

1. ELETROSTÁTICA

1.1 CARGA ELÉTRICA: CONSERVAÇÃO E QUANTIZAÇÃO.

A carga elétrica é uma propriedade da matéria.

As carga do elétron e^- e do próton p^+ são:

$$p^+ = 1,6 \times 10^{-19}$$

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

a) Quantização da carga elétrica.

A quantidade da carga elétrica Q de um corpo é sempre múltiplo do quantum de carga q .

$$Q = n \cdot q$$

Unidade: C (Coulomb)

b) Conversação da carga elétrica.

Em um sistema eletricamente isolado, a carga elétrica é constante, ou seja, é conservada.

$$Q_{\text{sistema}} = \text{constante}$$

c) Portadores de carga

Carga é uma propriedade da matéria. Os portadores de carga são:

- elétrons: carga negativa (e^-)
- prótons: carga positiva (p^+)
- íons: - cátion: carga positiva. Ex: K^+, Na^+ etc.
- ânion: carga negativa. Ex: Cl^- etc.

Portanto

Numa interação elétrica pode ocorrer movimento de:

- elétrons (nos sólidos, líquidos e gases).
- íons (nos líquidos e gases).

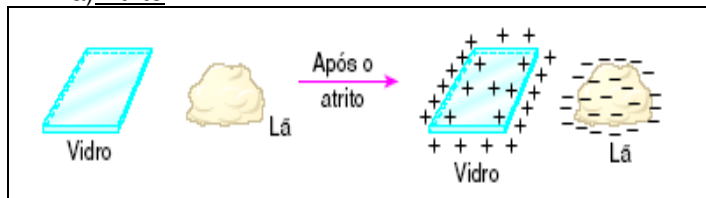
1.2 CONDUTOR E ISOLANTE

Condutor é o corpo no quais os portadores de carga movimentam-se com facilidade. Ex.: Fe, Cu, ligas metálicas etc.

Isolante ou dielétrico é o corpo no quais os portadores de carga não se movimentam. Ex.: borracha, plástico etc.

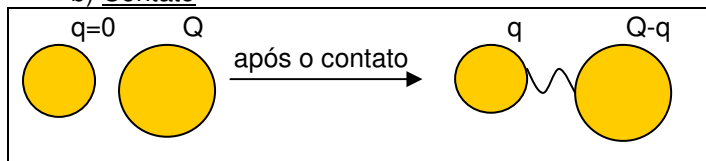
1.3 PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO

a) Atrito



Dois corpos neutros após serem atritados ficam carregados com cargas iguais e sinais contrários.

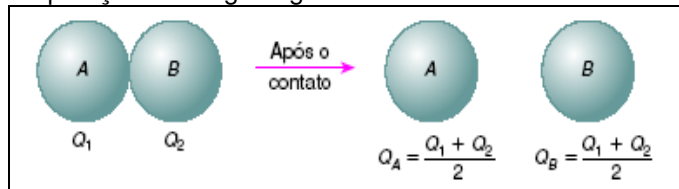
b) Contato



Dois corpos em contato repartem cargas ficando com o mesmo sinal.

Observação

Se os corpos em contato forem **IDÊNTICOS** a repartição de carga é igualitária.



Assim para corpos idênticos em contato tem-se:

$$Q_{\text{cada}} = \frac{\sum Q}{n}$$

c) Indução

1º Passo: aproximação

Observe na figura que ocorre a polarização de carga no induzido (B), que continua neutro.

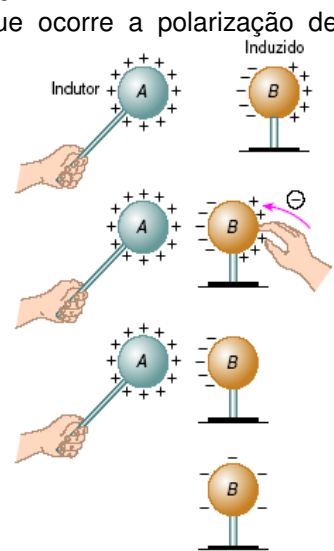
2º Passo: contato do induzido (B) com outro corpo ou através de ligação terra. No caso a mão do experimentador.

Observe na figura que elétrons passam da mão para esfera, carregando o induzido (B). No lado direito do induzido (B) havia "sobra" de prótons. Eles foram neutralizados pelos elétrons provenientes da mão.

3º Passo: Desfaz-se o contato.

4º Passo: Afasta o indutor (A).

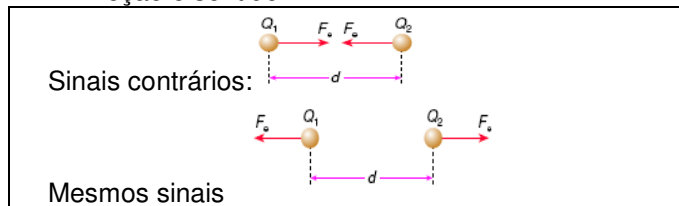
Depois da indução os corpos ficarão com cargas diferentes ($|q_{\text{induzido}}| < |q_{\text{indutor}}|$) e com sinais contrários.



1.4. LEI DE COULOMB: FORÇA ELÉTRICA (F)

"As forças de atração ou repulsão exercidas por dois corpos puntiformes eletrizados é diretamente proporcional ao produto das cargas destes corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa".

Direção e sentido:



Módulo:

$$F = \frac{KQq}{d^2}$$

$K_0 = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ para o vácuo ou ar.

Importante:

As duas forças que atuam nos corpos formam um par ação reação.

Unidade: N (Newton).

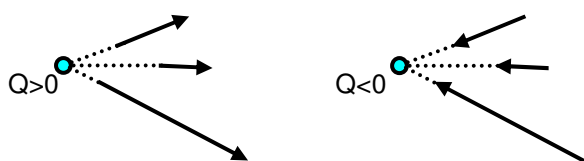
1.5 CAMPO ELÉTRICO (E)

São as características do meio próximo de uma carga Q (carga geradora do campo ou carga fonte) na qual causa influência em outra(s) carga(s) q (carga de prova ou de teste).

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$E = \frac{KQ}{d^2}$$

Convenção:



O vetor campo elétrico nas proximidades de uma carga positiva e saindo desta.

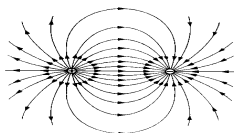
O vetor campo elétrico nas proximidades de uma carga negativa e entrando nesta.

Unidade: N/C (Newton/Coulomb).

Linhas de campo elétrico ou linhas de força.

São as representações do campo elétrico.

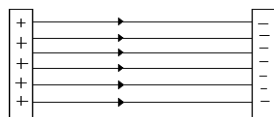
- Quanto mais próximas mais intenso o campo elétrico.
- A direção do vetor E é sempre tangente a linha de força e o sentido do vetor campo elétrico é o mesmo da linha de campo.
- A linha de força indica o sentido do movimento espontâneo da carga elétrica:
 - Carga positiva no sentido da linha de força.
 - Carga negativa no sentido contrário à linha de campo elétrico.



CAMPO ELÉTRICO UNIFORME:

É o campo elétrico cujo vetor E é constante, ou seja, não varia em módulo, direção e sentido.

Na figura acima observe que as linhas estão equidistantes e paralelas, logo o campo é dito CAMPO ELÉTRICO UNIFORME (CEU).



1.6 POTENCIAL ELÉTRICO

Para definirmos Potencial Elétrico é necessário definirmos antes Energia Potencial Elétrica.

a) Energia Potencial Elétrica (E_p)

Energia potencial elétrica é definida por:

$$E_p = \frac{KQq}{d}$$

Unidade: J (Joule).

b) Potencial Elétrico (V)

O potencial elétrico é definido por:

$$V = \frac{E_p}{q}$$

$$V = \frac{KQ}{d}$$

Unidade: V (Volt) =J/C

O potencial gerado por varias cargas será determinado pela soma algébrica dos potenciais de cada carga naquele ponto.

c) Superfície equipotencial: é a representação dos pontos de mesmo potencial.

A linha de força ou campo elétrico é sempre perpendicular a superfície equipotencial.

d) Tensão, Voltagem ou ddp (U ou V).

É a diferença de potencial (ddp) entre dois pontos A e B distintos em um mesmo instante.

$$U = V_A - V_B$$

Aplicações:

Pilha U=1,5V

Bateria de carro U=12V

Usina Hidroelétrica – rede residencial U=220V

Um eletro-volt (1eV) é a energia necessária para que um elétron movimente-se sob uma ddp de 1V.

$$1eV=1,6 \times 10^{-19} J$$

e) Trabalho da força elétrica ou trabalho do campo elétrico.

É dado pela equação:

$$W = q.U$$

Unidade: J (Joule).

Lembre sempre que:

- Se o W for positivo o movimento é espontâneo.
- Se o W for negativo o movimento é forçado.
- O trabalho W não depende da trajetória.
- Todo trabalho espontâneo diminui a E_p.

$$W = \Delta E_c$$

IMPORTANTÍSSIMO

Uma carga elétrica abandonada uma região de campo elétrico e sujeita exclusivamente a força elétrica deslocará espontaneamente para:

→ pontos de MAIOR potencial se a carga é NEGATIVA.

→ pontos de MENOR potencial se a carga é POSITIVA.

