ideal e fios de ligação com resistência desprezível.



Quando o cursor do reostato é conectado no ponto I, o amperímetro indica uma corrente elétrica de intensidade 1,00 A. É correto afirmar que, se o cursor for conectado no ponto II, o amperímetro indicará, em amperes, uma corrente de intensidade

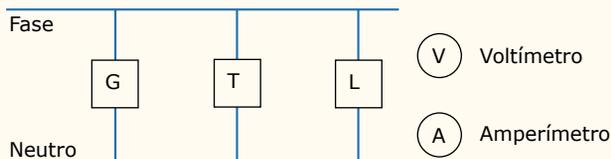
- A) 0,50.  
 B) 1,25.  
 C) 1,00.  
 D) 1,50.  
 E) 0,75.

**09.** (EFOMM-RJ-2019) No laboratório de Física da EFOMM existe um galvanômetro de resistência interna 0,80 Ω, que pode medir, sem se danificar, correntes de intensidade de até 20 mA. Tenente Rocha, professor de Física da EFOMM, resolveu associar ao galvanômetro um resistor denominado *shunt*, para que ele se torne um miliamperímetro de fundo de escala 200 mA. Qual deverá ser o valor do *shunt* associado e o valor da resistência do miliamperímetro, respectivamente?

- A)  $\frac{0,2}{2,25} \Omega$  e 0,08 Ω  
 B)  $\frac{0,8}{10} \Omega$  e 0,04 Ω  
 C)  $\frac{0,3}{5} \Omega$  e 0,4 Ω  
 D) 5 Ω e 0,01 Ω  
 E)  $\frac{8}{2} \Omega$  e 0,6 Ω

## SEÇÃO ENEM

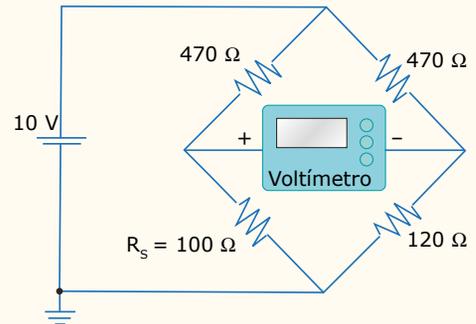
- 01.** (Enem) Um electricista analisa o diagrama de uma instalação elétrica residencial para planejar medições de tensão e corrente em uma cozinha. Nesse ambiente existem uma geladeira (G), uma tomada (T) e uma lâmpada (L), conforme a figura. O electricista deseja medir a tensão elétrica aplicada à geladeira, a corrente total e a corrente na lâmpada. Para isso, ele dispõe de um voltímetro (V) e dois amperímetros (A).



Para realizar essas medidas, o esquema da ligação desses instrumentos está representado em:

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

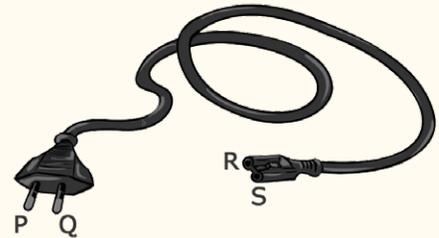
- 02.** (Enem) Medir temperatura é fundamental em muitas aplicações, e apresentar a leitura em mostradores digitais é bastante prático. O seu funcionamento é baseado na correspondência entre valores de temperatura e de diferença de potencial elétrico. Por exemplo, podemos usar o circuito elétrico apresentado, no qual o elemento sensor de temperatura ocupa um dos braços do circuito ( $R_s$ ) e a dependência da resistência com a temperatura é conhecida.



Para um valor de temperatura em que  $R_s = 100 \Omega$ , a leitura apresentada pelo voltímetro será de

- A) +6,2 V.      C) +0,3 V.      E) -6,2 V.  
B) +1,7 V.      D) -0,3 V.

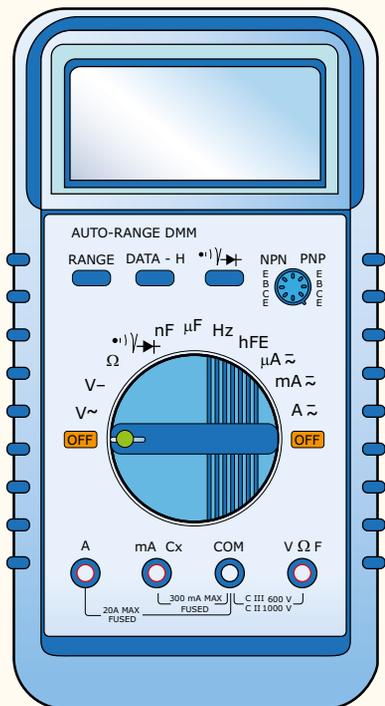
- 03.** João não consegue ligar o seu aparelho de som usando o cabo bipolar mostrado na figura. Suspeitando de que o problema se devesse ao fato de o fio PS ou de o fio QR estar rompido, ou que houvesse um contato interno entre esses fios, João resolve testar o cabo usando um ohmímetro. Ligando esse aparelho entre os pontos



- A) P e Q e medindo uma pequena resistência elétrica, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um contato interno entre os fios PS e QR.
- B) R e S e registrando uma resistência elétrica infinita, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um rompimento do fio PS ou do fio QR.
- C) P e R e registrando uma resistência infinita, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um contato interno entre os fios PS ou QR.
- D) P e S e medindo uma pequena resistência elétrica, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um rompimento do fio PS.
- E) Q e R e registrando uma resistência elétrica infinita, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um contato interno entre os fios PS ou QR.

**04.** Os dispositivos que medem diretamente a corrente, a tensão e a resistência elétrica são denominados amperímetro, voltímetro e ohmímetro, respectivamente. É bastante comum a inclusão de todos esses medidores em um único aparelho, o multímetro, no qual a seleção da medição elétrica é feita através de uma chave. Muitos multímetros são aptos a medir corrente e tensão contínuas ou alternadas.

A figura a seguir mostra um multímetro digital. O símbolo “~” indica que o sinal de entrada (tensão ou corrente) medido é alternado, e o símbolo “-”, que o sinal é contínuo. Quando os dois símbolos aparecem juntos, significa que o sinal pode ser alternado ou contínuo.



Para medir a tensão em uma tomada de energia elétrica de sua casa, um estudante deve interligar um dos terminais da tomada ao borne “COM” desse multímetro. O outro terminal da tomada deve ser conectado ao borne

- A) “A”, e a chave central deve ser girada para a posição “A ~”.
- B) “A”, e a chave central deve ser girada para a posição “mA ~”.
- C) “V Ω F”, e a chave central deve ser girada para a posição “V ~”.
- D) “V Ω F”, e a chave central deve ser girada para a posição “V -”.
- E) “V Ω F”, e a chave central deve ser girada para a posição “Ω”.

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



## GABARITO

Meu aproveitamento

### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. E
- 02. D
- 03. A
- 04. B
- 05. A
- 06. A
- 07. Soma = 13
- 08. E

### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. A
- 02. C
- 03. E
- 04. B
- 05. E
- 06. B
- 07. E
- 08. E
- 09. A

### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. E
- 02. D
- 03. A
- 04. C



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %

## Instrumentos de Medidas Elétricas

Até aqui, estudamos a tensão, a corrente e a resistência elétrica. Aprendemos alguns princípios e relações entre essas grandezas e os usamos para resolver muitos problemas de circuitos elétricos. Agora, vamos tratar especificamente da medição dessas três grandezas elétricas. As medições de corrente, tensão e resistência elétrica são realizadas por meio de instrumentos de medidas elétrica denominados amperímetro, voltímetro e ohmímetro, respectivamente.

Iniciaremos este módulo discutindo os procedimentos básicos para realizar medições de corrente e tensão elétricas por meio de amperímetros e voltímetros. Depois, veremos os procedimentos para medir a resistência por meio de ohmímetros. Veremos, ainda, que a determinação da resistência pode ser feita indiretamente por meio de medições simultâneas de corrente e de tensão, utilizando amperímetros e voltímetros, respectivamente. Na parte final do módulo, analisaremos um importante circuito usado em medições elétricas de precisão, a ponte de Wheatstone.

### MEDIÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA



Para medir a corrente que passa por um elemento de um circuito elétrico (um resistor, por exemplo), basta inserir um amperímetro em série com esse elemento de forma que ambos sejam percorridos pela mesma corrente elétrica. Como o amperímetro possui certa resistência elétrica, a resistência equivalente do circuito aumenta um pouco, e a corrente torna-se um pouco menor quando esse instrumento é inserido no circuito. Em um caso ideal, a resistência do amperímetro deveria ser ínfima, de modo a provocar uma redução insignificante no valor da corrente a ser medida. Todavia, desde que a resistência do amperímetro seja pequena comparada à resistência do elemento, a leitura de corrente indicada pelo instrumento será muito próxima do valor real. A seguir, apresentamos um exemplo para ilustrar isso.

Considere a figura 1, que mostra um circuito elétrico constituído por uma fonte de tensão  $V_{AB} = 12,0 \text{ V}$ , uma lâmpada de resistência elétrica  $R_L = 10,0 \Omega$  e um amperímetro. Observe que o amperímetro está ligado em série com a lâmpada. Sem a presença do amperímetro no circuito, a corrente através da lâmpada seria  $I = 1,20 \text{ A}$  (valor dado por  $I = V_{AB}/R_L$ ). No caso ideal, o amperímetro não possui resistência interna. Assim, a sua presença não afetaria a resistência equivalente do circuito, de forma que a sua leitura seria exatamente igual a  $1,20 \text{ A}$ . No caso real, contudo, o amperímetro apresenta uma pequena resistência interna. Se esse valor for  $R_A = 0,10 \Omega$ , a resistência equivalente do circuito será igual a  $10,1 \Omega$ , e a corrente será reduzida a  $1,19 \text{ A}$ . Esse é o valor que o amperímetro registrará. Como a resistência do amperímetro é muito menor que a resistência da lâmpada ( $0,10 \Omega$  é 100 vezes menor que  $10,0 \Omega$ ), a corrente registrada no aparelho é praticamente igual ao valor da corrente no circuito original (sem a presença do amperímetro). Nesse caso, o erro é menor que 1%.

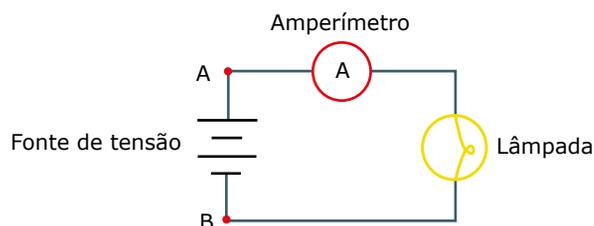


Figura 1. Montagem para medição da corrente elétrica.

### MEDIÇÃO DA TENSÃO ELÉTRICA



Considere um circuito com dois resistores, ambos de resistência  $R$ , ligados em série e alimentados por uma fonte de tensão  $V_{AB} = 12 \text{ V}$ . Obviamente, como as resistências são iguais, as tensões nos resistores também são iguais, cada uma valendo  $6 \text{ V}$ . Podemos medir a tensão elétrica em um desses resistores, inserindo um voltímetro em paralelo com ele, como mostra a figura 2, de forma que a tensão no voltímetro seja igual à tensão nesse resistor. Porém, como o voltímetro é ligado em paralelo, a sua presença reduz a resistência entre os pontos C e B, provocando um aumento da corrente no circuito.

O resultado é que a tensão  $V_{AC}$  no outro resistor torna-se um pouco maior que 6 V, enquanto a tensão  $V_{CB}$  fica um pouco inferior a 6 V. Para que o efeito da medição de tensão sobre um circuito seja minimizado, o voltímetro deve possuir uma resistência muito grande, bem maior que a resistência do resistor ao qual ele é ligado em paralelo, de modo que a resistência equivalente, praticamente, não seja alterada com a presença do instrumento.

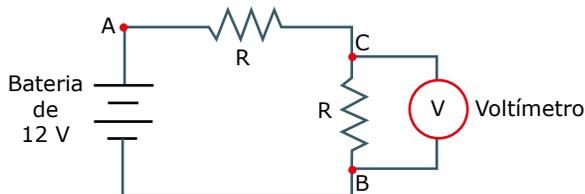


Figura 2. Montagem para medição da tensão elétrica.

Agora, vamos considerar os seguintes valores para ilustrar a discussão do parágrafo anterior: a resistência de cada resistor é  $R = 100 \Omega$ , e a resistência interna do voltímetro é  $R_V = 900 \Omega$ . Sem a presença do voltímetro, a resistência equivalente do circuito vale  $200 \Omega$ , e a corrente elétrica no circuito é igual a  $0,060 \text{ A}$  (valor dado por  $I = 12/200$ ). Com a introdução do voltímetro no circuito, a resistência do trecho CB diminui para o seguinte valor:

$$R_{CB} = \frac{R \cdot R_V}{R + R_V} = \frac{100 \cdot 900}{100 + 900} = 90 \Omega$$

Assim, a resistência equivalente do circuito diminui para  $R_E = 190 \Omega$ , e a corrente no circuito torna-se maior e igual a:

$$I = \frac{V_{AB}}{R_E} = \frac{12}{190} = 0,063 \text{ A}$$

Finalmente, multiplicando essa corrente pelas resistências dos trechos AC e CB, obtemos as tensões elétricas correspondentes:

$$V_{CB} = 90 \cdot 0,063 = 5,7 \text{ V} \quad \text{e} \quad V_{AC} = 100 \cdot 0,063 = 6,3 \text{ V}$$

Observe que a introdução do voltímetro no circuito alterou a distribuição de tensões nos resistores (antes, a tensão em cada resistor era 6 V). Como o voltímetro registra um valor igual a 5,7 V, existe um erro de 5% nessa medição. Para reduzir o erro, um voltímetro de melhor qualidade (de maior resistência interna) deve ser usado.



**PARA REFLETIR**

Por que os amperímetros, em geral, possuem um fusível interno para proteger o circuito interno, mas os voltímetros não?

## MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA



Podemos medir a resistência elétrica de um resistor ligando-o diretamente aos terminais de um ohmímetro. A figura 3 ilustra a medição da resistência elétrica de um resistor de resistência nominal igual a  $2,0 \text{ k}\Omega$ , por meio dessa técnica. Observe que, para realizar a medição, o resistor deve estar isolado, isto é, desconectado do seu circuito elétrico de origem.

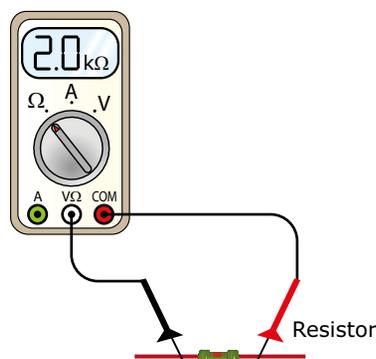
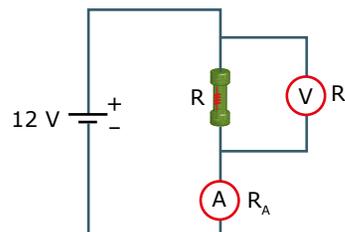


Figura 3. Medição da resistência elétrica.

A resistência de um resistor pode ser obtida indiretamente, ligando-o a uma bateria e medindo-se a tensão  $V$  e a corrente  $I$  no resistor. A razão  $R = V/I$  nos fornece o valor dessa resistência. Nesse caso, um amperímetro e um voltímetro são necessários para registrar os valores da tensão e da corrente. O Exercício Resolvido 01 apresenta uma discussão interessante sobre essa metodologia de medição da resistência elétrica.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

**01.** Considere que o resistor da figura 3 seja ligado conforme o circuito mostrado esquematicamente na figura a seguir. A resistência do voltímetro é  $R_V = 40 \text{ k}\Omega$ , e a do amperímetro é  $R_A = 2 \Omega$ . Em relação à medição direta mostrada na figura 3, calcule o erro cometido se a resistência  $R$  do resistor for calculada pelo quociente entre a leitura do voltímetro e a do amperímetro.



**Resolução:**

Nesse circuito, o voltímetro mede a tensão no resistor. Porém, o amperímetro não mede a corrente no resistor, mas a soma da corrente que passa pelo resistor com a corrente que passa pelo voltímetro. Podemos calcular a corrente e a tensão no resistor a partir dos valores numéricos fornecidos pelo enunciado da questão. Para isso, primeiramente devemos calcular a resistência equivalente do circuito. A resistência equivalente do resistor e do voltímetro é:

$$R'_E = \frac{R \cdot R_V}{R + R_V} = \frac{2 \cdot 40}{2 + 40} = 1,905 \text{ k}\Omega = 1\,905 \Omega$$

E a resistência equivalente do circuito é:

$$R_E = R_A + R'_E = 2 + 1\,905 = 1\,907 \Omega$$

Então, a corrente total (registrada no amperímetro) é:

$$I = \frac{V_{\text{bat}}}{R_E} = \frac{12}{1\,907} = 0,00629 \text{ A}$$

Com o valor dessa corrente, podemos calcular a tensão eléctrica entre os terminais do amperímetro:

$$V_A = R_A \cdot I = 2 \cdot 0,00629 = 0,0126 \text{ V}$$

Portanto, a tensão entre os terminais do resistor e do voltímetro (registrada por esse instrumento) é:

$$V' = V_{\text{bat}} - V_A = 12 - 0,0126 = 11,987 \text{ V}$$

Assim, nesse circuito, o voltímetro marca uma tensão de 11,987 V, e o amperímetro marca uma corrente de 0,00629 A. Como o quociente entre esses valores representa a resistência do resistor, temos:

$$R = \frac{V'}{I} = \frac{11,987}{0,00629} = 1\,906 \Omega = 1,906 \text{ k}\Omega$$

Esse valor difere em, aproximadamente, 5% do valor  $R = 2 \text{ k}\Omega$ , o que é um erro significativo.

**Comentário:**

O erro obtido era esperado, pois a resistência do voltímetro é apenas 20 vezes maior que a do resistor. Por isso, o voltímetro em paralelo com o resistor altera significativamente o valor da corrente no circuito.

## A PONTE DE WHEATSTONE

Ponte de Wheatstone é um circuito eléctrico constituído por uma rede de quatro resistores, três de valores fixos ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) e um quarto variável  $R_V$ , ligados entre si, como mostra a figura 4. O circuito é alimentado por uma fonte de tensão  $V_{AB}$  e um galvanómetro detecta a corrente entre os pontos M e N. A resistência  $R_V$  pode ser ajustada de modo que os potenciais eléctricos dos pontos M e N sejam exactamente iguais.

Quando esse equilíbrio é atingido, o galvanómetro não indica passagem de corrente ( $I_G = 0$ ). Um amperímetro pode ser usado para achar o equilíbrio da ponte, mas a sua sensibilidade é menor que a do galvanómetro. O uso do galvanómetro, todavia, deve ser feito com a ponte próxima ao equilíbrio, pois uma corrente acima do fundo de escala (que é muito baixo) pode danificar o aparelho.

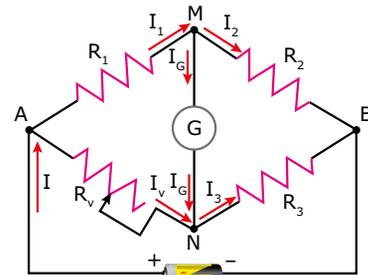


Figura 4. Ponte de Wheatstone.

