



**APOSTILA DE ELETROMECCÂNICA**

# **FÍSICA**

# **APLICADA**

**PROFESSORA: NEIDE MARIA DOS REIS**

# Sumário

## PARTE 1

1. Descrição do movimento.
  - 1.1. Movimento Uniforme e seus gráficos.
  - 1.2. Movimento com velocidade variável e seus gráficos.
  - 1.3. Queda Livre.
  - 1.4. Resoluções de problemas.

## PARTE 2

2. Grandezas vetoriais.
  - 2.1. Vetores.
  - 2.2. Velocidade e aceleração vetoriais.
  - 2.3. Movimentos circulares e retilíneos.
  - 2.4. Resoluções de problemas.

## PARTE 3

3. Forças em Dinâmica.
  - 3.1. Princípios fundamentais.
  - 3.2. Resolução de problemas.

## PARTE 4

4. Princípios de conservação.
  - 4.1. Trabalho, potência, rendimento.
  - 4.2. Energia.
  - 4.3. Peso e peso específico, corpo, massa, densidade.
  - 4.4. Resoluções de problemas.

## PARTE 5

5. Temperatura.
  - 5.1. Termometria- escalas.
  - 5.2. Dilatação térmica ( sólidos e líquidos).
  - 5.3. Estudo dos gases.
  - 5.4. Resoluções de problemas.

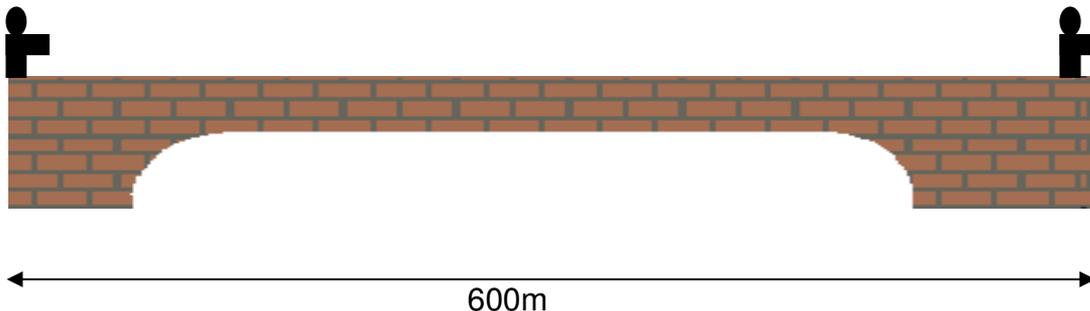
## PARTE 6

6. Calor.
  - 6.1. Calorimetria.
  - 6.2 Propagação do calor.
  - 6.3. Leis da Termodinâmica.
  - 6.4. Resoluções de problemas.

### 1- DESCRIÇÃO DO MOVIMENTO

- **PONTO MATERIAL (PARTÍCULA)**

Imagine uma pessoa caminhando e atravessando uma ponte de extensão 600 metros. O tamanho desta pessoa comparado ao tamanho da ponte é insignificante e então pode ser desprezado no equacionamento deste movimento. Logo, esta pessoa é considerada uma partícula ou um ponto material.



**PONTO MATERIAL É TODO CORPO CUJAS DIMENSÕES NÃO ALTERAM O ESTUDO DE QUALQUER FENÔMENO DE QUE ELE PARTICIPE.**

- **REFERENCIAL, MOVIMENTO E REPOUSO.**

Definimos como **REFERENCIAL OU SISTEMA DE REFERÊNCIA** um corpo, ou parte dele, em relação ao qual identificamos se um móvel está em movimento ou em repouso.

Considere uma pessoa em seu carro, trafegando em uma rua calma.

Ao passar por um grupo de estudantes parados em um ponto de ônibus, começa uma discussão entre eles.

Um dos estudantes afirma: “O motorista daquele carro está em movimento”. Um outro colega se opõe à afirmação: “Não é o motorista que está em movimento e sim o seu carro”. Um terceiro colega tenta aliviar a discussão explicando: “Se considerarmos o ponto de ônibus como referencial, tanto o motorista como o carro estão em movimento, mas se o referencial considerado for o volante do carro, ambos estão em repouso”.

Um corpo está em **MOVIMENTO**, quando a distância entre ele e o referencial adotado se altera; e, está em **REPOUSO**, quando a distância entre ele e o referencial adotado permanece constante.

**TAXI**

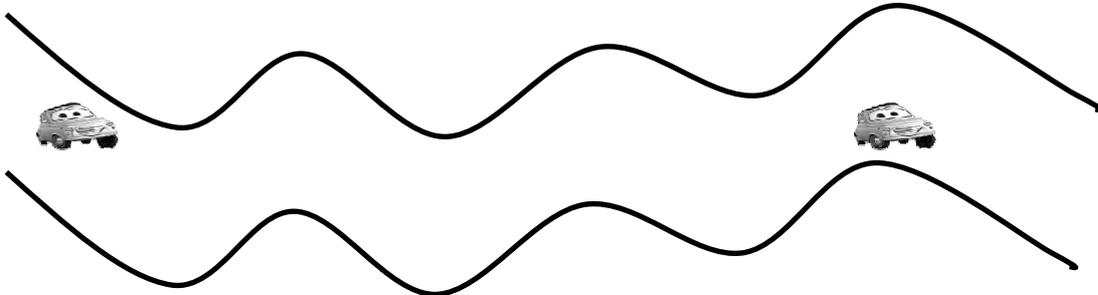
**MOVIMENTO E REPOUSO SÃO CONCEITOS RELATIVOS E DEPENDEM SEMPRE DO REFERENCIAL ADOTADO.**

- **TRAJETÓRIA**

**A TRAJETÓRIA É A UNIÃO DE TODAS AS POSIÇÕES QUE UM**

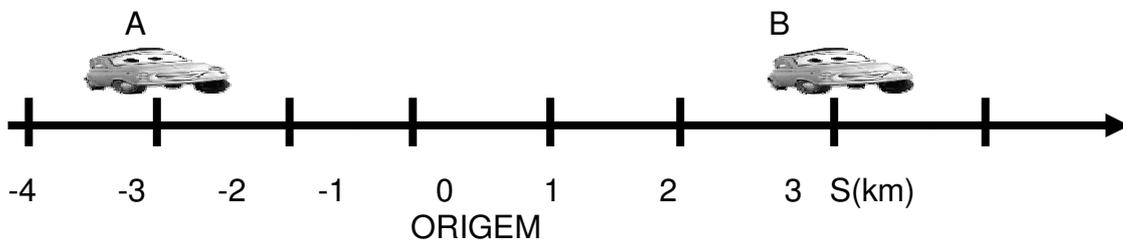
### CORPO OCUPA AO SE DESLOCAR.

Considere um carro passando por uma estrada coberta com uma fina camada de neve. As marcas dos pneus do carro determinam sua trajetória para aquele deslocamento.



- **POSIÇÃO OU ESPAÇO (S) ESCALAR DE UM CORPO NUMA TRAJETÓRIA.**

A posição de um corpo está vinculada a um ponto da trajetória que nomearemos “ORIGEM DOS ESPAÇOS” e que será o nosso referencial na determinação das posições (espaços). Na figura abaixo, os carros A e B estão a uma mesma distância da “ORIGEM” (MARCO ZERO), porém o A está à esquerda e o B à direita da origem. Note que, para definir a posição de um corpo na trajetória, o sinal positivo (+) e o sinal negativo (-) são muito importantes para identificar o lado em que se encontra o corpo em relação à “ORIGEM”.



ESPAÇO É A MEDIDA ALGÉBRICA DESDE A ORIGEM ATÉ O CORPO ESTUDADO. O ESPAÇO PODE SER POSITIVO (CORPO A) OU NEGATIVO (CORPO B). O ESPAÇO SERÁ NULO ( $S=0$ ) QUANDO O CORPO ESTUDADO ESTIVER NA ORIGEM DOS ESPAÇOS.

- **ESPAÇO INICIAL ( $S_0$ ) E DESLOCAMENTO ESCALAR (DS)**

Espaço inicial é a posição ocupada pelo corpo quando este inicia o seu movimento.

TODO MOVIMENTO SE INICIA NA “ORIGEM DOS TEMPOS”

( $t=0$ )

Por exemplo, na figura anterior, se o tempo fosse “ZERO”, os espaços iniciais dos carros A e B seriam:  $S_{0A} = -3\text{km}$  e  $S_{0B} = +3\text{km}$   
Deslocamento escalar é a diferença entre as posições ocupadas pelo corpo entre o início e o fim do movimento.

- VELOCIDADE ESCALAR MÉDIA ( $V_m$ )

A velocidade escalar média de um corpo é o quociente entre seu deslocamento e o tempo que ele gastou para se deslocar.

$\Delta S = S_f - S_0$  (deslocamento escalar)

$\Delta t = t_f - t_0$  (intervalo de tempo)

$$V_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_f - s_0}{t_f - t_0}$$

S.I. (Sistema Internacional de Unidades)

$V = \text{m/s}$  (metro/segundo)

$t = \text{s}$  (segundo)

$a = \text{m/s}^2$  (metro/segundo ao quadrado)

$V = \text{km}$  (quilômetro/hora)

$t = \text{h}$  (hora)

$a = \text{km/h}^2$  (quilômetro/hora ao quadrado)

### 1.1- MOVIMENTO UNIFORME

Um movimento é dito uniforme quando sua velocidade tem módulo constante e não nula e sua aceleração será constante e nula. Neste caso a função horária dos espaços  $S=f(t)$  é de primeiro grau.

- FUNÇÃO HORÁRIA DOS ESPAÇOS.

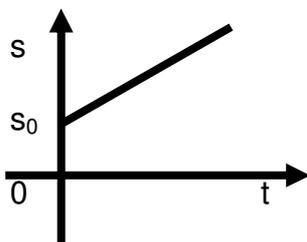
Sendo o movimento uniforme, sua velocidade será constante e sua função horária será:

$$S_f = S_0 + v \cdot t$$

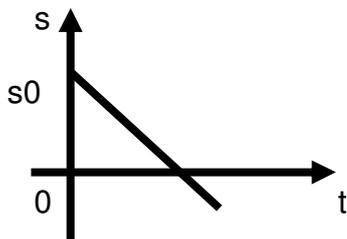
- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MOVIMENTO UNIFORME

$$S = f(t)$$

Como a função horária dos espaços é de 1º grau, seu gráfico será uma reta crescente se o movimento for progressivo ( $V > 0$ ).

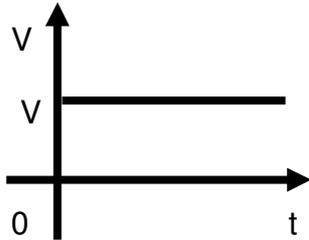


e uma reta decrescente se o movimento for retrógrado ( $V < 0$ ).

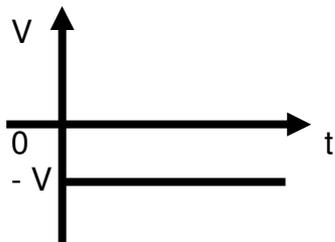


$V = f(t)$

Como a velocidade é constante, seus valores médios e instantâneos serão iguais para qualquer instante. Sua representação gráfica será uma reta constante acima do eixo dos tempos se a velocidade for positiva e abaixo do eixo se for negativa.

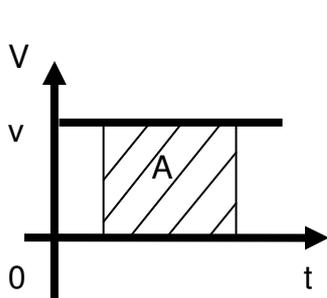


movimento progressivo (a favor da trajetória)



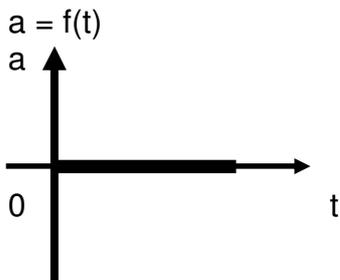
movimento retrógrado (contra a trajetória)

4.3-  $a = f(t)$



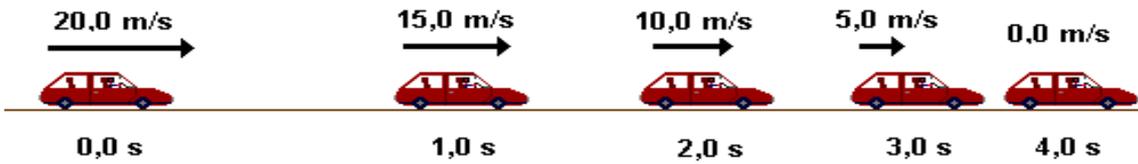
$N$   
 $A = \Delta S$

Como a velocidade é constante, a aceleração para qualquer instante será nula independentemente do movimento ser progressivo ou retrógrado.



## 1.2- MOVIMENTO COM VELOCIDADE VARIÁVEL

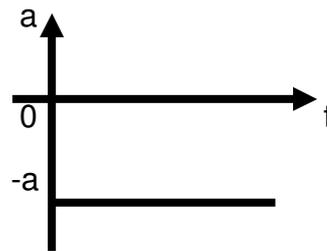
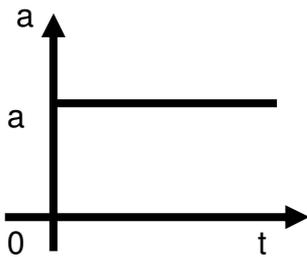
(MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO)



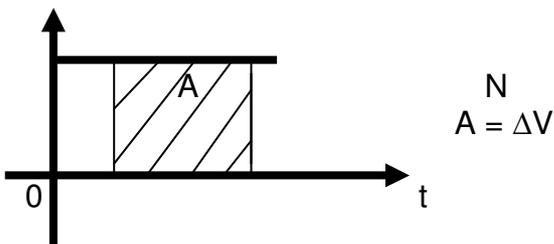
O movimento uniformemente variado tem a velocidade com módulo variável e a aceleração com módulo constante e não nulo. A função horária dos espaços  $S=f(t)$  é de segundo grau,

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

- **ACELERAÇÃO, SEUS GRÁFICOS E PROPRIEDADE GRÁFICA.**  
No movimento uniformemente variado a aceleração escalar é constante. Sua representação gráfica é uma reta paralela ao eixo dos tempos.