1.7. CAPACITÂNCIA (C)

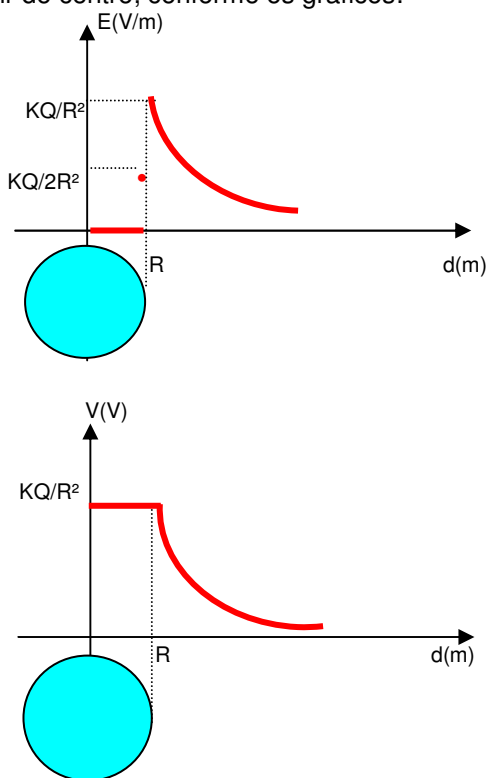
A relação entre a carga e o potencial é uma constante C chamada *capacitância eletrostática* ou *capacidade eletrostática*.

$$C = \frac{Q}{V} \text{ ou } C = \frac{Q}{U}$$

Unidade: F (Farad)

A) ESFERA

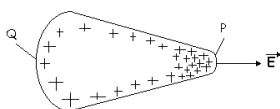
Estudos minuciosos com esferas em equilíbrio eletrostático mostram que o campo elétrico E e o potencial elétrico V na esfera variam com a distância d a partir do centro; conforme os gráficos:



Em resumo:

Local	E (N/C)	V (V)
Interior	$E = 0$	$V = \frac{KQ}{R}$
Superfície	$E = \frac{KQ}{2R^2}$	$V = \frac{KQ}{R}$
Próximo (fora)	$E = \frac{KQ}{R^2}$	$V = \frac{KQ}{R}$
Exterior da esfera	$E = \frac{KQ}{d^2}$	$V = \frac{KQ}{d}$

Este comportamento mostrado no gráfico se dá pelo fato das cargas elétricas armazenarem-se na superfície da esfera. E verifique-se que o vetor campo elétrico é sempre perpendicular ao corpo, independente da forma dele.

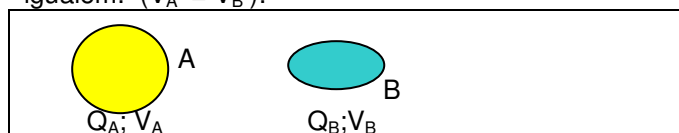


A capacitância da esfera é dada por:

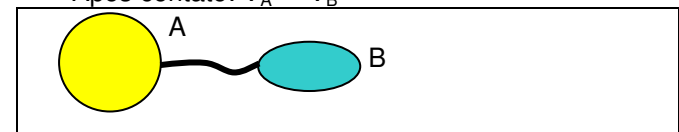
$$C_{\text{esfera}} = \frac{R}{K}$$

Contato entre esferas não idênticas:

Se ligarmos duas esferas condutoras e carregadas A e B com potenciais diferentes (V_A diferente de V_B) ocorrerá movimento ordenado de carga elétrica entre elas até que os potenciais se igualem. ($V_A' = V_B'$):



Após contato: $V_A' = V_B'$



Este novo potencial $V = V_A' = V_B'$ é determinado por:

$$V = \frac{Q_A + Q_B}{C_A + C_B}$$

Para saber os valores das novas cargas depois do contato Q_A' e Q_B' substitui-se o valor de V dado por:

$$Q_A = C_A \cdot V$$

$$Q_B = C_B \cdot V$$

B) CAPACITOR OU CONDENSADOR.

A capacidade eletrostática (C) do capacitor plano de placas paralelas depende da área das placas (A), da distância entre as placas (d) e do material que constitui o isolante, determinado pela permissividade dielétrica do meio ($\epsilon = 1/4\pi K$ onde K é a constante eletrostática).

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

Importante:

Análise do capacitor

Seja um capacitor de placas planas paralelas. Sua capacitância é dada por:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

Entretanto destacam-se dois casos interessantes:

- Se o condensador estiver ligado a uma fonte sua tensão é constante, podendo variar a carga:
- Se o condensador estiver carregado e isolado (circuito foi desligado) sua carga permanece constante, podendo variar a tensão:
- Se o dielétrico for mudado deve-se considerar que para aumentar a capacitância o dielétrico deve ser substituído por outro de permissividade maior.

É interessante observar que entre as placas do capacitor surge um campo elétrico uniforme (CEU).

$$U = E.d$$

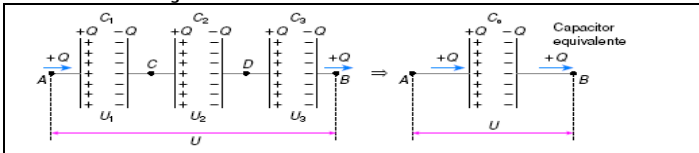
Válida apenas para o campo elétrico uniforme.

Importante

O valor máximo do campo elétrico que um dielétrico suporta sem tornar-se condutor é chamado de RIGIDEZ DIELÉTRICA.

C) ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES.

Associação em série:



Carga:

$$Q_{eq} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_i$$

Tensão:

$$U_{eq} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_i$$

Capacitância equivalente:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_i}$$

Facilitação do Cálculo:

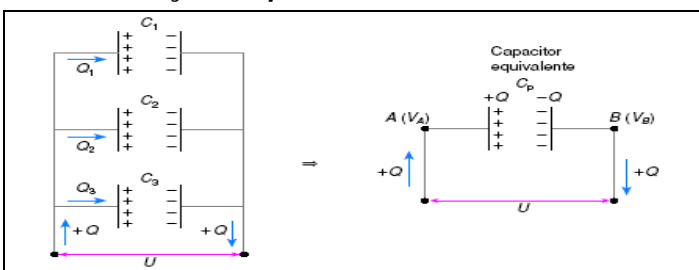
Se ocorrer dois capacitores C_1 e C_2 associados em série é possível calcular o equivalente C_{eq} através da equação:

$$C_{eq} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Se um circuito apresenta n capacitores iguais de capacitância C cada, o capacitor equivalente C_{eq} da associação é dado por:

$$C_{eq} = \frac{C}{n}$$

Associação em paralelo



Carga:

$$Q_{eq} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_i$$

Tensão:

$$U_{eq} = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_i$$

Capacitância equivalente:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_i$$

D) ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

A energia potencial elétrica do capacitor plano é:

$$E_p = \frac{C.U^2}{2}$$

2. ELETRODINÂMICA

2.1 CORRENTE ELÉTRICA

É o fluxo ordenado dos portadores de carga num sentido conforme o *campo elétrico* no condutor

Pode também ser definido como a quantidade de carga que passa pela secção reta transversal de um condutor em um intervalo de tempo.

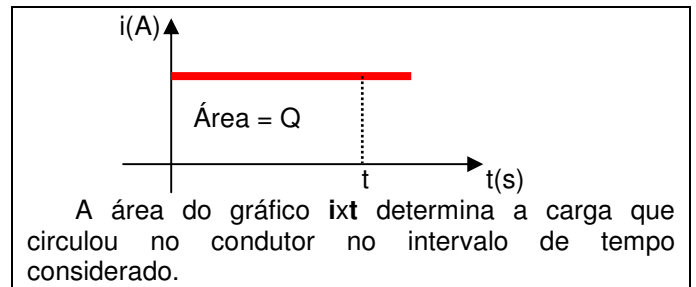
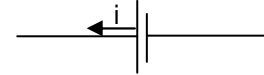
$$i = \frac{Q}{\Delta t}$$

Unidade: A (Ampère) = C/s.

a) Corrente contínua - CC

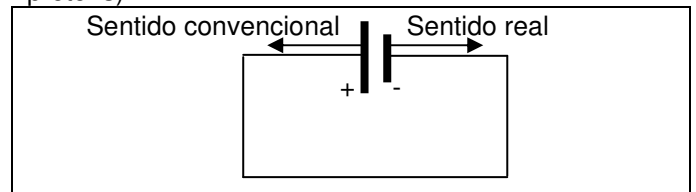
É a corrente com um único sentido de fluxo dos portadores de carga. São geradores de CC: pilha, bateria e dínamo.

Os geradores CC são representados por:



Sentido da CC

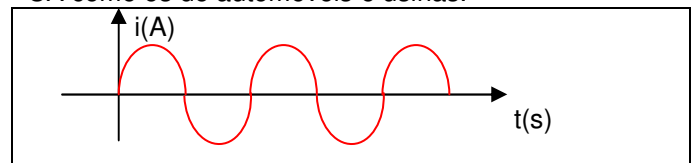
- Sentido real da corrente (movimento de elétrons)
- Sentido convencional da corrente (movimento de prótons).



b) Corrente alternada - CA

É o fluxo de cargas de sentido e intensidade oscilante.

