

# Redes sem Fio

Tecnologia em Redes de Computadores  
Prof. Macêdo Firmino

Ondas Eletromagnéticas

# Campo Elétrico

A carga elétrica é uma propriedade fundamental associada às partículas que constituem a matéria. A unidade de carga elétrica é o coulomb (C). O próton e o elétron, em módulo, possuem a mesma quantidade de carga elétrica. O valor da carga do próton e do elétron é denominado quantidade de carga elementar ( $e$ ) e possui o valor de:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

# Campo Elétrico

Toda carga elétrica apresenta seu próprio campo elétrico. Campo elétrico é uma grandeza física vetorial que mede o módulo da força elétrica exercida sobre cada unidade de carga elétrica colocada em uma região do espaço sobre a influência de uma carga geradora de campo elétrico. Em outras palavras, o campo elétrico mede a influência que uma certa carga produz em seus arredores. Quanto mais próximas estiverem duas cargas, maior será a força elétrica entre elas por causa do módulo do campo elétrico naquela região.

# Campo Elétrico

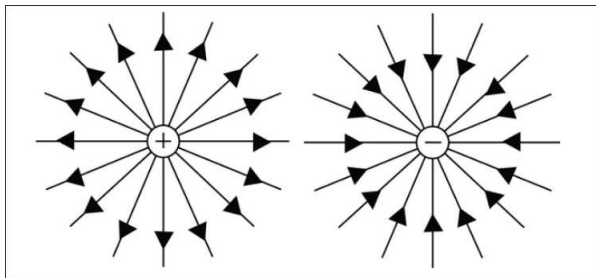
Para calcularmos o campo elétrico produzido por cargas pontuais (cujas dimensões são desprezíveis), dispostas no vácuo, podemos utilizar a seguinte equação:

$$\vec{E} = \frac{K_0 Q}{d^2}$$

onde, E: módulo do campo elétrico [N/C ou V/m], Q: carga geradora do campo elétrico [Coulomb]  $k_0$ : constante eletrostática do vácuo [8,99.109 N.m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>] e d: distância do ponto até a carga geradora [m metro].

# Campo Elétrico

O campo elétrico das cargas positivas sempre deve apontar para “fora” das cargas, enquanto o campo elétrico das cargas negativas deve apontar para “dentro” delas. Para facilitar a visualização do campo elétrico, desenhamos linhas cujas direções tangentes sempre indicam a direção e o sentido do campo elétrico. Essas linhas são chamadas de linhas de força:



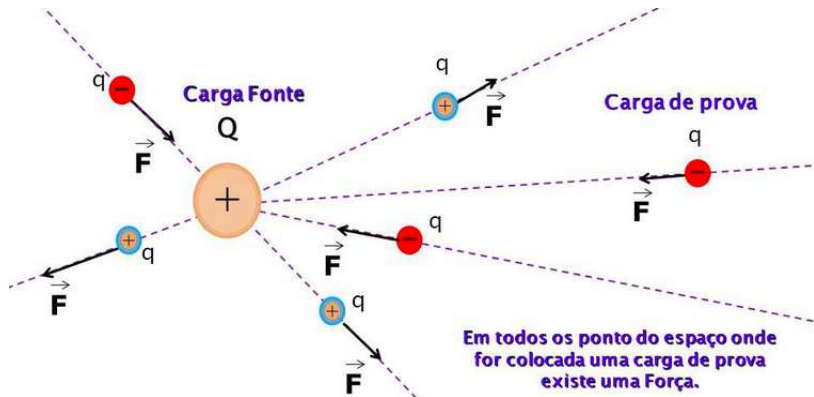
# Campo Elétrico

Quando ocorre a interação entre duas cargas elétricas surge uma força elétrica. A relação que pode ser estabelecida entre o campo elétrico e a força elétrica é dada pela seguinte equação:

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

onde, E: campo elétrico [N/C ou V/m], F: força elétrica [N - Newton] e q: carga elétrica de prova [C - Coulomb]

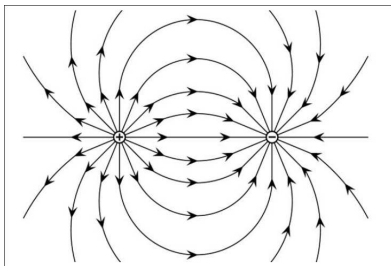
# Campo Elétrico



# Campo Elétrico

A atração e a repulsão elétrica dependem do sinal das cargas elétricas envolvidas. As cargas de mesmo sinal sofrem repulsão elétrica ao passo que as cargas de sinais diferentes sofrem atração.