Observe que, nessa figura, a ponte não está equilibrada. O potencial do ponto M é maior que o potencial do ponto N ( $V_M > V_N$ ), pois a corrente  $I_G$  é voltada para baixo. Para a ponte equilibrada,  $I_G$  vale zero. Consequentemente, as correntes  $I_1$  e  $I_2$  são iguais, o mesmo ocorrendo com as correntes  $I_V$  e  $I_3$ . Além disso, outra igualdade importante para a ponte equilibrada é a seguinte:

$$R_1 \cdot R_3 = R_V \cdot R_2$$

É fácil demonstrar essa igualdade. Primeiramente, vamos determinar uma relação entre as d.d.p.s. e as resistências nas partes superior e inferior do circuito. Para isso, podemos usar as igualdades entre as correntes mencionadas anteriormente. Assim:

$$\text{Parte de cima: } I_1 = I_2 \Rightarrow \frac{V_{AM}}{R_1} = \frac{V_{MB}}{R_2} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{V_{AM}}{V_{MB}}$$

$$\text{Parte de baixo: } I_V = I_3 \Rightarrow \frac{V_{AN}}{R_V} = \frac{V_{NB}}{R_3} \Rightarrow \frac{R_V}{R_3} = \frac{V_{AN}}{V_{NB}}$$

Como os potenciais  $V_M$  e  $V_N$  são iguais, concluímos que  $V_{AM} = V_{AN}$  e  $V_{MB} = V_{NB}$ . Portanto, as frações envolvendo as d.d.p.s. nas duas relações anteriores são iguais. Logo, as frações envolvendo as resistências podem ser igualadas, de modo que:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_V}{R_3} \text{ ou } R_1 \cdot R_3 = R_V \cdot R_2$$

Para facilitar a memorização dessa equação (necessária em alguns vestibulares), observe que as resistências  $R_1$  e  $R_3$  se acham em posições opostas: a primeira situa-se na parte superior esquerda do circuito, já a outra está na região inferior direita.

O mesmo ocorre com as resistências  $R_v$  e  $R_2$ . Assim, os estudantes memorizam essa equação com a ajuda da seguinte frase: "Em uma ponte de Wheatstone equilibrada, os produtos das resistências opostas são iguais".

Agora, vamos estudar algumas aplicações da ponte de Wheatstone. Uma das utilidades desse circuito é a determinação de uma das resistências a partir dos valores das outras três. Na figura 4, considere  $R_1 = 10,01 \Omega$ ,  $R_2 = 19,99 \Omega$  e que a resistência  $R_3$  seja desconhecida. Imagine que a resistência  $R_v$  tenha sido ajustada para  $33,52 \Omega$ , de modo que a ponte tenha ficado equilibrada. Assim, usando a equação anterior, podemos calcular o valor  $R_3$ :

$$R_3 = \frac{R_v R_2}{R_1} = \frac{33,52 \cdot 19,99}{10,01} = 66,94 \Omega$$

Em geral, nesse método, as resistências são conhecidas com bastante precisão. Assim, usando um galvanômetro sensível, a resistência desconhecida é calculada também com boa precisão.

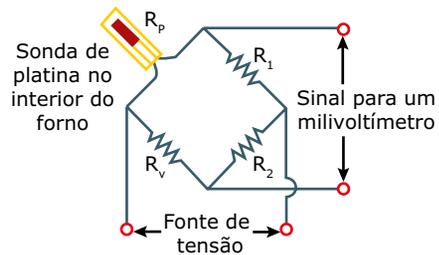
Outra aplicação da ponte de Wheatstone refere-se à medição de grandezas físicas relacionadas com a resistência elétrica. Por exemplo, a resistência de uma barra metálica depende da geometria e da resistividade elétrica da barra. Essa última propriedade, por sua vez, é função da temperatura. Assim, usando um procedimento bastante semelhante ao descrito no parágrafo anterior, podemos obter o valor da temperatura em um ambiente por meio do cálculo da resistência de uma barra metálica presente nesse local. Nesse caso, a barra faz o papel da resistência desconhecida da ponte de Wheatstone. A determinação dessa resistência conduz ao valor da temperatura da barra e do local onde ela se acha. A seguir, apresentamos o Exercício Resolvido 02, que descreve esse método de medição de temperatura.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

**02.** A figura a seguir mostra uma ponte de Wheatstone usada para a medição da temperatura de um forno. A resistência  $R_p$  é uma sonda de platina, cuja relação com a temperatura  $T$  é:

$$T = 500 + 10R_p \text{ (Unidades: K, } \Omega \text{)}$$

A resistência  $R_v$  pode ser ajustada de  $10,0$  até  $20,0 \Omega$ . A razão entre as outras duas resistências é  $R_1/R_2 = 2,00$ .



- A) Determine a temperatura do forno se a regulagem de sinal zero para o milivoltímetro corresponde a  $R_v = 15,0 \Omega$ .
- B) Determine a maior e a menor temperatura do forno que podem ser registradas por esse sistema.

### Resolução:

Observe que não há um galvanômetro ou um amperímetro para medir a corrente entre as extremidades superior e inferior do circuito. Nesse sistema, optou-se por medir a diferença de potencial entre essas extremidades por meio de um milivoltímetro. Ajustando a resistência  $R_v$  para um valor adequado, obtém-se o registro zero dessa diferença de potencial, indicando o equilíbrio da ponte.

- A) Vamos chamar de  $T_{15}$  a temperatura do forno para o ajuste de  $R_v = 15,0 \Omega$ . Como a ponte está equilibrada, podemos calcular  $R_p$  pela relação a seguir:

$$R_p = R_v \frac{R_1}{R_2} = 15,0 \cdot 2,00 = 30,0 \Omega$$

Substituindo esse valor na equação de temperatura fornecida pelo enunciado, obtemos a temperatura do forno:

$$T = 500 + 10R_p = 500 + 10 \cdot 30,0 = 800 \text{ K} = 527 \text{ }^\circ\text{C}$$

- B) A faixa de temperaturas do sistema de medição é limitada pelos valores mínimo e máximo de  $R_v$ ,  $10,0 \Omega$  e  $20,0 \Omega$ . Substituindo esses valores na equação da ponte equilibrada, obtemos os valores correspondentes de  $R_p$ :

$$R_{p_{\min}} = 10,0 \cdot 2,00 = 20,0 \Omega \text{ e } R_{p_{\max}} = 20,0 \cdot 2,00 = 40 \Omega$$

Substituindo essas resistências na equação de temperatura, obtemos a faixa de temperaturas que o sistema pode medir:

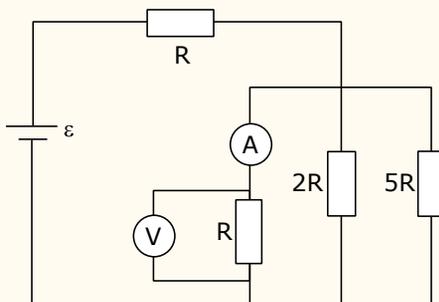
$$T_{\min} = 500 + 10R_p = 500 + 10 \cdot 20,0 = 700 \text{ K} = 427 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\max} = 500 + 10R_p = 500 + 10 \cdot 40,0 = 900 \text{ K} = 627 \text{ }^\circ\text{C}$$

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



- 01.** (CEFET-MG) No diagrama do circuito a seguir, o amperímetro A mede uma corrente elétrica de 10,0 mA, o voltímetro V mede uma tensão de 60,0 V e R, 2R e 5R são resistores desconhecidos.



A tensão da bateria  $\epsilon$ , medida em V, é igual a

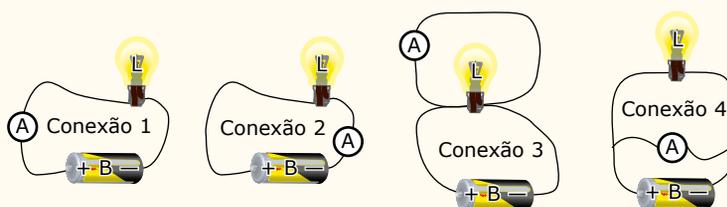
- A) 158.                      B) 159.                      C) 160.                      D) 161.                      E) 162.

- 02.** (UEL-PR) Sobre o funcionamento de voltímetros e o funcionamento de amperímetros, assinale a alternativa correta.



- A) A resistência elétrica interna de um voltímetro deve ser muito pequena para que, quando ligado em paralelo às resistências elétricas de um circuito, não altere a tensão elétrica que se deseja medir.
- B) A resistência elétrica interna de um voltímetro deve ser muito alta para que, quando ligado em série às resistências elétricas de um circuito, não altere a tensão elétrica que se deseja medir.
- C) A resistência elétrica interna de um amperímetro deve ser muito pequena para que, quando ligado em paralelo às resistências elétricas de um circuito, não altere a intensidade de corrente elétrica que se deseja medir.
- D) A resistência elétrica interna de um amperímetro deve ser muito pequena para que, quando ligado em série às resistências elétricas de um circuito, não altere a intensidade de corrente elétrica que se deseja medir.
- E) A resistência elétrica interna de um amperímetro deve ser muito alta para que, quando ligado em série às resistências elétricas de um circuito, não altere a intensidade de corrente elétrica que se deseja medir.

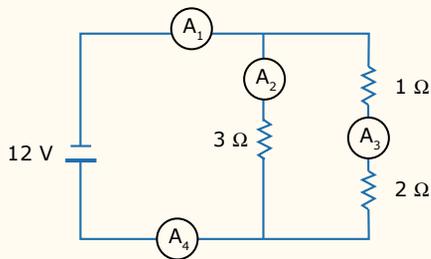
- 03.** (UEG-GO) Um circuito simples é composto apenas por uma bateria (B) e uma lâmpada (L). Com esse circuito elétrico, um estudante montou quatro conexões diferentes, com um mesmo medidor de intensidade de corrente elétrica, conhecido como amperímetro (A).



Após as montagens, conforme a figura anterior, o estudante apresentou versões das conexões realizadas. Em qual dessas versões o amperímetro irá fornecer a leitura real da intensidade de corrente no circuito?

- A) A conexão 1 apresenta uma maneira correta de se ler a corrente elétrica em um circuito; nesse caso, optou-se por colocar o amperímetro do lado esquerdo da bateria.
- B) A conexão 2 fornece uma leitura menor que a da conexão 1, já que parte da corrente elétrica dissipou-se ao percorrer todo o circuito.
- C) A conexão 3 é melhor que as conexões 1 e 2, pois esse procedimento fez com que somente a leitura da corrente elétrica percorrida na lâmpada fosse mensurada.
- D) A conexão 4 é quase idêntica à conexão 3 e, portanto, fornecerá a real leitura da corrente elétrica percorrida na lâmpada e também na pilha.

**04.** (UFRGS-RS) No circuito elétrico a seguir, os amperímetros  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  e  $A_4$ , a fonte de tensão e os resistores são todos ideais.

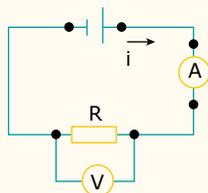


Nessas condições, pode-se afirmar que

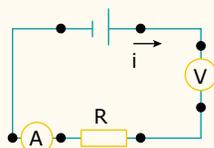
- A)  $A_1$  e  $A_2$  registram correntes de mesma intensidade.
- B)  $A_1$  e  $A_4$  registram correntes de mesma intensidade.
- C) a corrente em  $A_1$  é mais intensa do que a corrente em  $A_4$ .
- D) a corrente em  $A_2$  é mais intensa do que a corrente em  $A_3$ .
- E) a corrente em  $A_3$  é mais intensa do que a corrente em  $A_4$ .

**05.** (UPF-RS) Em uma aula no laboratório de Física, o professor solicita aos alunos que meçam o valor da resistência elétrica de um resistor utilizando um voltímetro ideal e um amperímetro ideal. Dos esquemas a seguir, que representam arranjos experimentais, qual o mais indicado para a realização dessa medição?

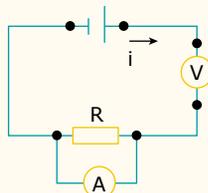
A) Esquema A



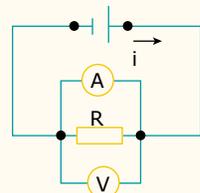
D) Esquema D



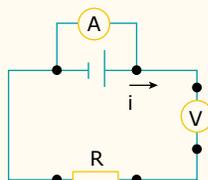
B) Esquema B



E) Esquema E

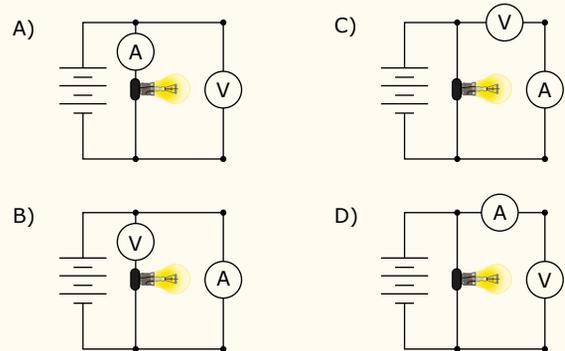


C) Esquema C

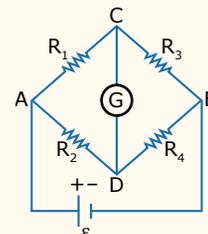


**06.** (ACAFE-SC) Em uma atividade experimental um estudante dispõe de um voltímetro  $V$  e um amperímetro  $A$ . Uma lâmpada de potência desconhecida é ligada a uma fonte de tensão, estabelecendo um circuito acrescido de tais medidores.

A alternativa correta que mostra a conexão de circuito que permite achar o valor da potência dessa lâmpada é:



**07.** (PAS-UEM) A ponte de Wheatstone é um instrumento que permite a comparação e a medida de resistências elétricas. A figura a seguir é uma das formas usuais de se representar esse sistema.  $G$  simboliza o galvanômetro,  $R$ , as resistências,  $\varepsilon$ , a fonte de corrente contínua.

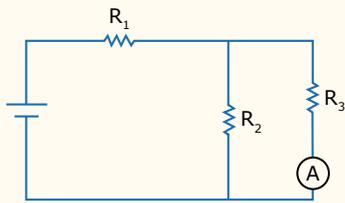


Considerando as informações do texto e da figura, assinale o que for correto.

- 01. A ponte de Wheatstone está em equilíbrio quando nenhuma corrente passa pelo galvanômetro.
- 02. Na condição de equilíbrio, os resistores  $R_1$  e  $R_2$  estão associados em série.
- 04. Se a corrente for igual a zero ( $i = 0$ ) no galvanômetro, a diferença de potencial entre os pontos  $C$  e  $D$  será zero ( $V_C - V_D = 0$ ).
- 08. Se a resistência  $R_1$  for desconhecida, seu valor poderá ser obtido pela relação  $R_1 = R_3(R_2/R_4)$ .
- 16. A ponte de Wheatstone está em equilíbrio quando os valores dos resistores satisfazem à igualdade  $R_1R_2 = R_3R_4$ .

Soma ( )

08. (PUC Rio)



No circuito apresentado na figura, em que o amperímetro A mede uma corrente  $I = 1,0 \text{ A}$ ,  $R_1 = 4,0 \, \Omega$ ,  $R_2 = 0,5 \, \Omega$  e  $R_3 = 1,0 \, \Omega$ , a diferença de potencial aplicada pela bateria em Volts é

- A) 9.
- B) 10.
- C) 11.
- D) 12.
- E) 13.

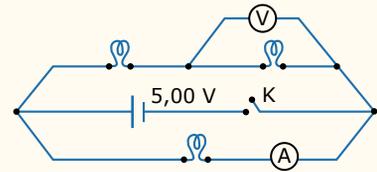
## EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (UFTM-MG) Assinale a alternativa que explica corretamente o funcionamento dos elementos componentes de um circuito elétrico.

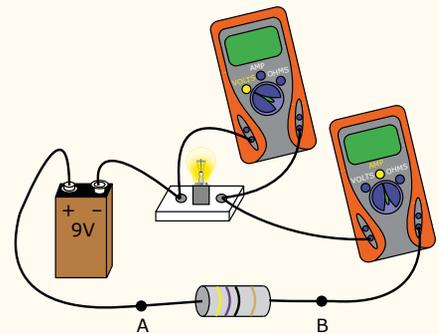
- A) A resistência interna do amperímetro deve ser muito pequena, de forma a não interferir no valor da corrente a ser medida.
- B) Os fusíveis são elementos de proteção, pois não deixam passar qualquer corrente que os atinja.
- C) Os resistores são elementos muito utilizados para economizar energia elétrica, pois produzem energia térmica.
- D) A capacidade de geração de energia por uma bateria termina quando sua resistência interna diminui, esgotando-a.
- E) Os receptores de um circuito elétrico convertem toda a energia elétrica recebida em energia térmica.

02. (Mackenzie-SP) No circuito elétrico esquematizado a seguir, o gerador elétrico possui resistência elétrica desprezível. Tanto o amperímetro quanto o voltímetro são considerados ideais. As lâmpadas ilustradas são idênticas e trazem as informações nominais (1 W – 10 V). Após fechar-se a chave K, o amperímetro e o voltímetro indicarão, respectivamente,



- A) 50 mA e 1,25 V.
- B) 25 mA e 1,25 V.
- C) 50 mA e 2,50 V.
- D) 25 mA e 2,50 V.
- E) 75 mA e 5,00 V.

03. (Unesp-2018) Para obter experimentalmente a curva da diferença de potencial  $U$  em função da intensidade da corrente elétrica  $i$  para uma lâmpada, um aluno montou o circuito a seguir. Colocando entre os pontos A e B resistores com diversos valores de resistência, ele obteve diferentes valores de  $U$  e de  $i$  para a lâmpada.



Considerando que a bateria de 9,0 V, os aparelhos de medida e os fios de ligação sejam ideais, quando o aluno obteve as medidas  $U = 5,70 \text{ V}$  e  $i = 0,15 \text{ A}$ , a resistência do resistor colocado entre os pontos A e B era de

- A) 100  $\Omega$ .
- B) 33  $\Omega$ .
- C) 56  $\Omega$ .
- D) 68  $\Omega$ .
- E) 22  $\Omega$ .

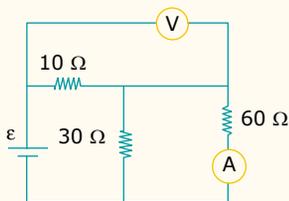
04. 3YRA



(Fatec-SP) Um gerador é ligado a um resistor de resistência 11  $\Omega$ , e verifica-se no circuito uma corrente elétrica de 1,0 A. Em outra experiência, o mesmo gerador é ligado a um resistor de resistência 5,0  $\Omega$ , e a corrente elétrica é de 2,0 A. Pode-se concluir que a força eletromotriz do gerador e sua resistência interna são, respectivamente:

- A) 12 V e 2,0  $\Omega$ .
- B) 12 V e 1,0  $\Omega$ .
- C) 10 V e 2,0  $\Omega$ .
- D) 10 V e 1,0  $\Omega$ .
- E) 6,0 V e 3,0  $\Omega$ .

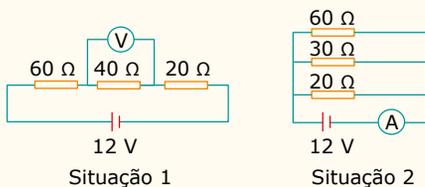
**05.** (Unifor-CE) No circuito elétrico alimentado pela fonte E, tem-se três resistores com os valores de resistência indicados e dois instrumentos de medida considerados ideais.



Se a leitura do amperímetro é 0,50 A, o voltímetro marca, em volts,

A) 45.  
 B) 35.  
 C) 25.  
 D) 20.  
 E) 15.

**06.** (CN-RJ) Considere que um determinado estudante, utilizando resistores disponíveis no laboratório de sua escola, montou os circuitos apresentados a seguir:



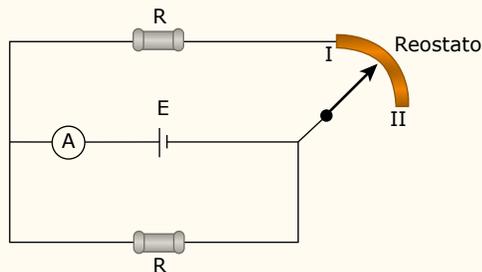
Querendo fazer algumas medidas elétricas, usou um voltímetro (V) para medir a tensão e um amperímetro (A) para medir a intensidade da corrente elétrica. Considerando todos os elementos envolvidos como sendo ideais, os valores medidos pelo voltímetro (situação 1) e pelo amperímetro (situação 2) foram, respectivamente:

A) 2 V e 1,2 A.                      D) 4 V e 2,4 A.  
 B) 4 V e 1,2 A.                      E) 6 V e 1,2 A.  
 C) 2 V e 2,4 A.