São chamados de alternadores os geradores de CA como os de automóveis e usinas.



2.2 RESISTOR

Resistor é o dispositivo que transforma energia elétrica em energia térmica.

Resumo de Física

São exemplos de resistores os chuveiros, ferro de passar roupa, lâmpada incandescente, rabo quente etc.

A relação entre tensão (U) e corrente (i) é a **resistência elétrica R**.

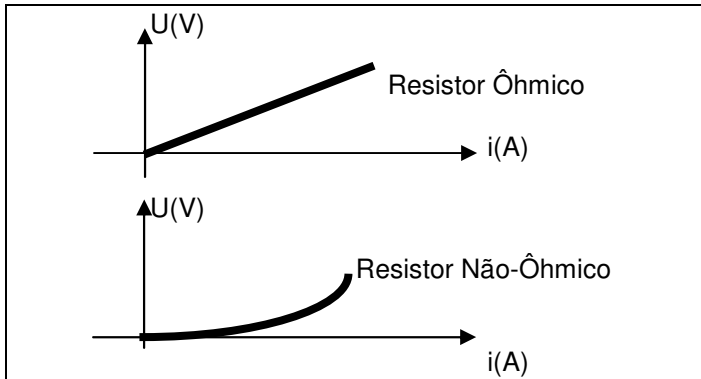
$$R = \frac{U}{i}$$

UNIDADE:

Unidade: Ω (Ohm) = V/A

b) Resistores Ôhmicos e Não- Ôhmicos.

Quando um resistor apresenta resistência constante é dito resistor **Ôhmico**. Quando a resistência elétrica R varia para valores diferentes de tensão é dito **Não-Ôhmicos**.



2.3 LEI DE OHM

“Nos materiais ôhmicos a diferença de potencial (ddp) num segmento de condutor é proporcional a corrente.”

“Nos resistores ôhmicos, alternando a polaridade do resistor ou variando a tensão a resistência permanece constante.”

Importante:

Nestes casos verifica-se que a resistência não depende da tensão. Assim se variar a tensão a resistência permanece constante e a corrente é quem varia.

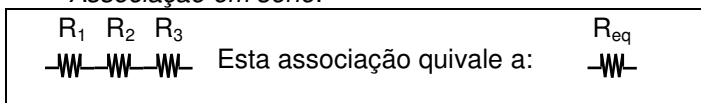
a) Resistividade.

Pode-se verificar que a resistência elétrica R depende, conforme mostram os experimentos, das seguintes variáveis:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

b) Associação de resistores.

Associação em série:



Corrente:

$$I_{eq} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_i$$

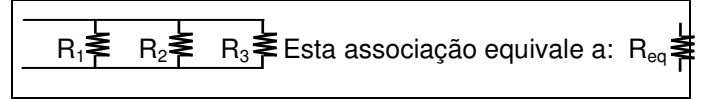
Tensão:

$$U_{eq} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_i$$

Resistência equivalente:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_i$$

Associação em paralelo:



Para a associação em paralelo constata-se que:

Corrente:

$$i_{eq} = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_i$$

Tensão:

$$U_{eq} = U_1 = U_2 = U_3 + \dots + U_i$$

A resistência equivalente:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_i}$$

Facilitação de cálculo:

Se em um circuito ocorrer dois resistores distintos R_1 e R_2 associados em paralelo é possível calcular o seu equivalente R_{eq} por:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Se ocorrer n resistores iguais R associados em paralelo e seu equivalente R_{eq} por:

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

2.4 EFEITO JOULE

É o nome dado para o fenômeno de aquecimento do condutor pela passagem de corrente.

$$P = U \cdot i \quad P = R i^2 \quad P = \frac{U^2}{R}$$

Unidade: W (Watt) = J/s = V.A

Para calcular a energia elétrica E transformada em térmica opera-se:

$$E = P \cdot \Delta t$$

Unidade: J (Joule)

$$1 \text{Kwh} = 3,6 \times 10^6 \text{ j}$$

2.5 INSTRUMENTO DE MEDIDA ELÉTRICA

a) Amperímetro.

É o equipamento destinado a medir corrente elétrica.

Para seu funcionamento deve estar ligado ao circuito no qual deseja medir em série.

Sua resistência interna deve ser mínima (muito pequena).

Nos amperímetros ideais diz-se que a resistência interna é nula.

Símbolo do amperímetro:


b) Voltímetro:

É o equipamento destinado a medir ddp (tensão).

Para o perfeito funcionamento do voltímetro este deve ser ligado em paralelo com o que se deseja medir a tensão.

Sua resistência interna deve ser máxima (muito grande).

Nos voltímetros ideais a resistência interna é infinita.

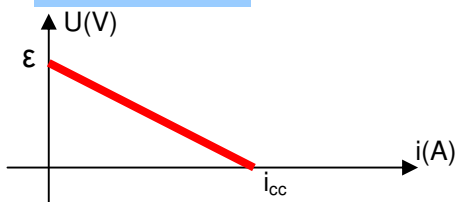
Símbolo de voltímetro: 

2.6 GERADOR

É o equipamento destinado a transformar outras formas de energia em energia elétrica.

Equação do gerador

$$u = \mathcal{E} - r \cdot i$$



Onde a corrente de curto circuito é dada por: $i_{cc} = \frac{\mathcal{E}}{r}$

Rendimento (η)

$$\eta = \frac{u}{\mathcal{E}} \quad \text{ou} \quad \eta_{\%} = \frac{u}{\mathcal{E}} \cdot 100$$

Gerador	Total	Útil	Dissipada
Tensão	\mathcal{E}	U	$r \cdot i$
Potência	$\mathcal{E} \cdot i$	$U \cdot i$	$r \cdot i^2$
Energia	$\mathcal{E} \cdot i \cdot \Delta t$	$U \cdot i \cdot \Delta t$	$r \cdot i^2 \cdot \Delta t$

Observação:

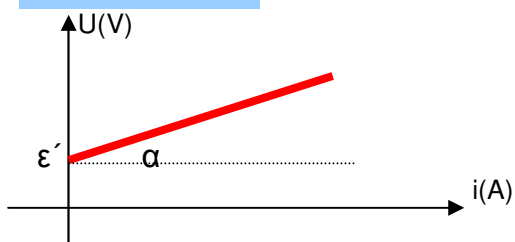
A máxima potência permitida por um gerador elétrico corresponde a uma tensão $U = \mathcal{E}/2$ e a uma corrente $i = i_{cc}/2$. Logo $P_{\max} = \frac{\mathcal{E}^2}{4 \cdot r}$. Nestas condições o gerador funcionará com um rendimento de 50%

2.7 RECEPTORES

São equipamentos que transformam energia elétrica em outra forma de energia que não exclusivamente térmica. Os motores elétricos são exemplos de receptores, como ventilador, batedeira, liquidificador etc.

Equação do receptor

$$u = \mathcal{E}' + r' \cdot i$$



Observe que $r' = \tan \alpha$

Rendimento

$$\eta = \frac{\mathcal{E}}{u} \quad \text{ou} \quad \eta_{\%} = \frac{\mathcal{E}}{u} \cdot 100$$

Receptor	Útil	Total	Dissipada
Tensão	\mathcal{E}'	U	$R' \cdot i$
Potência	$\mathcal{E}' \cdot i$	$U \cdot i$	$r' \cdot i^2$
Energia	$\mathcal{E}' \cdot i \cdot \Delta t$	$U \cdot i \cdot \Delta t$	$r' \cdot i^2 \cdot \Delta t$

2.8 LEIS DE KICHHOFF

1ª LEI (lei de nós)

“Em um nó, a soma das correntes que chegam no nó é igual a soma das correntes que saem do nó.”

2ª LEI (lei das malhas)

“Percorrendo-se uma malha, em um ciclo, a soma das tensões é nula”.

3. ELETROMAGNETISMO

3.1 ÍMÃS NATURAIS E ARTIFICIAIS

Existem certo minérios (rochas) que apresentam poder de atração repulsão, são chamados de MAGNETITA (óxido de ferro Fe_3O_4). Estas pedras são ímãs naturais.

a) Processos de Magnetização

Para magnetizar alguns materiais pode-se proceder de uma das seguintes formas:

- Atrito
- Contato
- Indução

b) Propriedades dos ímãs

- Apresentam dois pólos (NORTE – SUL)
- Pólos do mesmo nome se repelem e de nomes contrários se atraem.
- Se deixar um ímã suspenso livremente ele gira apontando seu pólo norte para as vizinhanças do pólo norte geográfico porque a Terra é um grande ímã cujo pólo sul encontra-se próximo do pólo norte geográfico.
- É impossível separar os pólos de um ímã. Por mais que se quebre um ímã em pequenos pedaços, cada pedacinho será um novo ímã com um único pólo sul e um único pólo norte.

3.2 VETOR CAMPO MAGNÉTICO OU VETOR INDUÇÃO MAGNÉTICA

Campo magnético ou indução magnética \vec{B} é uma grandeza vetorial.

Unidade: T (Tesla)

Para representar o campo magnético ou indução magnética utilizam-se as linhas de indução ou linhas do campo magnético.

Importante:

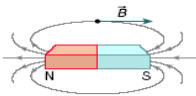
Convencionalmente estas linhas saem do pólo norte do ímã e entram no pólo sul.

