Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - ***Campus*** **São Paulo**

Magnetismo

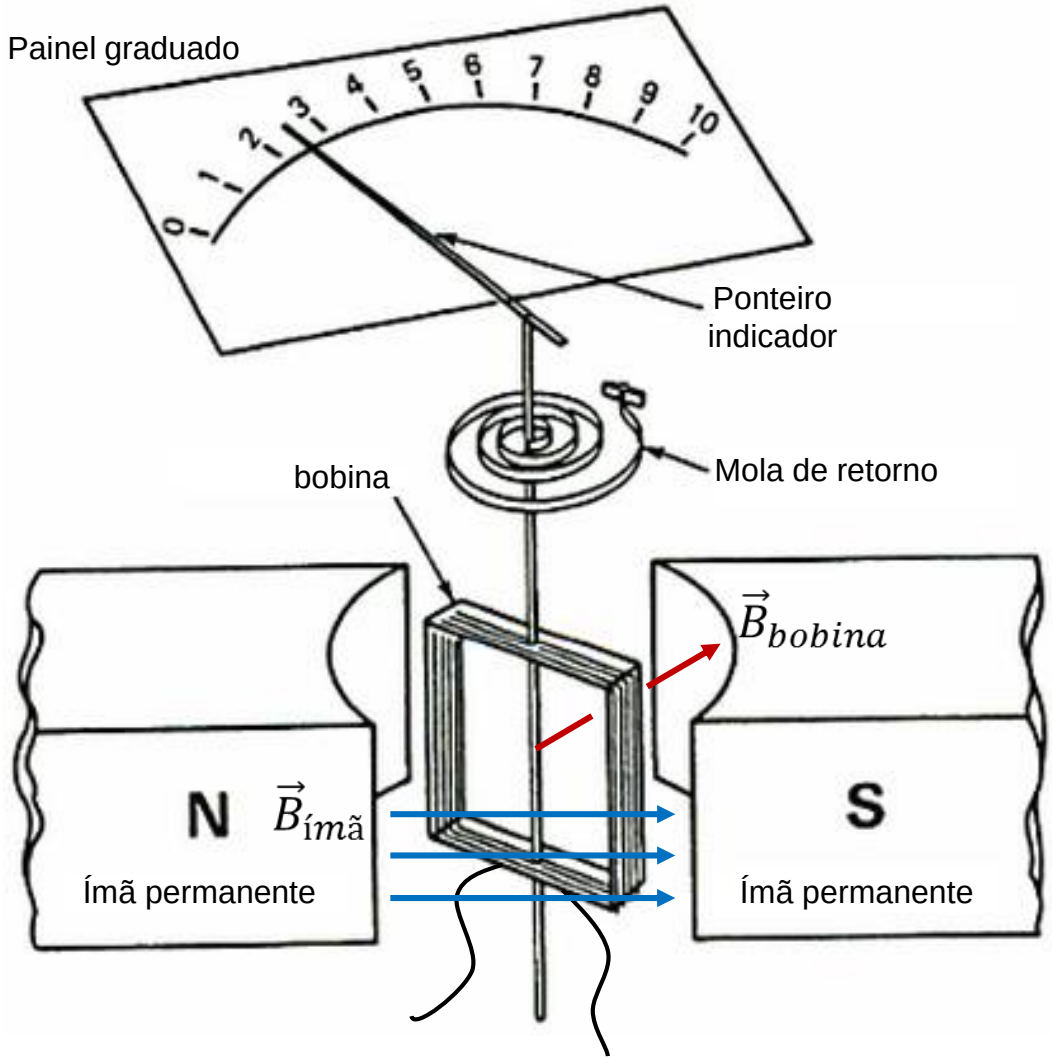
Parte 3

Indução Eletromagnética

3ª série – Ensino Médio Integrado

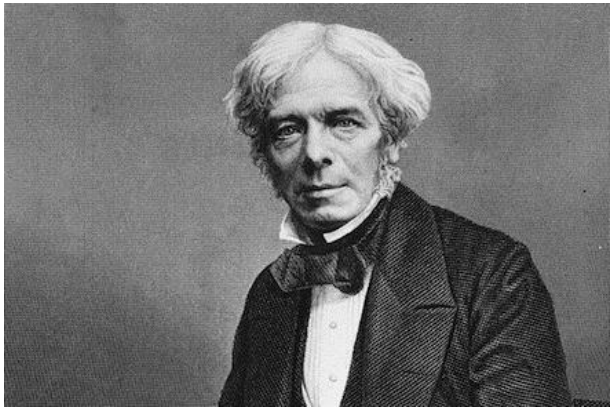
André Cipoli

• ***Funcionamento de um galvanômetro***



Galvanômetro neutro CA 403
Chauvin-Arnoux

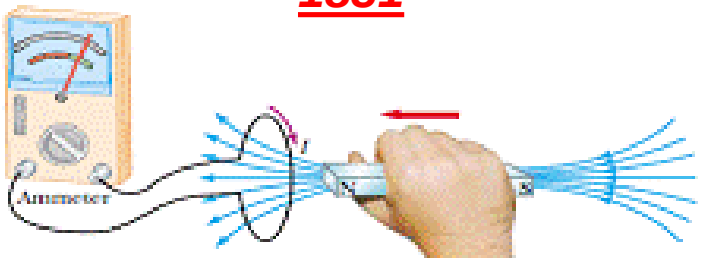
Lei de Faraday - Lenz



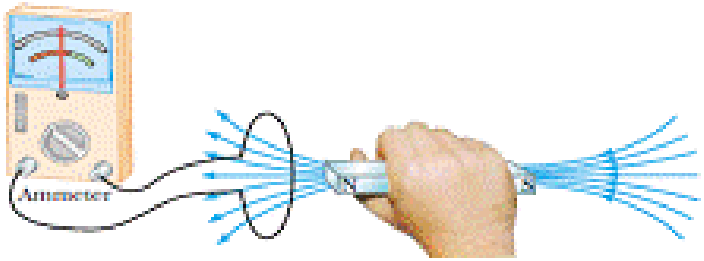
Michael Faraday
1791 - 1867