**07.** (PUC-Campinas-SP) O mostrador digital de um amperímetro fornece indicação de 0,40 A em um circuito elétrico simples contendo uma fonte de força eletromotriz ideal e um resistor ôhmico de resistência elétrica 10 Ω. Se for colocado no circuito um outro resistor, de mesmas características, em série com o primeiro, a nova potência elétrica dissipada no circuito será, em watts,

A) 0,64.  
 B) 0,32.  
 C) 0,50.  
 D) 0,20.  
 E) 0,80.

**08.** (UFTM-MG) O circuito da figura é constituído por dois resistores de resistências constantes e iguais a R, um reostato, cuja resistência pode variar de zero (com o cursor no ponto I) a R (com o cursor no ponto II), um gerador ideal de força eletromotriz constante E, um amperímetro também ideal e fios de ligação com resistência desprezível.



Quando o cursor do reostato é conectado no ponto I, o amperímetro indica uma corrente elétrica de intensidade 1,00 A. É correto afirmar que, se o cursor for conectado no ponto II, o amperímetro indicará, em amperes, uma corrente de intensidade

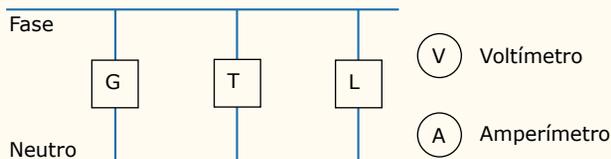
- A) 0,50.  
 B) 1,25.  
 C) 1,00.  
 D) 1,50.  
 E) 0,75.

**09.** (EFOMM-RJ-2019) No laboratório de Física da EFOMM existe um galvanômetro de resistência interna 0,80 Ω, que pode medir, sem se danificar, correntes de intensidade de até 20 mA. Tenente Rocha, professor de Física da EFOMM, resolveu associar ao galvanômetro um resistor denominado *shunt*, para que ele se torne um miliamperímetro de fundo de escala 200 mA. Qual deverá ser o valor do *shunt* associado e o valor da resistência do miliamperímetro, respectivamente?

- A)  $\frac{0,2}{2,25} \Omega$  e 0,08 Ω  
 B)  $\frac{0,8}{10} \Omega$  e 0,04 Ω  
 C)  $\frac{0,3}{5} \Omega$  e 0,4 Ω  
 D) 5 Ω e 0,01 Ω  
 E)  $\frac{8}{2} \Omega$  e 0,6 Ω

## SEÇÃO ENEM

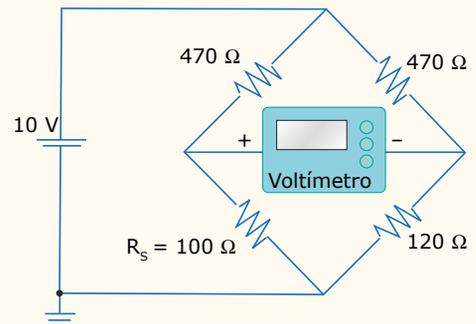
- 01.** (Enem) Um eletricitista analisa o diagrama de uma instalação elétrica residencial para planejar medições de tensão e corrente em uma cozinha. Nesse ambiente existem uma geladeira (G), uma tomada (T) e uma lâmpada (L), conforme a figura. O eletricitista deseja medir a tensão elétrica aplicada à geladeira, a corrente total e a corrente na lâmpada. Para isso, ele dispõe de um voltímetro (V) e dois amperímetros (A).



Para realizar essas medidas, o esquema da ligação desses instrumentos está representado em:

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

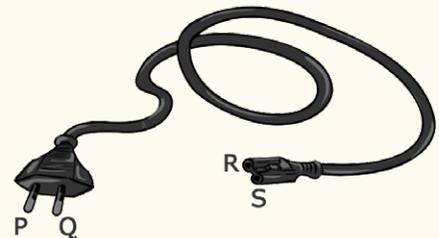
- 02.** (Enem) Medir temperatura é fundamental em muitas aplicações, e apresentar a leitura em mostradores digitais é bastante prático. O seu funcionamento é baseado na correspondência entre valores de temperatura e de diferença de potencial elétrico. Por exemplo, podemos usar o circuito elétrico apresentado, no qual o elemento sensor de temperatura ocupa um dos braços do circuito ( $R_s$ ) e a dependência da resistência com a temperatura é conhecida.



Para um valor de temperatura em que  $R_s = 100 \Omega$ , a leitura apresentada pelo voltímetro será de

- A) +6,2 V.      C) +0,3 V.      E) -6,2 V.  
B) +1,7 V.      D) -0,3 V.

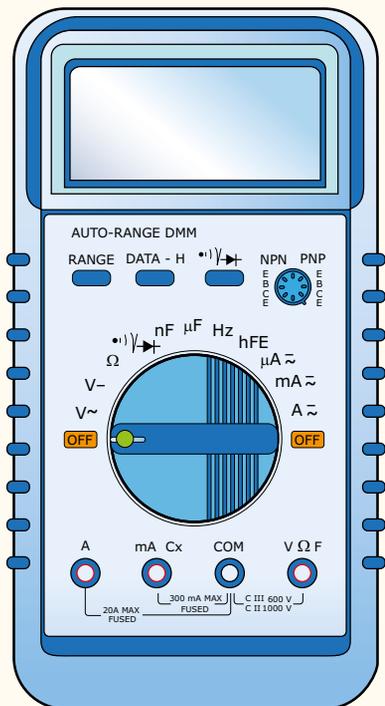
- 03.** João não consegue ligar o seu aparelho de som usando o cabo bipolar mostrado na figura. Suspeitando de que o problema se devesse ao fato de o fio PS ou de o fio QR estar rompido, ou que houvesse um contato interno entre esses fios, João resolve testar o cabo usando um ohmímetro. Ligando esse aparelho entre os pontos



- A) P e Q e medindo uma pequena resistência elétrica, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um contato interno entre os fios PS e QR.
- B) R e S e registrando uma resistência elétrica infinita, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um rompimento do fio PS ou do fio QR.
- C) P e R e registrando uma resistência infinita, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um contato interno entre os fios PS ou QR.
- D) P e S e medindo uma pequena resistência elétrica, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um rompimento do fio PS.
- E) Q e R e registrando uma resistência elétrica infinita, João pode concluir que o cabo está danificado, sendo o motivo disso um contato interno entre os fios PS ou QR.

04. Os dispositivos que medem diretamente a corrente, a tensão e a resistência elétrica são denominados amperímetro, voltímetro e ohmímetro, respectivamente. É bastante comum a inclusão de todos esses medidores em um único aparelho, o multímetro, no qual a seleção da medição elétrica é feita através de uma chave. Muitos multímetros são aptos a medir corrente e tensão contínuas ou alternadas.

A figura a seguir mostra um multímetro digital. O símbolo “~” indica que o sinal de entrada (tensão ou corrente) medido é alternado, e o símbolo “-”, que o sinal é contínuo. Quando os dois símbolos aparecem juntos, significa que o sinal pode ser alternado ou contínuo.



Para medir a tensão em uma tomada de energia elétrica de sua casa, um estudante deve interligar um dos terminais da tomada ao borne “COM” desse multímetro. O outro terminal da tomada deve ser conectado ao borne

- A) “A”, e a chave central deve ser girada para a posição “A ~”.
- B) “A”, e a chave central deve ser girada para a posição “mA ~”.
- C) “V Ω F”, e a chave central deve ser girada para a posição “V ~”.
- D) “V Ω F”, e a chave central deve ser girada para a posição “V -”.
- E) “V Ω F”, e a chave central deve ser girada para a posição “Ω”.

## SEÇÃO FUVEST / UNICAMP / UNESP



## GABARITO

Meu aproveitamento

### Aprendizagem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. E
- 02. D
- 03. A
- 04. B
- 05. A
- 06. A
- 07. Soma = 13
- 08. E

### Propostos

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. A
- 02. C
- 03. E
- 04. B
- 05. E
- 06. B
- 07. E
- 08. E
- 09. A

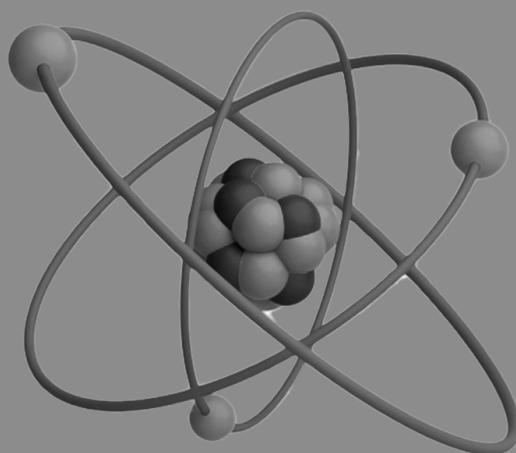
### Seção Enem

Acertei \_\_\_\_\_ Errei \_\_\_\_\_

- 01. E
- 02. D
- 03. A
- 04. C



Total dos meus acertos: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ %



# FÍSICA

# SUMÁRIO

## FRENTE A

- 3 Módulo 07: Forças de Atrito
- 6 Módulo 08: Aplicações das Leis de Newton
- 9 Módulo 09: Dinâmica do Movimento Circular

## FRENTE B

- 13 Módulo 07: 2ª Lei da Termodinâmica
- 15 Módulo 08: Fundamentos da Óptica Geométrica
- 18 Módulo 09: Reflexão da Luz e Espelhos Planos

## FRENTE C

- 21 Módulo 07: Associação de Resistores
- 23 Módulo 08: Resistores no Dia a Dia
- 27 Módulo 09: Instrumentos de Medidas Elétricas

## Caderno Extra

### MÓDULO 07

#### FORÇAS DE ATRITO

- 01.** (UFC-CE) O bloco mostrado na figura está em repouso sob a ação da força horizontal  $\vec{F}_1$ , de módulo igual a 10 N, e da força de atrito entre o bloco e a superfície. Se uma outra força horizontal  $\vec{F}_2$ , de módulo igual a 2 N e sentido contrário, for aplicada ao bloco, a força resultante sobre o mesmo será



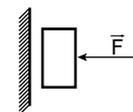
- A) nula.  
 B) 2 N.  
 C) 8 N.  
 D) 10 N.  
 E) 12 N.
- 02.** (UFMG) Um homem empurra um caixote para a direita, com velocidade constante, sobre uma superfície horizontal. Desprezando-se a resistência do ar, o diagrama que melhor representa as forças que atuam no caixote é



- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

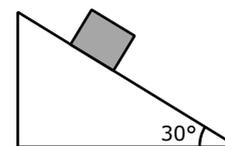
- 03.** (PUC Rio) Um paraquedista salta de um avião e cai em queda livre até sua velocidade de queda se tornar constante. Podemos afirmar que a força total atuando sobre o paraquedista após sua velocidade se tornar constante é
- A) vertical e para baixo.  
 B) vertical e para cima.  
 C) nula.  
 D) horizontal e para a direita.  
 E) horizontal e para a esquerda.

- 04.** (UESPI) O coeficiente de atrito estático entre o bloco e a parede vertical, mostrados na figura a seguir, é 0,25. O bloco pesa 100 N. O menor valor da força  $\vec{F}$  para que o bloco permaneça em repouso é



- A) 200 N.                      C) 350 N.                      E) 550 N.  
 B) 300 N.                      D) 400 N.

- 05.** (PUC Minas) O bloco da figura a seguir tem massa  $m = 1,0$  kg e encontra-se em repouso sobre o plano inclinado, na iminência de deslizar. Nessas condições, o coeficiente de atrito entre o bloco e a superfície do plano vale



- A)  $\sqrt{3}$ .  
 B)  $\frac{\sqrt{3}}{2}$ .  
 C)  $\frac{\sqrt{3}}{3}$ .  
 D)  $\frac{\sqrt{3}}{4}$ .  
 E)  $\frac{\sqrt{3}}{5}$ .

- 06.** (Unicamp-SP) O sistema de freios ABS (do alemão *Antiblockier-Bremssystem*) impede o travamento das rodas do veículo, de forma que elas não deslizem no chão, o que leva a um menor desgaste do pneu. Não havendo deslizamento, a distância percorrida pelo veículo até a parada completa é reduzida, pois a força de atrito aplicada pelo chão nas rodas é estática, e seu valor máximo é sempre maior que a força de atrito cinético. O coeficiente de atrito estático entre os pneus e a pista é  $\mu_e = 0,80$ , e o cinético vale  $\mu_c = 0,60$ . Sendo  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e a massa do carro  $m = 1\,200 \text{ kg}$ , o módulo da força de atrito estática máxima e o da força de atrito cinético são, respectivamente, iguais a
- A) 1 200 N e 12 000 N.      C) 9 600 N e 7 200 N.  
 B) 12 000 N e 120 N.      D) 20 000 N e 15 000 N.

- 07.** (UFES) Um caminhão segue uma trajetória retilínea plana com velocidade constante de módulo  $v = 20 \text{ m/s}$ . Sobre sua carroceria, há uma caixa em repouso em relação ao próprio caminhão. O coeficiente de atrito estático entre a caixa e a carroceria é  $\mu = 0,4$ . O caminhão é freado, com aceleração constante, até parar. A distância mínima que o caminhão deve percorrer antes de parar, de modo que a caixa não deslize sobre a carroceria, é de
- A) 100 m.  
 B) 70 m.  
 C) 50 m.  
 D) 40 m.  
 E) 20 m.

- 08.** (UFRGS-RS) Um livro encontra-se deitado sobre uma folha de papel, ambos em repouso sobre uma mesa horizontal. Para aproximá-lo de si, um estudante puxa a folha em sua direção, sem tocar no livro. O livro acompanha o movimento da folha e não desliza sobre ela. Qual é a alternativa que melhor descreve a força que, ao ser exercida sobre o livro, o colocou em movimento?
- A) É uma força de atrito cinético de sentido contrário ao do movimento do livro.  
 B) É uma força de atrito cinético de sentido igual ao do movimento do livro.  
 C) É uma força de atrito estático de sentido contrário ao do movimento do livro.  
 D) É uma força de atrito estático de sentido igual ao do movimento do livro.  
 E) É uma força que não pode ser caracterizada como força de atrito.

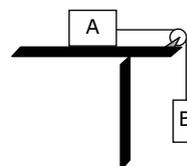
- 09.** (Vunesp) Um trator se desloca em uma estrada, da esquerda para a direita, com movimento acelerado. O sentido das forças de atrito que a estrada faz sobre as rodas do carro é indicado na figura a seguir:



É correto afirmar que

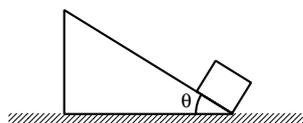
- A) o trator tem tração nas quatro rodas.  
 B) o trator tem tração traseira.  
 C) o trator tem tração dianteira.  
 D) o trator está com o motor desligado.  
 E) a situação apresentada é impossível de acontecer.
- 10.** (Unisa-SP) No sistema a seguir, a massa do corpo A é 4 kg, e a do corpo B, 2 kg. A aceleração do sistema é de  $2 \text{ m/s}^2$ . O coeficiente de atrito entre o corpo A e o plano é

**Dado:**  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .



- A) 0,2.  
 B) 0,4.  
 C) 0,5.  
 D) 0,6.  
 E) 0,8.
- 11.** (FGV-SP) Um bloco de 4 kg é puxado por uma força constante horizontal de 20 N sobre uma superfície plana horizontal, adquirindo uma aceleração constante de  $3 \text{ m/s}^2$ . Logo, existe uma força de atrito entre a superfície e o bloco que vale, em N,
- A) 5.  
 B) 8.  
 C) 12.  
 D) 16.  
 E) 17.

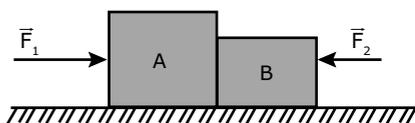
12. (UECE) Ao bloco da figura a seguir, é dada uma velocidade inicial  $v$ , no sentido de subida do plano inclinado, fixo ao chão. O coeficiente de atrito entre o bloco e o plano é  $\mu$ , e a inclinação do plano é  $\theta$ . Denotando por  $g$  a aceleração da gravidade, a distância em que o bloco se moverá, até parar, ao subir ao longo do plano inclinado é



- A)  $v^2/(2g)$ .  
 B)  $(v^2/2g)(\text{sen } \theta + \mu \text{cos } \theta)^{-1}$ .  
 C)  $[(v^2/2g)(\text{sen } 2\theta - \mu \text{cos } 2\theta)^{-1}]/2$ .  
 D)  $v^2/(2g \text{sen } \theta)$ .
13. (CEFET-CE) Duas esferas de massas diferentes e de mesmo diâmetro são abandonadas de uma mesma altura em relação ao solo. Considerando os efeitos da resistência do ar e a altura, que é bem maior que o diâmetro das esferas, podemos afirmar corretamente que
- A) a esfera de massa maior atinge o solo primeiro.  
 B) a esfera de massa menor atinge o solo primeiro.  
 C) ambas atingirão o solo ao mesmo tempo.  
 D) o tempo de queda independe da resistência do ar.  
 E) o tempo de queda independe das massas das esferas.
14. (AMAN-RJ) Um bloco de 1,0 kg está sobre outro de 4,0 kg que repousa sobre uma mesa lisa. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre os blocos valem 0,60 e 0,40. A força  $\vec{F}$  aplicada ao bloco de 4,0 kg é de 25 N, e a aceleração da gravidade no local é aproximadamente igual a  $10 \text{ m/s}^2$ . A força de atrito que atua sobre o bloco de 4,0 kg tem intensidade de



- A) 5,0 N.                      C) 3,0 N.                      E) 1,0 N.  
 B) 4,0 N.                      D) 2,0 N.
15. (Fatec-SP)  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$  são forças horizontais de intensidades 30 N e 10 N, respectivamente, conforme a figura. Sendo a massa de A igual a 3 kg, a massa de B igual a 2 kg,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , e 0,3 o coeficiente de atrito dinâmico entre os blocos e a superfície, a força de contato entre os blocos tem intensidade

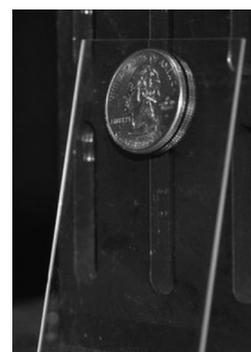


- A) 24 N.                      C) 40 N.                      E) 18 N.  
 B) 30 N.                      D) 10 N.

16. (UNIFESP) Conforme noticiou um *site* da Internet em 30/08/2006, cientistas da Universidade de Berkeley, Estados Unidos, "criaram uma malha de microfibras sintéticas que utilizam um efeito de altíssima fricção para sustentar cargas em superfícies lisas", à semelhança dos "incríveis pelos das patas das lagartixas".

Disponível em: [www.inovacaotecnologica.com.br](http://www.inovacaotecnologica.com.br).

Segundo esse *site*, os pesquisadores demonstraram que a malha criada "consegue suportar uma moeda sobre uma superfície de vidro inclinada a até  $80^\circ$ " (veja a foto).



**Dados:**  $\text{sen } 80^\circ = 0,98$ ;

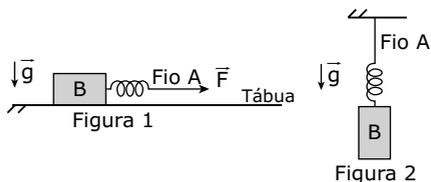
$\text{cos } 80^\circ = 0,17$ ;

$\text{tg } 80^\circ = 5,7$ .