O vetor \vec{B} é sempre tangente a linha de campo magnético.

No campo magnético, quanto mais próximas as linhas de campo, mais intenso o campo.

As linhas de campo magnético são sempre fechadas.

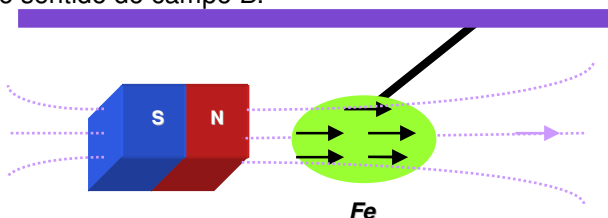
O campo magnético uniforme é representado por linhas de campo magnético paralelas e eqüidistantes.



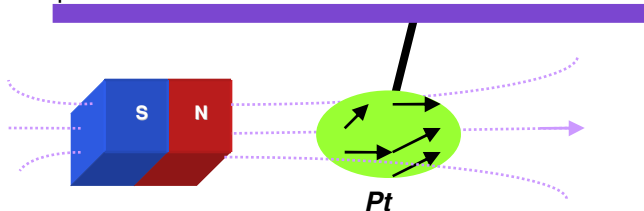
3.3 SUBSTÂNCIAS

Quanto ao poder magnético existem três tipos de substâncias:

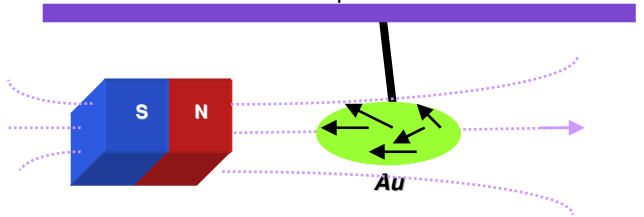
(a) **Ferromagnéticas:** são as substâncias com forte atração no sentido do campo. Exemplo: Fe, Ni, Co e ligas destes. Ótima organização dos ímãs elementares no sentido do campo B .



(b) **Paramagnéticas:** são as substâncias com fraca atração no sentido do campo. Exemplo: Pt, Na, K etc. Sutil organização dos ímãs elementares no sentido do campo B .



(c) **Diamagnéticas:** são as substâncias com fraca repulsão, logo no sentido contrário do campo. Exemplo: Bi, Ag, Au etc. Sutil organização dos ímãs elementares no sentido contrário do campo B .



3.4 LEI DE AMPÈRE

Para verificar a relação entre o campo magnético e a corrente Ampère desenvolveu uma expressão matemática estabelecendo uma lei com seu nome.

$$\int B dl = \mu \cdot i$$

A constante μ é chamada PERMEABILIDADE MAGNÉTICA.

Para o vácuo $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$

3.5 CAMPO GERADO POR UM CONDUTOR RETO

As linhas de indução do campo magnético de um condutor reto, percorrido por uma corrente, são circunferências concêntricas com o condutor situado em planos perpendiculares a ele.

O módulo do campo magnético é dado por:

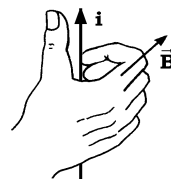
$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Sentido do campo magnético

Para determinar o sentido do vetor indução magnética B deve-se usar a REGRA DA MÃO DIREITA (RMD).

O dedo polegar indica o sentido convencional da corrente elétrica i .

Os outros quatro dedos da mão direita, "abraçam" o condutor e indicam o sentido das linhas de indução em torno do condutor.



Representação do vetor campo magnético



Vetor **saindo** no plano da página.



Vetor **entrando** no plano da página.

b) Campo criado por espiras

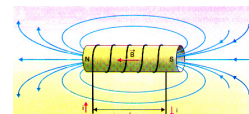
Chama-se espira um fio condutor enrolado no qual suas pontas podem se fechar ou não.

Se existem N espiras, o módulo do campo magnético produzido:

$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot i}{2 \cdot R}$$

3.6 CAMPO CRIADO POR SOLENÓIDE OU BOBINA

Chama-se solenóide ou bobina um sistema de fios condutores enrolados um ao lado da outro (justapostos), igualmente espaçadas. A intensidade do campo magnético no interior do solenóide (bobina) é dada por:



$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot i}{l}$$

3.7 FORÇA MAGNÉTICA SOBRE CONDUTOR RETILÍNEO

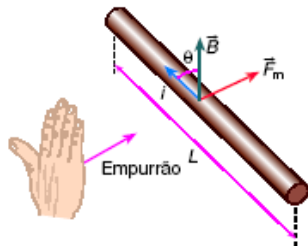
Quando um condutor reto, de comprimento l , percorrido por uma corrente i , está imerso num campo magnético B , verifica-se que surge sobre o condutor uma força:

$$\vec{F} = \vec{B} \cdot i \cdot l \cdot \text{sen } \theta$$

A direção e o sentido do vetor força magnética F é dado pela REGRA DO TAPA, realizado com a mão

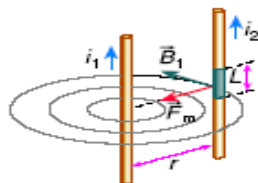
direita. O tapa dado com a palma da mão válido para corrente no sentido convencional.

Para saber o sentido da força magnética, indique com a mão direita o polegar para o sentido convencional da corrente e os demais dedos no sentido do campo magnético. A palma da mão define o sentido da força.



a) Condutores paralelos

No caso de dois condutores retos paralelos a força entre eles é verificada da seguinte forma:



Correntes no mesmo sentido: **atração**

Correntes no sentido contrário: **repulsão**

A intensidade da força de interação entre os condutores é dada por:

$$B = \frac{\mu \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot L}{r}$$

3.8 FORÇA SOBRE UMA CARGA EM MOVIMENTO NO CAMPO MAGNÉTICO

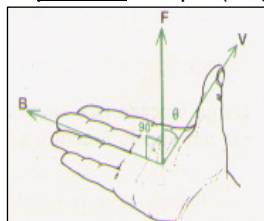
Como corrente elétrica é movimento (ordenado) dos portadores de carga elétrica, pode-se interpretar a força elétrica como:

$$\vec{F} = \vec{B} \cdot q \cdot \vec{v} \cdot \text{sen } \theta$$

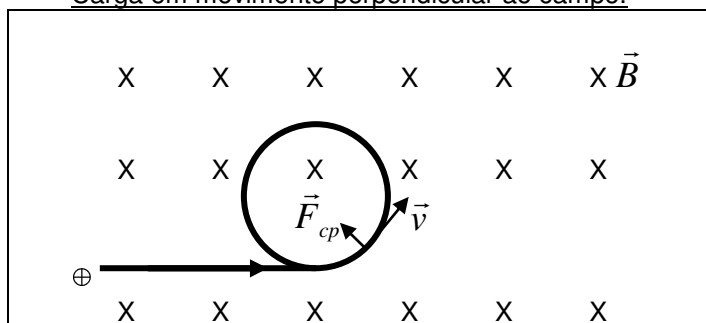
REGRA DO TAPA:

Se a carga em movimento for positiva o tapa (força) deve ser dado com a palma da mão.

Se a carga em movimento for negativa o sentido da força (tapa) é dado com o dorso da mão.



Carga em movimento perpendicular ao campo.



O movimento da carga é MCU de raio R dado por:

$$R = \frac{m \cdot \vec{v}}{B \cdot q} \text{ ou } R = \frac{\vec{p}}{B \cdot q}$$

Carga com movimento oblíquo ao campo.

Se uma carga entrar obliquamente ao campo magnético, ou seja, $0^\circ < \theta < 180^\circ$ com θ diferente de 90° terá uma trajetória helicoidal (semelhante a espiral de caderno).

3.9 PRINCÍPIO DOS MOTORES ELÉTRICO:

São chamados de motores elétricos os receptores que transformam energia elétrica em mecânica, em geral esta acontece na forma de giro. Os motores elétricos são formados por bobinas em regiões de campo magnéticos. Quando percorridas por correntes elétricas, surge uma força magnética que produz o giro característico dos ventiladores, liquidificadores e outros motores.

3.10. INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

FLUXO MAGNÉTICO Φ :

$$\Phi = \vec{B} \cdot A \cdot \cos \theta$$

Unidade: Wb (Weber) = Tm²

LEI DE FARADAY

Enunciado:

"A força eletromotriz – fem (\mathcal{E}) induzida numa espira é igual a variação de fluxo $\Delta\Phi$ ocorrida num intervalo de tempo Δt ".

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

LEI DE LENZ

Enunciado:

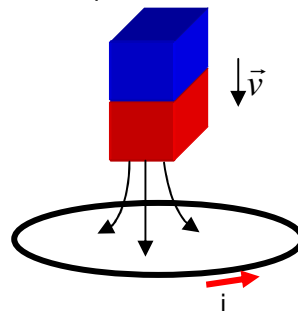
"A corrente elétrica induzida num circuito gera um campo magnético que se opõe a variação do fluxo magnético que induz esta corrente".