Heinrich F. E. Lenz
1804 - 1865
1833

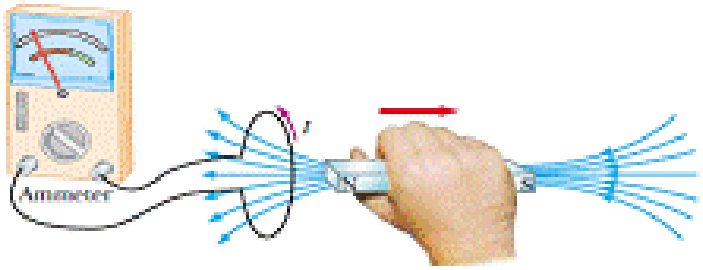
1831



Aproximação do ímã - corrente em um sentido



Ímã ***parado*** - corrente nula



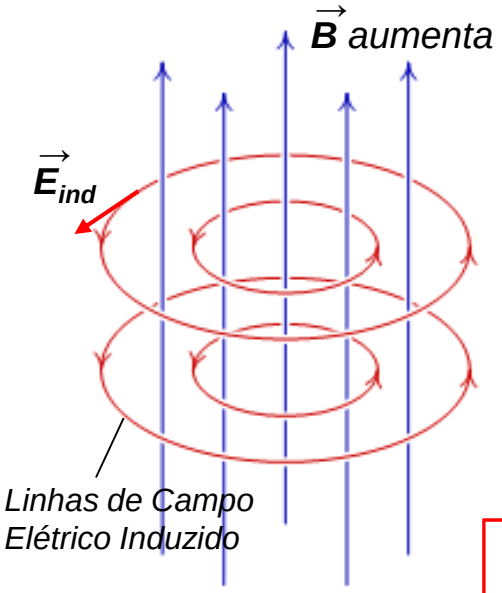
Afastamento do ímã - corrente em sentido oposto

• ***Enunciado da Lei de Faraday***

"Se em alguma região do espaço existir um campo magnético ***variando*** no tempo, haverá, nessa mesma região, em decorrência da variação temporal, um campo elétrico ***induzido***."