Pode-se afirmar que, nessa situação, o módulo da força de atrito estático máxima entre essa malha, que reveste a face de apoio da moeda, e o vidro, em relação ao módulo do peso da moeda, equivale a, aproximadamente,

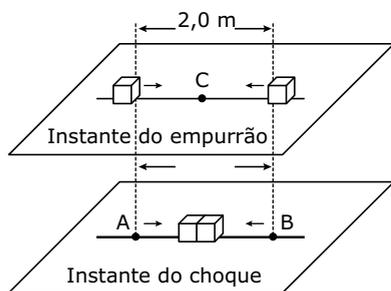
- A) 5,7%.  
 B) 11%.  
 C) 17%.  
 D) 57%.  
 E) 98%.
17. (UFPI) Suponha que a força de resistência do ar atuando sobre um paraquedas seja diretamente proporcional à sua velocidade ( $R = -kv$ ). A aceleração da gravidade é constante e vale  $g$ . Após algum tempo de queda, o paraquedas atinge uma velocidade terminal (constante) igual a  $v_f$ . A aceleração do paraquedas no instante em que sua velocidade atinge a metade de  $v_f$  é
- A)  $(1/2)g$ , apontando para baixo.  
 B)  $(1/2)g$ , apontando para cima.  
 C) nula.  
 D)  $\sqrt{2}g$ , apontando para baixo.  
 E)  $\sqrt{2}g$ , apontando para cima.

18. (Unesp) As figuras 1 e 2 representam dois esquemas experimentais utilizados para a determinação do coeficiente de atrito estático entre um bloco B e uma tábua plana, horizontal.



No esquema da figura 1, um aluno exerceu uma força horizontal no fio A e mediu o valor 2,0 cm para a deformação da mola, quando a força atingiu seu máximo valor possível, imediatamente antes que o bloco B se movesse. Para determinar a massa do bloco B, este foi suspenso verticalmente, com o fio A fixo no teto, conforme indicado na figura 2, e o aluno mediu a deformação da mola igual a 10,0 cm, quando o sistema estava em equilíbrio. Nas condições descritas, desprezando a resistência do ar, o coeficiente de atrito entre o bloco e a tábua vale

- A) 0,1.                      C) 0,3.                      E) 0,5.  
 B) 0,2.                      D) 0,4.
19. (Mackenzie-SP) Duas pequenas caixas cúbicas idênticas são empurradas, simultaneamente, uma contra a outra, sobre uma reta horizontal, a partir dos pontos A e B, com velocidades de módulos respectivamente iguais a 7,2 km/h, em relação à reta. O choque frontal entre elas ocorre no ponto C, médio de  $\overline{AB}$ , com a velocidade de uma das caixas igual a 7,2 km/h em relação à outra.



Dado:  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

Considerando que apenas o atrito cinético, de coeficiente  $\mu_c$ , entre as caixas e o plano de deslocamento foi o responsável pela variação de suas velocidades, podemos afirmar que

- A)  $\mu_c = 0,05$ .  
 B)  $\mu_c = 0,1$ .  
 C)  $\mu_c = 0,15$ .  
 D)  $\mu_c = 0,2$ .  
 E)  $\mu_c = 0,3$ .

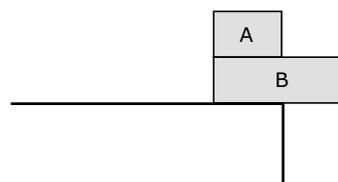
## GABARITO

- |       |       |
|-------|-------|
| 01. A | 11. B |
| 02. D | 12. B |
| 03. C | 13. A |
| 04. D | 14. C |
| 05. C | 15. E |
| 06. C | 16. E |
| 07. C | 17. A |
| 08. D | 18. B |
| 09. C | 19. C |
| 10. A |       |

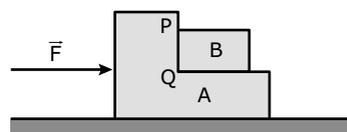
## MÓDULO 08

### APLICAÇÕES DAS LEIS DE NEWTON

01. (UFPE) Um bloco A, de massa igual a 2,0 kg, é colocado sobre um bloco B, de massa igual a 4,0 kg, como mostrado na figura. Sabendo-se que o sistema permanece em repouso sobre uma mesa, calcule a força que a mesa exerce sobre o bloco B, em newtons.



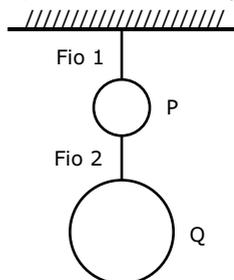
02. (CEFET-MG) Dois blocos A e B de massas 8 kg e 2 kg, respectivamente, estão dispostos sobre uma superfície horizontal, como mostra a figura a seguir. Sabendo-se que o coeficiente de atrito entre o bloco A e a superfície vale 0,2 e que não existe atrito entre os blocos, determine a força exercida pela parede PQ do bloco A sobre o bloco B quando sobre A se aplica uma força de intensidade 100 N.



- A) 16 N                      C) 36 N                      E) 56 N  
 B) 26 N                      D) 46 N

- 03.** (CEFET-MG) Um elevador de cargas possui massa total igual a  $6,0 \cdot 10^2$  kg e o cabo que o sustenta suporta uma tensão máxima de  $7,2 \cdot 10^3$  N. A aceleração máxima, em  $m/s^2$ , que esse cabo pode imprimir ao elevador é
- A) 0,20.    B) 2,0.    C) 11.    D) 12.

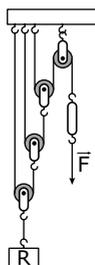
- 04.** (UFRGS-RS) A figura a seguir representa dois objetos, P e Q, cujos pesos, medidos com um dinamômetro por um observador inercial, são 6 N e 10 N, respectivamente.



Por meio de dois fios de massas desprezíveis, os objetos P e Q acham-se suspensos, em repouso, ao teto de um elevador que, para o referido observador, se encontra parado. Para o mesmo observador, quando o elevador acelerar verticalmente para cima à razão de  $1 m/s^2$ , qual será o módulo da tensão no fio 2?

(Considere a aceleração da gravidade igual a  $10 m/s^2$ .)

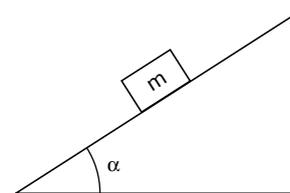
- A) 17,6 N.    C) 11,0 N.    E) 9,0 N.  
 B) 16,0 N.    D) 10,0 N.
- 05.** (UERJ) Um passageiro está no interior de um elevador que desce verticalmente, com aceleração constante  $a$ . Se  $a$  vale  $1/5$  da aceleração da gravidade, a razão entre a intensidade da força que o piso do elevador exerce sobre o passageiro e o peso do passageiro é igual a
- A) 5.    B)  $6/5$ .    C) 1.    D)  $4/5$ .
- 06.** (UERJ) A figura a seguir representa um sistema composto por uma roldana com eixo fixo e três roldanas móveis, no qual um corpo R é mantido em equilíbrio pela aplicação de uma força  $F$ , de uma determinada intensidade.



Considere um sistema análogo, com maior número de roldanas móveis e intensidade de  $F$  inferior a 0,1% do peso de R. O menor número possível de roldanas móveis para manter esse novo sistema em equilíbrio deverá ser igual a

- A) 8.    C) 10.  
 B) 9.    D) 11.

- 07.** (PUC Rio)

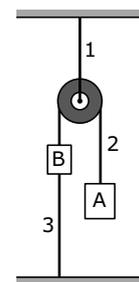


Um bloco de massa  $m$  é colocado sobre um plano inclinado, cujo coeficiente de atrito estático é  $\mu = 1$ , como mostra a figura. Qual é o maior valor possível para o ângulo  $\alpha$  de inclinação do plano, de modo que o bloco permaneça em repouso?

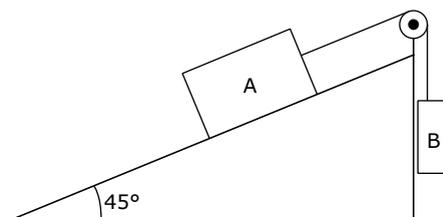
- A)  $30^\circ$     C)  $60^\circ$     E)  $90^\circ$   
 B)  $45^\circ$     D)  $75^\circ$

- 08.** (UFMS) Uma lâmpada está pendurada verticalmente em uma corda no interior de um elevador que está descendo. O elevador está desacelerado a uma taxa igual a  $2,3 m/s^2$ . Se a tensão na corda for de 123 N, qual a massa da lâmpada em kg? (Considere  $g = 10 m/s^2$ .)

- 09.** (CEFET-CE) Na figura a seguir, o cordão 1 sustenta a polia no seu eixo. O cordão 2 passa pela polia e sustenta os blocos A e B de massas desconhecidas. Inicialmente, o cordão 1 está submetido a uma força de tração de intensidade 120 N, e o cordão 3, a uma força de 40 N. Determine a aceleração adquirida pelo corpo A e a tração no cordão 1 após o cordão 3 ser cortado.



- 10.** (PUC Minas) Na montagem mostrada a seguir, os corpos A e B estão em repouso e todos os atritos são desprezíveis. O corpo B tem uma massa de 8,0 kg. Qual é, então, o peso do corpo A, em newtons?



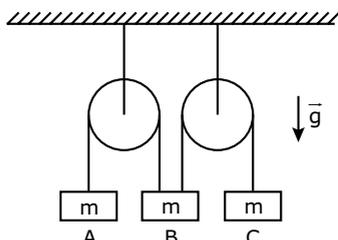
**Dados:**  $g = 10 m/s^2$ ;

$\text{sen } 45^\circ = (\sqrt{2})/2$ ;

$\text{cos } 45^\circ = (\sqrt{2})/2$ .

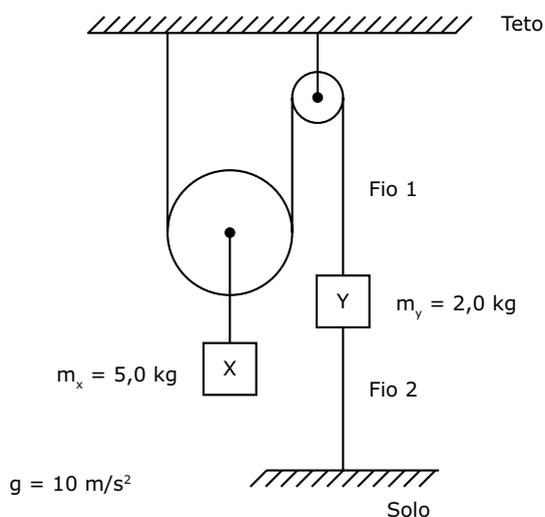
- A) 80    C)  $40\sqrt{2}$   
 B)  $160\sqrt{2}$     D)  $80\sqrt{2}$

- 11.** (FUVEST-SP) Um sistema mecânico é formado por duas polias ideais que suportam três corpos A, B e C de mesma massa  $m$ , suspensos por fios ideais, como representado na figura. O corpo B está suspenso simultaneamente por dois fios, um ligado a A e outro a C.



Podemos afirmar que a aceleração do corpo B será

- A) zero.  
 B)  $g/3$  para baixo.  
 C)  $g/3$  para cima.  
 D)  $2g/3$  para baixo.  
 E)  $2g/3$  para cima.
- 12.** (UEL-PR) No arranjo representado no esquema, considere as polias e os fios ideais. Considere também os valores indicados no esquema.



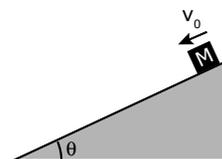
As trações nos fios 1 e 2, em newtons, são, respectivamente,

- A) 0,50 e 2,5.  
 B) 2,5 e 0,50.  
 C) 5,0 e 25.  
 D) 25 e 5,0.  
 E) 25 e 25.

- 13.** (Fatec-SP) Uma corrente com dez elos, sendo todos de massas iguais, está apoiada sobre o tampo horizontal de uma mesa totalmente sem atrito. Um dos elos é puxado para fora da mesa, e o sistema é abandonado, adquirindo, então, movimento acelerado. No instante em que o quarto elo perde contato com a mesa, a aceleração do sistema é

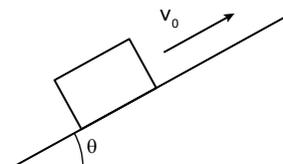
- A)  $g$ .  
 B)  $(2/3)g$ .  
 C)  $(3/5)g$ .  
 D)  $(2/5)g$ .  
 E)  $(1/10)g$ .

- 14.** (UFV-MG) Um bloco desliza em um plano sem atrito com velocidade inicial de módulo  $v_0$ , como mostrado na figura a seguir. Se a aceleração da gravidade é  $g$ , o módulo da velocidade  $v$  do bloco, após este percorrer uma distância  $d$  ao longo do plano inclinado, é



- A)  $v = \sqrt{v_0^2 + 2gd \text{sen } \theta}$ .  
 B)  $v = \sqrt{v_0^2 - 2gd \text{sen } \theta}$ .  
 C)  $v = v_0 + \frac{gd \text{sen } \theta}{v_0}$ .  
 D)  $v = v_0 - \frac{gd \text{sen } \theta}{v_0}$ .

- 15.** (ITA-SP) Na figura, um bloco sobe um plano inclinado com velocidade inicial  $v_0$ . Considere  $m$  o coeficiente de atrito entre o bloco e a superfície. Indique a sua velocidade na descida ao passar pela posição inicial.



- A)  $v_0 [(\text{sen } \theta - \mu \text{sen } \theta) / (\cos \theta - \mu \cos \theta)]^{1/2}$   
 B)  $v_0 [(\text{sen } \theta - \mu \cos \theta) / (\text{sen } \theta + \mu \cos \theta)]^{1/2}$   
 C)  $v_0 [(\text{sen } \theta + \mu \cos \theta) / (\text{sen } \theta - \mu \cos \theta)]^{1/2}$   
 D)  $v_0 [(\mu \text{sen } \theta + \cos \theta) / (\mu \text{sen } \theta - \cos \theta)]^{1/2}$   
 E)  $v_0^3 [(\mu \text{sen } \theta - \cos \theta) / (\mu \text{sen } \theta + \cos \theta)]^{1/2}$

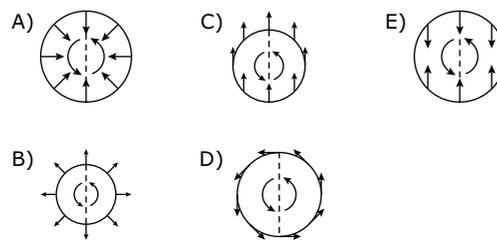
## GABARITO

- 01. 60 N
- 02. A
- 03. B
- 04. C
- 05. D
- 06. C
- 07. B
- 08. 10 kg
- 09.  $a = 5 \text{ m/s}^2$  e  $T = 60 \text{ N}$
- 10. D
- 11. C
- 12. D
- 13. D
- 14. A
- 15. B

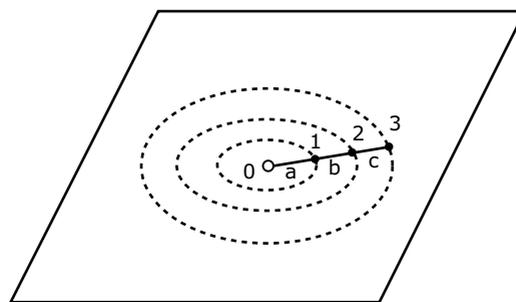
## MÓDULO 09

### DINÂMICA DO MOVIMENTO CIRCULAR

**01.** (Cesgranrio) Oito crianças de massas iguais estão sentadas em uma roda-gigante, que gira com velocidade angular constante no sentido indicado nas figuras das opções a seguir. A linha tracejada indica, em cada figura, a direção da vertical. Em qual dessas opções as forças resultantes que atuam sobre as oito crianças estão mais bem ilustradas?



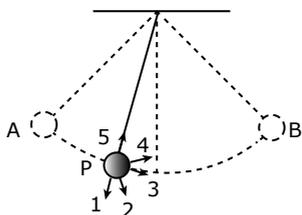
- 02.** (UEL-PR) Considere um satélite artificial que tenha o período de revolução igual ao período de rotação da Terra (satélite geossíncrono). É correto afirmar que um objeto de massa  $m$  dentro de um satélite desse tipo
- A) fica sem peso, pois flutua dentro do satélite se ficar solto.
  - B) apresenta uma aceleração centrípeta que tem o mesmo módulo da aceleração gravitacional do satélite.
  - C) não sente nenhuma aceleração da gravidade, pois flutua dentro do satélite se ficar solto.
  - D) fica sem peso, porque dentro do satélite não há atmosfera.
  - E) não apresenta força agindo sobre ele, uma vez que o satélite está estacionário em relação à Terra.
- 03.** (PUC Minas) Na figura, 1, 2 e 3 são partículas de massa  $m$ . A partícula 1 está presa ao ponto 0 pelo fio  $a$ . As partículas 2 e 3 estão presas, respectivamente, à partícula 1 e à partícula 2 pelos fios  $b$  e  $c$ . Todos os fios são inextensíveis e de massa desprezível. Cada partícula realiza um movimento circular uniforme com centro em 0.



Sobre as reações  $T$  em cada fio, é correto dizer que

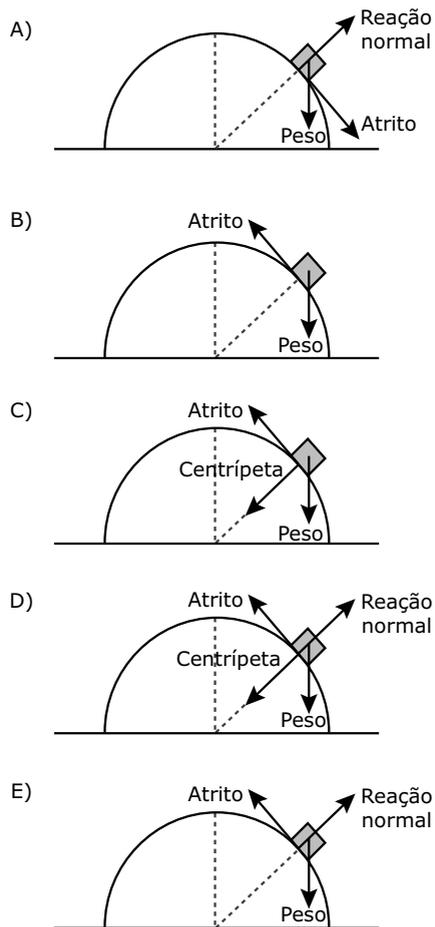
- A)  $T_a = T_b = T_c$ .
- B)  $T_a > T_b > T_c$ .
- C)  $T_a < T_b < T_c$ .
- D)  $T_a > T_b = T_c$ .
- E)  $T_a < T_b = T_c$ .

- 04.** (CESCEM-SP) A figura representa um pêndulo simples que oscila entre as posições A e B, no campo gravitacional terrestre. Quando o pêndulo se encontra na posição P, a força resultante é mais bem indicada pelo vetor

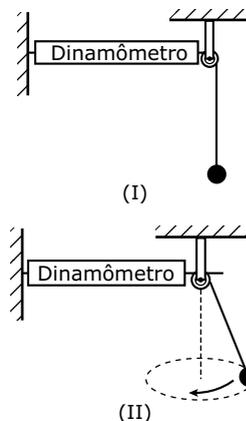


- A) 1.
- B) 2.
- C) 3.
- D) 4.
- E) 5.

- 05.** (UFPE) Um bloco desliza, com atrito, sobre um hemisfério e para baixo. Qual das opções a seguir melhor representa todas as forças que atuam sobre o bloco?



- 06.** (UFV-MG) Um corpo de massa  $M$  (círculo preto), suspenso por um fio inextensível e de massa desprezível, está ligado a um dinamômetro através de uma roldana conforme ilustrado na figura (I) adiante.