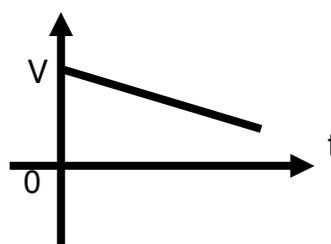
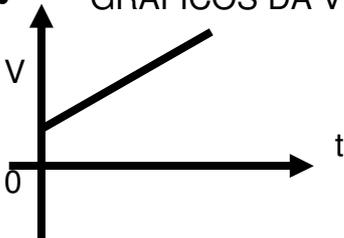


$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0}$$



- **FUNÇÃO HORÁRIA DAS VELOCIDADES**  
Sendo a aceleração constante neste movimento, sua velocidade é dada por:  
 $v = v_0 + at$

- **GRÁFICOS DA VELOCIDADE**

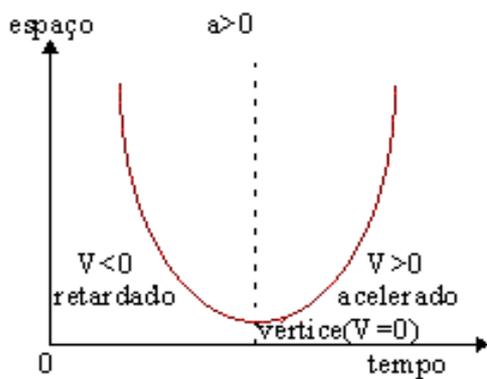


Como a função horária da velocidade é de 1º grau, seu gráfico será uma reta crescente se o movimento for acelerado  $|V|$  crescente e uma reta decrescente se o movimento for retardado  $|V|$  decrescente.

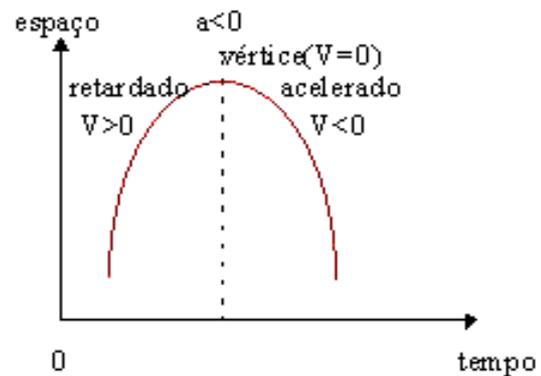
- FUNÇÃO HORÁRIA DOS ESPAÇOS

Como a função horária dos espaços é de 2º grau, seu gráfico será uma parábola com concavidade voltada para cima se  $a > 0$  e concavidade voltada para baixo se  $a < 0$ .

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$



(A)



(B)

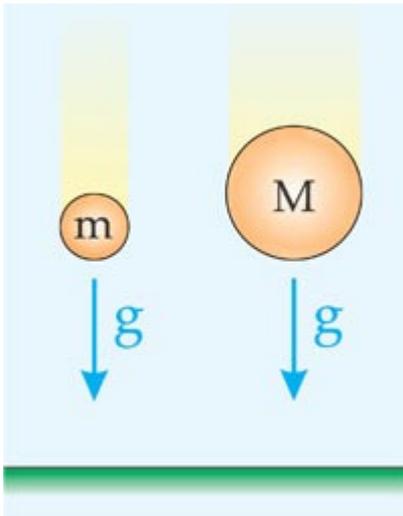
- EQUAÇÃO DE TORRICELLI

$$V^2 = V_0^2 + 2a\Delta S$$

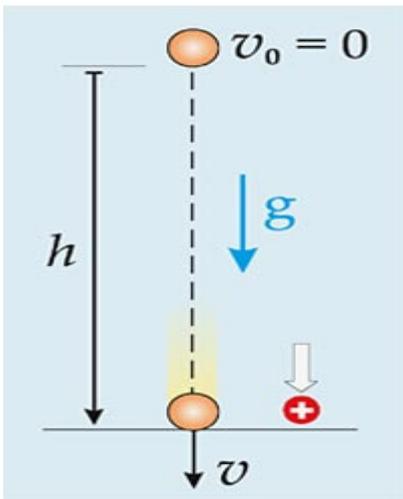
### 1.3- QUEDA LIVRE

Segundo Aristóteles objetos mais pesados caíam mais rapidamente do que objetos mais leves, com velocidades proporcionais aos respectivos pesos. Foi Galileu Galilei (1564-1642) quem desvendou pela primeira vez, de modo correto, como ocorre a queda livre dos corpos, quando soltos próximos à superfície da Terra. Desprezando a ação do ar, ele enunciou:

Todos os corpos soltos num mesmo local, livres da resistência do ar, caem com uma mesma aceleração, quaisquer que sejam suas massas. Essa aceleração é denominada gravidade ( $g$ ).



Considere um objeto em queda vertical, a partir do repouso, num local em que o efeito do ar pode ser desprezado e a aceleração da gravidade seja constante e igual a  $g$ . Orientando-se a trajetória para baixo, o objeto realizará um movimento uniformemente variado (M.U.V.) com aceleração escalar igual a  $g$ . Ou seja:



$a = g$

Por meio da equação horária do deslocamento de M.U.V., podemos relacionar a altura descida ( $h$ ) com seu respectivo tempo de queda ( $t$ ) da seguinte forma:

$$h = g \frac{t^2}{2} \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

A velocidade escalar ( $v$ ) adquirida após certo tempo ( $t$ ) de queda é dada por:

$v = gt$

Por outro lado, podemos expressar a velocidade atingida ( $v$ ) em função da altura descida ( $h$ ). Usando a equação de Torricelli, temos:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$$

$$v^2 = 0^2 + 2gh$$

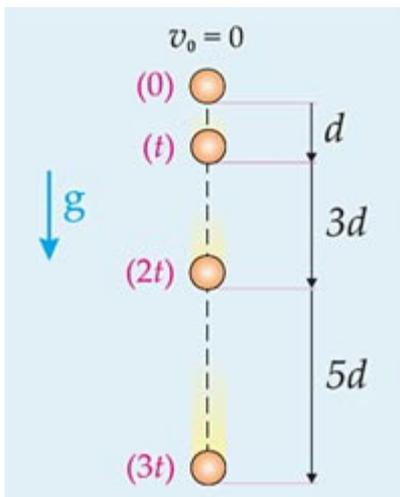
$$v^2 = 2gh$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

Assim, a velocidade escalar atingida é diretamente proporcional ao tempo de queda e, ao mesmo tempo, diretamente proporcional à raiz quadrada da altura descida.

- **DESLOCAMENTOS SUCESSIVOS**

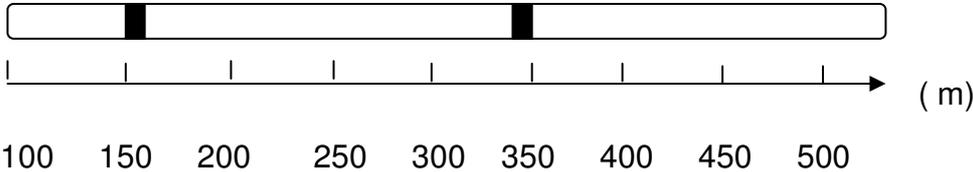
Como se trata de um M.U.V. vertical, um objeto em queda livre, a partir do repouso, apresenta deslocamentos escalares sucessivos (em intervalos de tempo iguais) diretamente proporcionais aos números ímpares.



Repare que as distâncias descidas, em sucessivos intervalos de tempo ( $t$ ), formam uma progressão aritmética proporcional aos números ímpares, ou seja:  $d, 3d, 5d, 7d$ , etc.

## 1.4- RESOLUÇÕES DE PROBLEMAS

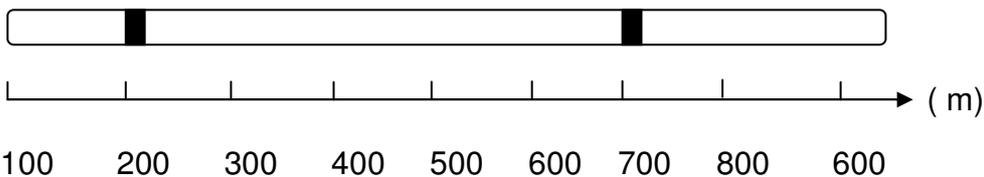
1) Uma máquina possui um pistão interno que se move rapidamente em seu interior. Se desconsiderássemos qualquer forma de atrito e perdas e analisássemos seu movimento com velocidade constante teríamos os seguintes dados: (observando que o problema é imaginário)



$\Delta t = 5$  segundos

Retire todos os dados possíveis e calcule sua velocidade média.

2) Um pistão movimenta-se no interior de uma máquina para efetuar trabalho. Desconsiderando qualquer atrito ou resistência e supondo o movimento uniforme, o que na verdade é impossível, analise, retire todos os dados e encontre sua velocidade média.



$t = 25$  segundos;  $t_0 = 5$  segundos

3) Um pistão movimenta-se no interior de uma máquina com velocidade média de 10m/s. Desconsiderando qualquer atrito ou resistência e supondo a velocidade constante, mas sabendo que isto é impossível, analise, retire todos os dados e encontre o tempo gasto para que ele tenha uma variação de espaço de 100 metros.

4) Um parafuso cai num cano e desliza na água. Imaginando que este possua velocidade constante de 15m/s, calcule o tempo gasto para percorrer 200 metros.

5) Um parafuso cai num cano e desliza na água. Imaginando que este possua velocidade constante de 15m/s, calcule o espaço percorrido em meia hora.

6) Uma peça cai de uma altura de 90 metros e gasta 3 segundos para chegar ao solo.

- qual o espaço percorrido pela peça no 1° segundo?
- qual o espaço percorrido pela peça no 2° segundo?
- qual o espaço percorrido pela peça em 2 segundos?
- qual o espaço percorrido pela peça no 3° segundo?
- qual a velocidade que a peça chegará ao solo?

7) Um tijolo de cimento cai de uma construção a uma altura de 80 metros e gasta 4 segundos para chegar ao solo. Um homem chamado Antonio, está numa viga a uma altura de 50 metros do solo.

- a) qual o espaço percorrido pela peça no 1° segundo?
- b) qual o espaço percorrido pela peça no 2° segundo?
- c) qual o espaço percorrido pela peça no 3° segundo?
- d) qual velocidade a peça terá ao chegar ao solo?
- e) João que está no topo mais alto da construção grita e avisa a Antonio após 2 segundos sobre o acidente com o tijolo de cimento. Antonio conseguirá desviar do tijolo se agir rapidamente ou será impossível?

8) Uma viga cai de uma construção a uma altura de 100 metros e gasta 5 segundos para chegar ao solo.

- a) qual o espaço percorrido pela peça no 1° segundo?
- b) qual o espaço percorrido pela peça no 2° segundo?
- c) qual o espaço percorrido pela peça no 3° segundo?
- d) qual velocidade a peça terá ao chegar ao solo?
- e) João que está no topo mais alto da construção, após 3 segundos, grita e avisa a Carlos que está numa viga a uma altura de 80 metros do solo, sobre o acidente com a viga. Carlos conseguirá evitar o acidente se agir rapidamente ou será impossível?

f) Mas Pedro está num andaime a uma altura de 60 metros do solo. Ele conseguirá evitar o acidente se agir rapidamente ou será impossível?

g) Elton está num andaime a 90 metros do solo, Deivid a 20 metros, Marcos a 80 metros, Flávio a 64 metros, Thiago a 62 metros, e Maicom a 36 metros. Quem ao agir rapidamente, se salvaria do acidente depois do grito de João?

9) Um pistão move-se no interior de uma máquina sob aceleração constante. Sabendo que este obedece á seguinte função horária do espaço:  $s = 10 + 3t + 2t^2$  no (S.I) . Analise, colete dados e dê o que se pede:

- a) O espaço inicial do pistão;
- b) A velocidade inicial do pistão;
- c) A aceleração do pistão;
- d) Após 2 segundos, o pistão estará em que espaço?
- e) Após 2 segundos, o pistão terá percorrido que espaço?
- f) Após 2 segundos, o pistão terá qual velocidade?

10) Um parafuso move-se no interior de um cano com água sob aceleração constante. Sabendo que este obedece á seguinte função horária do espaço:  
 $s = 20 + 2t + 3t^2$  no ( S.I) . Analise, colete dados e dê o que se pede:

- O espaço inicial do parafuso;
- A velocidade inicial do parafuso;
- A aceleração do parafuso;
- Após 2 segundos, o parafuso estará em que espaço?
- Após 2 segundos, o parafuso terá percorrido que espaço?
- Após 2 segundos, parafuso terá qual velocidade?

## 2- GRANDEZAS VETORIAIS

### 2.1-VETORES

#### INTRODUÇÃO

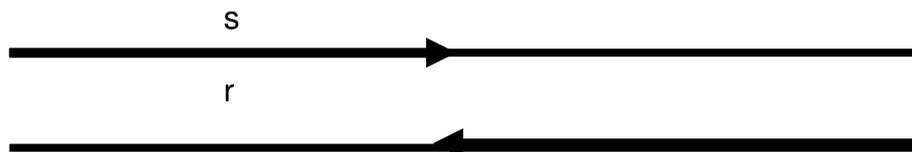
Na Física usamos duas categorias de grandezas: escalares e as vetoriais. São escalares as grandezas que ficam caracterizadas com os seus valores numéricos e suas respectivas unidades. São vetoriais as grandezas que possuem módulo, acompanhado de direção e sentido.

Como exemplo podemos analisar a massa, comprimento, área, tempo, energia, potência, densidade, pressão, carga elétrica, tensão elétrica, etc. Estas grandezas não necessitam de uma orientação, como direção e sentido, apenas de um valor numérico.

Já velocidade, aceleração, força, impulso, quantidade de movimento, vetor campo elétrico, vetor indução magnética, etc. Estas necessitam, além do valor numérico, de uma orientação e um sentido, sendo então vetoriais (módulo, direção e sentido).

#### ORIENTAÇÃO.

A orientação de uma grandeza consiste na indicação de sua direção e seu sentido. Para que você não confunda direção e sentido, observe o exemplo abaixo.

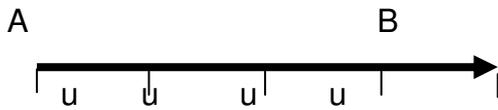


As retas r e s são paralelas indicando então que elas têm a mesma direção (direção horizontal). Observe que os sentidos são indicados sobre a direção (direita ou esquerda) indicando então que r e s têm sentidos opostos.