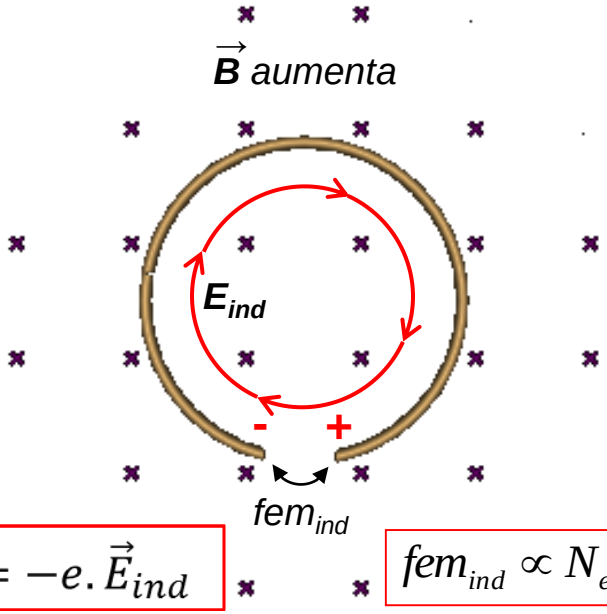
$$E_{ind} \propto -\frac{\Delta B}{\Delta t}$$

Ausência *de um elemento detector*



Região com campo magnético variável no tempo → campo elétrico ***induzido*** $\vec{E}_{ind}$

Introduzindo uma espira ***aberta***

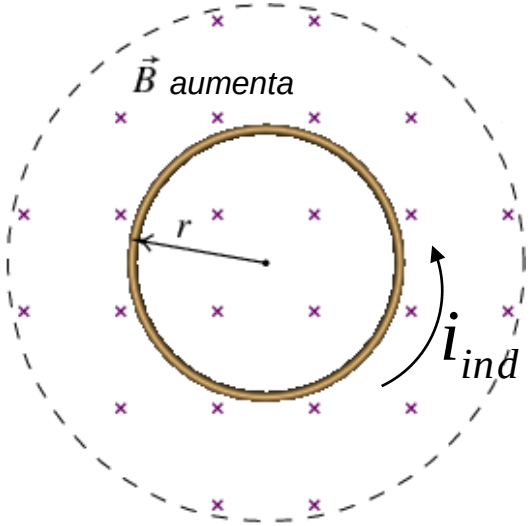


$$\vec{F}_{elét} = -e.\vec{E}_{ind}$$

$$fem_{ind} \propto N_{esp}$$

Região com campo magnético variável no tempo → força eletromotriz ***induzida*** fem_{ind}

Espira ***fechada***

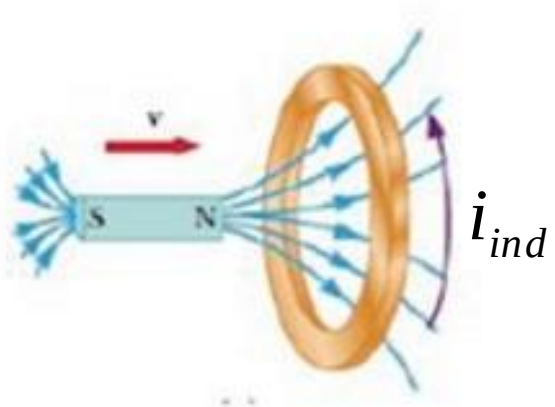


Região com campo magnético variável no tempo → corrente elétrica ***induzida*** i_{ind}