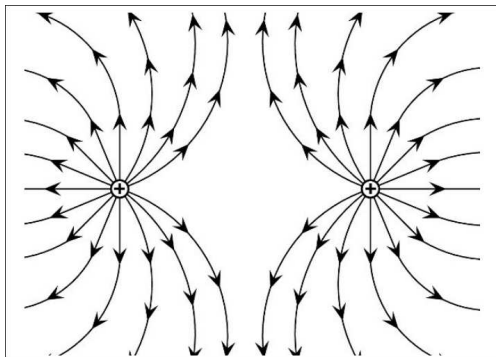
Entre cargas de sinal diferente, a resultante do campo elétrico aponta sempre em direção à outra carga. Com isso, surge a força de atração elétrica.





# Campo Elétrico

Entre cargas de sinal igual, a resultante do campo elétrico aponta na direção oposta à posição das cargas, promovendo uma força elétrica de repulsão entre elas.



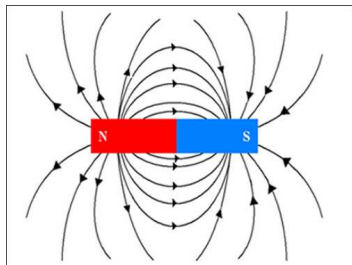
# Campo Magnético

Campo Magnético é a concentração de magnetismo que é criado em torno de uma carga magnética num determinado espaço. Por exemplo, o ímã que cria o campo magnético.

Representamos o campo magnético em um ponto no espaço por um vetor denominado vetor campo magnético, representado por  $\vec{B}$ . No Sistema Internacional de unidades (SI), a unidade de intensidade do vetor magnético é denomina-se tesla (T).

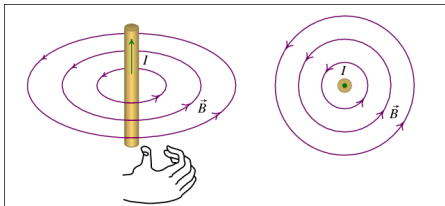
# Campo Magnético

Podemos representar o campo magnético pelas linhas de indução que partem dos vetores de indução magnética e dirigem-se do polo norte para o polo sul.



# Campo Magnético

Um condutor percorrido por uma corrente elétrica gera um campo magnético ao seu redor. A equação que nos fornece o campo magnético gerado por um condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica é a seguinte:

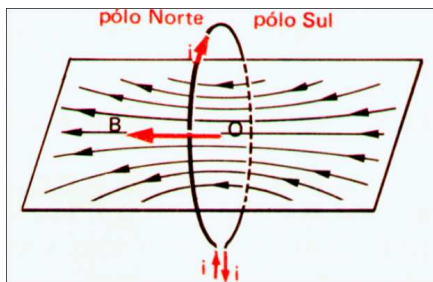


$$\vec{B} = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

onde,  $B$  é o vetor campo magnético,  $\mu$  é a permeabilidade magnética,  $i$  é a corrente elétrica e  $r$  é o raio do condutor.

# Campo Magnético

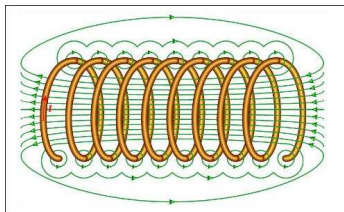
O campo magnético gerado por uma espira circular percorrida por corrente elétrica pode ser determinado pela seguinte equação:



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

# Campo Magnético

Um solenóide é um fio de um condutor enrolado de modo helicoidal percorrido por uma corrente  $i$ . A intensidade do vetor campo magnético no interior de um solenoide é determinada pela seguinte equação:



$$\vec{B} = \mu \cdot \frac{N}{L} \cdot i$$

onde:  $N/L$  representa o número de espiras por unidade de comprimento do solenoide.