#### VETOR.

O vetor reúne três características: módulo, direção e sentido.

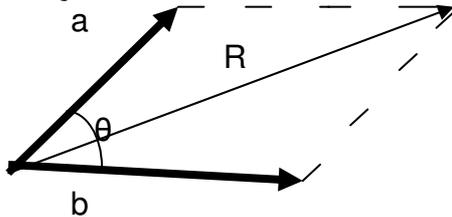
A grandeza vetorial será representada geometricamente por um vetor. O vetor é um segmento de reta orientado possuindo (módulo, direção e sentido).



$\vec{AB} = (B-A)$  onde A (origem) e B (extremidade)

$$|AB| = 4u$$

ADIÇÃO DE VETORES



$$|R| = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab\cos\theta}$$

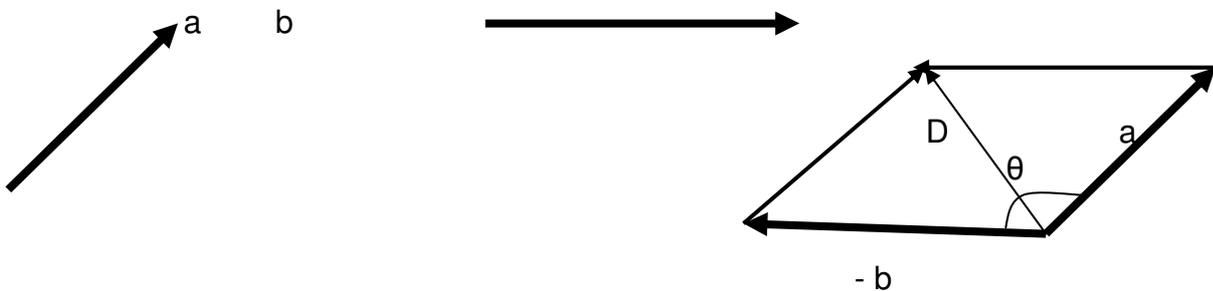


$$|R| = |a| + |b|$$



$$|R| = |a| - |b|$$

DIFERENÇA DE VETORES

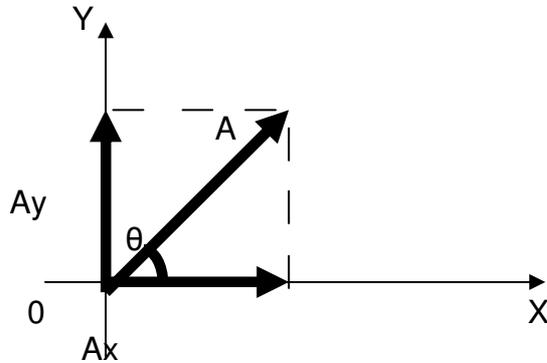


$$|R| = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta}$$

MULTIPLICAÇÃO DE UM NÚMERO REAL POR UM VETOR

A multiplicação de um número real  $|n|$  por um vetor  $|\vec{A}|$  será um vetor  $|\vec{B}| = |n| |\vec{A}|$

### COMPONENTES PERPENDICULARES DE UM VETOR

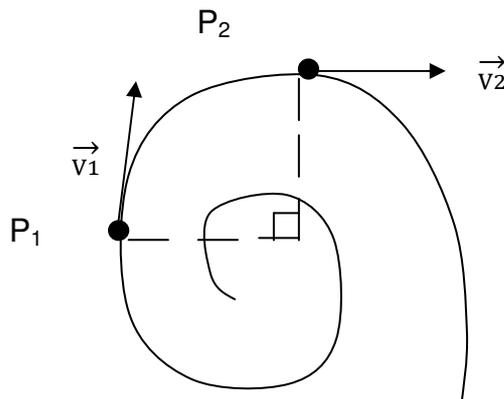


$$A_x = A \cdot \cos \theta$$

$$A_y = A \cdot \sin \theta$$

### 2.2- VELOCIDADES E ACELERAÇÃO VETORIAIS

Consideremos uma partícula fazendo o percurso do ponto  $P_1$  para o ponto  $P_2$ :



A variação da velocidade vetorial  $\vec{\Delta v}$  experimentada pela partícula será dada

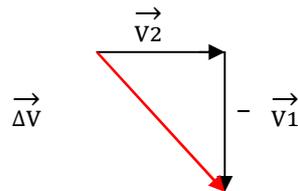
$$\text{por: } \vec{\Delta v} = \vec{v}_2 + (-\vec{v}_1)$$

$$\vec{\Delta v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$$

Graficamente temos:

Então temos:

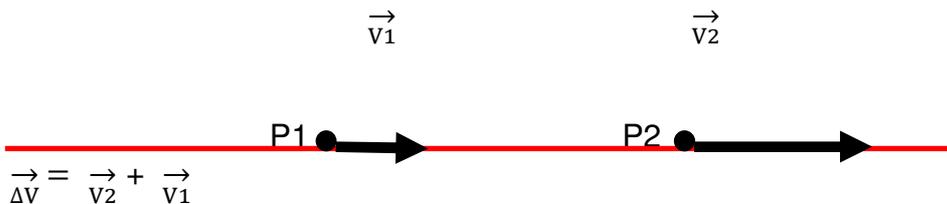
$$|\vec{\Delta v}| = \sqrt{v_2^2 + (-v_1)^2}$$



Se tivéssemos movimento retilíneo teríamos duas situações:



$$\vec{\Delta V} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$$

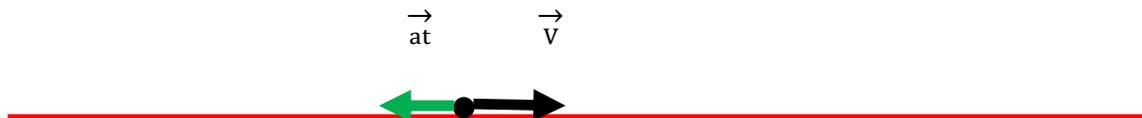


$$\vec{\Delta V} = \vec{v}_2 + \vec{v}_1$$

## ACELERAÇÃO

### ACELERAÇÃO TANGENCIAL VETORIAL ( $\vec{a}_t$ )

Nos movimentos variados, isto é, aqueles em que a intensidade da velocidade vetorial varia (movimentos acelerados ou retardados), existe uma aceleração tangencial não-nula que está relacionada com as variações da intensidade da velocidade vetorial. Desta forma no movimento uniforme retilíneo onde a velocidade não varia a aceleração tangencial é nula. A direção da aceleração tangencial depende do movimento ser acelerado ou retardado.



Movimento retardado

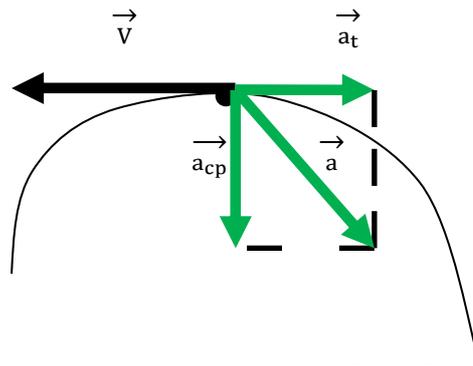


Movimento acelerado

### ACELERAÇÃO CENTRÍPETA ( $\vec{a}_{cp}$ )

A aceleração centrípeta está relacionada com a variação das direções da velocidade vetorial. Assim nos movimentos retilíneos não havendo variação da direção da velocidade vetorial não a aceleração centrípeta é nula. Já nos curvilíneos mesmo uniformes há o aparecimento desta aceleração.

Temos no movimento curvilíneo a seguinte situação:



$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_{cp} \quad \Rightarrow \quad a^2 = a_t^2 + a_{cp}^2 \quad \Rightarrow$$

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_{cp}^2}$$

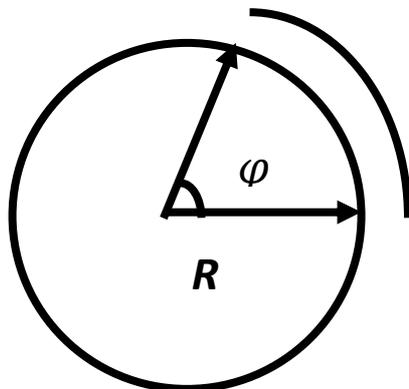
$a$  = aceleração total  
 $a_t$  = aceleração tangencial  
 $a_{cp}$  = aceleração centrípeta

Dessa equação temos o valor para a aceleração total.  $a = \sqrt{a_t^2 + a_{cp}^2}$

## 2- MOVIMENTO CIRCULAR

### ÂNGULO HORÁRIO, FASE OU ESPAÇO ANGULAR ( $\varphi$ )

Imagine um corpo se deslocando em uma trajetória circular de raio  $R$ , partindo da origem com movimento no sentido anti-horário. Imagine um vetor com origem no centro da trajetória e extremidade no corpo estudado. Quando este corpo se desloca de uma distância  $S$ , o vetor posição gira varrendo um ângulo ( $\varphi$ ), que corresponde ao arco de trajetória  $S$ . A medida do ângulo horário, fase ou espaço angular no instante  $t$  considerado é dada em radianos e determinado pela relação entre o arco de trajetória  $S$  pelo raio da trajetória  $R$ .



$$\varphi = \frac{S}{R} \quad \varphi(\text{ em rad})$$

VELOCIDADE ANGULAR ( $\omega$ ).

A velocidade angular mede a rapidez com que o espaço angular varia.

### PERÍODO (T)

Todo movimento repetitivo é dito periódico. O período é o menor intervalo de tempo para que o movimento comece a sua repetição. No movimento circular e uniforme o período é o intervalo de tempo para a realização de uma volta completa.

### FREQÜÊNCIA (f)

A freqüência mede a rapidez com que determinado evento se repete. No movimento circular e uniforme, o evento é a volta completa o que nos permite concluir que no movimento circular e uniforme a freqüência é a relação entre o número de voltas (n) pelo intervalo de tempo gasto ( $\Delta t$ ).  $f = \frac{n}{\Delta t}$

### RELAÇÃO ENTRE FREQÜÊNCIA E PERÍODO.

Vamos imaginar um movimento circular e uniforme onde se realizou uma única volta (n=1). Podemos ainda dizer que o tempo gasto para realizar tal volta foi de um período ( $\Delta t=T$ ). Substituindo os dados na equação da freqüência, temos:

$$f = \frac{1}{T}$$

As unidades de freqüência e período no sistema internacional são:

$$\text{Hertz} = \frac{1}{\text{s}}$$

$$T = \text{s}$$

### RELAÇÕES FUNDAMENTAIS.

Lembrando que no movimento circular e uniforme o tempo para dar uma volta completa é de um período (T), que o espaço percorrido em uma volta completa pode ser calculado com sendo o perímetro da trajetória ( $\Delta S=2\pi R$ ) e que ao se completar uma volta o vetor posição varreu um ângulo de  $2\pi$  radianos, substituindo estes dados nas equações das velocidades escalares linear e angular, obteremos as seguintes relações:

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta T} = \frac{2\pi R}{T} \quad \text{ENTÃO: } V = \frac{2\pi R}{T} \quad \text{E COMO } T = \frac{1}{f} \quad \text{TEREMOS: } V = 2\pi Rf$$

$$\text{MAS } \omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} \quad \text{PODEMOS SUBSTITUIR TENDO: } V = \frac{2\pi}{T} \cdot R; \quad \text{ENTÃO:}$$

$$V = \omega \cdot R$$

### FUNÇÕES HORÁRIAS.

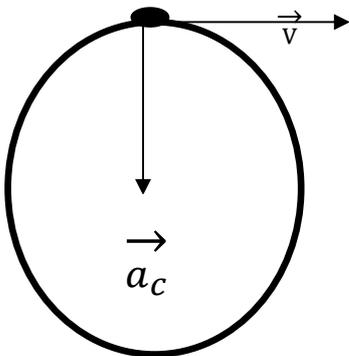
Já definimos a função horária para o movimento uniforme no aspecto escalar e sendo assim ela representará todo movimento uniforme independente do formato de sua trajetória. Então vale a relação:

$S = S_0 + Vt$  sendo  $\varphi = \frac{S}{R}$  E ao dividirmos todos os termos da função acima por R, obteremos a função horária do movimento circular uniforme no aspecto angular.

$$\frac{S}{R} = \frac{S_0}{R} + \frac{Vt}{R} \quad \text{então: } \varphi = \varphi_0 + \omega \cdot t$$

## VELOCIDADE E ACELERAÇÃO NO ASPECTO VETORIAL

A velocidade no movimento circular e uniforme terá módulo constante, mas direção e sentido variáveis, portanto, neste movimento ela é variável. O seu módulo é o mesmo da velocidade escalar linear, sua direção é sempre tangente à trajetória e o seu sentido concorda com o sentido do movimento. A aceleração no movimento circular e uniforme tem a função exclusiva de curvar o movimento uma vez que a velocidade tem módulo constante. Por este motivo neste movimento só está presente a componente centrípeta da aceleração.

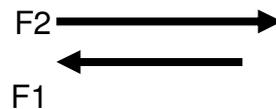


$$a_c = \frac{v^2}{R} = \omega \cdot R$$

## EXERCÍCIOS

1. Duas forças têm intensidades  $F_1 = 10\text{N}$  e  $F_2 = 15\text{N}$ . O módulo da resultante é:

- a) 5N    b) 10N    c) 15N  
d) 20N    e) 25N

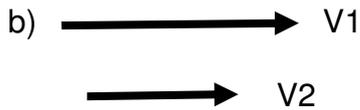


2. Duas forças constantes,  $F_1$  e  $F_2$  de intensidades  $F_1 = 6\text{N}$  e  $F_2 = 8\text{N}$  formam, entre si, um ângulo de  $60^\circ$ . Qual o valor aproximado da intensidade da resultante entre  $F_1$  e  $F_2$ ?