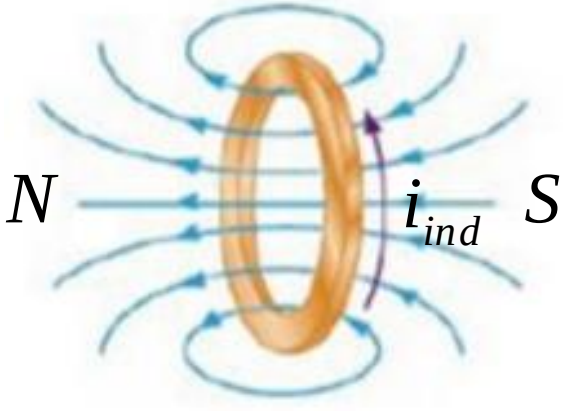
- ***Sentido da corrente elétrica induzida*** → ***Lei de Lenz***

"O sentido da corrente elétrica induzida "i_{ind}" é tal que o campo magnético criado por ela ***opõe-se*** à variação do campo magnético que a produziu."

- situação em que o polo ***norte*** do ímã se ***aproxima*** da espira:

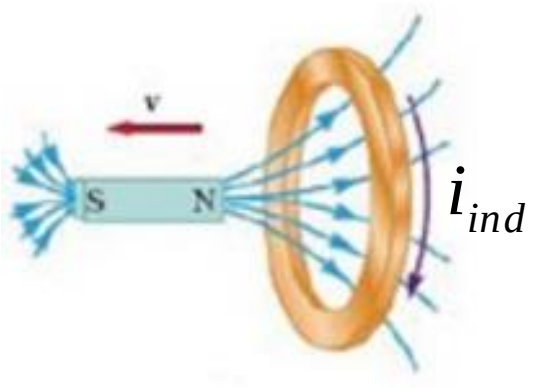


O número de linhas de campo magnético que perfura a área definida pelo plano da espira ***aumenta*** à medida que o ímã se aproxima dela. O sentido da corrente induzida é tal que será gerado um campo magnético ***induzido*** que se oporá ao aumento das linhas de campo magnético produzido pelo movimento do ímã.

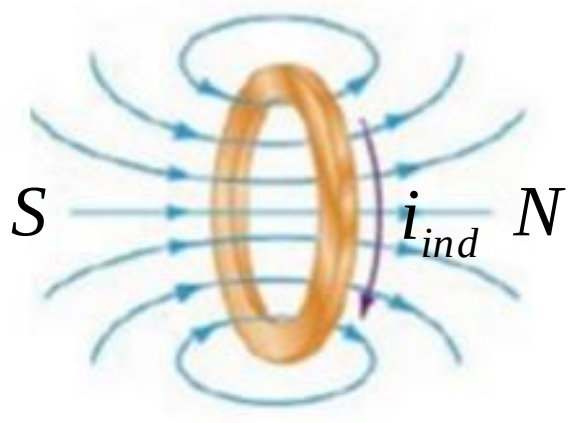


Dessa forma, este campo magnético induzido gerará polos norte e sul nas faces da espira, conforme a ilustração, o que provocará uma ***repulsão*** magnética entre ímã e espira (Balanço Magnético).

• situação em que o polo ***norte*** do ímã se ***afasta*** da espira:



O número de linhas de campo magnético que perfura a área definida pelo plano da espira ***diminui*** à medida que o ímã se afasta dela. O sentido da corrente induzida é tal que será gerado um campo magnético induzido que se oporá à diminuição das linhas de campo magnético produzida pelo movimento do ímã.