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Ímã ou espira em movimento:

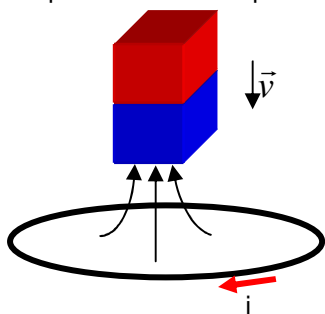
Aproximação do ímã ou espira:

a) Pólo NORTE aproxima-se da espira



Fluxo da espira aumenta em sentido contrario (oposição em sentido) Aplica-se RMD.

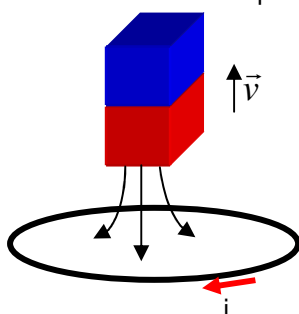
b) Pólo SUL aproxima-se da espira



Fluxo da espira aumenta em sentido contrário (oposição em sentido) Aplica-se RMD.

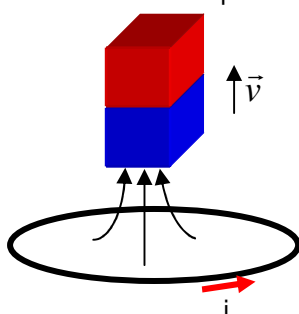
Afastamento do ímã ou espira:

a) Pólo NORTE afasta-se da espira



Fluxo opõe-se duas vezes: primeiro em sentido contrário ao do ímã, segundo opõe-se a diminuição do fluxo do ímã. Aplica-se duas vezes a RMD.

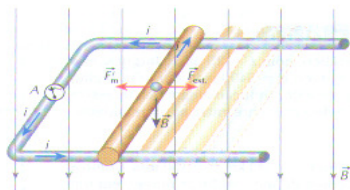
b) Pólo SUL afasta-se da espira



Fluxo opõe-se duas vezes: primeiro em sentido contrário ao do ímã e segundo opõe-se a diminuição do fluxo do ímã. Aplica-se duas vezes RMD.

(ii) Condutor em movimento provocando $\Delta\Phi$

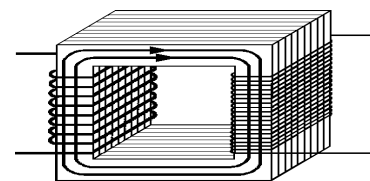
Seja um condutor em forma de "U" sobreposto por outro que se desloca livremente. Um campo B perpendicular a eles é distribuído de forma uniforme para baixo e o condutor livre é puxado para direita com uma força F_{ext} desenvolvendo uma velocidade constante. A fem induzida pode ser determinada por:



$$\mathcal{E} = B \cdot L \cdot v$$

3.11 TRANSFORMADOR

É um equipamento destinado a transformar tensão através da variação de fluxo.



As relações para transformadores são:

$$\frac{U_P}{N_P} = \frac{U_S}{N_S} \text{ e } N_P \cdot i_P = N_S \cdot i_S$$

4 ÓPTICA FÍSICA

4.1 NATUREZA E PROPAGAÇÃO DA LUZ

Maxwell na segunda metade do século XIX concluiu que:

- Carga elétrica em repouso gera campo elétrico.
- Carga elétrica em movimento gera campo elétrico variável.

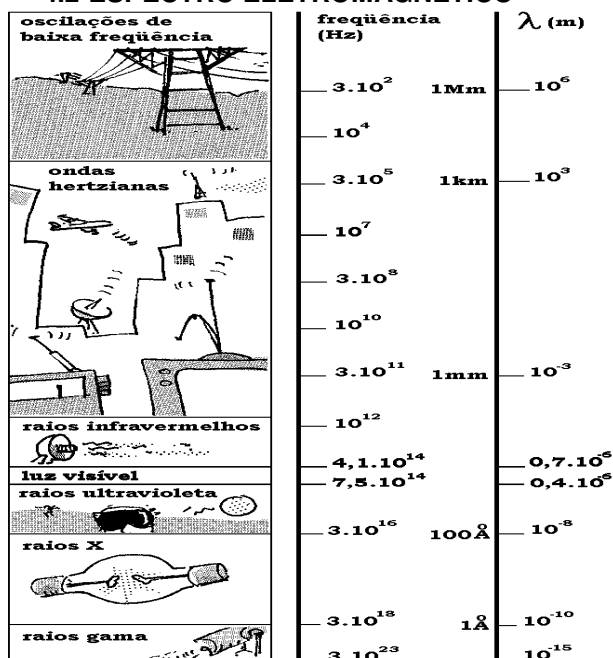
Esquemáticamente:

$$q_{mov} \rightarrow \Delta E \rightarrow \Delta B \rightarrow \Delta E \rightarrow \Delta B \rightarrow$$

c) Propagação

As ondas eletromagnéticas são geradas a cada instante pelas sucessivas variações dos campos E e B e apresentam velocidades espetaculares que chegam a 300.000.000 m/s no vácuo. No ar a luz (como qualquer onda eletromagnética) apresenta menor velocidade. Esta velocidade depende da frequência. Quanto menor a frequência maior a velocidade.

4.2 ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO



Como já foi visto luz pode tem comportamento de uma das ondas eletromagnéticas. Observe outras

ondas eletromagnéticas em sua ordem crescente de frequência.

A reta da direita indica a ordem crescente do comprimento de onda.

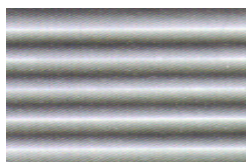
Quanto maior a frequência menor o comprimento de onda, pois:

$$v = \lambda \cdot f$$

4.3 EXPERIÊNCIA DE YOUNG

A luz proveniente de uma fonte passa por duas fendas e posteriormente incide em um anteparo.

A figura mostra um perfil aproximado do anteparo quando iluminado por uma única fonte que projeta luz sobre duas fendas e sofrem interferência no anteparo.



As “manchas” escuras são interferências destrutivas. Esta configuração é chamada de FRANJAS DE INTERFERÊNCIA e para que aconteça é necessário que a luz proveniente das fendas seja coerente.

4.4 DIFRAÇÃO E POLARIZAÇÃO

a) Difração

A difração é o fenômeno no qual a onda contorna o obstáculo. Este “contorno” é mais acentuado quanto:

- maior o comprimento de onda
- menor a fenda

Importante:

Na prática para a difração ser verificada é necessário que as dimensões da fenda (abertura) seja da **mesma ordem de grandeza** do comprimento de onda.

b) Polarização

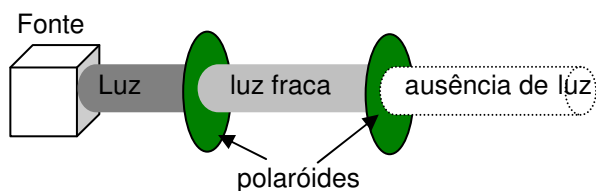
O fenômeno da polarização consiste em fazer a onda vibrar na direção dos pólos de um polarizador e sendo absorvida nas demais. Assim somente pode ser polarizada onda transversal.

Para verificar-se a polarização da luz utiliza-se cristal natural cortados apropriadamente como polarizadores. Em 1838 Land inventou uma película polarizadora que levou o nome comercial de Polaroid.

Com o sucesso da polarização da luz garantiu-se primeiro que a luz é onda e segundo que é uma onda transversal.

Mais do que isto, o fenômeno da polarização ajudou a mostrar um modelo de onda eletromagnética com **campos perpendiculares**.

Para polarizar “totalmente” a luz como no caso da analogia com a corda, deve-se utilizar um sistema de dois polaróides, um polarizador outro analisador.



4.5 LUZ COMO PARTÍCULA ONDA

Einstein, porém propôs que a luz como qualquer outra radiação eletromagnética pode ser interpretada com um conjunto de pequenos pacotes de energia – um “quantum” de energia luminosa ($E=h \cdot f$) que mais tarde foi denominado fóton.

Cada fóton ao atingir o material, transfere sua energia ao elétron que, para ser arrancado, precisa realizar um trabalho cujo valor depende do material. Esta energia é chamada de função trabalho W_m do material. Assim a energia que sobra para que o elétron saia velozmente (energia cinética E_c) é dado por:

$$E_c = h \cdot f - w_m$$

Com este experimento Einstein de certa forma propõe que a luz comporta-se como partícula (fóton). Assim diz-se que a luz tem um **comportamento dual** ou dualístico, ou seja, para certos fenômenos como **interferência, difração e polarização comportam-se como onda e para outros como o efeito fotoelétrico e efeito Compton comporta-se como partícula**.

5. ÓPTICA GEOMÉTRICA

5.1 RAIOS LUMINOSOS

Chama-se raio de luz a linha reta orientada que representa esquematicamente a direção e o sentido de propagação de uma onda luminosa ou de um fóton de luz.

a) Leis da óptica geométrica

Princípio da propagação retilínea da luz

“Num meio homogêneo e transparente, a luz se propaga em linha reta.”

Princípio da independência dos raios de luz

“Um raio de luz ao cruzar com outro não interfere na propagação do outro.”

Princípio da reversibilidade dos raios de luz

“O caminho seguido pela luz independe do sentido de propagação”.

5.2 REFLEXÃO DA LUZ

A reflexão pode ser:

Regular ou Especular: quando a superfície do objeto é pálida (lisa) e neste caso os raios que incidem paralelos refletem-se paralelos

Irregular ou Difusa: quando existe “rugosidade” na superfície do objeto. Neste caso raios que incidem paralelos refletem com direções variáveis. A reflexão difusa é o que permite a visualização do objeto.