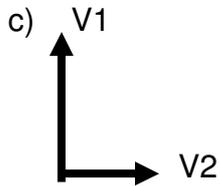
3. Sabendo que as velocidades são vetoriais calcule sua resultante nos casos:  
 $V_1 = 8u$  e  $V_2 = 3u$  ( $V_1 + V_2$ )

- a)  $V_1$   
 $V_2$

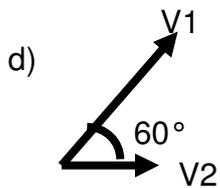
( ) 64u    ( ) 32u    ( ) 5u    ( ) 11u    ( ) zero



( )  $64u$  ( )  $32u$  ( )  $16u$  ( )  $11u$  ( ) zero

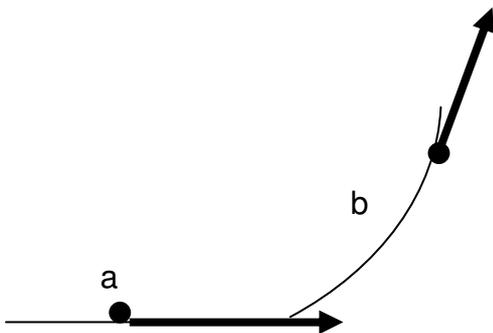


( )  $64u$  ( )  $32u$  ( )  $16u$  ( )  $11u$  ( )  $\sqrt{73}u$



( )  $64u$  ( )  $32u$  ( )  $16u$  ( )  $11u$   
( )  $\sqrt{97}u$

4. Um móvel entra numa curva, em um ponto A, com velocidade de módulo  $3,0\text{m/s}$ . Ao sair da curva, em um ponto B, sua velocidade tem módulo de  $4,0\text{m/s}$  e uma direção que faz um ângulo de  $60^\circ$  com a direção de velocidade no ponto A. Calcule o módulo da variação da velocidade vetorial entre os pontos A e B.



( )  $64\text{m/s}$  ( )  $22\text{m/s}$  ( )  $\sqrt{37}\text{m/s}$  ( )  $1\text{m/s}$  ( )  $\sqrt{19}\text{m/s}$

5- Uma cinta funciona solidária com duas polias de raios  $r_1=10\text{cm}$  e  $r_2=50\text{cm}$ . Supondo-se que a polia maior tenha uma frequência de rotação  $f_2$  igual a  $60\text{rpm}$ :

a) qual a frequência  $f_1$  da polia menor?

b) qual o módulo da velocidade linear da cinta? Adote  $\pi = 3$

6- Duas engrenagens de uma máquina estão acopladas segundo a figura. A frequência da engrenagem A é cinco vezes maior que a de B, portanto a relação entre os raios de A e B ( $R_A/R_B$ ) vale:

- a) 2      b) 1      c)  $\frac{1}{2}$       d)  $\frac{1}{4}$       e)  $\frac{1}{5}$

7- Uma cinta, numa máquina precisa funcionar solidária com duas polias de raios  $r_1 = 10$  cm e  $r_2 = 50$  cm, caso isso não ocorra haverá deslizamento da mesma e a correia soltará. Supondo-se que a polia maior tenha uma frequência de rotação  $f_2$  igual a 60 rpm:

- a) qual a frequência  $f_1$  da polia menor para que a máquina funcione sem defeito?  
 b) qual o módulo da velocidade linear da cinta? Adote  $\pi = 3$

8- Considere uma serra circular de 20 cm de raio. Sabe-se que um ponto da periferia tem velocidade escalar linear igual a 500 cm/s.

- a) calcule o módulo da velocidade angular da serra circular.  
 b) calcule a velocidade escalar linear de um ponto situado a 10 cm do centro da serra circular.

### 3- FORÇAS EM DINÂMICA

#### 3.1- PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS

No estudo da Dinâmica nos preocuparemos com as causas e com as leis da natureza que explicam os movimentos dos corpos. Este estudo está apoiado em três leis elaboradas por Newton.

Definições importantes.

- ↳ Força é um agente físico capaz de deformar um corpo ou alterar a sua velocidade vetorial ou as duas coisas simultaneamente.
- ↳ Equilíbrio estático é o estado no qual se encontra um corpo quando sua velocidade vetorial é nula.
- ↳ Equilíbrio dinâmico é o estado no qual se encontra um corpo quando sua velocidade vetorial é constante e não nula.
- ↳ Inércia é a tendência que um corpo em equilíbrio tem, de manter sua velocidade vetorial.

#### PRIMEIRA LEI DE NEWTON – PRINCÍPIO DA INÉRCIA

O princípio da inércia foi formulado pela primeira vez por Galileu Galilei e depois confirmado por Newton.

1º ENUNCIADO: TODO CORPO EM EQUILÍBRIO TENDE A MANTER SUA VELOCIDADE VETORIAL CONSTANTE.

2º ENUNCIADO: UM CORPO POR SI SÓ É INCAPAZ DE ALTERAR SEU ESTADO DE EQUILÍBRIO.

Para exemplificar esta lei, você pode se imaginar nas seguintes situações: Um observador vê sentado no banco:

- 1- Você em pé dentro de um ônibus parado. Quando o motorista arranca rapidamente, se não se segurar, certamente irá cair. Este fenômeno tem explicação no princípio da inércia. Você estava parado e a tendência do seu

corpo, por inércia, é de permanecer parado. Vimos aí um exemplo da inércia do repouso.

2- Em pé dentro de um ônibus em movimento. Quando o motorista para rapidamente, se você não se segurar, certamente irá cair novamente. Este fenômeno também se explica pelo princípio da inércia. Você estava em movimento e a tendência do seu corpo, por inércia, é de permanecer em movimento. Vimos aí um exemplo da inércia do repouso.

### SEGUNDA LEI DE NEWTON – PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DA DINÂMICA.

A segunda lei de Newton relaciona a massa de um corpo com a aceleração por ele adquirida. Veja que como a força e a aceleração são grandezas vetoriais e diretamente proporcionais, elas terão a mesma direção e o mesmo sentido.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

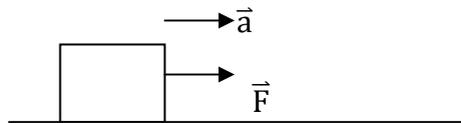
$$\text{unid}(F) = \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 \text{ N}$$

$$\text{unid}(a) = \text{m} / \text{s}^2$$

$$\text{unid}(m) = \text{kg}$$

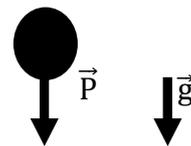
Unidades no S.I.

A força e a aceleração são grandezas vetoriais e diretamente proporcionais, elas terão a mesma direção e o mesmo sentido.



### PESO DE UM CORPO

O peso de um corpo, ao contrário do que se pensa, não é quantos quilogramas o corpo tem. A quantidade de quilogramas que o corpo tem é a medida de sua massa. A força peso é a força com que os corpos são atraídos por um grande astro, quando esses corpos estiverem dentro do campo gravitacional de tal astro. Como o peso ( $\vec{P}$ ) é uma força, ele pode ser calculado pelo produto da massa ( $m$ ) do corpo pela aceleração da gravidade ( $\vec{g}$ )



$$\text{unid}(P) = \text{N}$$

$$\text{unid}(m) = \text{kg}$$

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

Além da unidade N (Newton) também se usa o quilograma-força (kgf ou kg\*)  
1kgf é o peso de um corpo de massa 1kg em uma região onde  $g = 9,8 \text{m} / \text{s}^2$ .

### TERCEIRA LEI DE NEWTON – PRINCÍPIO DA AÇÃO E REAÇÃO

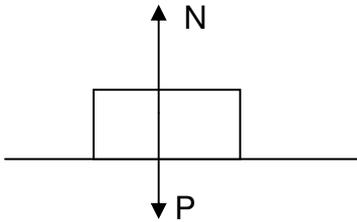
Na interação entre dois corpos, as forças trocadas entre eles formam um par de forças ação e reação.

Como exemplo, podemos colocar dois ímãs com pólos opostos próximos um do outro. Ao liberarmos os dois ímãs, eles se atrairão. A ação e a reação têm a mesma direção, a mesma intensidade e sentidos opostos.

**AÇÃO E REAÇÃO NUNCA SE EQUILIBRAM POR ESTAREM APLICADAS EM CORPOS DIFERENTES.**

FORÇA NORMAL( N)

Força Normal é a força de reação da superfície a uma força aplicada sobre ela. Para existir a força normal é necessário que o corpo esteja encostado em alguma superfície.

FORÇA DE ATRITO (F<sub>a</sub>)

Força de atrito estático (F<sub>ae</sub>)

É a força que procura impedir que o movimento se inicie, devido ao atrito do corpo com a superfície na qual ele se encontra.

Força de atrito cinético (F<sub>ac</sub>)

É a força que se opõe ao movimento devido ao atrito do corpo com a superfície na qual ele se arrasta.

$$F_a = \mu \cdot N$$

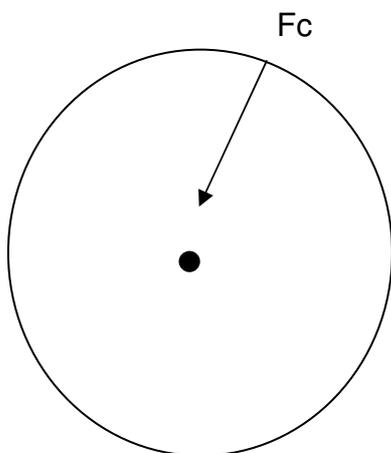
$$\text{unid}(F_a) = (\text{N}) \text{ Newton}$$

$\mu$  = coeficiente de atrito

N = força normal

FORÇA CENTRÍPETA

É uma força exclusiva do Movimento Circular Uniforme realizado por um corpo com trajetória circular e com velocidade constante só existindo se houver uma aceleração centrípeta para atuar em conjunto com a velocidade tangencial.



$$F_C = m \cdot a_c \quad \text{mas } a_c = \frac{v^2}{R}$$

$$F_C = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

### 3.2-RESOLUÇÕES DE PROBLEMAS

1. Um carro de massa  $8,0 \cdot 10^2$  kg, andando a 108 km/h, freia uniformemente e pára em 5,0s.

- Qual o módulo da aceleração do carro, durante a frenada?
- Qual a intensidade da força resultante no carro, durante a frenada?

2. Assinale a alternativa correta:

- as forças de ação e reação estão aplicadas em corpos distintos e por isso, não se equilibram;
- as forças de ação e reação se equilibram;
- as forças de ação e reação têm a mesma direção, mesmo sentido e mesma intensidade
- as forças de ação e reação estão aplicadas no mesmo corpo;
- as forças de ação e reação são iguais.

3. O bloco, da figura abaixo, tem massa  $M=10$  kg e repousa sobre uma superfície horizontal. Os coeficientes de atrito estático e cinético, entre o bloco e a superfície, são  $\mu_e=0,40$  e  $\mu_C=0,30$ , respectivamente. Aplicando-se ao bloco uma força horizontal constante de intensidade  $F=20$ N, determine a intensidade da força de atrito que atua sobre ele.

(considere  $g=10\text{m/s}^2$  e despreze o efeito do ar)



4- Analise cada proposição e marque F se falsa e V se verdadeira:

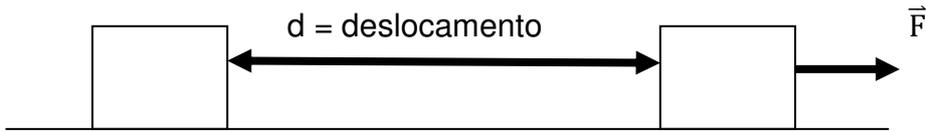
- Se eu observador estiver fora de um carro, parado, ao observar uma pessoa sentada posso vê-la ir para frente se o carro frear e dizer que por inércia isso aconteceu.
- Uma pessoa com 63 kg tem este peso porque a força gravitacional a puxa para o interior da Terra.
- Se dois elétrons A e B estão próximos um do outro, e o elétron A repelir o elétron B com uma força de 250 N o elétron B também empurrará o elétron A com uma força de  $-250$  N, segundo o princípio de ação e reação, que é a Terceira Lei de Newton.

### 4- PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO

#### 4.1- TRABALHO, POTÊNCIA E RENDIMENTO

##### TRABALHO

Quando uma pessoa aplica uma força num objeto e este se desloca houve trabalho. Logo, para que haja trabalho tem que haver deslocamento.



$$\mathcal{T} = F \cdot d$$

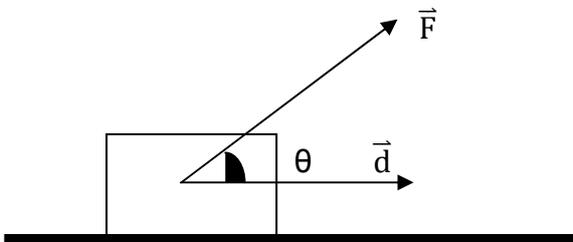
unid( $\mathcal{T}$ )= (J) Joule

unid( F)= N

unid( d)= m

Quando a força e o deslocamento não têm a mesma direção temos:

$$\mathcal{T} = F \cdot d \cdot \cos\theta$$



TRABALHO DA FORÇA PESO

$$\mathcal{T} = P \cdot h$$

$$\mathcal{T} = m \cdot g \cdot h$$

## POTÊNCIA

Para realizarmos trabalho gastamos um determinado tempo e a relação entre o trabalho e o tempo gasto para realizá-lo é a potência.

$$\mathcal{P} = \frac{\mathcal{T}}{t}$$

Unid( $\mathcal{P}$ )=( W) watt

Outras medidas de potência:

CV( cavalo- vapor)= 736 W

HP ( Horse- Power)= 746 W

## RENDIMENTO

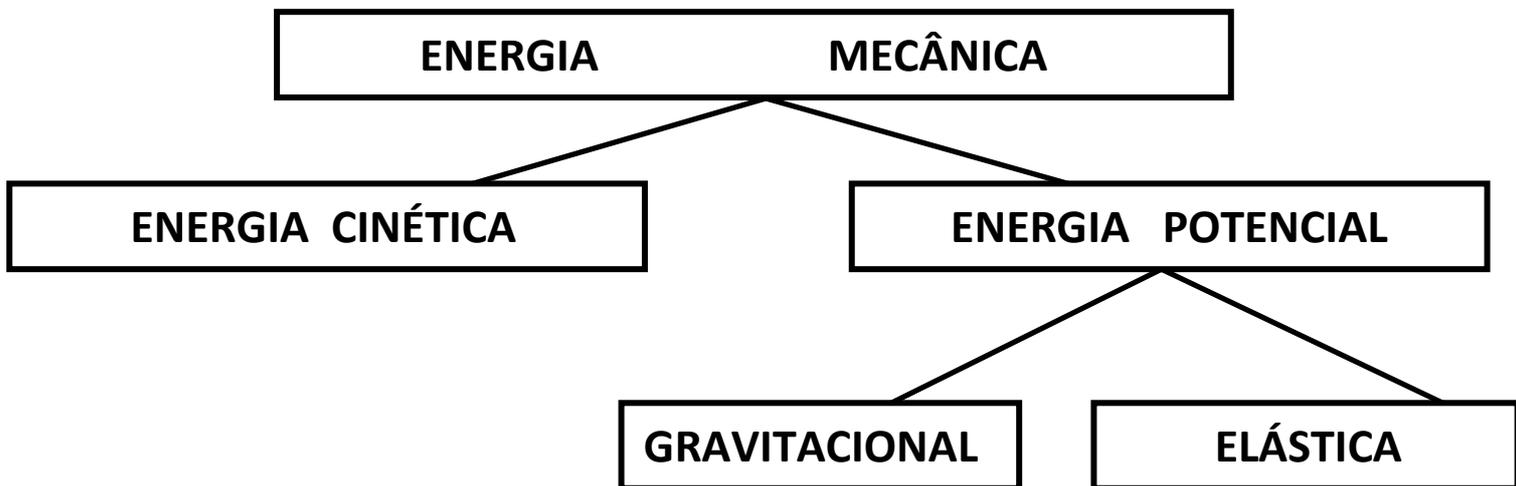
A noção de rendimento é muito utilizada em diversos segmentos da atividade humana, sobretudo nas áreas técnicas. É muito comum dizermos que um aparelho ou um carro não está tendo rendimento. Suponhamos que um determinado aparelho receba uma potência. Haverá sempre dissipação, pois esta potência recebida nunca converterá toda esta energia em trabalho. Desta forma dizemos que houve uma potência recebida, uma potência utilizada e uma potência dissipada, podendo ser através de calor, ruídos, etc...

$$Pot_u = Pot_t - Pot_d$$

Assim o rendimento deste aparelho será dado por:

$$\eta = \frac{Pot_u}{Pot_t} = 1 - \frac{Pot_d}{Pot_t}$$

## 4.2- ENERGIA



A energia está associada ao movimento (cinética) dos corpos e também mesmo quando em repouso, um corpo pode possuir energia devido ao seu posicionamento (potencial). Temos a energia mecânica que a subdividimos em energia cinética e potencial. A energia potencial por sua vez subdivide-se em gravitacional e elástica.

### ENERGIA CINÉTICA (EC).

A energia cinética mede a capacidade que a força resultante aplicada a um corpo tem em realizar trabalho para colocá-lo em movimento, sendo definida como a energia do movimento.

Vamos admitir que um corpo inicialmente em repouso sofra a ação de uma força resultante horizontal até atingir uma velocidade final  $V$  após se deslocar de uma distância  $d$ . O trabalho realizado por esta força resultante é a tradução da energia cinética.

$$E_c = \frac{mv^2}{2}$$

Unid( $E_c$ )= Joule ( J)

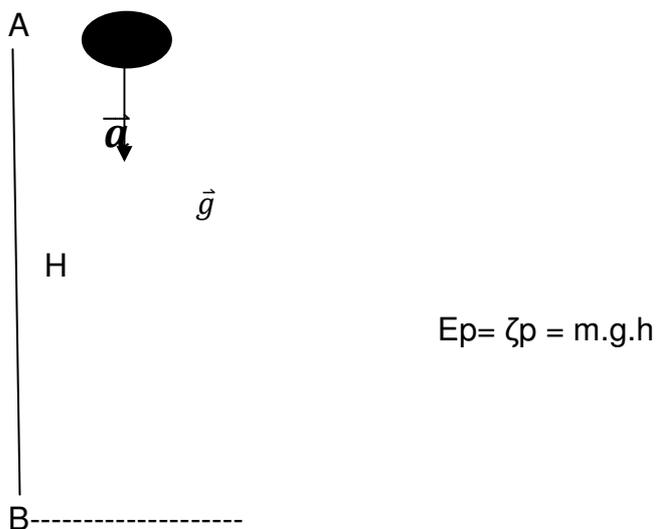
## ENERGIA POTENCIAL

È a energia que fica armazenada em um corpo e que depois irá ser transformada em outra forma de energia.

### ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL ( $E_{pg}$ )

A energia potencial gravitacional mede a capacidade que a força peso aplicada a um corpo tem em realizar trabalho.

Vamos admitir que um corpo inicialmente em repouso na posição A sofrendo a ação da força peso. Vamos admitir também que o solo é o nosso referencial. A energia potencial gravitacional será igual ao trabalho que a força peso realizaria para levar este corpo de A para B.



Unid( $E_p$ )= Joule ( J)

### ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA ( $E_{el}$ )

È a energia acumulada em um sistema massa- mola para ser transformada noutra forma de energia.

## ENERGIA MECÂNICA ( $E_M$ )

A energia mecânica é dada pela soma entre as energias cinética e potencial.

$$E_M = E_C + E_P$$

### CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA

Quando um sistema de forças realiza trabalho sem que ocorra dissipação de energia, ou seja, sem alterar a energia mecânica do corpo, chamamos a este sistema de conservativo. Daí concluímos que sua energia mecânica se mantém constante e que somente suas modalidades (cinética e potencial) se alternam.

$$E_M = E_C + E_P \quad (\text{CONSTANTE})$$

### 4.3- PESO ESPECÍFICO E DENSIDADE

#### DENSIDADE ESPECÍFICA OU DENSIDADE ABSOLUTA ( $d$ )

Sob temperatura e pressão constantes, uma substância pura tem massa específica ou densidade absoluta ( $d$ ) constante e calculada pela divisão da massa considerada ( $m$ ) pelo volume correspondente ( $v$ ).

$d = \frac{m}{v}$  sendo que a densidade poderá ser dada nas unidades:

$$d = \frac{kg}{m^3} \quad \text{ou} \quad d = \frac{g}{cm^3}$$

Observe a tabela com alguns materiais e suas respectivas densidades.

Material	Densidade ( $g/cm^3$ )
Alumínio	2,7
Latão	8,6
Cobre	8,9
Ouro	19,3
Gelo	0,92
Ferro	7,8
Chumbo	11,3
platina	21,4
Prata	10,5
Aço	7,8
Mercúrio	13,6
Álcool etílico	0,81
Benzeno	0,90
Glicerina	1,26
água	1,00

#### PESO ESPECÍFICO ( $\rho$ )

Já vimos anteriormente sobre peso e massa e que este pode ser calculado pela seguinte equação:  $P = mg$ .

O peso específico de uma substância sob pressão e temperaturas constantes e num mesmo local, é calculado pela divisão do módulo do peso ( $P$ ) da porção considerada pelo volume ( $V$ ) correspondente:

$\rho = \frac{P}{V}$  mas temos que  $\rho = \frac{mg}{V}$  então:  $\rho = \frac{m}{V} \cdot g$  sabendo que

$d = \frac{m}{V}$  e substituindo na equação temos:  $\rho = d \cdot g$

A unidade do peso específico é:  $\rho = N/m^3$

#### 4.4 - RESOLUÇÕES DE PROBLEMAS

1. Uma bola de futebol, de massa 0,40kg, cai de uma altura de 6,0m partindo do repouso. Calcule a energia potencial da queda. (Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ).
2. Uma bala de morteiro de massa  $5,0 \cdot 10^2 \text{ g}$  está a uma altura de 50m acima do solo horizontal com uma velocidade de módulo 10 m/s em um instante  $t_0$ . Tomando-se o solo como referencial e adotando-se  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , determine para o instante  $t_0$ :
  - a) a energia cinética da bala;
  - b) a energia potencial da bala e a energia mecânica do sistema.
3. Observe na tabela de densidade e organize os elementos de acordo com o peso em ordem decrescente ( qual é o mais pesado?)
4. Você irá utilizar alumínio para fazer uma peça de uma máquina. Sabendo que a peça tem volume de  $500 \text{ cm}^3$ , qual a massa que você utilizará?
5. Sabendo que o peso específico de uma substância é de  $30 \text{ N/m}^3$  e que esta tem um volume de  $3 \text{ m}^3$ , qual o peso desta substância?
6. Um corpo de massa  $m = 10 \text{ kg}$  cai, a partir do repouso, de uma altura  $H = 100 \text{ m}$  acima do nível do solo. Considere a aceleração da gravidade constante e com módulo igual a  $10 \text{ m/s}^2$ . O trabalho da força que o ar aplica no corpo, durante sua queda, em kJ:
  - a) -0,50
  - b) -1,0
  - c) -2,0
  - d) -4,0
  - e) -8,0
7. Sabendo que um corpo realizou um trabalho de 240 J para se deslocar e gastou 2 minutos para este movimento, calcule a potência efetuada.

## 5- TEMPERATURA

Temperatura é um número que associamos a um corpo para medirmos o estado de agitação de suas moléculas. Note que quanto mais agitadas estão as moléculas de um corpo maior será a sua temperatura. Para medirmos a temperatura utilizaremos o termômetro.

### 5.1- TERMOMETRIA-ESCALAS

A seguir conheceremos algumas escalas termométricas e seus pontos

fixos fundamentais.

#### ESCALA CELSIUS (°C)

Ponto de gelo ou ponto de fusão 0° C

Ponto de vapor ou ponto de ebulição 100° C

#### ESCALA FAHRENHEIT (°F)

Ponto de gelo ou ponto de fusão 32° F

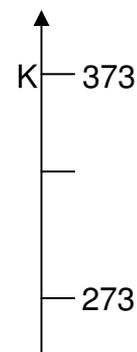
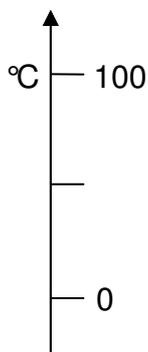
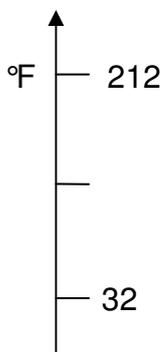
Ponto de vapor ou ponto de ebulição 212° F

#### ESCALA KELVIN (K)

Ponto de gelo ou ponto de fusão 273 K

Ponto de vapor ou ponto de ebulição 373K

#### RELAÇÃO DE CONVERSÃO



$$\frac{F-32}{9} = \frac{C}{5} = \frac{K-273}{5}$$

### 5.2-DILATAÇÃO TÉRMICA

Quando uma pessoa está com febre, sua temperatura corporal é mais elevada do que o normal. Isso pode ser comprovado com o auxílio do termômetro clínico. Após retirarmos o termômetro do enfermo, constatamos que o filete de mercúrio se dilatou dentro do cubo. Isso porque as dimensões dos corpos

sofrem dilatação quando estes são aquecidos, e contração quando resfriados. Muitas vezes, a dilatação só pode ser comprovada por meio de instrumentos. Mas ela pode também ser entendida pelo movimento das moléculas. Assim quando um corpo é aquecido, suas moléculas vibram mais intensamente. Por isso, elas necessitam de maior espaço. É o que acontece quando muitas pessoas dançam num salão. Se a dança exigir passos mais amplos, será necessário maior espaço para executá-los. Todos os corpos (sólidos, líquidos ou gasosos) estão sujeitos à dilatação térmica.

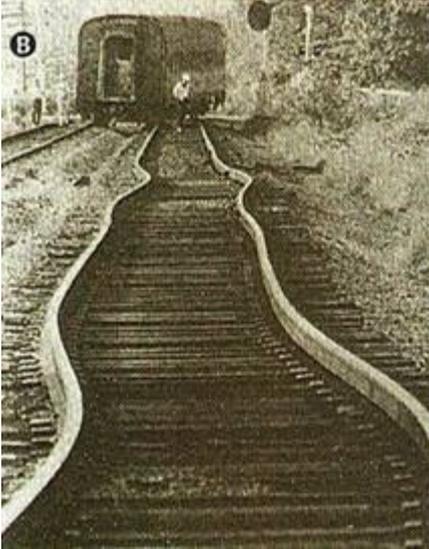
## DILATAÇÃO DOS SÓLIDOS

Os sólidos que melhor se dilatam são os metais, principalmente o alumínio e o cobre. Temos um bom exemplo disso num vidro de conserva com a tampa metálica emperrada. Para abri-lo, basta mergulhar a tampa na água quente; como o metal se dilata mais que o vidro, a tampa logo fica frouxa. O aquecimento leva os sólidos a se dilatarem em todas as direções; no entanto, às vezes, a dilatação predomina, ou se mais notada, numa direção – é a dilatação linear. Quando duas direções são predominantes, temos a dilatação superficial e, quando ela é importante em todas as direções, considera-se a dilatação volumétrica.

### Dilatação Linear

Essa dilatação corresponde ao aumento do comprimento dos corpos quando aquecidos. Se você puder observar uma ferrovia antiga vai notar que, ao longo do mesmo trilho, há um pequeno intervalo, de espaços a espaços (fotos A e B). Isso é necessário para evitar que a dilatação térmica deformasse os trilhos. Nas ferrovias mais modernas, assim como nos trilhos dos metrô das grandes cidades, não existe esse intervalo, pois atualmente são utilizadas técnicas de engenharia capazes de impedir que os efeitos dessa dilatação se manifestem. Uma delas é a fixação rígida dos trilhos no solo, utilizando-se dormentes de concreto.





Os trilhos da estrada de ferro (foto B) entortaram porque o intervalo entre eles (foto A) não foi suficiente para compensar a dilatação.



Modelo antigo de pirômetro de quadrante

A dilatação linear pode ser comprovada e medida por meio de um aparelho chamado pirômetro de quadrante (foto acima). A dilatação linear pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta L = L - L_0$$

$$\Delta \theta = \theta - \theta_0$$

$$\Delta \theta = \text{VARIAÇÃO DE TEMPERATURA}$$

$$\theta_0 = \text{TEMPERATURA INICIAL}$$

$$\theta = \text{TEMPERATURA FINAL}$$

$$\Delta L = \text{VARIAÇÃO DE COMPRIMENTO}$$

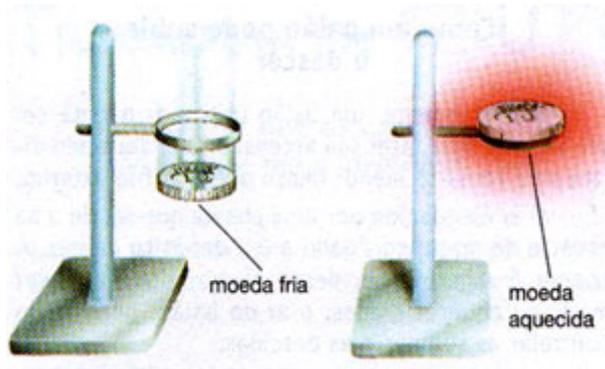
$$L_0 = \text{COMPRIMENTO INICIAL}$$

$$L = \text{COMPRIMENTO FINAL}$$

$\alpha = \text{COEFICIENTE DE DILATAÇÃO LINEAR}$

### Dilatação Superficial

Refere-se à área do sólido dilatado, como, por exemplo, sua largura e seu comprimento. Uma experiência bem simples pode comprovar a dilatação superficial dos sólidos, como mostra a figura abaixo.