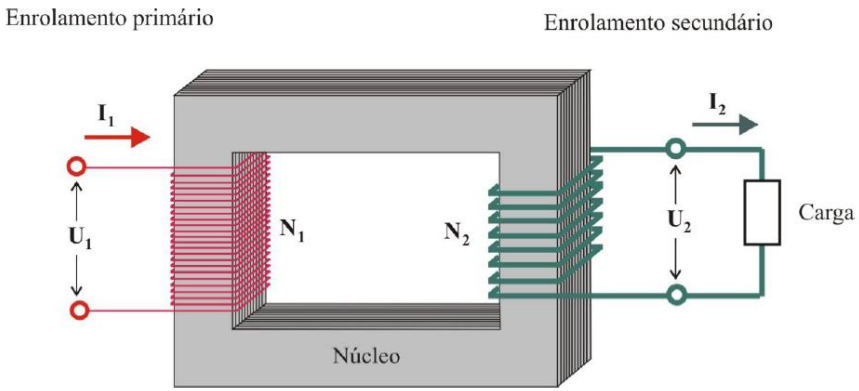


Dessa forma, este campo magnético induzido gerará polos norte e sul nas faces da espira, conforme a ilustração, o que provocará uma ***atração*** magnética entre ímã e espira (Balanço Magnético).

• situação em que o polo ***sul*** do ímã se ***aproxima*** (***afasta***) da espira:

• ***Aplicações:***

Transformador



Ideal → *Aquecimento* é desprezível.

$$P_{el}(entrada) = P_{el}(saída)$$

$$U_1.i_1 = U_2.i_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{i_2}{i_1}$$

Como $U \propto N_{esp} \rightarrow \boxed{\frac{U_1}{U_2} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{N_1}{N_2}}$

Rede Elétrica

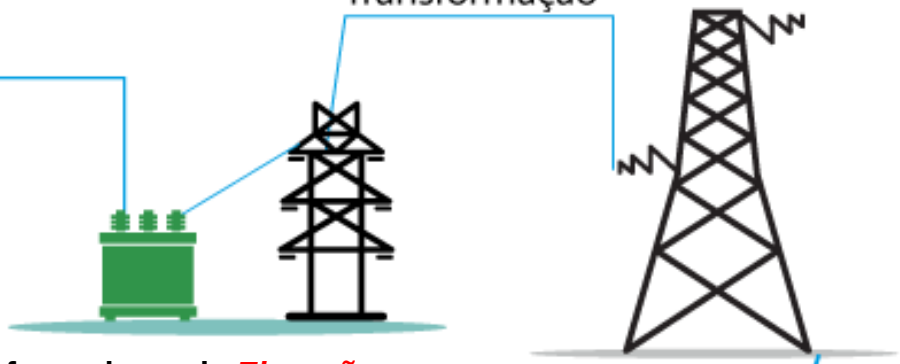
Usinas Geradoras

Itaipu - ***14.000 MW***

Gerador (20) - ***18 kV***

Geração

Transformação



Transformadores de *Elevação*

69, 88, 138, 230, 345, 440, *500,* 600 e 750 kV

Transmissão

Transformadores de Redução

Transformadores de *Redução*

3,8; 11,9; 13,2; 13,8; 20; 23,5 e 34,5 kV

Rede de Distribuição

Centro Consumidor

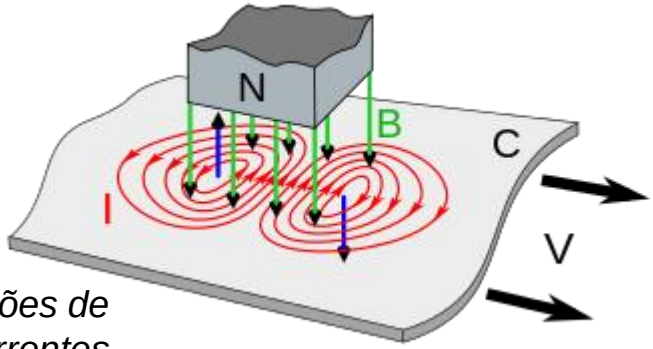
- Primário: 3,8 a 13,8 kV
- Secundário: 127 a 240 V

Correntes parasitas ou ***de Foucault***

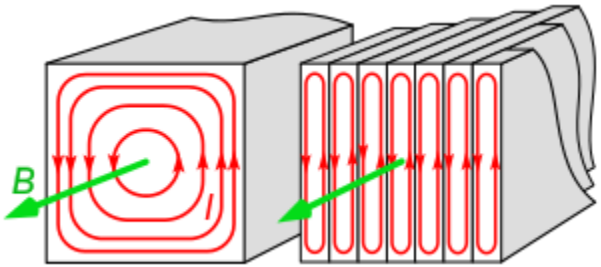
ou "***Eddy Currents***"

São correntes que aparecem em materiais ***metálicos***, principalmente maciços, como resultado da variação de campos magnéticos no tempo, dentro de seu volume.