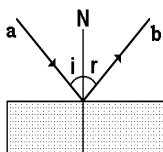
a) Cor do objeto:

Diz-se que a cor do objeto é a cor da luz refletida pelo objeto.

Leis da Reflexão

Primeira Lei da Reflexão:

O raio incidente (RI) o raio refletido (RR) e a normal (N) a superfície no ponto de incidência são coplanares (contidos no mesmo plano).



Segunda Lei da Reflexão:

O ângulo de incidência (i) é congruente ao ângulo de reflexão (r).

5.4 REFRAÇÃO

É o fenômeno característico de uma onda que altera a velocidade pela mudança de meio. A velocidade que a onda adquira na troca de meio depende das características do meio e da frequência da luz.



Índice de refração absoluto (n)

$$n = \frac{c}{v}$$

- O índice de refração n é adimensional.
- É sempre maior ou igual a um ($n \geq 1$), pois $c \geq v$
- A velocidade da luz no ar é $v_{ar} = c$ logo $n = 1$
- O meio com maior N é dito mais refringente.

Índice de refração relativo (n_{AB}).

$$n_{AB} = \frac{n_A}{n_B} = \frac{v_B}{v_A}$$

Leis da Refração:

Primeira Lei da Refração:

O raio incidente (RI) o raio refratado (RR) e a normal a fronteira dos meios no ponto de incidência são coplanares.

Segunda Lei da Refração:

O desvio sofrido pelo raio de luz ao mudar de meio é dado por: Relação Snell-Descartes.

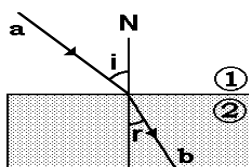
$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r$$

A relação que segue é a equação geral para refração. Relaciona além do desvio e índice de refração dos meios, a velocidade e comprimento de onda:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{sen } 2}{\text{sen } 1} = \frac{v_2}{v_{B1}} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

Esquemáticamente a equação acima diz:

n	v	λ	θ
n	v	λ	θ



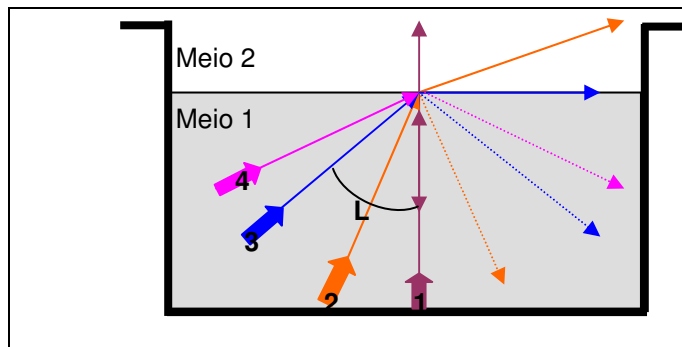
Já a frequência e o período da onda luminosa não são alterados pela mudança do meio.

Observação:

Se a incidência for perpendicular a superfície (coincidente com a normal) a luz não sofrerá desvio.

5.5 REFLEXÃO TOTAL

Existem certas situações em que a luz não sofre refração, fazendo com que toda luz seja refletida. Para que isto aconteça é necessário que o raio incidente esteja no meio mais refringente.



O ângulo de incidência que proporciona esta situação é chamado **ângulo limite (L)** logo:

$$\text{sen } L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$$

Então três situações de refração podem acontecer quando o raio incidente está no meio mais refringente:

- Se $i < L$ ocorre reflexão e refração
- Se $i = L$ ocorre reflexão e refração
- Se $i > L$ ocorre somente reflexão, ou seja, REFLEXÃO TOTAL.

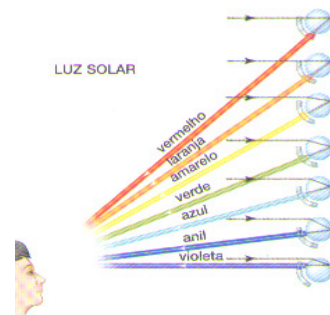
Importante:

Logo as condições para reflexão total são:
 - Ângulo de incidência maior que limite.
 - Luz incidir do meio mais refringente para o menos refringente.

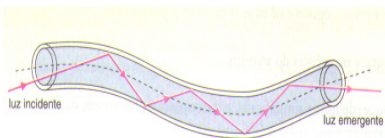
Exemplos:

Arco-íris

Observe que na figura os raios de luz incidentes são paralelos. O raio de luz que incide em uma gota de água sofre a primeira refração. Propaga-se por dentro da gota e incide na outra face, sofre reflexão total e retorna por dentro da gota e refrata novamente em outra superfície saindo para atmosfera.



Fibra óptica



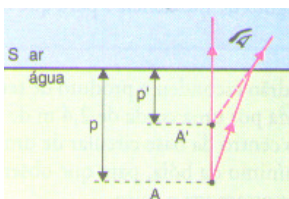
É um dispositivo constituído de óxido de silício e óxido de germânio. Através de sucessivas reflexões

internas totais a luz propaga-se no interior da fibra óptica.

a) Casos de refração

(i) Dióptro Plano:

Quando um observador encontra-se em um meio e observa um objeto em outro meio, na direção normal (perpendicular a superfície de separação) ou quase normal, este vê o objeto numa posição aparente. Seja n_{obs} o índice de refração do meio onde se encontra o observador e n_{obj} o índice de refração do meio onde se encontra o objeto. Então a posição aparente p' pode ser determinada por:



$$\frac{n_{obs}}{n_{obj}} = -\frac{p'}{p}$$

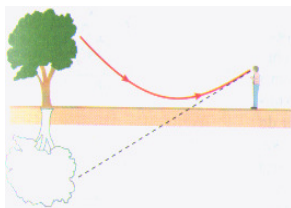
(ii) Posição aparente de astros

A luz proveniente de um astro (sol, lua, estrelas etc) ao passar pelas diferentes camadas da atmosfera sofre refração, desviando-se. Com efeito, para um observador na superfície da Terra o astro observado terá uma posição diferente daquela em que ele é visto.

Quanto mais próximo da superfície da Terra, mais refringente os gases atmosféricos. Assim mudando as características do ar mudam-se as velocidades de propagação da luz.

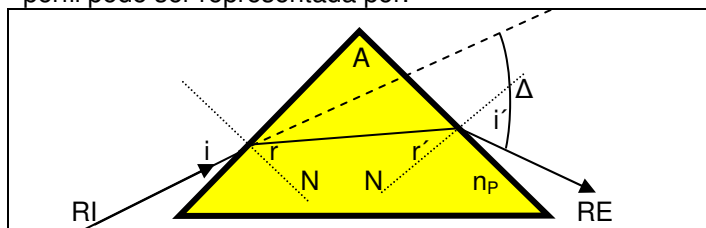
(iii) Miragem

Quando o solo está superaquecido, o ar próximo aquece muito tornando-se menos denso e por isso menos refringente. Um raio de luz que desce obliquamente ao solo pode sofrer reflexão total e neste caso o gás próximo ao solo funciona como se fosse um espelho, produzindo uma imagem invertida do objeto. Este fenômeno tem o nome de miragem.



5.6 PRISMA ÓPTICO

Seja um prisma de base triangular, sua vista em perfil pode ser representada por.



É possível provar que

$$A = r + r'$$

e

$$\Delta = i + i' - A$$

Desvio Mínimo.

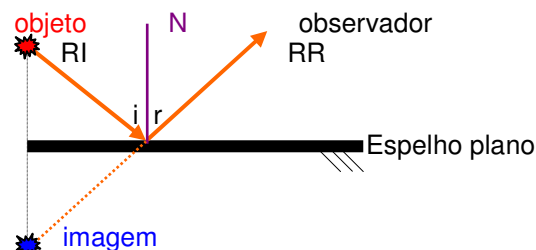
Para que o desvio seja mínimo ($\Delta = \Delta_{min}$) é necessário e suficiente duas condições:

- $i = i'$
- $r = r'$

5.3 ESPELHOS

a) Espelho plano fixo

A imagem em espelho plano não depende da posição do observador e sim do objeto.



Características da imagem produzida por espelho plano:

- IGUAL ao objeto, ou seja mesmo tamanho.
- DIREITA, ou seja, não sofre inversão ("ponta cabeça")
- SIMÉTRICA ao objeto em relação ao espelho, ou seja, encontra-se a mesma distância x do espelho que o objeto.
- ENANTIOMORFA, ou seja, apresentam formas contrárias, como o caso das inscrições "AMBULÂNCIA" nos veículos para que seja visualizado corretamente pelo retrovisor do veículo da frente.
- VIRTUAL, ou seja, a imagem e o objeto encontram-se em lados opostos do espelho.

Sistema formado por dois espelhos planos.

Sejam dois espelhos planos que formam um ângulo α . O número de imagens formadas é dado por:

$$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$

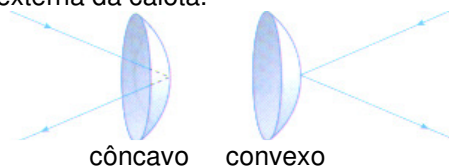
b) Espelhos esféricos

São espelhos correspondentes a uma calota esférica espelhada.