Dilatação Superficial: a moeda aquecida não passa pelo aro, pois sua superfície aumentou.

Podemos usar tanto  $\Delta S$  ou  $\Delta A$  para representar a área, assim temos:

$$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta \theta$$

$\Delta A = \text{VARIAÇÃO DE ÁREA}$

$A_0 = \text{ÁREA INICIAL}$

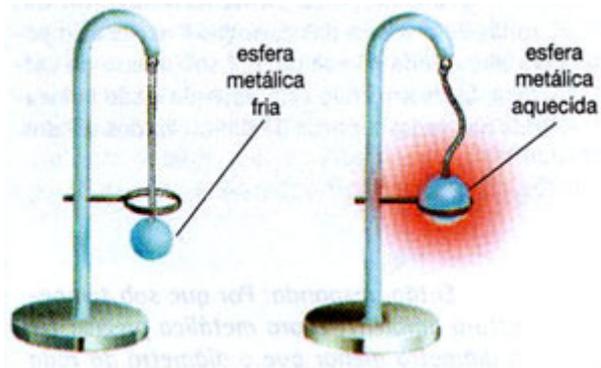
$A = \text{ÁREA FINAL}$

$\beta = \text{COEFICIENTE DE DILATAÇÃO SUPERFICIAL}$

$$\beta = 2 \cdot \alpha$$

### Dilatação Volumétrica

Refere-se ao aumento do volume do sólido, isto é, de seu comprimento, de sua altura e largura. O instrumento usado para comprovar a dilatação volumétrica de um corpo é chamado de anel de Gravezande (figura abaixo).



Dilatação Volumétrica: o volume da esfera aumenta com o aquecimento.

Calculamos a dilatação do volume através da fórmula:

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta \theta$$

$\Delta V = \text{VARIACÃO DE VOLUME}$

$V_0 = \text{VOLUME INICIAL}$

$V = \text{VOLUME FINAL}$

$\gamma = \text{COEFICIENTE DE DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA}$

$$\gamma = 3 \cdot \alpha$$

### DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS

Assim como os sólidos, os líquidos também sofrem dilatação com a variação de temperatura. Como os líquidos não têm forma própria, só se leva em consideração a dilatação volumétrica. Em geral, os líquidos aumentam de volume quando aquecidos e diminuem quando esfriados. Mas, com a água, o processo de dilatação é um pouco diferente. Ao ser esfriada, ela diminui de volume como os outros líquidos, mas só até 4 °C. Se a temperatura continuar caindo, para baixo de 4 °C, o volume da água começa a aumentar.

Inversamente, se for aquecida de 0 °C a 4 °C, a água diminui de volume, mas, a partir de 4 °C, ela começa a se dilatar. É por essa razão que uma garrafa cheia de água e fechada estoura no congelador: de 4 °C até 0 °C, a água tem seu volume aumentado, enquanto a garrafa de vidro ou plástico diminui de volume.

Como já foi dito, os líquidos não possuem volume definido, assim quando aquecido ou resfriado tanto o próprio líquido como o recipiente em que está dentro sofrem dilatação. Desta forma temos que analisar a dilatação tanto deste líquido como do recipiente. Então temos duas dilatações para os líquidos a REAL que não depende do recipiente e a APARENTE que depende do frasco.

Vamos imaginar um frasco cheio de líquido e ao aquecê-lo haverá um vazamento de parte deste líquido. A parte que vazou representa a dilatação aparente do líquido, porque o frasco também se dilatou, aumentando sua capacidade. Sendo assim, não podemos dizer que o líquido derramado seja a dilatação real do mesmo. A dilatação real será a dilatação do frasco mais a dilatação aparente. Como estamos considerando só a dilatação volumétrica teremos:

$$\Delta V_{real} = \Delta V_{frasco} + \Delta V_{aparente}$$

A dilatação do líquido será calculada considerando o coeficiente de dilatação do líquido.

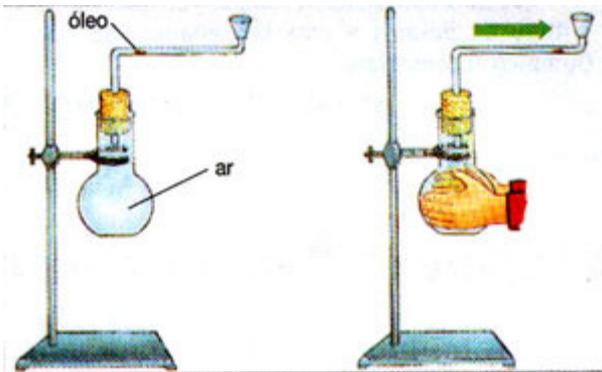
E temos então:

$$\gamma_r = \gamma_f + \gamma_a$$

### DILATAÇÃO DOS GASES

A dilatação dos gases, que é mais acentuada que a dos líquidos, pode ser comprovada por uma experiência bem simples.

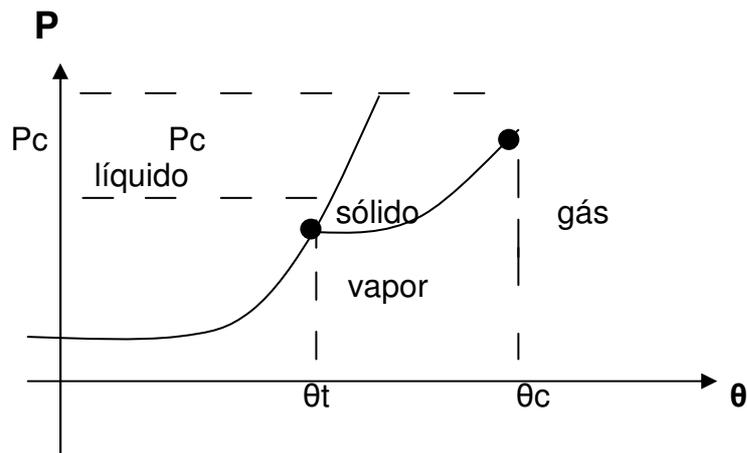
Num balão de vidro, com ar em seu interior, introduz-se um canudo dentro do qual há uma gota de óleo (figura abaixo).



Segurando o balão de vidro como indicado na figura, o calor fornecido pelas mãos é suficiente para aumentar o volume de ar e deslocar a gota de óleo.

## 5.3- ESTUDO DOS GASES

DIAGRAMA DE ESTADO DE UMA SUBSTÂNCIA



$P_t$  = ponto triplo

$P_c$  = ponto crítico

$\theta_t$  = temperatura do ponto triplo

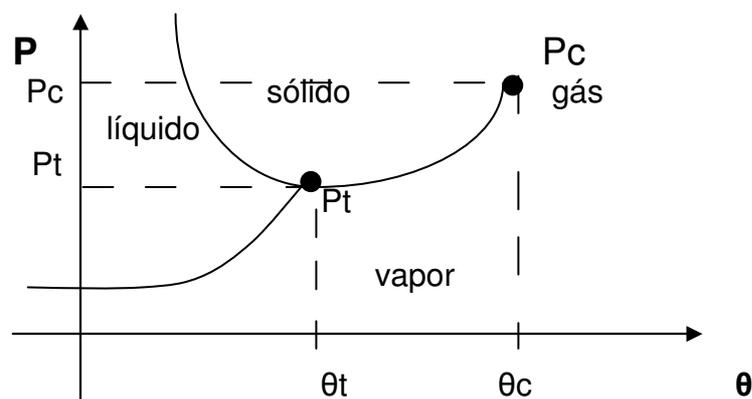
$\theta_c$  = temperatura do ponto crítico

O Ponto Triplo de uma substância é caracterizado por um valor de pressão e outro de temperatura sob os quais essa substância pode coexistir em equilíbrio nos estados físicos sólido, líquido e gasoso (vapor) simultaneamente.

O estado gasoso é constituído por vapores e gases. Uma substância no estado gasoso jamais voltará ao seu estado líquido, por maior que seja a pressão sobre a mesma. Já o vapor sendo também uma substância no estado gasoso, permanecendo à temperatura constante, ao ser aumentado sobre ele a pressão poderá retornar ao seu estado líquido.

A situação limite entre vapor e gás (temperatura crítica, pressão crítica) é denominada Ponto Crítico.

Já a água possui um diagrama com o seguinte aspecto:



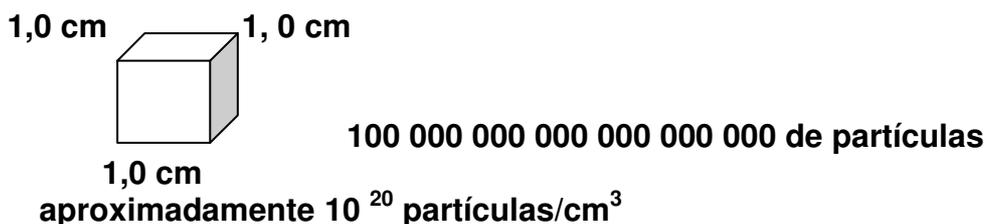
Os diferentes gases reais ( hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, hélio etc.), possuem diferentes características moleculares apresentando comportamentos diferentes. Quando estes são submetidos a baixas pressões e altas temperaturas, passam a se comportar, macroscopicamente, de maneira semelhante.

Para que se faça o estudo dos gases é adotado, então um modelo teórico, sem existência prática, parecido com o comportamento dos gases reais. A este modelo teórico chamaremos de gás perfeito.

As regras do comportamento dos gases perfeitos foram estabelecidas por Robert Boyle, Louis Joseph Gay-Lussac e Paul Emile Clapeyron. Desta forma um gás que se comporta como um gás perfeito, obedece às leis de Boyle, Charles e Gay-Lussac.

### VARIÁVEIS DE ESTADO DE UM GÁS

Antes de vermos as leis destes gases vamos nos certificar de que ao estudá-los estaremos analisando milhões de partículas desta porção de massa gasosa. Estaremos analisando um número **N** muito grande de partículas por um espaço de centímetro cúbico.



Como sempre trataremos de um número muito grande usaremos uma medida chamada **número de mols** para quantificar uma porção de gás. Assim como compro uma dúzia de ovos, uma dúzia de laranjas, uma dúzia de bananas, uma dúzia de pregos e sempre uma dúzia corresponde a 12 objetos independente de qual objeto seja, também é a unidade chamada de número de Avogadro ( $A = 6,02 \cdot 10^{23}$ ). Assim se quero medir uma porção de átomos posso dizer que tenho ali ( $A = 6,02 \cdot 10^{23}$  átomos/ mol). Se quero medir uma porção de partículas posso dizer que tenho ( $A = 6,02 \cdot 10^{23}$  partículas/ mol) etc.

Um mol de gás constitui-se de um número de moléculas deste gás equivalente a  $6,02 \cdot 10^{23}$  moléculas/ mol. O número de mols (**n**) é encontrado dividindo –se a massa do gás (**m**) pela sua massa molar (**M**).

$$n = \frac{m}{M}$$

Para determinada massa de gás perfeito, as variáveis de estado são as grandezas físicas: temperatura ( T), pressão (P) e volume (V).

- A temperatura ( T) está relacionada com a energia cinética das partículas do gás.
- O volume (V) do gás corresponde à capacidade do recipiente que o contém, visto que gases são extremamente expansíveis, ocupando totalmente este espaço.

$$1\text{L} = 1\text{ dm}^3 = 10^{-3}\text{m}^3 \longrightarrow 1\text{m}^3 = 10^3\text{L}$$

• A pressão é uma grandeza escalar, definida como a razão entre a intensidade da força resultante que as moléculas do gás exercem perpendicularmente a superfície do recipiente que o contém.

$$p = \frac{F}{A}$$

As unidades mais usadas para a pressão são o pascal (Pa), a atmosfera técnica métrica (atm), a atmosfera normal (At) e o milímetro de mercúrio (mmHg).

$$\text{Pa} = 1\text{ N/m}^2$$

$$1\text{ At} = 760\text{ mm Hg} \cong 10^5\text{ Pa}$$

$$1\text{ atm} = 1\text{ kgf/cm}^2 \cong 10^5\text{ Pa}$$

Nos calibradores de pneus a unidade de pressão é em psi, uma unidade inglesa muito difundida no Brasil. Você como futuro técnico em eletromecânica deve saber fazer esta conversão, entendendo-a.

$$1\text{ psi} = 1 \frac{\text{libra-força}}{(\text{polegada})^2}$$

$$1\text{ libra - força} \cong 5,0\text{ N}$$

$$1\text{ polegada} = 2,5\text{ cm} = 2,5 \cdot 10^{-2}\text{ m}$$

Substituindo na fórmula teremos:

$$1\text{ psi} \cong \frac{5\text{ N}}{(2,5 \cdot 10^{-2}\text{ m})^2}$$

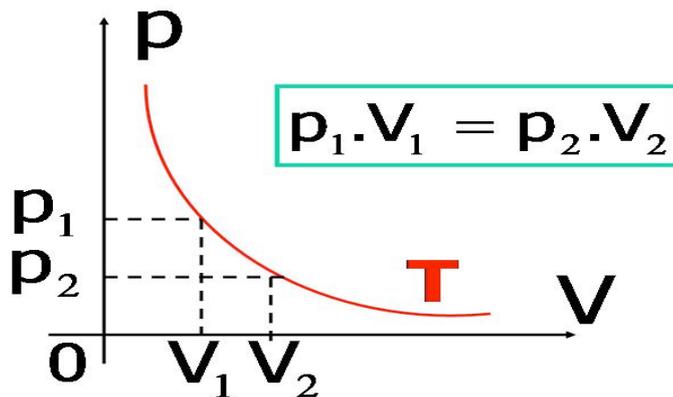
$$1\text{ psi} \cong \frac{5\text{ N}}{6,25 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2}$$

$$1\text{ psi} \cong 8 \cdot 10^3\text{ N/m}^2 \text{ ou } 1\text{ psi} \cong 8 \cdot 10^3\text{ Pa}$$

A pressão média que um gás exerce nas paredes internas do recipiente é devida aos choques de suas moléculas com essas paredes. Por ocasião dos choques, as moléculas aplicam forças nas paredes.