Se o corpo é posto a girar com uma frequência angular constante, conforme ilustrado na figura (II), e desprezando qualquer tipo de atrito, é correto afirmar que, comparada com a situação (I), o valor da leitura do dinamômetro

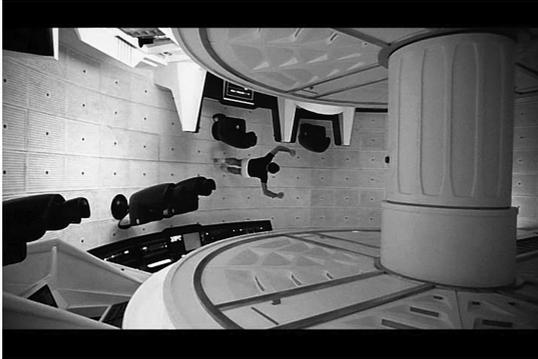
- A) será maior.
- B) será menor.
- C) não se altera.
- D) será nulo.
- E) oscilará na frequência de giro do corpo.

- 07.** (UFJF-MG) Faltava apenas uma curva para terminar o Grande Prêmio de Mônaco de Fórmula 1. Na primeira posição estava Schumacher, a 200 km/h; logo atrás, estava Montoya, a 178 km/h; aproximando-se de Montoya, vinha Rubens Barrichello, a 190 km/h; atrás de Barrichello, aparecia Ralf Schumacher, a 182 km/h. Todos esses quatro pilotos entraram com as velocidades citadas nessa última curva, que era horizontal, tinha raio de curvatura de 625 m e coeficiente de atrito estático igual a 0,40. Podemos concluir que

- A) é impossível prever quem pode ter vencido a corrida ou quem pode ter derrapado.
- B) de acordo com as velocidades citadas, a colocação mais provável deve ter sido: 1º Schumacher, 2º Barrichello, 3º Ralf e 4º Montoya.
- C) Montoya venceu o Grande Prêmio, porque todos os demais derraparam.
- D) Barrichello venceu a corrida, porque Montoya e Schumacher derraparam e não havia como Ralf alcançá-lo.



14. (UFCG-PB) Leia o texto seguinte:



A Discovery media quase cento e vinte metros de ponta a ponta, porém, o reduzido universo ocupado pela sua tripulação estava inteiramente encerrado no interior da esfera de doze metros de sua cabina pressurizada. A região equatorial da esfera de pressão, poderíamos dizer a faixa compreendida entre Capricórnio e Câncer [analogia com o Globo Terrestre], continha dois tambores de pequena rotação, com vinte metros de diâmetro. Fazendo uma revolução a cada dez segundos, esse carrossel ou centrífuga produzia uma gravidade artificial suficiente para evitar a atrofia física que seria capaz de ocorrer em consequência da total ausência de peso, permitindo, também, que as funções rotineiras da vida fossem executadas em condições quase normais.

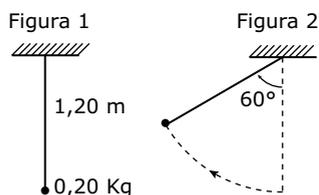
CLARKE, Arthur C. *2001 Odisseia Espacial*. 9. ed. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura, 1985. p. 91-92 (Adaptação).

Para um astronauta de 80 kg, seu "peso", no local descrito no interior da Discovery, é

Dado:  $\pi = 3$ .

- A) 800 N.
- B) 480 N.
- C) 288 N.
- D) 248 N.
- E) 133 N.

15. (UFRJ) Uma bolinha de massa 0,20 kg está em repouso suspensa por um fio ideal de comprimento 1,20 m preso ao teto, conforme indica a figura 1. A bolinha recebe uma pancada horizontal e sobe em movimento circular até que o fio faça um ângulo máximo de  $60^\circ$  com a vertical, como indica a figura 2. Despreze os atritos e considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .



- A) Calcule o valor  $T_0$  da tensão no fio na situação inicial em que a bolinha estava em repouso antes da pancada.
- B) Calcule o valor  $T_1$  da tensão no fio quando o fio faz o ângulo máximo de  $60^\circ$  com a vertical e o valor  $T_2$  da tensão quando ele passa de volta pela posição vertical.

## GABARITO

- 01. A
- 02. B
- 03. B
- 04. E
- 05. D
- 06. A
- 07. C
- 08. A
- 09. D
- 10. E
- 11. B
- 12. D
- 13. B
- 14. C
- 15. A)  $T_0 = 2,0 \text{ N}$   
B)  $T_1 = 1,0 \text{ N}$  e  $T_2 = 4,0 \text{ N}$

## Caderno Extra

### MÓDULO 07

#### 2ª LEI DA TERMODINÂMICA

**01.** (UFC-CE) Analise as afirmações a seguir.

- I. A variação de entropia do fluido operante num ciclo completo de uma máquina térmica de Carnot é igual a  $Q_1/T_1$ .
- II. O trabalho necessário para efetivar uma certa mudança de estado num sistema é independente do caminho seguido pelo sistema, quando este evolui do estado inicial para o estado final.
- III. De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica e de observações relativas aos processos reversíveis e irreversíveis, conclui-se que as entropias inicial e final num processo adiabático reversível são iguais e que, se o processo for adiabático irreversível, a entropia final será maior que a inicial.

Com respeito às três afirmativas, é correto afirmar que apenas

- A) I é verdadeira.
- B) II é verdadeira.
- C) III é verdadeira.
- D) I e II são verdadeiras.
- E) II e III são verdadeiras.

**02.** (UFSC) Assinale a(s) proposição(ões) correta(s).

01. Sempre que um gás recebe calor, sua temperatura sofre um acréscimo.
02. Em uma transformação isotérmica, o sistema não troca calor com o meio externo.
04. Em uma compressão adiabática, a temperatura do sistema aumenta.
08. A variação da energia interna de um sistema termodinâmico é dada pela diferença entre a energia trocada com a vizinhança, na forma de calor, e o trabalho realizado pelo sistema, ou sobre o sistema.
16. O motor de combustão interna de um automóvel não é uma máquina térmica, porque não opera entre uma fonte quente e uma fonte fria e em ciclos.

32. Um refrigerador funciona como uma máquina térmica, operando em sentido inverso, isto é, retira calor da fonte fria e, através de trabalho realizado sobre ele, rejeita para a fonte quente.

64. Uma máquina térmica, operando segundo o Ciclo de Carnot, obtém um rendimento de 100%, isto é, converte todo o calor recebido em trabalho.

Soma ( )

**03.** (UFPR) Os estudos científicos desenvolvidos pelo engenheiro francês Nicolas Sadi Carnot (1796-1832), na tentativa de melhorar o rendimento de máquinas térmicas, serviram de base para a formulação da Segunda Lei da Termodinâmica.

Acerca do tema, considere as seguintes afirmativas:

1. O rendimento de uma máquina térmica é a razão entre o trabalho realizado pela máquina num ciclo e o calor retirado do reservatório quente nesse ciclo.
2. Os refrigeradores são máquinas térmicas que transferem calor de um sistema de menor temperatura para outro a uma temperatura mais elevada.
3. É possível construir uma máquina, que opera em ciclos, cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.

Assinale a alternativa correta.

- A) Somente as afirmativas 1 e 3 são verdadeiras.
- B) Somente a afirmativa 1 é verdadeira.
- C) Somente a afirmativa 2 é verdadeira.
- D) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
- E) Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras.

**04.** (UEM-PR) Uma máquina térmica opera entre um reservatório térmico mantido à temperatura de 100 °C e outro mantido à temperatura ambiente. Em que época do ano essa máquina atingiria sua maior eficiência?

- A) Em um dia típico de outono.
- B) Em um dia típico de verão.
- C) Em um dia típico de primavera.
- D) Em um dia típico de inverno.
- E) É indiferente, a eficiência não depende da temperatura do outro reservatório.

- 05.** (IME-RJ) Considere uma máquina térmica operando em um ciclo termodinâmico. Essa máquina recebe 300 J de uma fonte quente, cuja temperatura é de 400 K e produz um trabalho de 150 J. Ao mesmo tempo, rejeita 150 J para uma fonte fria que se encontra a 300 K. A análise termodinâmica da máquina térmica descrita revela que o ciclo proposto é um(a)
- A) máquina frigorífica na qual tanto a Primeira Lei quanto a Segunda Lei da Termodinâmica são violadas.
  - B) máquina frigorífica na qual a Primeira Lei é atendida, mas a Segunda Lei é violada.
  - C) motor térmico no qual tanto a Primeira Lei quanto a Segunda Lei da Termodinâmica são atendidas.
  - D) motor térmico no qual a Primeira Lei é violada, mas a Segunda Lei é atendida.
  - E) motor térmico no qual a Primeira Lei é atendida, mas a Segunda Lei é violada.

- 06.** (UFRN) As máquinas térmicas transformam a energia interna de um combustível em energia mecânica. De acordo com a 2ª Lei da Termodinâmica, não é possível construir uma máquina térmica que transforme toda a energia interna do combustível em trabalho, isto é, uma máquina de rendimento igual a 1 ou equivalente a 100%.

O cientista francês Sadi Carnot (1796-1832) provou que o rendimento máximo obtido por uma máquina térmica operando entre as temperaturas  $T_1$  (fonte quente) e  $T_2$  (fonte fria) é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Com base nessas informações, é correto afirmar que o rendimento da máquina térmica não pode ser igual a 1 porque, para isso, ela deveria operar

- A) entre duas fontes à mesma temperatura,  $T_1 = T_2$ , no zero absoluto.
  - B) entre uma fonte quente a uma temperatura,  $T_1$ , e uma fonte fria à temperatura  $T_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ .
  - C) entre duas fontes à mesma temperatura,  $T_1 = T_2$ , diferente do zero absoluto.
  - D) entre uma fonte quente a uma temperatura,  $T_1$ , e uma fonte fria à temperatura  $T_2 = 0 \text{ K}$ .
- 07.** (UEPB) O princípio de funcionamento das máquinas térmicas foi estabelecido pelo físico francês Nicolas Sadi Carnot (1796-1832), antes de ser enunciada a Segunda Lei da Termodinâmica. Carnot percebeu que, para uma máquina térmica funcionar, é fundamental uma diferença de temperatura entre as fontes, bem como haver uma conversão de calor em trabalho. Em relação à máquina térmica, pode-se afirmar:

- A) O rendimento de uma máquina térmica é a razão entre o trabalho realizado e a variação de temperatura entre as fontes fria e quente.
- B) Um dispositivo que pode ser exemplificado como máquina térmica é o motor a álcool.
- C) Ao realizar um ciclo, uma máquina térmica que retira 3,0 kcal de uma fonte quente e libera 2,7 kcal para uma fonte fria tem rendimento igual a 1%.
- D) A panela de pressão pode ser considerada como uma máquina térmica.
- E) Sendo  $Q_1 = 200 \text{ cal}$  e  $Q_2 = 160 \text{ cal}$  as quantidades de calor retiradas e rejeitadas por uma máquina térmica, pode-se afirmar que o trabalho útil obtido por ciclo é de 40 J.

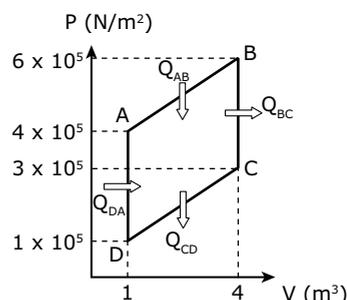
- 08.** (PUC Minas) A palavra ciclo tem vários significados na linguagem cotidiana. Existem ciclos na Economia, na Literatura, na História e, em geral, com significados amplos, pois se referem a tendências, épocas, etc. Em Termodinâmica, a palavra ciclo tem um significado preciso: é uma série de transformações sucessivas que recolocam o sistema de volta ao seu estado inicial com realização de trabalho positivo ou negativo e a troca de calor com a vizinhança. Assim, por exemplo, os motores automotivos foram bem compreendidos a partir das descrições de seus ciclos termodinâmicos. Considere o quadro a seguir onde são apresentadas três máquinas térmicas operando em ciclos entre fontes de calor nas temperaturas 300 K e 500 K. Q e W são, respectivamente, o calor trocado e o trabalho realizado em cada ciclo.

Máquina	Q (joule)	W (joule)
A	10 000	10 000
B	12 000	6 000
C	8 000	3 000

De acordo com a Termodinâmica, é possível construir

- A) as máquinas A, B e C.
  - B) a máquina B, apenas.
  - C) a máquina C, apenas.
  - D) a máquina A, apenas.
- 09.** (UFOP-MG) Com relação à entropia e à Segunda Lei da Termodinâmica, é incorreto afirmar:
- A) Ciclo termodinâmico é um processo em que uma máquina térmica ou um sistema termodinâmico volta a seu estado inicial.
  - B) Não existe máquina térmica que transforme todo calor de uma fonte em trabalho.
  - C) A diluição de uma gota de tinta em um copo de água é um exemplo de processo reversível.
  - D) Em todo processo isolado irreversível, a entropia total do sistema sempre aumenta.

10. (Unimontes-MG) O rendimento de uma máquina térmica é a razão entre o trabalho realizado e o calor absorvido por ciclo. Constrói-se um motor térmico que opera segundo o ciclo mostrado na figura a seguir. Calcule o rendimento desse motor.



Dados:

$$Q_{AB} = 45 \cdot 10^5 \text{ J}; \quad Q_{CD} = -22,5 \cdot 10^5 \text{ J};$$

$$Q_{BC} = -18 \cdot 10^5 \text{ J}; \quad Q_{DA} = 4,5 \cdot 10^5 \text{ J};$$

11. (UFMS-RS) Um condicionador de ar, funcionando no verão, durante certo intervalo de tempo, consome 1 600 cal de energia elétrica, retira certa quantidade de energia do ambiente que está sendo climatizado e rejeita 2 400 cal para o exterior. A eficiência desse condicionador de ar é
- A) 0,33.                      C) 0,63.                      E) 2,00.  
 B) 0,50.                      D) 1,50.
12. (UNIFEI-MG) Qual é a afirmação falsa?
- A) O oceano, como reservatório de calor, encontra-se a uma temperatura  $T_1$  e a atmosfera, como outro reservatório de calor, à temperatura  $T_2$ . Se  $T_2 > T_1$ , numa máquina térmica que esteja operando com esses dois reservatórios, somente haverá fluxo de energia térmica do oceano para o ar a custo de realização de trabalho.
- B) Quando os freios de um carro são aplicados, o carro desacelera e para. Imagine um filme que mostra essa frenagem rodado de trás para frente. Esse movimento reverso não pode ocorrer, pois viola a Segunda Lei da Termodinâmica ao exigir que movimento desordenado (da agitação térmica dos átomos das pastilhas e disco do sistema de freios do carro) se transforme em movimento ordenado (do deslocamento do carro).
- C) Uma máquina térmica não pode ter uma eficiência igual a 1 (um), pois estaria violando a Primeira Lei da Termodinâmica, não havendo conservação de energia nesse caso.
- D) Não é possível refrigerar uma casa deixando a porta da geladeira aberta, pois é entregue ao ambiente a energia térmica que é recolhida dentro do refrigerador mais a energia térmica correspondente ao trabalho mecânico realizado pelo seu motor.

## GABARITO

- |               |                   |
|---------------|-------------------|
| 01. C         | 07. B             |
| 02. Soma = 44 | 08. C             |
| 03. D         | 09. C             |
| 04. D         | 10. $\eta = 18\%$ |
| 05. E         | 11. B             |
| 06. D         | 12. C             |

## MÓDULO 08

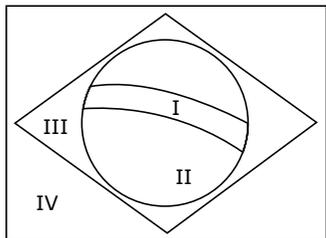
### FUNDAMENTOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

01. (UFOP-MG) A cor de um objeto opaco é determinada pela luz que é predominantemente refletida por ele. Tal propriedade denomina-se "reflectância". Assim, um objeto vermelho refletirá mais a cor vermelha que as demais cores, quando iluminado com luz branca. Se o objeto reflete uniformemente todas as cores da luz branca, ele permanecerá branco quando iluminado com luz branca e parecerá da cor da luz que o ilumina, quando esta for colorida. Por outro lado, a cor de um corpo transparente está associada à luz transmitida. Quando iluminamos com luz branca uma placa plana de vidro comum, notamos que ela permanece incolor, indicando que a luz a atravessou sem sofrer absorção preferencial de nenhuma cor, enquanto os chamados filtros e placas de vidro planas coloridas absorvem algumas componentes da luz branca, transmitindo uma ou mais componentes, tornando-se assim, coloridos. Dessa forma, um filtro vermelho absorve quase todas as cores, exceto a vermelha. A experiência mostra que podemos combinar três cores, chamadas "primárias", a vermelha, a verde e a azul, de forma adequada, para formar um número variado de cores, mas não todas.

As afirmações a seguir estão de acordo com o texto dado, exceto

- A) A cor de um objeto não é propriedade exclusiva dele.  
 B) Um objeto opaco branco, ao ser levado para um quarto escuro e iluminado com luz verde, parecerá verde.  
 C) Um objeto opaco preto refletirá cores mais escuras e absorverá as mais claras.  
 D) Um objeto opaco vermelho, ao ser levado para um quarto escuro e iluminado com luz verde, parecerá preto.  
 E) Um filme verde, ao ser levado para um quarto escuro e iluminado com luz vermelha, parecerá preto.

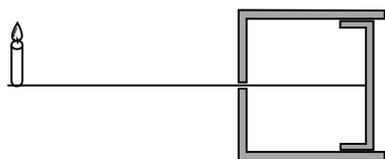
02. (UFMG) A figura mostra a bandeira do Brasil de forma esquemática.



Sob luz branca, uma pessoa vê a bandeira do Brasil com a parte I branca, a parte II azul, a parte III amarela e a parte IV verde.

Se a bandeira for iluminada por luz monocromática amarela, a mesma pessoa verá, provavelmente,

- A) a parte I amarela e a II preta.  
 B) a parte I amarela e a II verde.  
 C) a parte I branca e a II azul.  
 D) a parte I branca e a II verde.
03. (ACAFE-SC) A blusa de uma moça é branca com listras azuis quando exposta à luz solar. À noite, numa boate iluminada apenas com luz vermelha, essa blusa é vista
- A) azul com listras brancas.  
 B) vermelha com listras pretas.  
 C) vermelha com listras brancas.  
 D) preta com listras azuis.  
 E) branca com listras vermelhas.
04. (UFVJM-MG) Para determinar a altura de uma palmeira, um fazendeiro mediu a sombra que essa árvore fazia no chão (3,0 m) e a sombra que uma vara de 90 cm, cravada no chão próxima à árvore, também fazia (30 cm). Assinale a alternativa que indica a altura da palmeira.
- A) 10 m  
 B) 1,0 m  
 C) 90 m  
 D) 9,0 m
05. (UFSCar-SP) A 1 metro da parte frontal de uma câmara escura de orifício, uma vela de comprimento 20 cm projeta na parede oposta da câmara uma imagem de 4 cm de altura. A câmara permite que a parede onde é projetada a imagem seja movida, aproximando-se ou afastando-se do orifício.



Se o mesmo objeto for colocado a 50 cm do orifício, para que a imagem obtida no fundo da câmara tenha o mesmo tamanho da anterior, 4 cm, a distância que deve ser deslocado o fundo da câmara, relativamente à sua posição original, em cm, é de

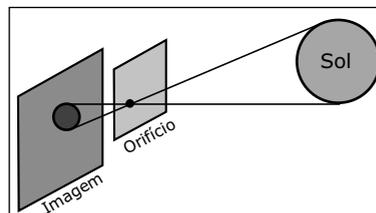
- A) 50.  
 B) 40.  
 C) 20.  
 D) 10.  
 E) 5.

06. (ITA-SP) A relação entre os tamanhos das imagens de um indivíduo de 1,80 m de altura, formadas numa câmara escura através de um orifício, quando o indivíduo se encontra, respectivamente, às distâncias de 24 e de 36 m, será
- A) 1,5.  
 B)  $\frac{2}{3}$ .  
 C)  $\frac{1}{2}$ .  
 D) 1,3.  
 E) 2,25.