Podem ser:

Espelhos esféricos côncavos: a luz reflete na face interna da calota.

Espelhos esféricos convexos: a luz reflete na face externa da calota.



Elementos:

Sejam os espelhos esféricos:



- C** = CENTRO: é o centro de curvatura da esfera.
- F** = FOCO: é o ponto médio entre o C e V.
- V** = VÉRTICE: é o ponto mais externo da calota esférica.
- ep** = EIXO PRINCIPAL: reta que contem C e F

Propriedades dos raios incidentes

→ “Todo raio de luz que incide paralelo ao eixo principal, reflete-se numa direção que passa pelo foco F.”



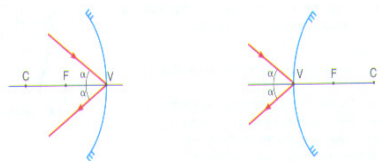
→ “Todo raio de luz que incide numa direção que passa pelo foco, reflete paralelo ao eixo principal do espelho.”



→ “Todo raio de luz que incide numa direção que passa no centro de curvatura reflete-se sobre si mesmo.”



→ “Todo raio de luz que incide na direção que passa pelo vértice reflete-se simetricamente ao eixo principal.”



Construção geométrica de imagem

Os cinco casos de espelhos côncavos são:

a) Objeto além do centro de curvatura.

Imagem: real, invertida e menor.

b) Objeto no centro de curvatura

Imagem: real, invertida e igual.

c) Objeto entre o centro de curvatura e o foco

Imagem: real, invertida e maior.

d) Objeto no foco:

Imagem: imprópria.

e) Objeto entre o foco e o vértice:

Imagem: virtual, direita e menor.

Observe a única situação possível para espelho esférico convexo. Para qualquer posição do objeto a imagem é sempre virtual, direita e menor.

Imagem: virtual, direita e menor.

Observe que:

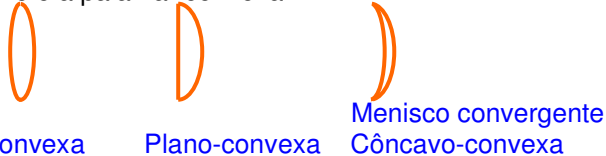
Toda imagem REAL é INVERTIDA
Toda imagem VIRTUAL é DIREITA

5.7 LENTES DELGADAS ESFÉRICAS

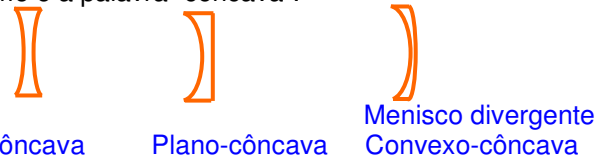
As lentes delgadas esféricas são lentes cujas faces são curvas esféricas em que a espessura da lente é de tamanho desprezível quando comparado com o raio de curvatura das faces.

Existem dois tipos básicos de lentes esféricas delgadas:

→ Lentes de bordas finas, cuja terminação do nome é a palavra “convexa”.



→ Lentes de bordas grossas, cuja terminação do nome é a palavra “côncava”.



Comportamento:

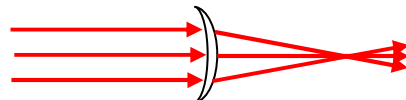
Gauss observou que as lentes apresentavam dois comportamentos básicos:

Convergente: quando os raios emergentes convergem para um único ponto (foco).

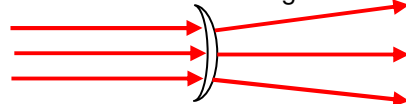
Divergente: quando os raios emergentes divergem de um único ponto (foco).

As lentes de bordas finas e grossas poderão ter qualquer comportamento (convergente ou divergente) dependendo do meio na qual estiverem inseridas. Se o material da lente apresenta índice de refração maior que o do meio, as lentes de bordas finas são convergentes e as de bordas grossas divergentes. Se o material da lente apresenta índice de refração menor que o do meio as lentes de bordas finas são divergentes e as de bordas grossas convergentes.

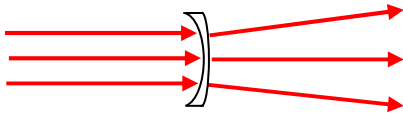
Lente de vidro imersa no ar



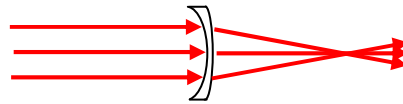
Lente de vidro imersa na água



Lente de vidro imersa no ar

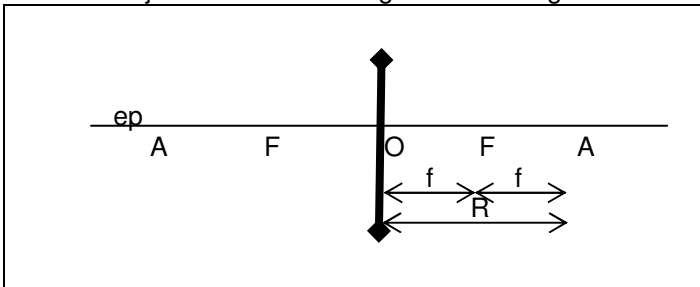


Lente de vidro imersa na água



Elementos da lente:

Seja uma lente convergente ou divergente.



O = centro da lente ou centro óptico

F = foco (ponto médio entre C e A)

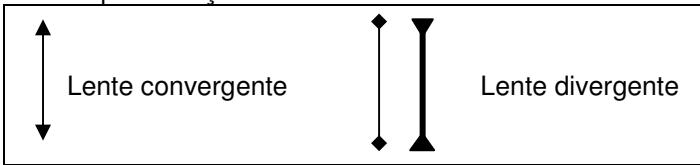
A = antiprincipal (centro de curvatura da esfera que originou a lente) equivale ao centro de curvatura do espelho.

ep = eixo principal

f = distância focal

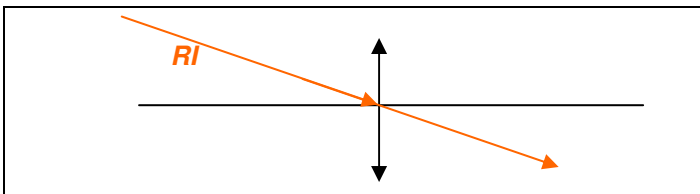
R = raio de curvatura ($R=2f$)

Representação:

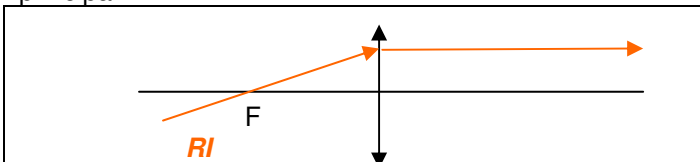


Propriedade dos raios incidentes

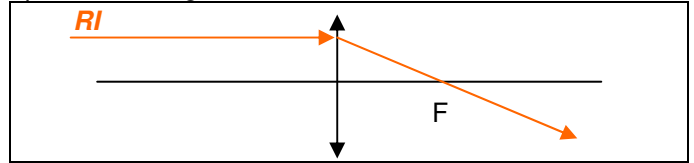
→ Todo raio de luz que incide numa direção que passa pelo centro óptico, não sofre desvio ao atravessar a lente.



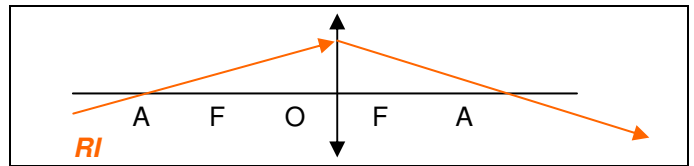
→ Todo raio de luz que incide numa direção que passa pelo foco objeto, emerge da lente paralela ao eixo principal.



→ Todo raio de luz que incide paralelo ao eixo principal emerge da lente numa direção que passa pelo foco imagem.



→ Todo raio de luz que incide na direção que passa pelo anti-principal objeto emerge da lente passando numa direção que passa pelo anti-principal imagem.



Construção de imagens

Da mesma forma que nos espelhos esféricos, se for colocado um objeto na frente de uma lente produzirá imagens determinadas graficamente pelo encontro de dois dos raios emergentes (RE).