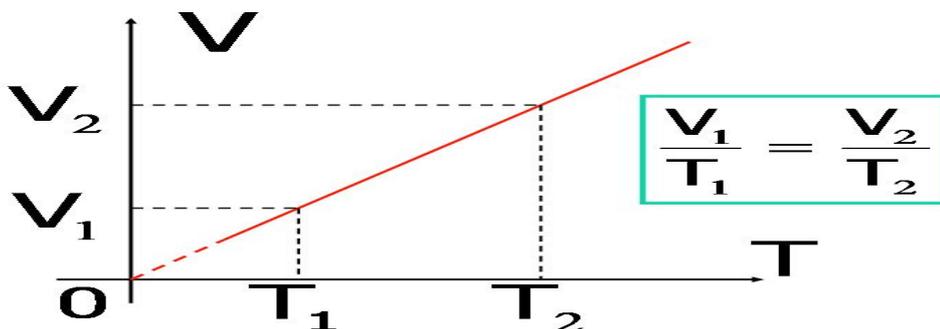
### LEI DE BOYLE E MARIOTTE ( TRANSFORMAÇÕES ISOTÉRMICAS)

A lei de Boyle e Mariotte rege as transformações isotérmicas. Transformações isotérmicas são aquelas que ocorrem à temperatura constante. Verificou-se que para uma dada massa de gás ideal, quando se mantém a temperatura constante, a pressão varia inversamente com o volume. Graficamente representamos esta lei assim:



### LEI DE GAY-LUSSAC ( TRANSFORMAÇÕES ISOBÁRICAS)

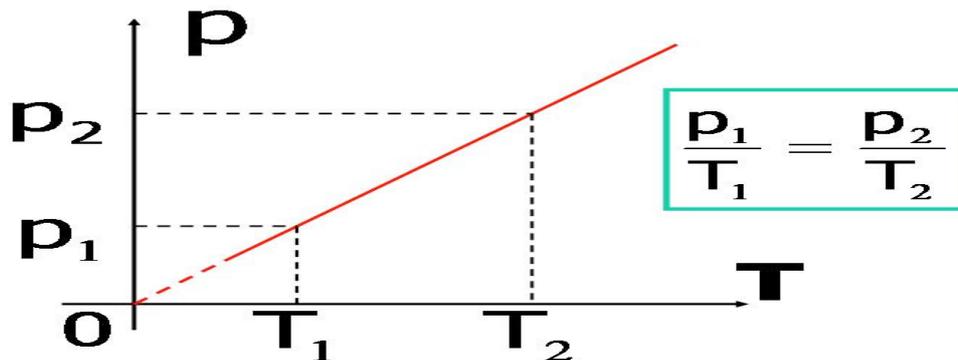
A lei de Gay-Lussac rege as transformações isobáricas. Transformações isobáricas são aquelas que ocorrem à pressão constante. Verificou-se que para uma dada massa de gás ideal, quando se mantém a pressão constante, o volume varia diretamente com a temperatura. Graficamente representamos esta lei assim:



### LEI DE CHARLES ( TRANSFORMAÇÕES ISOVOLUMÉTRICAS)

A lei de Charles rege as transformações isométricas ou isovolumétricas ou isocóricas. Transformações isométricas ou isovolumétricas ou isocóricas são aquelas que ocorrem à volume constante. Verificou-se que para uma dada massa de gás ideal, quando se mantém o volume constante, a pressão varia diretamente com a temperatura.

Graficamente representamos esta lei assim:



#### EQUAÇÃO DE CLAPEYRON

Das leis vistas, podemos observar que matematicamente  $P.V = Cte$ . Esta constante que aparece é dada pelo produto do número de mols por uma constante de proporcionalidade denominada constante universal dos gases perfeitos que será representada por R. Daí, vem:  
 $P.V = n.R.T$

#### VALORES DE R

A constante R foi obtida usando-se uma amostra de 1 mol de gás nas CNTP:  $p = 1,0 \text{ atm}$ ,  $\theta = 0^\circ\text{C}$  ( $T = 273\text{K}$ ). O volume ocupado por 1 mol de qualquer gás nas CNTP é de 22,4 litros (volume molar).

Substituindo

esses valores na equação de Clapeyron, vem:

$$P.V = n.R.T$$

$$1. 22,4 = 1.R.273$$

$$R = \frac{22,4}{273}$$

$$R = 0,08205 \frac{\text{L.atm}}{\text{mol.K}}$$

Observe ainda que se a pressão for dada em  $N/m^2$  ( $1\text{atm} \cong 101300N/m^2$ ), o volume dado em  $m^3$  ( $1L=10^{-3}m^3$  e  $22,4L= 22,4 \cdot 10^{-3}m^3$ ) o valor de R será:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$101300 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot R \cdot 273$$

$$R = \frac{101300 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3}}{273}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Joules}}{\text{mol} \cdot K}$$

#### LEI GERAL DOS GASES

Como vimos, matematicamente  $p \cdot V = \text{Cte}$ , então, podemos dizer que:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

#### 5.4- RESOLUÇÕES DE PROBLEMAS

1- O minério de ferro é retirado do subsolo, é lavado, partido em pedaços menores e em seguida levados para a usina siderúrgica, onde é derretido num forno denominado **ALTO FORNO**. O ferro ao derreter deposita-se no fundo do alto forno. A este ferro dá-se o nome de ferro-gusa ou gusa. Neste forno a  $1200^\circ\text{C}$  derrete o minério. A que temperatura em graus Fahrenheit e em Kelvin corresponde a temperatura citada acima?

2- Uma máquina funciona bem sem apresentar defeitos quando sua temperatura está abaixo de  $77^\circ\text{F}$ . A refrigeração é controlada na sala através de ar condicionado que é medida em  $^\circ\text{C}$ . Se você aluno de eletromecânica é funcionário da firma, regulará o ar abaixo de que valor?

a)  $28^\circ\text{C}$

b)  $26^\circ\text{C}$

d)  $25^\circ\text{C}$

e)  $21^\circ\text{C}$

3- Determinada massa de gás ocupa um volume de 50 L à temperatura de 400k. Se a temperatura mantiver constante e você necessitar aumentar esta temperatura para 600k, qual será o novo volume obtido?

4- Sob pressão constante um gás com volume de 10 L está submetido a uma temperatura de 30 K. Para que seu volume passe a ser de 60 L, a que temperatura deverá ser submetido?

5- Certa massa de gás inicialmente a uma temperatura de 400 K e pressão de 4,0 atm é submetido a nova temperatura de 320 k, a volume constante. Qual será o novo valor da pressão?

6- Um funcionário trabalha com um calibrador de pneus com unidades em psi. Ele necessita calibrar todos com 30 psi. A que valor esta pressão corresponde em atm, Pa e  $N/m^2$ ? Adote uma libra-força de valor aproximado a 5,0 N e uma polegada a um valor aproximado de 2,5 cm.

7- Na construção civil há a necessidade de se levar em conta a dilatação dos materiais. Serão utilizadas barras de aço de 5 metros de comprimento, cada, para fazer vigas. Sabendo que naquele local há dias muito quentes que chegam a atingir uma temperatura de  $32^\circ C$ . Considerando hoje a temperatura como sendo ambiente, qual será o valor do espaço que terá no mínimo que ser deixado entre as vigas para evitar futuros acidentes?

metal	Dilatação linear ( $\alpha \text{ } ^\circ C^{-1}$ )
Aço	$11. 10^{-6}$
Ouro	$14,3. 10^{-6}$
Cobre	$17,0. 10^{-6}$
Alumínio	$23,0. 10^{-6}$
chumbo	$29,0. 10^{-6}$

8- Uma barra quadrada de alumínio tem área de  $2 \text{ m}^2$  no mesmo local citado acima qual seria o valor da dilatação ocorrida com esta barra? Analise a tabela acima.

9- Um paralelepípedo de cobre, com as seguintes dimensões: 10 cm, 20 cm e 30 cm será fixado ao solo. Analise as medidas acima e calcule qual espaço deverá ser deixado ao total para sua dilatação no mesmo local do problema 7.

10- Em sua opinião um dentista deve restaurar um dente com material de metal? Justifique.

## 6. CALOR

### 6.1-CALORIMETRIA

O calor pode simplesmente alterar a temperatura de um corpo, ou até mesmo mudar o seu estado físico. O calor é definido como sendo energia térmica transitando de um corpo de maior para um corpo de menor temperatura. Esta energia térmica é proveniente da agitação das moléculas que constituem o corpo.

### EQUILÍBRIO TÉRMICO

Conforme o fluxo de energia térmica passa do corpo de maior para o de menor temperatura, o corpo mais quente vai se esfriando, e o corpo mais frio vai se aquecendo, até que suas temperaturas atinjam o mesmo valor. Ao atingir este mesmo valor esta temperatura estabiliza e é denominada temperatura de equilíbrio térmico.

### CALOR SENSÍVEL E CALOR LATENTE

Quando uma substância ao receber ou ceder calor, sofre somente uma variação em sua temperatura, dizemos que ela recebeu ou cedeu calor sensível que poderá ser encontrado o valor através da fórmula:

$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$ , sendo que:

$Q =$  quantidade de calor fornecido ou retirado;

$m =$  massa da substância;

$c =$  calor específico da substância;

$\Delta\theta =$  variação da temperatura;

$\Delta\theta = \theta - \theta_0$ .

Porém se esta substância ao receber ou ceder calor, sofre uma mudança de estado, dizemos que ela recebeu ou cedeu calor latente  $Q = m \cdot L$  sendo que  $Q =$

quantidade de calor fornecido ou retirado;

$m =$  massa da substância;

$L =$  calor latente.

#### CAPACIDADE TÉRMICA OU CAPACIDADE CALORÍFICA (C)

A capacidade térmica ou calorífica de um corpo mede o calor necessário para variar de uma unidade a temperatura deste corpo. Considere um corpo a uma temperatura  $\theta_1$  que ao receber uma certa quantidade de calor  $Q$ , passa a ter uma temperatura  $\theta_2$ . A capacidade térmica deste corpo é dada pelo quociente entre o calor  $Q$  e a variação de temperatura  $\Delta\theta$ , sofrida pelo corpo. A capacidade térmica também é diretamente proporcional à massa e ao calor específico sensível da substância que constitui o corpo.

$$C = Q / \Delta\theta$$

$$C = mc$$

#### QUANTIDADE DE CALOR SENSÍVEL (Q)

A quantidade de calor sensível é obtida da definição da capacidade térmica.  $Q = mc\Delta\theta$  temos a equação fundamental da Calorimetria.

#### CALORIA

A caloria é definida como sendo a quantidade de calor necessária e suficiente para elevar de 1 °C a temperatura de 1g de água pura.

#### BALANÇO ENERGÉTICO

Corpos em diferentes temperaturas colocados em contato térmico em um sistema isolado vão trocar calor até que se atinja o equilíbrio térmico. Como não haverá entrada nem saída de calor deste sistema, podemos afirmar que todo calor cedido (pelos corpos de temperaturas mais altas) dentro do sistema, será também recebido (pelos corpos de temperaturas mais baixas) dentro do sistema. Quando um corpo recebe calor, sua variação de temperatura é positiva, logo, o calor recebido é positivo. Quando um corpo cede calor, sua variação de temperatura é negativa, logo, o calor cedido é negativo. Se somarmos o calor total cedido com o calor total recebido o resultado será nulo.

#### MUDANÇAS DE ESTADO OU FASE.

Na natureza as substâncias podem se apresentar nas fases sólida, líquida e gasosa. A mudança da fase sólida para a fase líquida é a fusão e da fase líquida para a fase sólida é a solidificação. A mudança da fase líquida para a fase gasosa é a ebulição ou vaporização e da fase gasosa para a fase líquida é a condensação ou liquefação.

A mudança da fase sólida para a fase gasosa é a sublimação e da fase gasosa para a fase sólida também é a sublimação.

#### LEIS DAS MUDANÇAS DE ESTADO OU FASE

1ª LEI – Durante uma mudança de fase, à pressão constante, a temperatura também se mantém constante. Isto significa dizer que, por exemplo, à pressão atmosférica normal, o gelo começa a se fundir a  $0^{\circ}\text{C}$  e durante toda a fusão a temperatura se mantém a  $0^{\circ}\text{C}$ .

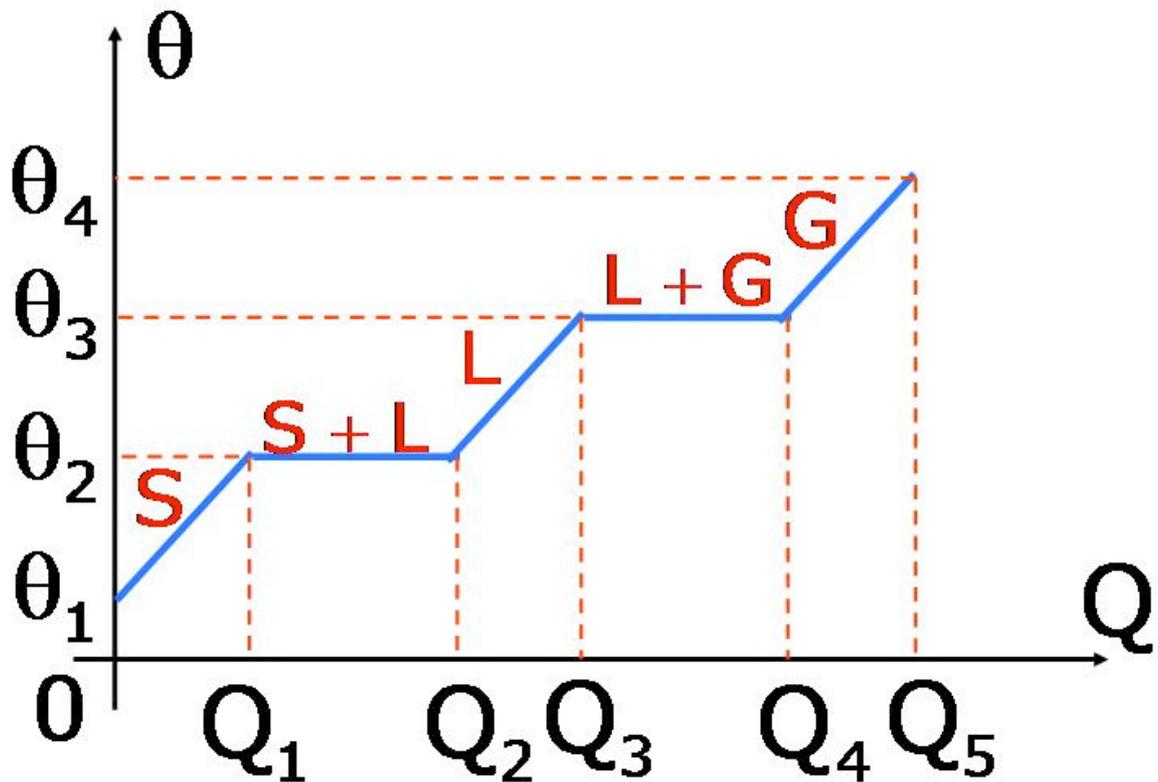
2ª LEI – Cada substância pura tem a sua temperatura própria de mudança de fase. Isto significa dizer que, por exemplo, à pressão atmosférica normal, a água entra em ebulição a  $100^{\circ}\text{C}$  enquanto que o álcool entra em ebulição a  $78^{\circ}\text{C}$ .