07. (FEI-SP) Um dos métodos para medir o diâmetro do Sol consiste em determinar o diâmetro de sua imagem nítida, produzida sobre um anteparo, por um orifício pequeno feito em um cartão paralelo a esse anteparo, conforme ilustra a figura. Em um experimento realizado por esse método, foram obtidos os seguintes dados:

- I. Diâmetro da imagem = 9,0 mm  
 II. Distância do orifício até a imagem = 1,0 m  
 III. Distância do Sol à Terra =  $1,5 \cdot 10^{11}$  m

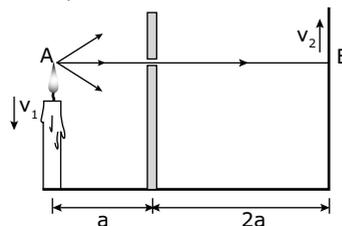
Qual é, aproximadamente, o diâmetro do Sol medido por esse método?



- A)  $1,5 \cdot 10^8$  m  
 B)  $1,35 \cdot 10^8$  m  
 C)  $2,7 \cdot 10^8$  m  
 D)  $1,35 \cdot 10^9$  m  
 E)  $1,5 \cdot 10^9$  m

08. (USJT-SP) No instante  $t = 0$ , um feixe horizontal de raios luminosos, provenientes da chama de uma vela A, atravessa um pequeno orifício de um anteparo e projeta uma pequena mancha luminosa B no anteparo vertical, conforme a figura. As distâncias da chama ao orifício e do orifício ao anteparo são, respectivamente, a e 2a.

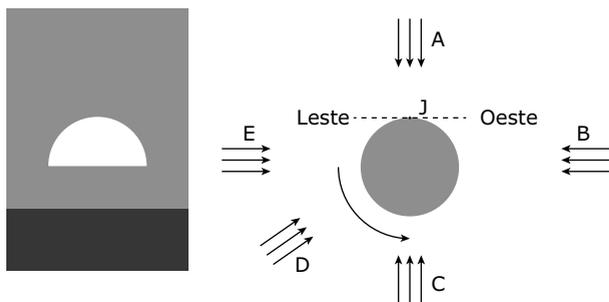
Considere  $v_1$  a velocidade com que a vela diminui de tamanho e  $v_2$  a velocidade que a mancha luminosa percorre no anteparo.



Quanto vale  $v_2$  em função de  $v_1$ ?

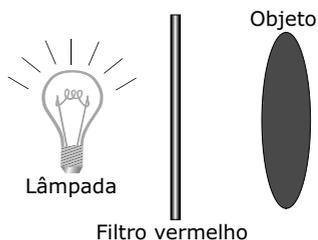
09. (Cesgranrio) O fenômeno óptico que melhor explica o fato de termos a impressão de que por alguns capilares do braço flui sangue de cor azul é denominado
- A) reflexão.  
 B) difração.  
 C) refração.  
 D) espelhismo.  
 E) interferência.

10. (FUVEST-SP) Um jovem, em uma praia do Nordeste, vê a Lua a Leste, próxima ao mar. Ele observa que a Lua apresenta sua metade superior iluminada, enquanto a metade inferior permanece escura. Essa mesma situação, vista do espaço, a partir de um satélite artificial da Terra, que se encontra no prolongamento do eixo que passa pelos polos, está esquematizada (parcialmente) na figura, onde J é a posição do jovem. Pode-se concluir que, nesse momento, a direção dos raios solares que se dirigem para a Terra é melhor representada por



A seta curva indica sentido de rotação da Terra

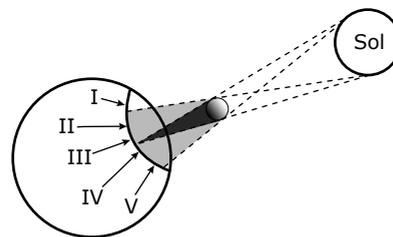
- A) A.  
 B) B.  
 C) C.  
 D) D.  
 E) E.
11. (UFOP-MG) A figura mostra uma fonte de luz branca (lâmpada). À sua direita, está um filtro vermelho.



- A) Qual será a cor da luz transmitida?  
 B) À direita do filtro vermelho, encontra-se um objeto O, vermelho. Qual será a cor desse objeto, quando for iluminado pela luz transmitida?
12. (UFES) A luz proveniente da explosão de uma estrela percorre 4,6 anos-luz para chegar à Terra, quando, então, é observada em um telescópio. Pode-se afirmar que
- A) a estrela estava a 365 mil quilômetros da Terra.  
 B) a estrela estava a 13,8 milhões de quilômetros da Terra.  
 C) a estrela estava a 4,6 bilhões de quilômetros da Terra.  
 D) a estrela tinha 4,6 milhões de anos quando a explosão ocorreu.  
 E) a explosão ocorreu 4,6 anos antes da observação.

## SEÇÃO ENEM

01. (Enem) A figura a seguir mostra um eclipse solar no instante em que é fotografado em cinco diferentes pontos do planeta.



Três dessas fotografias estão reproduzidas a seguir. As fotos poderiam corresponder, respectivamente, aos pontos



- A) III, V e II.  
 B) II, III e V.  
 C) II, IV e III.  
 D) I, II e III.  
 E) I, II e V.

## GABARITO

01. C  
 02. A  
 03. B  
 04. D  
 05. D  
 06. A  
 07. D  
 08.  $v_2 = 2v_1$   
 09. A  
 10. A  
 11. A) Vermelha  
     B) Vermelha  
 12. E

## Seção Enem

01. A

# MÓDULO 09

## REFLEXÃO DA LUZ E ESPELHOS PLANOS

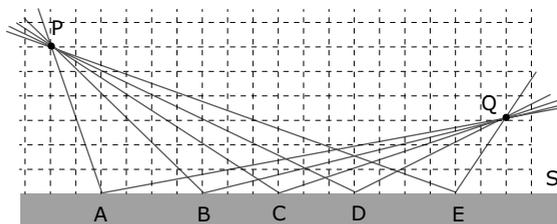
**01.** (FUVEST-SP) Uma cidade do interior recebeu um carro para ser usado, pelo Corpo de Bombeiros, como viatura de resgate. O comandante solicitou que nele fosse pintada a palavra "BOMBEIROS", de tal modo que ela pudesse ser observada em sua grafia correta quando vista por meio do espelho retrovisor de outros carros. No entanto, o pintor contratado cometeu dois enganos ao realizar o serviço, e a palavra pintada na viatura era vista, pelo retrovisor dos carros, grafada da seguinte forma:

**SORIEIROS**

Olhando-se diretamente para o carro dos bombeiros, a palavra anterior está grafada como em:

- A) **BOMBEIROS**
- B) **SORIEIROS**
- C) **BOMBEIROS**
- D) **SORIEIROS**
- E) **BOMBEIROS**

**02.** (UFC-CE) Considere os caminhos  $P \rightarrow A \rightarrow Q$ ,  $P \rightarrow B \rightarrow Q$ ,  $P \rightarrow C \rightarrow Q$ ,  $P \rightarrow D \rightarrow Q$  e  $P \rightarrow E \rightarrow Q$ , mostrados na figura. Eles são formados por segmentos de reta que pertencem ao plano do papel. S é uma superfície refletora plana que está situada perpendicularmente ao plano do papel. Imagine um raio de luz que, sendo emitido no ponto P, atinge o ponto Q após uma reflexão na superfície S.



Entre os caminhos considerados, aquele que certamente coincide com o caminho seguido pelo raio de luz é

- A)  $P \rightarrow A \rightarrow Q$ .
- B)  $P \rightarrow B \rightarrow Q$ .
- C)  $P \rightarrow C \rightarrow Q$ .
- D)  $P \rightarrow D \rightarrow Q$ .
- E)  $P \rightarrow E \rightarrow Q$ .

**03.** (UNIFENAS-MG) A respeito dos espelhos planos, considere as proposições:

- I. A imagem de um objeto real é sempre virtual.
- II. Quando o objeto se afasta de uma distância  $d$  do espelho, a imagem também se afasta do objeto.
- III. Quando uma pessoa se aproxima de um espelho, o tamanho da sua imagem não se altera.

A(s) proposição(ões) correta(s) é(são)

- A) somente I.
- B) somente II.
- C) somente III.
- D) somente I e II.
- E) somente I e III.

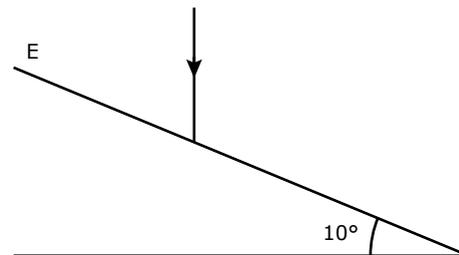
**04.** (Unipar-PR) Analise as proposições a seguir:

- I. O campo visual de um espelho plano é sempre o mesmo, qualquer que seja a posição do observador.
- II. O campo visual de um espelho é tanto maior quanto mais próximo de seu centro estiver o observador.
- III. O campo visual de um espelho plano cresce conforme aumenta a distância do observador em relação ao espelho.

Podemos afirmar que

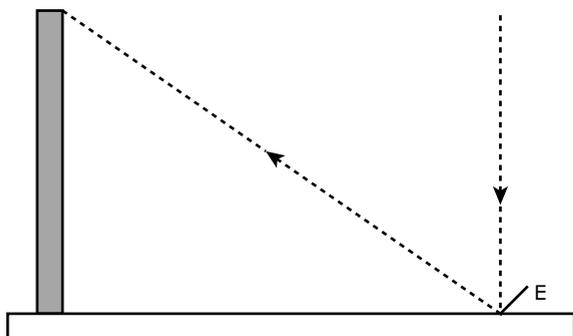
- A) somente a proposição I está correta.
- B) somente a proposição II está correta.
- C) somente a proposição III está correta.
- D) as proposições I, II e III estão corretas.
- E) as proposições I, II e III estão erradas.

**05.** (FEI-SP) Um raio de luz incide verticalmente sobre um espelho plano inclinado de  $10^\circ$  sobre um plano horizontal. Pode-se afirmar que



- A) o raio refletido é também vertical.
- B) o raio refletido forma ângulo de  $5^\circ$  com o raio incidente.
- C) o raio refletido forma ângulo de  $10^\circ$  com o raio incidente.
- D) o ângulo entre o raio refletido e o incidente é de  $20^\circ$ .

- 06.** (UFPB) Uma usina solar é uma forma de se obter energia limpa. A configuração mais comum é constituída de espelhos móveis espalhados por uma área plana, os quais projetam a luz solar refletida para um mesmo ponto situado no alto de uma torre. Nesse sentido, considere a representação simplificada dessa usina por um único espelho plano E e uma torre, conforme mostrado na figura a seguir.

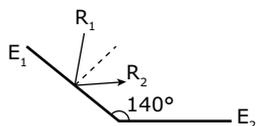


Com relação a essa figura, considere:

- A altura da torre é de 100 m;
- A luz do Sol incide verticalmente sobre a área plana;
- As dimensões do espelho E devem ser desprezadas;
- A distância percorrida pela luz do espelho até o topo da torre é de 200 m.

Nessa situação, conclui-se que o ângulo de incidência de um feixe de luz solar sobre o espelho E é de

- A) 90°.                      C) 45°.                      E) 0°.  
 B) 60°.                      D) 30°.
- 07.** (UFPB) A figura a seguir mostra dois espelhos planos,  $E_1$  e  $E_2$ , que formam um ângulo de  $140^\circ$  entre eles. Um raio luminoso  $R_1$  incide e é refletido no espelho  $E_1$ , de acordo com a figura a seguir. Nessa situação, para que o raio refletido  $R_2$  seja paralelo ao espelho  $E_2$ , o ângulo de incidência de  $R_1$  no espelho  $E_1$  deve ser de



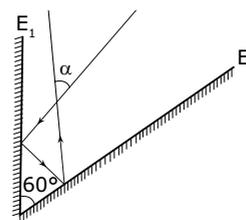
- A) 20°.                      D) 50°.  
 B) 30°.                      E) 60°.  
 C) 40°.
- 08.** (Unesp) Um rapaz foi encarregado de fixar um espelho plano em um provador de roupas de uma boutique. No entanto, não lhe foi dito a que altura, na parede, o espelho deveria ser fixado. Desejando que os clientes se vissem de corpo inteiro (da cabeça aos pés) no espelho, verificou que a altura do espelho era suficientemente grande, mas, ainda assim, resolveu determinar a menor distância da extremidade inferior do espelho ao solo, para atingir seu objetivo. Para tanto, o rapaz precisaria conhecer, em relação ao solo, apenas a altura

- A) do cliente mais alto.  
 B) até os olhos, do cliente mais alto.  
 C) do cliente mais baixo.  
 D) até os olhos, do cliente mais baixo.  
 E) até a cintura, do cliente mais alto.

- 09.** (CESUPA) Três objetos são colocados entre dois espelhos planos verticais articulados. A seguir, ajusta-se a abertura entre os espelhos até visualizar um total de 18 objetos (3 objetos reais e mais 15 imagens). Nessas condições, podemos afirmar que a abertura final entre esses espelhos será de

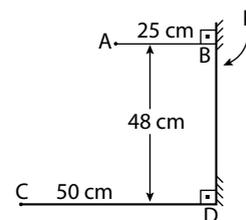
- A) zero.  
 B) 30°.  
 C) 45°.  
 D) 60°.  
 E) 90°.

- 10.** (Fafeod-MG) Dois espelhos planos formam entre si um ângulo de  $60^\circ$ . Um raio de luz monocromática incide no espelho  $E_1$ , com um ângulo de incidência de  $40^\circ$ . Assim, o ângulo  $\alpha$  indicado na figura é igual a



- A) 20°.  
 B) 40°.  
 C) 50°.  
 D) 60°.  
 E) 80°.

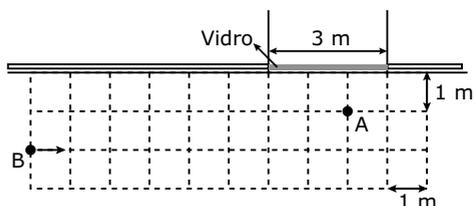
- 11.** (UEL-PR) A figura representa um espelho plano E vertical e dois segmentos de reta AB e CD perpendiculares ao espelho.



Supondo que um raio de luz parta de A e atinja C por reflexão no espelho, o ponto de incidência do raio de luz no espelho dista de D, em centímetros,

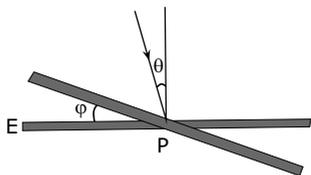
- A) 48.                      C) 32.                      E) 16.  
 B) 40.                      D) 24.

12. (FUVEST-SP) Uma jovem está parada em A, diante de uma vitrine, cujo vidro, de 3 m de largura, age como uma superfície refletora plana vertical. Ela observa a vitrine e não repara que um amigo, que no instante  $t_0$  está em B, se aproxima, com velocidade constante de 1 m/s, como indicado na figura, vista de cima. Se continuar observando a vitrine, a jovem poderá começar a ver a imagem do amigo, refletida no vidro, após um intervalo de tempo, aproximadamente, de



- A) 2 s.                      C) 4 s.                      E) 6 s.  
B) 3 s.                      D) 5 s.

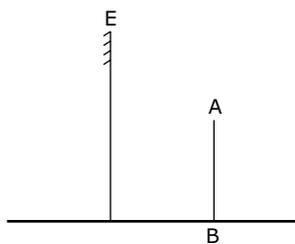
13. (UECE) Um raio de luz incide sobre um espelho plano, representado na figura pela letra E, no ponto P, fazendo um ângulo  $\theta = 10^\circ$  com a normal.



Gira-se o espelho em torno de um eixo, contido no plano do espelho e que passa por P, de um ângulo  $\varphi = 30^\circ$ . O raio refletido gira

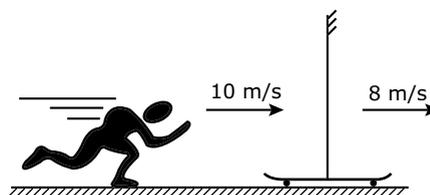
- A)  $10^\circ$ .                      C)  $40^\circ$ .  
B)  $20^\circ$ .                      D)  $60^\circ$ .

14. (FEI-SP) Um objeto vertical AB, de altura  $AB = 80$  cm, encontra-se diante de um espelho plano vertical E. Sabe-se que a imagem do ponto B encontra-se a 30 cm do espelho. Um raio de luz, partindo do ponto B, encontra o espelho num ponto C, segundo um ângulo de incidência  $\alpha$ , e reflete-se passando pelo ponto A. Qual o valor de  $\sin \alpha$ ?



- A) 0,80  
B) 0,76  
C) 0,72  
D) 0,68  
E) 0,64

15. (UEA-AM) A situação apresentada a seguir mostra um espelho plano vertical apoiado sobre rodas movendo-se, sem atrito, com velocidade constante de 8,0 m/s em relação ao solo. Um homem, sobre patins, se move a 10 m/s em relação ao solo, no mesmo sentido do movimento do espelho. Com que velocidade o homem está se aproximando de sua imagem, produzida pelo espelho?



- A) 10 m/s                      C) 4,0 m/s                      E) 1,0 m/s  
B) 8,0 m/s                      D) 2,0 m/s

16. (UFPEL-RS) Os espelhos planos podem ser associados, isto é, colocados lado a lado em ângulo ou dispostos paralelamente entre si. Há a possibilidade de essas associações deslocarem ou multiplicarem o número de imagens de um objeto. Baseado em seus conhecimentos sobre Óptica Geométrica, em relação às imagens produzidas entre dois espelhos planos em ângulo, é correto afirmar que

- A) existe a formação de uma única imagem, para um ângulo de  $180^\circ$ , o que, na prática, significa um único espelho.  
B) não haverá formação de imagens, quando o ângulo for de  $0^\circ$ , já que os espelhos ficam dispostos paralelamente.  
C) a expressão  $n = \left(\frac{360^\circ}{\alpha}\right) - 1$  não apresenta limitações, fornecendo o número de imagens para qualquer ângulo  $\alpha$  entre  $0^\circ$  e  $360^\circ$ .  
D) haverá a formação de 6 imagens, se os espelhos estiverem dispostos perpendicularmente.  
E) podem ser produzidas teoricamente infinitas imagens, desde que os espelhos fiquem dispostos paralelamente, ou seja,  $\alpha = 180^\circ$ .

## GABARITO

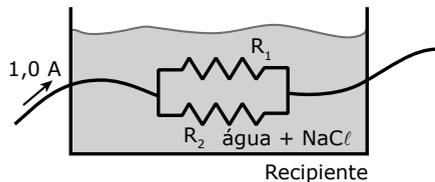
- |       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 01. E | 07. D | 13. D |
| 02. D | 08. D | 14. A |
| 03. E | 09. D | 15. C |
| 04. B | 10. D | 16. A |
| 05. D | 11. C |       |
| 06. B | 12. A |       |

## Caderno Extra

### MÓDULO 07

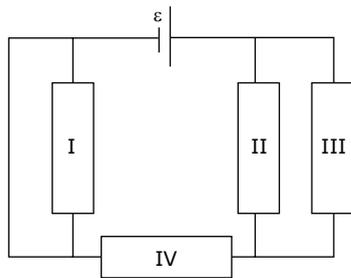
#### ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

- 01.** (UEG-GO) Na figura a seguir, tem-se dois resistores, um de  $R_1 = 50 \Omega$  e outro de  $R_2 = 100 \Omega$ , imersos em solução de cloreto de sódio, os quais são percorridos por uma intensidade de corrente elétrica.