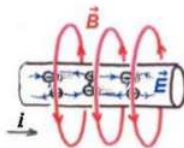
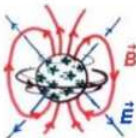
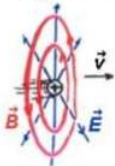


## CARGA CRIA CAMPO

1) Carga parada (cria apenas campo elétrico,  $\vec{E}$ )

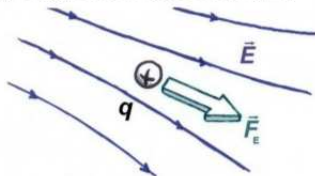


2) Carga em movimento (cria também campo magnético,  $\vec{B}$ )

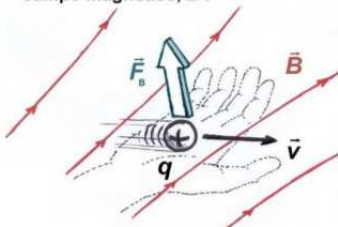


## CARGA SENTE CAMPO

1) Carga sente campo elétrico,  $\vec{E}$  :



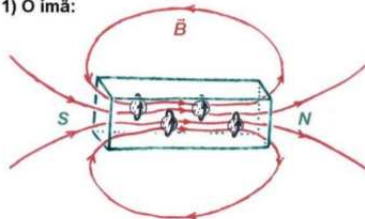
2) Carga ( em movimento ) sente campo magnético,  $\vec{B}$  :



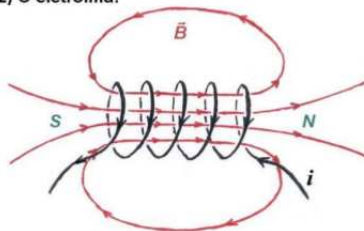


## CARGA CRIA CAMPO MAGNÉTICO

1) O imã:



2) O eletroímã:



# Ondas eletromagnéticas

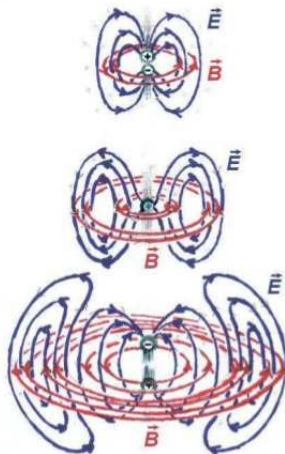
Vimos que quando se varia um campo magnético há a criação de um campo elétrico induzido, que também é variável. Esse campo elétrico variável cria também um campo magnético variável de tal forma que esse fenômeno se repete constantemente. Sendo assim, definimos uma onda eletromagnética como sendo uma combinação de um campo elétrico e de um campo magnético que se propagam através do espaço, transportando energia.

# Ondas eletromagnéticas

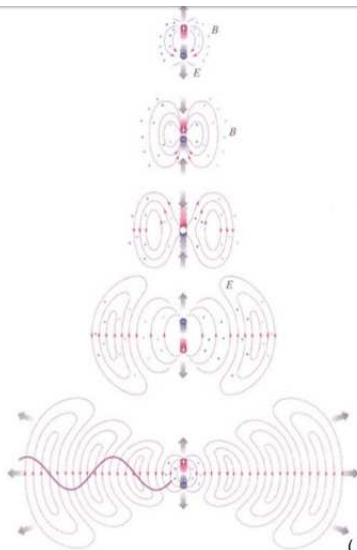
## Ainda não entendi!!

Uma carga elétrica vibrante produz constantemente uma perturbação no espaço. Essa perturbação constante cria no espaço campos elétricos e magnéticos que oscilam com a mesma frequência de vibração da carga: são perturbações autossustentáveis do campo elétrico e do campo magnético que variam no tempo e no espaço. Em geral, sempre que houver cargas elétricas aceleradas, haverá a produção de ondas eletromagnéticas.