Lentes Convergentes: Depende da posição do objeto:

a) Objeto além do anti-principal:

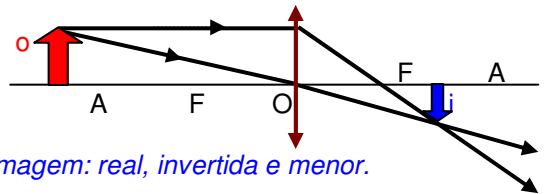


Imagem: real, invertida e menor.

b) Objeto no anti-principal:

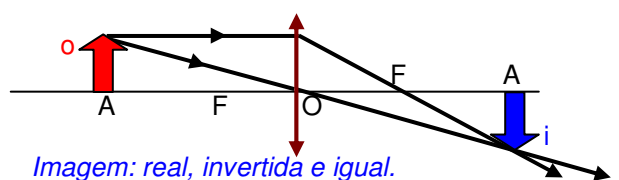


Imagem: real, invertida e igual.

c) Objeto entre o anti-principal e o foco:

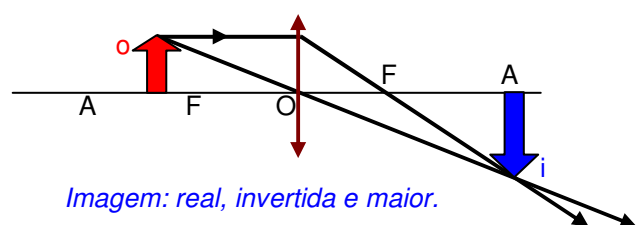


Imagem: real, invertida e maior.

d) Objeto no foco:

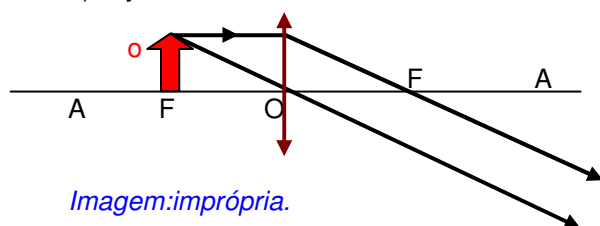


Imagem: imprópria.

e) Objeto entre o foco e o centro óptico:

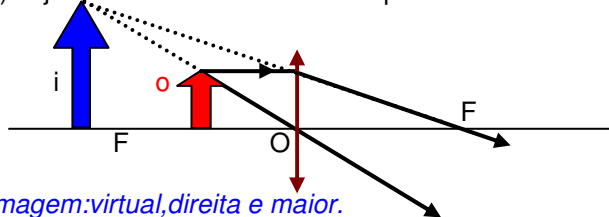
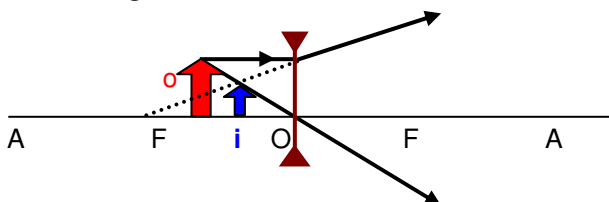


Imagem: virtual, direita e maior.

Lente divergente:



Qualquer que seja a posição do objeto a imagem terá o mesmo resultado: **virtual, direita e menor** que o objeto.

Observe que:

- Toda imagem real é invertida.
- Toda imagem virtual é direita.

Construção analítica da imagem

Gauss utilizou as mesmas equações e a mesma convenção para espelhos e lentes.

- f(+) espelho côncavo ou lente convergente
- f(-) espelho convexo ou lente divergente
- p+ objeto real
- p - objeto virtual*
- p'+ imagem real
- p' - imagem virtual
- o ou y + objeto direito
- o ou y - objeto invertido
- i ou y'+ imagem direita*
- i ou y' - imagem invertida
- A+ imagem direita
- A - imagem invertida
- |A| < 1 tamanho da imagem menor que do objeto
- |A| = 1 tamanho da imagem igual ao do objeto
- |A| > 1 tamanho da imagem maior que do objeto
- *Em sistemas formados por um único espelho não é necessário usar objeto virtual ou invertido.

Assim são validas as equações:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

e

$$A = \frac{i}{o} = \frac{-p'}{p}$$

Observação:

Sempre que uma imagem for projetada em um anteparo, esta imagem é real logo invertida.

Fórmula de Halley

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_L}{n_M} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Vergência (V ou C)

A vergência ou convergência é o inverso da distância focal. É a medida do "grau" da lente.

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

Unidade: di (Dioptria)

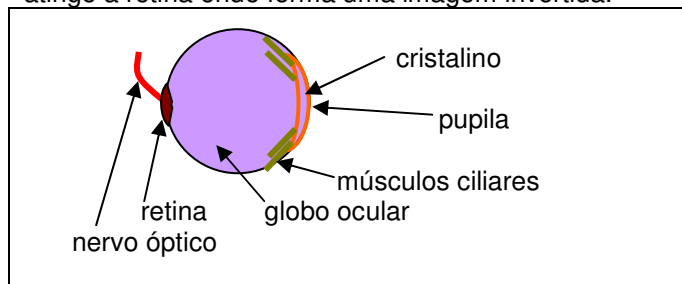
Associação de Lentes

$$V_{eq} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

Assim se forem associadas de formas justapostas três lentes (1di, 2di e -1,25di) o resultado óptico obtido é o mesmo que uma única lente de vergência equivalente $V_{eq} = +1,75di$ (convergente)

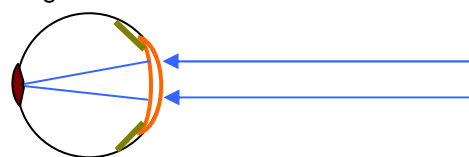
5.8 ÓPTICA DA VISÃO

O olho humano normal é formado por um sistema óptico complexo no qual a luz entra pela pupila, passa pelo cristalino (lente convergente de vergência variável conforme o movimento dos músculos ciliares) e após percorrer o globo ocular atinge a retina onde forma uma imagem invertida.

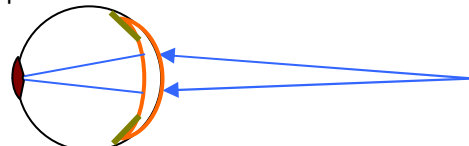


Para ver objetos pertos os músculos ciliares ficam contraídos e para ver longe, relaxado. Este processo é chamado de acomodação visual:

Objeto longe do olho:



Objeto próximo do olho:

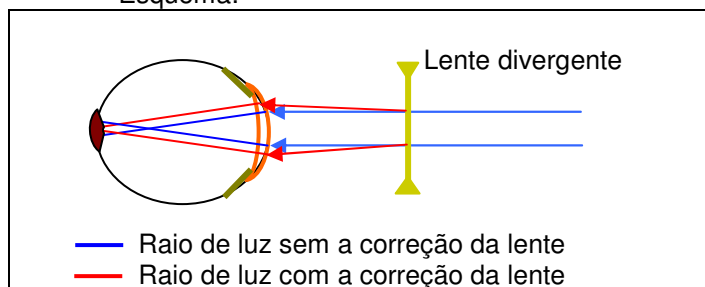


A formação da imagem acontece na retina onde dois dos raios de luz após passar pelo cristalino se encontram.

a) Miopia ou Vista Curta

É quando o globo ocular fica alongado formando a imagem entre a retina e o cristalino. Por conseqüência a pessoa tem dificuldade de enxergar objetos longes.

Esquema:



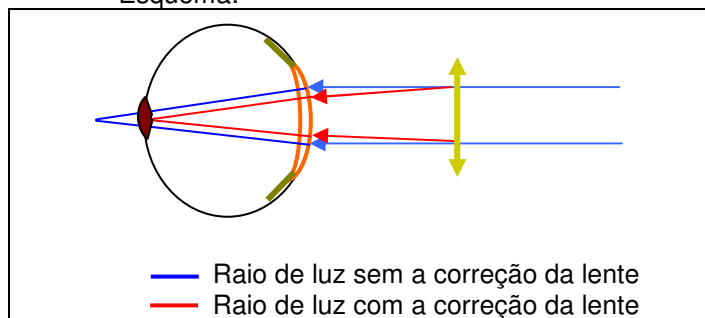
Correção:

$$V = -\frac{1}{d_{\text{nitidez}}}$$

b) Hipermetropia

É quando o globo ocular fica achatado formando a imagem atrás da retina. Por conseqüência a pessoa tem dificuldade de ver objetos próximos.

Esquema:



Correção:

$$V = \frac{1}{d_{\text{nitidez}}} - \frac{1}{d_{\text{normal}}}$$

c) Presbiopia ou Vista Cansada

Com o crescimento do cristalino os músculos ciliares ficam pressionados diminuindo sua capacidade de movimento (acomodação visual). Objetos próximos perdem nitidez, pois o cristalino não alcança sua máxima vergência para permitir a nitidez. Para compensar este problema de pouca vergência, utiliza-se uma lente CONVERGENTE que acaba ajudando o cristalino na função de convergir os raios de luz. Nos casos mais agravados é usada lente bifocal ou multifocal que ajuda melhor a visão de objetos longes e próximos.



d) Astigmatismo

É o defeito da visão causado pela falta de esfericidade do globo ocular. Para corrigir este problema usa-se lente cilíndrica.

Amigo estudante

Desejo que este material tenha lhe ajudado na aprendizagem das ciências naturais. No entanto é razoável considerar que os conhecimentos de Física não são os principais atributos de um homem. Mas os valores por este formado sim constituem a essência da existência humana. Tal reflexão remete a experiência vivida por Oppenheimer que presenciou, estarecido, as conseqüências de seus estudos e pesquisas explodindo em Hiroshima e Nagasaki. Após quase enlouquecer, estudou profundamente as ciências sociais e foi o autor de uma frase fantástica: "O pior perigo da humanidade é o cientista alienado".

Desejo que teus esforços tenham retorno rápido, que teus estudos sejam enriquecidos por uma formação humanista alicerçados em um compromisso de justiça, solidariedade, paz e bem.

Que Deus lhe acompanhe sempre.

Giovani Soares

Envie suas sugestões para este material para taoluz@bol.com.br ou fale diretamente com o professor. (Contato: 3226-4275)