Sobre esse processo, é correto afirmar:

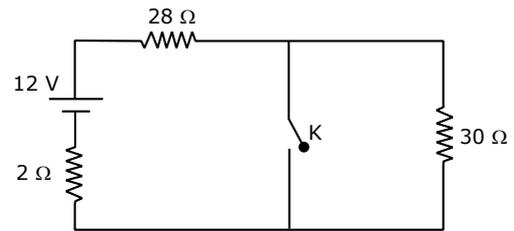
- A) A corrente elétrica é uma grandeza vetorial.  
 B) A bateria conectada ao sistema é de  $\frac{100}{3}$  V.  
 C) A intensidade de corrente elétrica no resistor de  $50 \Omega$  é  $0,5$  A.  
 D) A eletrólise do NaCl é um processo espontâneo.
- 02.** (UFMT) Os quatro resistores mostrados na figura a seguir têm, cada um, resistência igual a  $4 \Omega$  e a força eletromotriz da fonte ( $\varepsilon$ ), considerada ideal, é  $6$  V.



A partir dessas informações, pode-se afirmar que a corrente no resistor IV é

- A)  $0,75$  A.  
 B)  $0,6$  A.  
 C)  $1$  A.  
 D)  $0,9$  A.  
 E)  $2$  A.

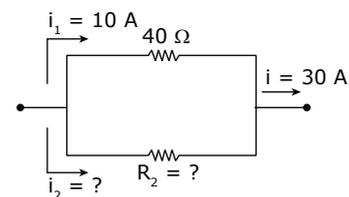
- 03.** (Unifor-CE) O circuito elétrico da figura a seguir está inicialmente com a chave K aberta, e a potência dissipada no resistor de  $28 \Omega$  é P.



Fechando-se a chave K, a nova potência dissipada, nesse resistor, é

- A)  $\frac{P}{4}$ .  
 B)  $\frac{P}{2}$ .  
 C) P.  
 D)  $2P$ .  
 E)  $4P$ .

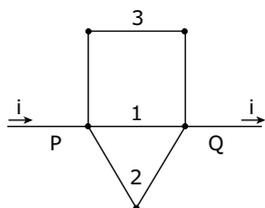
- 04.** (UFMA) No circuito a seguir, os valores de  $R_2$  e  $i_2$  são, respectivamente,



- A)  $20 \Omega$ ;  $20$  A.  
 B)  $20 \Omega$ ;  $10$  A.  
 C)  $10 \Omega$ ;  $20$  A.  
 D)  $10 \Omega$ ;  $10$  A.  
 E)  $30 \Omega$ ;  $20$  A.

- 05.** (UFC-CE) Considere dois resistores,  $R_1 = R$  e  $R_2 = 3R$ , e uma bateria de força eletromotriz  $\varepsilon$  de resistência interna nula. Quando esses elementos de circuito são ligados em série, a potência fornecida pela bateria à associação de resistores é  $P_s$ , enquanto, na associação em paralelo, a potência fornecida pela bateria aos resistores é  $P_p$ . Determine a razão  $P_s/P_p$ .

- 06.** (UEPG-PR) Seis fios condutores iguais, de resistência  $R$  cada um, são ligados como mostra a figura adiante. O conjunto é intercalado num circuito por meio dos pontos  $P$  e  $Q$ , sendo a corrente que entra em  $P$  igual a  $i$ . Sobre este circuito, assinale o que for correto.



01. Os fios condutores estão associados em série.  
 02. A resistência equivalente vale  $6R$ .  
 04. A d.d.p. entre os pontos  $P$  e  $Q$  é  $\frac{6R}{11}i$ .  
 08. A energia dissipada no circuito é  $(V_p - V_Q)i$ .  
 16. As correntes nos ramos 1, 2 e 3 são, respectivamente,  $\frac{6i}{11}, \frac{3i}{11}, \frac{2i}{11}$ .

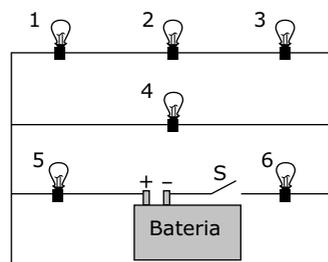
Soma ( )

- 07.** (PUC Rio) Calcule a resistência do circuito formado por 10 resistores de  $10 \text{ k}\Omega$ , colocados todos em paralelo entre si, e em série com 2 resistores de  $2 \text{ k}\Omega$ , colocados em paralelo.  
 A)  $1 \text{ k}\Omega$   
 B)  $2 \text{ k}\Omega$   
 C)  $5 \text{ k}\Omega$   
 D)  $7 \text{ k}\Omega$   
 E)  $9 \text{ k}\Omega$
- 08.** (PUC Rio) Três resistores idênticos são colocados de tal modo que dois estão em série entre si e ao mesmo tempo em paralelo com o terceiro resistor. Dado que a resistência efetiva é de  $2 \Omega$ , quanto vale a resistência de cada um destes resistores em ohms ( $\Omega$ )?  
 A)  $100 \Omega$                       D)  $10 \Omega$   
 B)  $30 \Omega$                         E)  $3 \Omega$   
 C)  $1 \Omega$
- 09.** (UESPI) No cuidado com o planeta, a reciclagem é uma das estratégias mais eficientes. Um técnico guardou três resistores iguais de  $1 \Omega$ .

- Assinale o valor de resistência que ele não será capaz de obter, utilizando todos os três resistores.  
 A)  $1/3 \Omega$   
 B)  $2/3 \Omega$   
 C)  $1 \Omega$   
 D)  $3/2 \Omega$   
 E)  $3 \Omega$

- 10.** (PUC Rio) Três resistores, A ( $R_A = 2,0 \text{ k}\Omega$ ), B ( $R_B = 2,0 \text{ k}\Omega$ ) e C ( $R_C = 4,0 \text{ k}\Omega$ ), formam um circuito colocado entre os terminais de uma bateria cuja d.d.p. é  $9,0 \text{ V}$ . A corrente total é  $I = 1,8 \text{ mA}$ . Descreva o circuito correto.  
 A) A e B em paralelo entre si e em série com C.  
 B) A, B e C em paralelo entre si.  
 C) A e C em paralelo entre si e em série com B.  
 D) A, B e C em série.  
 E) A e C em série, e B não sendo usado.

- 11.** (PUC-PR) No circuito a seguir, todas as lâmpadas têm a mesma resistência de  $20 \Omega$  e a bateria fornece uma diferença de potencial de  $12 \text{ volts}$  entre os seus terminais. São necessários pelo menos  $10 \text{ watts}$  numa lâmpada para que ela acenda. Assim, quando a chave  $S$  é fechada,

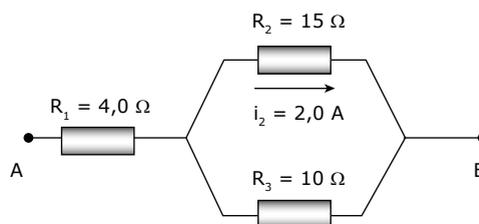


- I. as lâmpadas 5 e 6 acendem.  
 II. a lâmpada 6 acende.  
 III. todas as lâmpadas acendem.  
 IV. nenhuma lâmpada acende.

Avalie as assertivas anteriores e marque a alternativa correta.

- A) As assertivas I, II e III são verdadeiras.  
 B) Apenas as assertivas I e II são verdadeiras.  
 C) Apenas a assertiva IV é verdadeira.  
 D) Apenas a assertiva II é verdadeira.  
 E) Apenas a assertiva I é verdadeira.

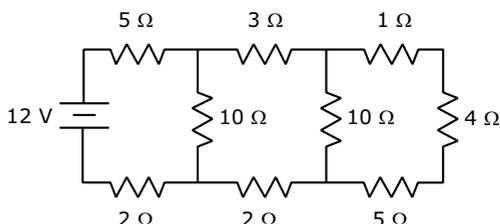
- 12.** (FEPECS-DF) Considere a figura:



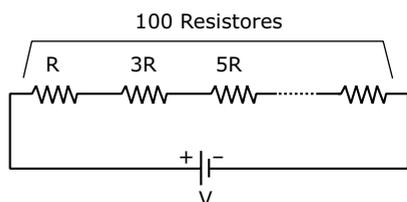
Nessa figura, tem-se:  $R_1 = 4 \Omega$ ,  $R_2 = 15 \Omega$ ,  $R_3 = 10 \Omega$ ; e a corrente que passa por  $R_2$  é de  $2,0 \text{ A}$ . A diferença de potencial entre os pontos  $A$  e  $B$  é de

- A)  $10 \text{ V}$ .                      C)  $30 \text{ V}$ .                      E)  $50 \text{ V}$ .  
 B)  $20 \text{ V}$ .                      D)  $40 \text{ V}$ .

13. (UNIFEI-MG) Para o circuito elétrico mostrado na figura, pode-se dizer que a resistência equivalente e a corrente que passa pelo resistor de  $4 \Omega$  valem

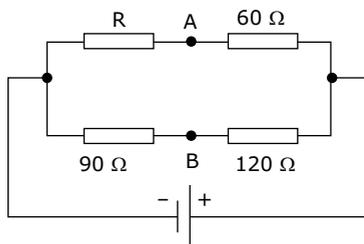


- A)  $10 \Omega$  e  $0,75 \text{ A}$ .  
 B)  $12 \Omega$  e  $0,25 \text{ A}$ .  
 C)  $5 \Omega$  e  $1,00 \text{ A}$ .  
 D)  $10 \Omega$  e  $1,25 \text{ A}$ .
14. (UEG-GO) Considere um circuito formado por 100 (cem) resistores ôhmicos associados em série e ligados a uma tensão  $U$  de 100 volts. Sabe-se que o valor da resistência de cada resistor, a partir do segundo, é igual ao do anterior adicionado a um número fixo.



Se a resistência do primeiro resistor é  $R = 10 \text{ m}\Omega$ , qual a intensidade de corrente elétrica no circuito?

- A)  $0,10 \text{ A}$   
 B)  $1,0 \text{ A}$   
 C)  $10 \text{ A}$   
 D)  $100 \text{ A}$
15. (Unesp) Um circuito contendo quatro resistores é alimentado por uma fonte de tensão, conforme figura.



Calcule o valor da resistência  $R$ , sabendo-se que o potencial eletrostático em  $A$  é igual ao potencial em  $B$ .

## GABARITO

01. B  
 02. C  
 03. E  
 04. A  
 05.  $\frac{P_s}{P_p} = \frac{3}{16}$   
 06. Soma = 20  
 07. B  
 08. E  
 09. C  
 10. A  
 11. C  
 12. E  
 13. B  
 14. B  
 15.  $R = 45 \Omega$

## MÓDULO 08

### RESISTORES NO DIA A DIA

01. (FFFCMPA-RS) Considere que você possui lâmpadas incandescentes que suportam uma tensão de até  $110 \text{ V}$ . Se na sua residência a rede é de  $220 \text{ V}$ , de que forma você poderia ligar essas lâmpadas de modo a não romper o filamento e obter a potência máxima em cada uma?
- A) Duas lâmpadas em paralelo.  
 B) Duas lâmpadas em paralelo e uma em série com esse conjunto.  
 C) Duas lâmpadas em série.  
 D) Três lâmpadas em série.  
 E) Independentemente da forma, a potência máxima obtida em cada lâmpada será a mesma.

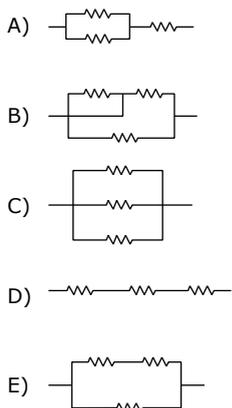
- 02.** (UFF-RJ) Em dias frios, o chuveiro elétrico é geralmente regulado para a posição “inverno”. O efeito dessa regulagem é alterar a resistência elétrica do resistor do chuveiro de modo a aquecer mais, e mais rapidamente, a água do banho. Para isso, essa resistência deve ser
- diminuída, aumentando-se o comprimento do resistor.
  - aumentada, aumentando-se o comprimento do resistor.
  - diminuída, diminuindo-se o comprimento do resistor.
  - aumentada, diminuindo-se o comprimento do resistor.
  - aumentada, aumentando-se a voltagem nos terminais do resistor.

- 03.** (PUC Minas) Quatro estudantes discutiam sobre o consumo de energia de duas lâmpadas elétricas: uma em cujo bulbo se lê 60 W – 120 V, e outra em cujo bulbo se lê 100 W – 120 V. A primeira foi ligada em 120 V durante 15 minutos e a segunda foi ligada em 120 V durante 8 minutos.

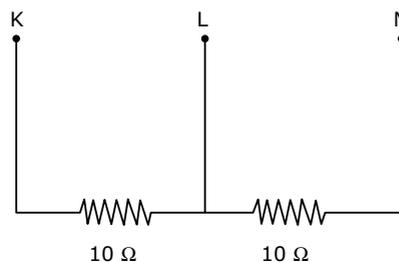
Entre as afirmativas feitas pelos estudantes, a correta é:

- O maior consumo sempre é o da lâmpada de maior potência.
- O maior consumo, no presente caso, foi o da lâmpada de 60 W.
- O maior consumo sempre é o da lâmpada de menor potência.
- O consumo foi igual para ambas, porque foram ligadas na mesma tensão.

- 04.** (Unesp) Um indivíduo deseja fazer com que o aquecedor elétrico central de sua residência aqueça a água do reservatório no menor tempo possível. O aquecedor possui um resistor com resistência R. Contudo, ele possui mais dois resistores exatamente iguais ao instalado no aquecedor e que podem ser utilizados para esse fim. Para que consiga seu objetivo, tomando todas as precauções para evitar acidentes, e considerando que as resistências não variem com a temperatura, ele deve utilizar o circuito



- 05.** (UFMG) Gabriel possui um chuveiro, cujo elemento de aquecimento consiste em dois resistores, de  $10\ \Omega$  cada um, ligados da forma representada na figura. Quando morava em Brasília, onde a diferença de potencial da rede elétrica é de 220 V, Gabriel ligava o chuveiro pelos terminais K e M, indicados na figura. Ao mudar-se para Belo Horizonte, onde a diferença de potencial é de 110 V, passou a ligar o mesmo chuveiro pelos terminais K e L. É correto afirmar que, comparando-se com Brasília, em Belo Horizonte, nesse chuveiro,



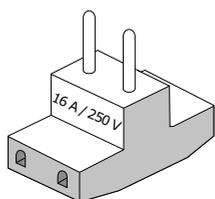
- a corrente elétrica é a mesma e menos calor por unidade de tempo é fornecido à água.
- a corrente elétrica é menor e menos calor por unidade de tempo é fornecido à água.
- a corrente elétrica é a mesma e a mesma quantidade de calor por unidade de tempo é fornecida à água.
- a corrente elétrica é maior e a mesma quantidade de calor por unidade de tempo é fornecida à água.

- 06.** (CEFET-MG) Usualmente os dispositivos elétricos de uma residência (lâmpadas, chuveiro, geladeira, rádio, televisão) são ligados em \_\_\_\_\_ e submetidos a uma diferença de potencial \_\_\_\_\_. Nessas condições, um chuveiro elétrico de 2 500 W, funcionando durante uma hora, consome \_\_\_\_\_ energia que uma lâmpada de 100 W acesa durante 24 horas.

A opção que completa, corretamente, as lacunas anteriores é:

- paralelo, contínua, menos
- paralelo, alternada, mais
- paralelo, contínua, mais
- série, constante, menos
- série, alternada, mais

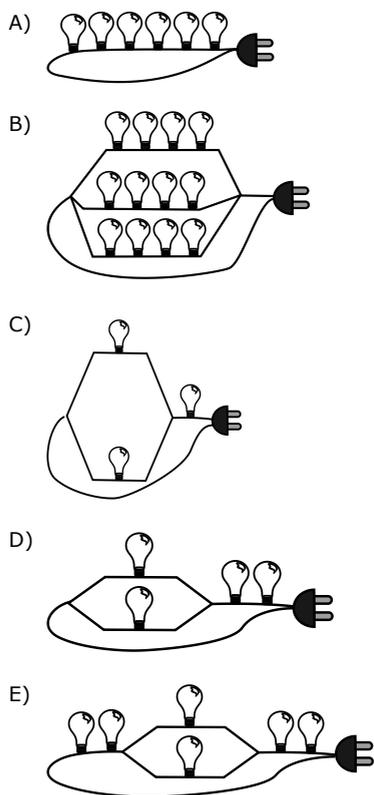
- 07.** (UFTM-MG) O benjamim consiste em um “multiplicador do número de tomadas”, permitindo que em um mesmo ponto da parede sejam ligados até três aparelhos elétricos. Naturalmente, o aumento de corrente elétrica pode causar danos a essa peça que tem sido causa de alguns incêndios residenciais. Por esse motivo, há uma inscrição limitando a corrente elétrica à qual o benjamim pode estar sujeito.



Em um benjamim, foi lida a inscrição 16 A / 250 V. Ao utilizá-lo em 110 V, admitindo que sua resistência elétrica não varie, deve-se esperar que por ele passe uma corrente elétrica, em A, aproximadamente igual a

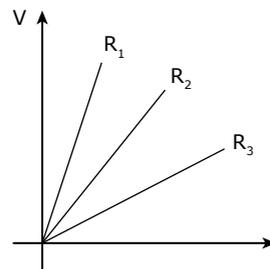
- A) 7.
- B) 16.
- C) 24.
- D) 30.
- E) 36.

**08.** (UFV-MG) Em alguns circuitos de iluminação de árvores de Natal, possuindo lâmpadas de mesmas resistências, observa-se que, quando uma lâmpada “queima”, um segmento apaga, enquanto outros segmentos continuam normalmente acesos. Além disso, mesmo com alguma lâmpada “queimada”, as lâmpadas acesas devem estar submetidas a uma mesma diferença de potencial, a fim de apresentarem a mesma luminosidade. Pode-se então afirmar que, dos diagramas seguintes ilustrados, o que melhor representa esse tipo de circuito de iluminação é

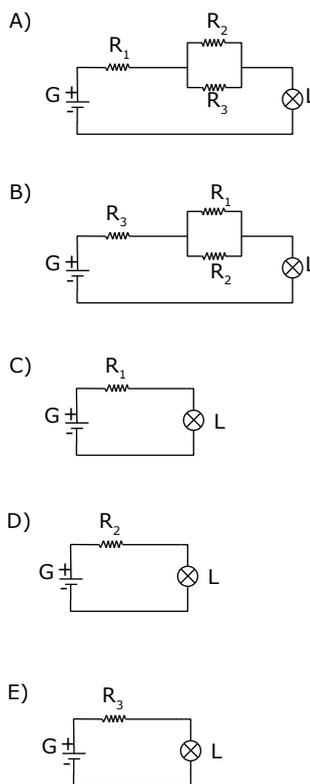


- 09.** (UFES) Duas lâmpadas de mesma resistência são ligadas em série e o conjunto é submetido a uma tensão  $V$ . Nessa configuração, o conjunto dissipa uma potência total  $P_s = 200 \text{ W}$ . Se essas mesmas lâmpadas forem ligadas em paralelo e o conjunto submetido à mesma tensão  $V$ , a potência total  $P_p$  dissipada pelo conjunto será de
- A) 100 W.
  - B) 200 W.
  - C) 400 W.
  - D) 600 W.
  - E) 800 W.

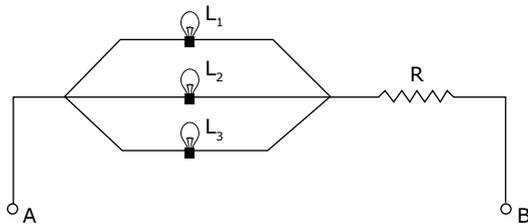
- 10.** (Unesp) Três resistores, de resistências elétricas  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ , um gerador  $G$  e uma lâmpada  $L$  são interligados, podendo formar diversos circuitos elétricos. Num primeiro experimento, foi aplicada uma tensão variável  $V$  aos terminais de cada resistor e foi medida a corrente  $i$  que o percorria, em função da tensão aplicada. Os resultados das medições estão apresentados no gráfico, para os três resistores.