# Ondas eletromagnéticas

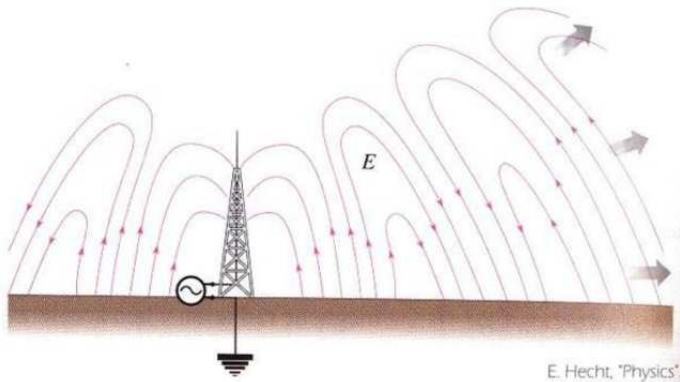


# Ondas eletromagnéticas

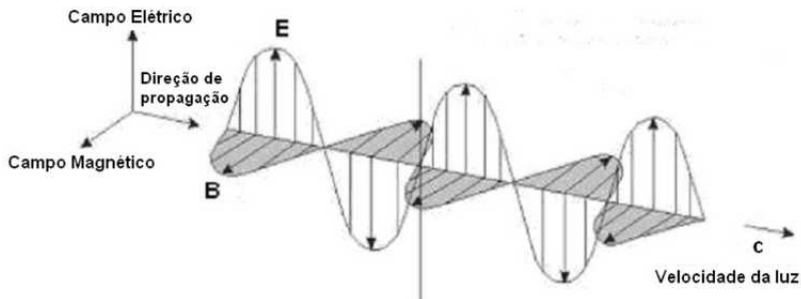


( Eugene Hecht, "Physics", 1998 )

# Ondas eletromagnéticas



# Ondas eletromagnéticas



# Ondas eletromagnéticas

## Características das ondas eletromagnéticas:

- São formadas pela combinação de campos elétricos e magnéticos variáveis;
- O campo elétrico e o campo magnético são perpendiculares;
- O campo elétrico e o magnético são perpendiculares à direção de propagação, o que significa que são ondas transversais;
- A velocidade de propagação dessas ondas no vácuo é  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s;
- Ao propagar em meios materiais, a velocidade obtida é menor do que quando a propagação ocorre no vácuo.



# Ondas eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas se propagam com a maior velocidade possível em cada meio (velocidade da luz no meio). Quanto mais denso o meio, menor é essa velocidade máxima. Por exemplo, no vácuo a velocidade da luz é de aproximadamente 300 mil quilômetros por segundo e, no cobre, 200 mil quilômetros por segundo.

# Ondas eletromagnéticas

## Características

- Uma onda pode ser periódica ou aperiódica. Ondas periódicas se repetem de tempos em tempos.
- Ondas periódicas podem ser representadas como uma soma de senos (Série de Fourier).
- Os parâmetros de uma onda senoidal são: frequência, período, comprimento de onda, amplitude e fase.

# Leis de Maxwell

As equações básicas que permitem calcular o campo eletromagnético são conhecidas como equações de Maxwell. As equações de Maxwell para o eletromagnetismo constam da unificação entre as Leis de Gauss, para a eletricidade e para o magnetismo, a Lei de Ampère generalizada e a Lei de Faraday para a Indução eletromagnética.

# Leis de Maxwell

## Lei de Gauss

Descreve a relação entre um campo elétrico e as cargas elétricas geradoras do campo. Cargas elétricas produzem campos elétricos.

$$\oint E \cdot dA = \frac{q}{\epsilon_0}$$

onde:  $E$  é o campo elétrico,  $q$  é a quantidade de carga elétrica,  $\epsilon_0$  é a permissividade elétrica e  $dA$  é o elemento vetorial diferencial da superfície "A", com magnitude infinitesimalmente pequena e direção normal à superfície "S". .

# Leis de Maxwell

## Lei de Gauss para o magnetismo

As linhas de campo magnético são contínuas, ao contrário das linhas de força de um campo elétrico que se originam em cargas elétricas positivas e terminam em cargas elétricas negativas. Não existem monopolos magnéticos.

$$\oint B \cdot dA = 0$$

onde:  $B$  é o campo magnético,  $dA$  é o elemento vetorial diferencial da superfície "A", com magnitude infinitesimalmente pequena e direção normal à superfície "S".

# Leis de Maxwell

## Lei de Ampère

Descreve a relação entre um campo magnético e a corrente elétrica que o origina. Ela estabelece que um campo magnético é sempre produzido por uma corrente elétrica ou por um campo elétrico variável. Uma corrente elétrica produz um campo magnético.

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 \cdot i$$

onde: B é o campo magnético,  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética, i é a corrente elétrica  $dl$  é o elemento vetorial diferencial do comprimento tangencial à curva.

# Leis de Maxwell

## Lei de Faraday

Descreve as características do campo elétrico originando um fluxo magnético variável. Os campos magnéticos originados são variáveis no tempo, gerando assim campos elétricos do tipo rotacionais. Um fluxo magnético variável produz um campo elétrico.

$$\oint E \cdot dl = - \frac{d\phi_B}{dt}$$

onde:  $E$  é o campo elétrico,  $\phi_B$  é o fluxo magnético e  $dl$  é o elemento vetorial diferencial do comprimento tangencial à curva..