3ª LEI – Se a pressão se altera as temperaturas de mudanças de fase também se alteram. Por exemplo, numa panela de pressão a temperatura de ebulição da água atinge valor maior que  $100^{\circ}\text{C}$  devido ao aumento de pressão.

#### CURVAS DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO

Considere um corpo de massa  $m$  inicialmente no estado sólido e uma temperatura inferior a sua temperatura de fusão. Fornecendo calor a este corpo, ele irá atingir a temperatura  $\theta_4$ , passando de sólido para líquido e de líquido para gasoso. Nesse processo ocorreram aquecimentos (calor sensível) e mudanças de estado (calor latente). O

gráfico abaixo mostra como varia a temperatura em função da quantidade de calor.



## EXERCÍCIOS

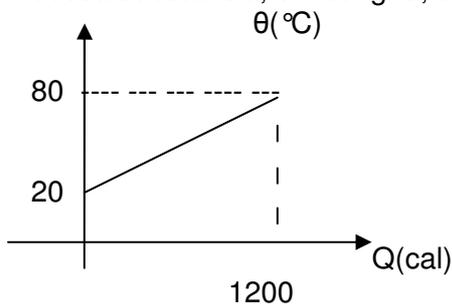
1) – um corpo de certo material, com 200g, ao receber 1000cal aumenta sua temperatura de 10°C. Outro corpo de 500g, constituído do mesmo material, terá capacidade térmica

de:

a) 50cal/°C b) 100cal/°C c) 150cal/°C d) 250cal/°C e) 300cal/°C

2– O gráfico representa a temperatura de uma amostra, de massa 100g, de uma substância, em função da quantidade de calor por ela absorvida. O calor específico sensível

dessa substância, em cal/g°C, é:



a) 0,10 b) 0,20 c) 0,40 d) 0,60 e) 0,80

3- Tem-se 20g de gelo a -20°C. A quantidade de calor que se deve fornecer ao gelo para que ele se transforme totalmente em água a 0°C é:

Dados:

Calor específico sensível do gelo = 0,50cal/g°C

Calor específico sensível da água = 1,0cal/g°C

Calor específico latente de fusão do gelo = 80cal/g

a) 1 000cal b) 1 200cal c) 2 600cal d) 2 000cal e) 4800cal

4- Dispõe-se de água a 80°C e gelo a 0°C. Deseja-se obter 100g de água a uma temperatura de 40°C (após o equilíbrio), misturando água e gelo em um recipiente isolante e com capacidade térmica desprezível. Sabe-se que o calor específico latente de fusão do gelo é 80cal/g e o calor específico sensível da água é 1,0cal/g°C. A massa de gelo a ser utilizada é

a) 5,0g b) 12,5g c) 25g d) 33g e) 50g

## 6.2- PROPAGAÇÃO DE CALOR

## 1) Condução

Processo de transmissão de calor no qual a energia é passada de partícula para partícula. Uma partícula com temperatura maior (mais agitada) transfere energia para a partícula vizinha que passa a vibrar mais intensamente; esta energia para outra partícula, que transfere para outra, e assim sucessivamente. A condução de calor exige um meio material, logo, não pode ser no vácuo.

Ex.: aquecimento de uma colher de metal.

## 2) Convecção

A convecção é o processo de transmissão de energia que se dá através de movimentação de massa fluidas. Não é possível ocorrer convecção no vácuo. Pode ocorrer com líquidos e gases.

Ex.: aquecimento de água.

### 3) Radiação (ou Irradiação)

Processo de transmissão de calor através ondas eletromagnéticas (ondas de calor). Trata-se da única forma de propagação de calor que pode ocorrer tanto no vácuo quanto em outros meios. Alguns materiais não permitem propagação de calor, os chamados atérmicos (parede de tijolo). Já os meios que permitem a radiação são chamados diatérmicos.

Ex.: energia solar, que se propaga no vácuo até atingir a atmosfera e chegar até nós.  
Garrafa Térmica

A tampa impede a convecção. A parede dupla de vidro impede a condução (o vidro é mau condutor) e a convecção. O vácuo entre as paredes de vidro impede a condução. O vidro espelhado impede a radiação.

Obs.: - Nas fábricas onde existem grandes fornos, são colocadas chaminés bem altas. A principal função dessas chaminés é conseguir maior renovação do ar na fornalha, por convecção.

- Em certos dias, verifica-se o fenômeno de inversão térmica, que causa aumento de poluição, pelo de a atmosfera apresentar maior estabilidade. Esta ocorrência é devida ao seguinte fato: as camadas superiores de ar atmosférico têm temperatura superior à das camadas inferiores.

- Para entrar num forno quente, deve-se entrar com uma roupa de lã recoberta de alumínio.

- Os iglus, embora feitos de gelo, possibilitam aos esquimós neles residirem porque o gelo não é um bom condutor de calor.

## 6.3-LEIS DA TERMODINAMICA

### PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

A primeira lei ou primeiro princípio da Termodinâmica é o Princípio da Conservação de Energia. Assim, para todo sistema termodinâmico, existe uma função característica, denominada *energia interna* ( $\Delta U$ ). A variação dessa energia interna ( $\Delta U$ )

Entre dois estados quaisquer pode ser determinada pela diferença entre a quantidade de calor ( $Q$ ) e o trabalho ( $\tau_{gás}$ ) trocados com o meio externo.

$$\Delta U = Q - \tau_{gás}$$

Essas grandezas podem ser positivas, negativas ou nulas. Considere um mecanismo em que um sistema gasoso está contido num recipiente provido de um êmbolo.

Se o gás recebe calor de uma fonte externa, ( $Q = \text{positivo} = 2000 \text{ cal}$ ) essa energia além de produzir o aquecimento do gás provoca, também, sua expansão aumentando seu volume e realizando trabalho  $\tau_{gás} = \text{positivo} = 600 \text{ cal}$ .

$$\Delta U = Q - \tau_{gás}$$

$$\Delta U = 2000 - 600$$

$$\Delta U = 1400 \text{ cal}$$

Então :

$$Q + (\text{calor recebido})$$

$$\Delta U + (\text{sistema sofreu aumento de energia interna})$$

$$\tau_{\text{gás}} + (\text{trabalho realizado pelo gás})$$

Mas se o gás é comprimido, recendo um trabalho de 600 J ( $\tau_{\text{gás}} = \text{negativo} = -600 \text{ J}$ ) perdendo para o ambiente uma quantidade de calor de 600 J, o sistema diminuirá sua energia interna. ( $Q = \text{negativo} = -700 \text{ cal}$ )

$$\Delta U = Q - \tau_{\text{gás}}$$

$$\Delta U = -700 - (-600)$$

$$\Delta U = -700 + 600$$

$$\Delta U = -100 \text{ J}$$

$$Q - (\text{calor cedido})$$

$$\Delta U - (\text{sistema sofreu diminuição de energia interna})$$

$$\tau_{\text{gás}} - (\text{trabalho realizado sobre o gás})$$

## TRANSFORMAÇÕES TERMODINÂMICAS

### Transformação isotérmica

Nesta transformação a temperatura é constante e assim não há variação na energia interna do gás. Desta forma  $\Delta U = 0$ , então:

$$\Delta U = Q - \tau_{\text{gás}}$$

$$0 = Q - \tau_{\text{gás}}$$

$$-Q = -\tau_{\text{gás}} (-1)$$

$$Q = \tau_{\text{gás}} .$$

Assim o calor e o trabalho trocados com o meio externo são iguais.

Isso nos remete a duas possibilidades:

a) se  $Q > 0$  então a energia interna foi totalmente convertida em trabalho  $\tau_{\text{gás}} > 0$ .

b) se  $Q < 0$  então o trabalho  $\tau_{\text{gás}} < 0$  foi realizado sobre o gás e ele cede para o meio externo igual quantidade de energia em forma de calor, pois a energia interna não variou.

### Transformação isométrica

Nesta transformação o volume é constante e o sistema não realiza trabalho.

$$\Delta U = Q - \tau_{\text{gás}}$$

$$\Delta U = Q - 0$$

$$\Delta U = Q$$

Todo o calor é convertido em energia interna, temos aí duas situações:

a) se o sistema recebe calor  $Q > 0$  então  $\Delta U > 0$  e há aumento de sua energia interna de igual valor ao calor recebido.

b) se o sistema cede calor  $Q < 0$  então  $\Delta U < 0$  e a energia interna diminui de igual valor do calor retirado.

### Transformação isobárica

Nesta transformação pressão é constante e a análise é feita pela equação de Clapeyron  $pV = n R T$ , em que o volume aumenta diretamente proporcional à temperatura absoluta (T) do gás, temos aí, também, duas situações:

- se a temperatura absoluta do sistema aumenta, aumenta seu volume, sua energia interna aumenta e o sistema realiza trabalho.
- se a temperatura absoluta do sistema diminui, seu volume diminui, sua energia interna diminui e o sistema recebe trabalho.

## SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

São denominadas máquinas térmicas os dispositivos que convertem energia térmica em energia mecânica.,

Desde as máquinas térmicas mais primitivas, que eram usadas para movimentar trens, navios e até os primeiros automóveis até as mais modernas e sofisticadas, como um reator termonuclear, todas funcionam obedecendo praticamente ao mesmo esquema:

$$T_A > T_B$$

Há duas fontes térmicas, uma “quente” outra “fria” e entre elas é colocada uma máquina térmica, um fluido operante( água por exemplo). O fluido operante é o veículo para a energia térmica que sai da fonte de maior temperatura “quente” passa por um dispositivo intermediário, que utiliza parte desta energia para realizar trabalho e leva o restante da energia para a fonte de menor temperatura “fonte fria”. A quantidade de calor vinda da fonte “quente” é obtida em geral da combustão de carvão, óleo, madeira ou mesmo fissão nuclear nos reatores nucleares. Pela conservação da energia tem-se que:

$$\tau = |Q_A| - |Q_B|$$

O rendimento de uma máquina térmica é dado pela quantidade de calor recebido da fonte quente que será usada para realização de trabalho pela respectiva máquina.

Assim teremos:

$$\eta = \frac{\tau}{|Q_A|} \quad \longrightarrow \quad \eta = \frac{|Q_A| - |Q_B|}{|Q_A|} \quad \longrightarrow \quad \eta = 1 - \frac{|Q_B|}{|Q_A|}$$

A máquina térmica ideal seria aquela que tivesse rendimento de 100% ou seja

$$\eta = 1$$

e desta forma não poderia ser enviado para a “fonte fria” nenhuma quantidade de calor, o que seria impossível. A impossibilidade se dá porque calor é uma forma de energia em trânsito que se dá do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, então não teríamos como fazer esta transferência.

Kelvin Planck fez então o seguinte enunciado para a 2ª Lei da Termodinâmica:

É IMPOSSÍVEL CONSTRUIR UMA MÁQUINA QUE, OPERANDO ENTRE DOIS CICLOS POSSA CONVERTER TOTALMENTE EM TRABALHO, A ENERGIA TÉRMICA RECEBIDA DE UMA FONTE TÉRMICA.

Como a energia térmica flui da fonte de maior para a de menor temperatura, Rudolf Clausius enunciou para a 2ª Lei da Termodinâmica, que:

É IMPOSSÍVEL UMA MÁQUINA, SEM AJUDA DE UM AGENTE EXTERNO, CONDUZIR CALOR DE UM SISTEMA PARA OUTRO QUE ESTEJA A UMA TEMPERATURA MAIOR.

#### 6.4. Resoluções de problemas.

1- Uma máquina frigorífica retira por segundo 4200J do congelador enviando para o ambiente 5040 J. Calcule:

- a) a potência do compressor
- b) a eficiência da máquina

2- Um motor térmico funciona a uma temperatura quente de 400K e sabendo que a fonte fria é de 300K e que a cada ciclo o motor recebe 600 cal da fonte quente , calcule e marque a quantidade de calor enviada ao ambiente e o rendimento do motor.

- a) 400 cal e 50%   b) 300 cal e 25%   c) 600 cal e 50%   d) 450 cal e 25%

3- Uma máquina térmica funciona entre uma fonte quente e uma fria a uma temperatura de 300 K e 400K , de modo que a cada ciclo recebe da fonte quente uma quantidade de calor de 1200J. Pede-se:

- a) o trabalho realizado pela máquina a cada ciclo;
- b) o rendimento da máquina;
- c) o calor rejeitado da fonte quente para a fonte fria.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

ALONSO, M. S.; FINN, E. J. Física. São Paulo, Edgar Blücher, 1972. V. 1 e 2.

CHAVES, Alair. Física básica. Rio de Janeiro, LTC/ LAB, 2007.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. Mecânica I. Rio de Janeiro, Elsevier, 1979.

VILLAS BOAS, Newton DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter Jose. Tópicos de Física1 e Tópicos de Física2 . São Paulo, Saraiva, 2007.