Considere agora os circuitos elétricos das alternativas a seguir. Em nenhum deles a lâmpada  $L$  queimou. A alternativa que representa a situação em que a lâmpada acende com maior brilho é

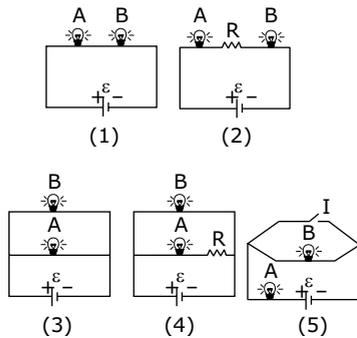


- 11.** (Mackenzie-SP) As três lâmpadas,  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ , ilustradas na figura a seguir, são idênticas e apresentam as seguintes informações nominais:  $0,5 \text{ W} - 6,0 \text{ V}$ . Se a diferença de potencial elétrico entre os terminais A e B for  $12 \text{ V}$ , para que essas lâmpadas possam ser associadas de acordo com a figura e “operando” segundo suas especificações de fábrica, pode-se associar a elas o resistor de resistência elétrica  $R$  igual a



- A)  $6 \Omega$ .                      C)  $18 \Omega$ .                      E)  $30 \Omega$ .  
 B)  $12 \Omega$ .                      D)  $24 \Omega$ .

- 12.** (UFSC) Nos circuitos a seguir, A e B são duas lâmpadas cujos filamentos têm resistências iguais;  $R$  é a resistência de outro dispositivo elétrico;  $\varepsilon$  é uma bateria de resistência elétrica desprezível; e  $I$  é um interruptor aberto.



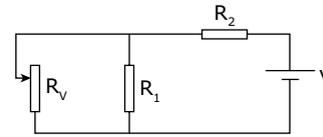
Sabendo-se que o brilho das lâmpadas cresce quando a intensidade da corrente elétrica aumenta, é correto afirmar que:

01. No circuito 1, a lâmpada A brilha mais do que a B.  
 02. No circuito 2, as lâmpadas A e B têm o mesmo brilho.  
 04. No circuito 3, uma das lâmpadas brilha mais do que a outra.  
 08. No circuito 4, a lâmpada B brilha mais do que a A.  
 16. No circuito 5, se o interruptor I for fechado, aumenta o brilho da lâmpada B.

Soma (    )

- 13.** (PUC RS) No esquema de circuito elétrico a seguir,  $R_V$  representa a resistência de um reostato, cujo valor é variável desde zero até um valor máximo, dependendo da posição do cursor C. Esse tipo de dispositivo é utilizado, por exemplo, em interruptores conectados a uma lâmpada, para permitir alterações no seu brilho.

Os valores das resistências  $R_1$  e  $R_2$  dos demais resistores são fixos.  $V$  é a tensão fornecida ao circuito, cujo valor é mantido constante.

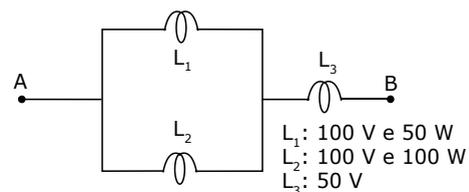


Considerando as informações anteriores, é correto afirmar que

- A) a intensidade de corrente elétrica no circuito é máxima se o valor da resistência do reostato for máxima.  
 B) a resistência equivalente do circuito é mínima se o valor da resistência do reostato é nulo.  
 C) para qualquer valor da resistência do reostato, as intensidades de corrente que passam por  $R_1$  e  $R_V$  são iguais.  
 D) se o valor de  $R_2$  é muito pequeno, a corrente que passa por  $R_1$  e por  $R_V$  pode tender a zero.  
 E) independentemente do valor de  $R_V$ , a tensão sobre  $R_2$  se mantém constante.

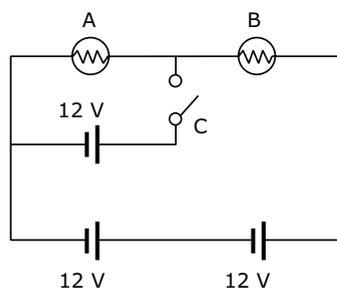
- 14.** (Unesp) Um estudante de Física construiu um aquecedor elétrico utilizando um resistor. Quando ligado a uma tomada cuja tensão era de  $110 \text{ V}$ , o aquecedor era capaz de fazer com que  $1$  litro de água, inicialmente a uma temperatura de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , atingisse seu ponto de ebulição em  $1$  minuto. Considere que  $80\%$  da energia elétrica era dissipada na forma de calor pelo resistor equivalente do aquecedor, que o calor específico da água é  $1 \text{ cal}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$ , que a densidade da água vale  $1 \text{ g}/\text{cm}^3$  e que  $1$  caloria é igual a  $4$  joules. Determine o valor da resistência elétrica, em ohms, do resistor utilizado.

- 15.** (FUVEST-SP) A figura a seguir mostra um trecho de circuito com 3 lâmpadas funcionando de acordo com as características especificadas. Os pontos A e B estão ligados numa rede elétrica. A potência dissipada por  $L_3$  é



- A)  $75 \text{ W}$ .  
 B)  $50 \text{ W}$ .  
 C)  $150 \text{ W}$ .  
 D)  $300 \text{ W}$ .  
 E)  $200 \text{ W}$ .

16. (UFRGS-RS) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto a seguir, na ordem em que aparecem. No circuito esquematizado na figura que segue, as lâmpadas A e B são iguais e as fontes de tensão são ideais.



Quando a chave C é fechada, o brilho da lâmpada A \_\_\_\_\_ e o brilho da lâmpada B \_\_\_\_\_.

- A) aumenta – diminui
- B) aumenta – não se altera
- C) diminui – aumenta
- D) não se altera – diminui
- E) não se altera – não se altera

## GABARITO

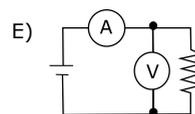
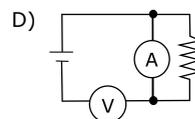
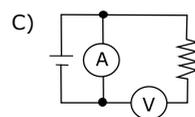
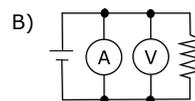
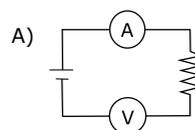
- 01. C
- 02. C
- 03. B
- 04. C
- 05. A
- 06. B
- 07. A
- 08. B
- 09. E
- 10. E

- 11. D
- 12. Soma = 10
- 13. B
- 14.  $R \cong 1,8 \Omega$
- 15. C
- 16. E

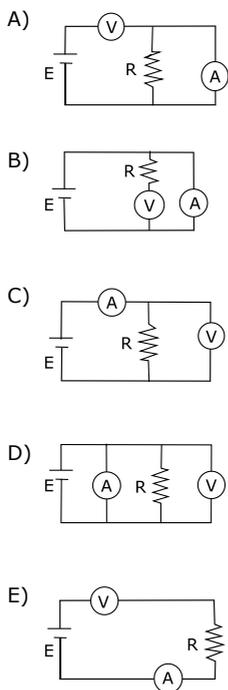
## MÓDULO 09

### INSTRUMENTOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS

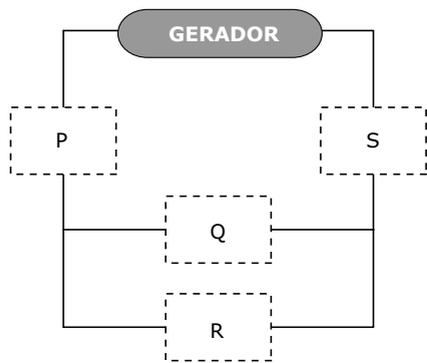
01. (Cesgranrio) Qual das alternativas a seguir mostra a ligação adequada de um amperímetro A e de um voltímetro V, ambos ideais, de modo a permitir uma correta medida da corrente e da queda de tensão no resistor?



02. (PUC-SP) Dispõe-se de um gerador de f.e.m.  $E$ , de um voltímetro  $V$  e de um amperímetro  $A$ , todos ideais. Para determinar o valor da corrente elétrica que atravessa o resistor  $R$  e a diferença de potencial a que os terminais do mesmo resistor estão submetidos, deve-se escolher a montagem



03. (FMPA-MG) Para estudar como a resistência  $R$  de uma lâmpada varia quando ela é submetida a diferentes tensões, uma pessoa pretende montar o circuito a seguir, colocando nele os elementos: lâmpada, voltímetro, amperímetro e reostato. As posições adequadas para colocar esses elementos no circuito são, respectivamente,

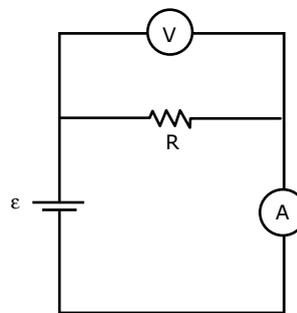


- A) P, Q, R, S.
- B) Q, R, P, S.
- C) P, R, S, Q.
- D) S, P, R, Q.
- E) R, S, Q, P.

04. (UFMG) Mariana deseja projetar um circuito elétrico para iluminar uma casinha de bonecas. Ela dispõe de uma bateria de 12 V, dois interruptores, fios e duas lâmpadas. A primeira, com as especificações de 12 V e 20 W, e a segunda, com as especificações de 12 V e 10 W.

- A) Desenhe um diagrama esquemático de um circuito que Mariana pode montar em que as duas lâmpadas, alimentadas pela bateria, possam ser ligadas e desligadas independentemente, usando-se interruptores. Nomeie corretamente cada um dos elementos do circuito.
- B) Mariana decide incluir um voltímetro e um amperímetro no circuito, para medir a diferença de potencial e a corrente elétrica na lâmpada de 20 W. Desenhe, novamente, o diagrama do circuito, incluindo um voltímetro e um amperímetro colocados nas posições corretas em que Mariana deve ligá-los. Nomeie corretamente cada um dos elementos do circuito.
- C) Considere que, no circuito, ambas as lâmpadas estão acesas. Calcule o valor da corrente elétrica fornecida pela bateria nessa situação.

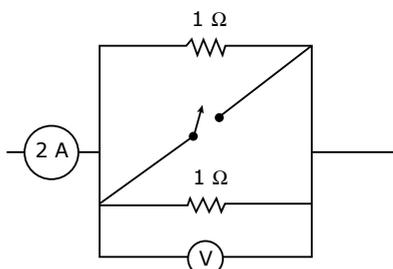
05. (Vunesp) No circuito da figura, a fonte é uma bateria de f.e.m.  $\epsilon = 12 \text{ V}$ , o resistor tem resistência  $R = 1\,000 \, \Omega$ ,  $V$  representa um voltímetro e  $A$ , um amperímetro.



Determine as leituras desses medidores

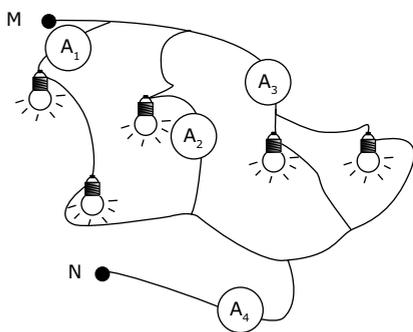
- A) em condições ideais, ou seja, supondo que os fios, o gerador e o amperímetro não tenham resistência elétrica e a resistência elétrica do voltímetro seja infinita.
- B) em condições reais, em que a resistência elétrica da bateria, do amperímetro e do voltímetro são  $r = 1 \, \Omega$ ,  $R_A = 50 \, \Omega$  e  $R_V = 10\,000 \, \Omega$ , respectivamente, desprezando-se apenas a resistência elétrica dos fios de ligação.

06. (UFRJ) O esquema da figura mostra uma parte de um circuito elétrico de corrente contínua. O amperímetro mede sempre uma corrente de 2 A, e as resistências valem  $1 \Omega$  cada uma. O voltímetro está ligado em paralelo com uma das resistências.

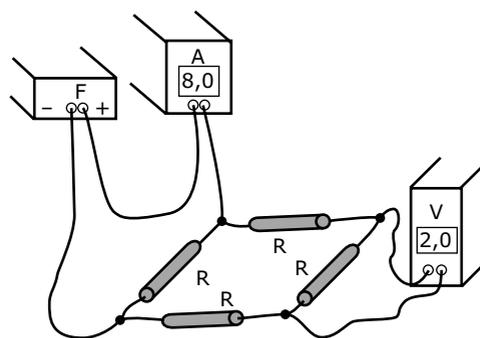


- A) Calcule a leitura do voltímetro com a chave interruptora aberta.  
 B) Calcule a leitura do voltímetro com a chave interruptora fechada.

07. (FUVEST-SP) Para um teste de controle, foram introduzidos três amperímetros ( $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ ) em um trecho de circuito, entre M e N, por onde passa uma corrente total de 14 A (indicada pelo amperímetro  $A_4$ ). Nesse trecho, encontram-se cinco lâmpadas, interligadas como na figura, cada uma delas com resistência invariável  $R$ . Nessas condições, os amperímetros  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  indicarão, respectivamente, correntes  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  com valores aproximados de

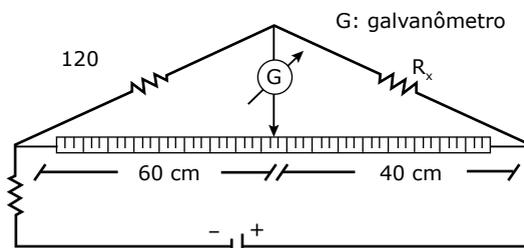


- A) 1,0 A; 2,0 A; 11 A.  
 B) 1,5 A; 3,0 A; 9,5 A.  
 C) 2,0 A; 4,0 A; 8,0 A.  
 D) 5,0 A; 3,0 A; 6,0 A.  
 E) 8,0 A; 4,0 A; 2,0 A.
08. (FUVEST-SP) Considere a montagem adiante, composta por 4 resistores iguais  $R$ , uma fonte de tensão  $F$ , um medidor de corrente  $A$ , um medidor de tensão  $V$  e fios de ligação. O medidor de corrente indica 8,0 A e o de tensão, 2,0 V. Pode-se afirmar que a potência total dissipada nos 4 resistores é, aproximadamente, de



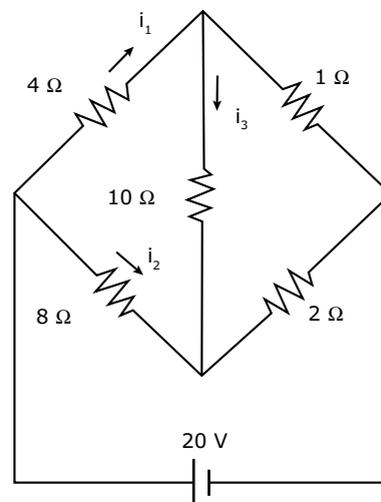
- A) 8 W.                      C) 32 W.                      E) 64 W.  
 B) 16 W.                      D) 48 W.

09. (Unicube-MG) Quando a ponte de Wheatstone (ponte de fio) está em equilíbrio ( $i_G = 0$ ), conforme figura a seguir, o valor de  $R_x$  é



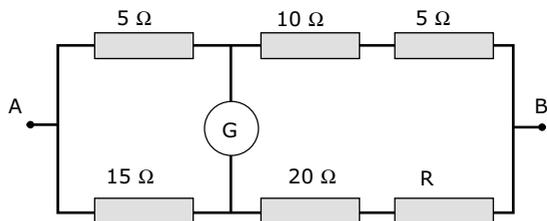
- A) 40 Ω.                      C) 80 Ω.                      E) 180 Ω.  
 B) 60 Ω.                      D) 120 Ω.

10. (Vunesp) No circuito a seguir, os fios de ligação têm resistência desprezível. As correntes  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$  valem, respectivamente,



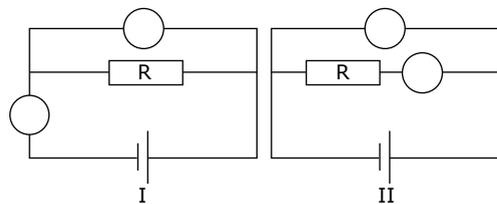
- A)  $i_1 = 4 \text{ A}$ ;  $i_2 = 2 \text{ A}$ ;  $i_3 = 1 \text{ A}$ .  
 B)  $i_1 = 2 \text{ A}$ ;  $i_2 = 4 \text{ A}$ ;  $i_3 = 0$ .  
 C)  $i_1 = 4 \text{ A}$ ;  $i_2 = 2 \text{ A}$ ;  $i_3 = 2 \text{ A}$ .  
 D)  $i_1 = 4 \text{ A}$ ;  $i_2 = 2 \text{ A}$ ;  $i_3 = 0$ .  
 E)  $i_1 = 2 \text{ A}$ ;  $i_2 = 2 \text{ A}$ ;  $i_3 = 2 \text{ A}$ .

11. (Mackenzie-SP) No circuito a seguir, a d.d.p. entre os terminais A e B é de 60 V e o galvanômetro G acusa uma intensidade de corrente elétrica zero. Se a d.d.p. entre os terminais A e B for duplicada e o galvanômetro continuar acusando zero, podemos afirmar que



- A) a resistência R permanecerá constante e igual a 25 ohms.
- B) a resistência R permanecerá constante e igual a 15 ohms.
- C) a resistência R permanecerá constante e igual a 10 ohms.
- D) a resistência R, que era de 25 ohms, será alterada para 50 ohms.
- E) a resistência R, que era de 50 ohms, será alterada para 12,5 ohms.

12. (UFMG) A resistência elétrica de um dispositivo é definida como a razão entre a diferença de potencial e a corrente elétrica nele. Para medir a resistência elétrica R de um resistor, Rafael conectou a esse dispositivo, de duas maneiras diferentes, um voltímetro, um amperímetro e uma bateria, como representado nestas figuras:

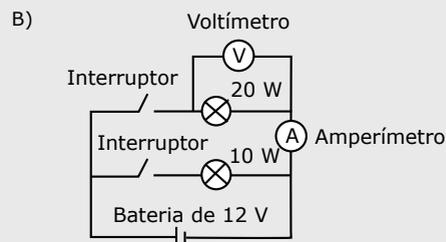
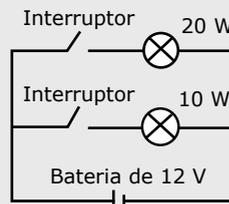


Nessas figuras, os círculos representam os medidores, e o retângulo, o resistor. Considerando essas informações,

- A) Identifique, diretamente nessas duas figuras, com a letra V, os círculos que representam os voltímetros e, com a letra A, os círculos que representam os amperímetros. Justifique sua resposta.
- B) Identifique o circuito, I ou II, em que o valor obtido para a resistência elétrica do resistor é maior. Justifique sua resposta.

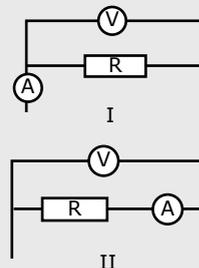
## GABARITO

- 01. E
- 02. C
- 03. B
- 04. A)



- C) 2,5 A
- 05. A) 12 V e 12 mA
- B) 11,4 V e 12,5 mA
- 06. A) 1 V
- B) Zero

- 07. C
- 08. D
- 09. C
- 10. D
- 11. A
- 12. A)



O voltímetro deve ser ligado em paralelo com o resistor, e o amperímetro, em série.

- B) O valor das resistências obtidas pelo quociente entre a leitura do voltímetro e a leitura do amperímetro são:

$$R_I = \frac{R}{1 + (R_v / R)} \text{ e } R_{II} = R + R_A$$

em que  $R_A$  e  $R_v$  são as resistências internas do amperímetro e do voltímetro. Portanto,  $R_{II} > R$ , pois  $R_{II} > R$  e  $R_I < R$ .