# Leis de Maxwell

A velocidade de propagação ( $c$ ) das ondas eletromagneticas no vácuo é:

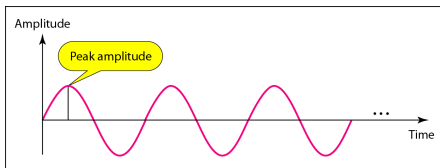
$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

onde:  $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ T.m/A}$  é a permeabilidade magnética, e  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$ , corresponde a permissividade elétrica.

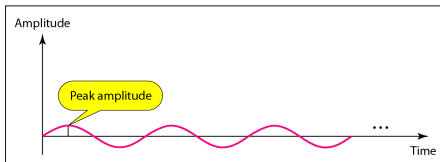


# Elementos da uma Onda - Amplitude

Amplitude máxima de um sinal é o valor absoluto da máxima intensidade de perturbação do meio durante um ciclo da onda. Ele é proporcional à energia que ele transporta.



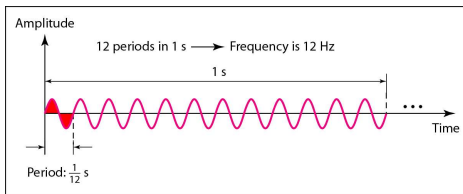
a. A signal with high peak amplitude



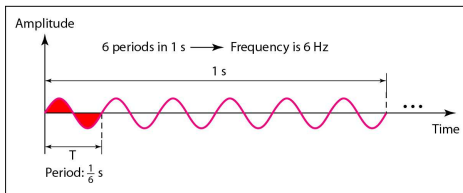
b. A signal with low peak amplitude

# Elementos da uma Onda - Frequência

Frequência ( $f$ ) é o número de períodos num intervalo de tempo de 1 segundo. A frequência é expressa em hertz (Hz).



a. A signal with a frequency of 12 Hz



b. A signal with a frequency of 6 Hz

## Elementos da uma Onda - Frequência

A frequência é uma taxa de mudança em relação ao tempo. A mudança em curto espaço de tempo significa alta frequência. Mudanças ao longo de espaço de tempo prolongado significa baixa frequência.

Período (T) é o intervalo de tempo, em segundos, que uma onda leva para completar um ciclo. A frequência (f) e o período (T) são inversos entre si. O período é expresso formalmente em segundos.

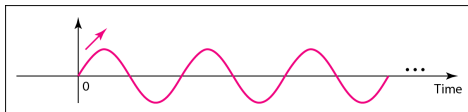
$$f = \frac{1}{T}$$

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

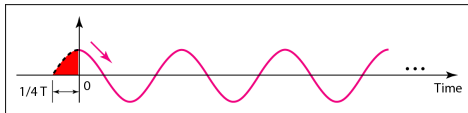
# Elementos da uma Onda - Fase

A fase descreve a posição de uma forma de onda relativa ao tempo zero.

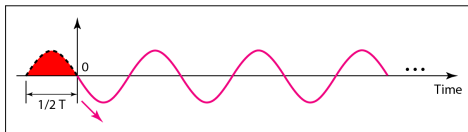
- A onda pode se deslocar para a frente e para trás ao longo do eixo de tempo, a fase quantifica esse deslocamento.
- A fase é medida em graus ( $^{\circ}$ ) ou radianos (rad).
- $360^{\circ}$  equivale a  $\frac{2\pi}{360} \text{ rad}$



a. 0 degrees



b. 90 degrees



c. 180 degrees

# Elementos da uma Onda - Comprimento de Onda

Comprimento de onda associa o período ou frequência de uma onda senoidal simples à velocidade de propagação do meio. É a distância que um sinal simples pode percorrer em um período.

- Em comunicação de dados usamos o comprimento de onda para descrever a transmissão de luz em uma fibra óptica.
- O comprimento de onda ( $\lambda$ ) pode ser calculado por:

Comprimento de onda ( $\lambda$ ) = velocidade de propagação ( $c$ ) X período ( $T$ )

$$\text{Comprimento de onda } (\lambda) = \frac{\text{velocidade de propagação}(c)}{\text{frequência}(f)}$$

# Sinal Senoidal - Propriedades