Jean B. L. Foucault
1819 - 1868



Ações de correntes parasitas em metais



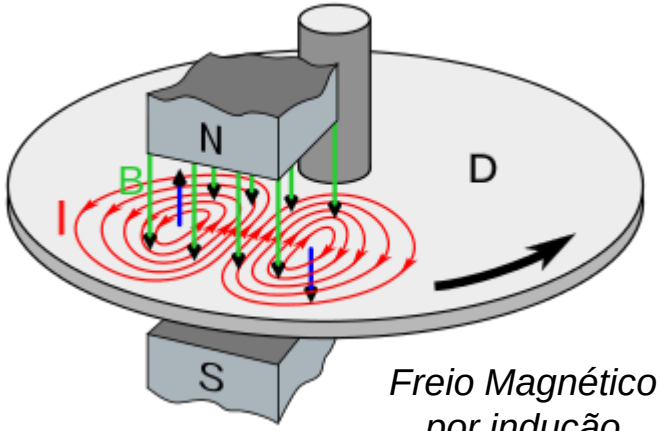
Núcleo de transformadores

Núcleo maciço

$I_{ind} \uparrow$

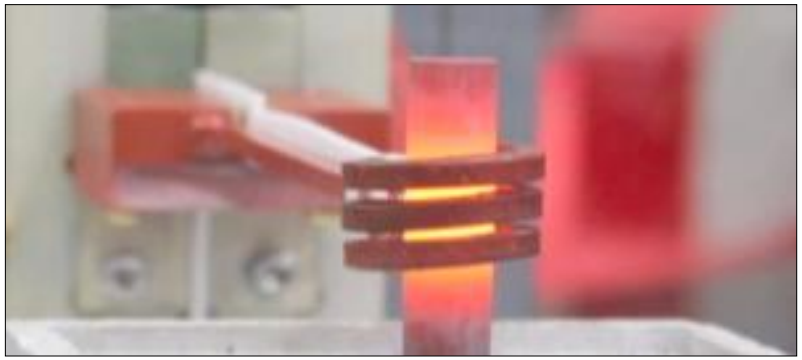
Núcleo fatiado

$I_{ind} \downarrow$



Freio Magnético por indução

- ***Aplicações:***



Aquecimento por indução

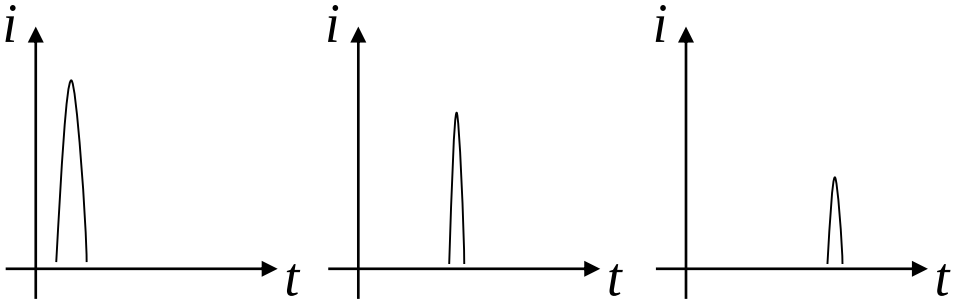
Fundição por indução

Soldagem por indução

- ***Aplicações:***

Freio Ferroviário

Trem alemão de alta velocidade ***ICE 3***



sinal inicial **sem defeito** **com defeito**

Sistema estímulo-resposta

Ensaio não-destrutivo

Olympus OmniScan MX

• ***Aplicações:***

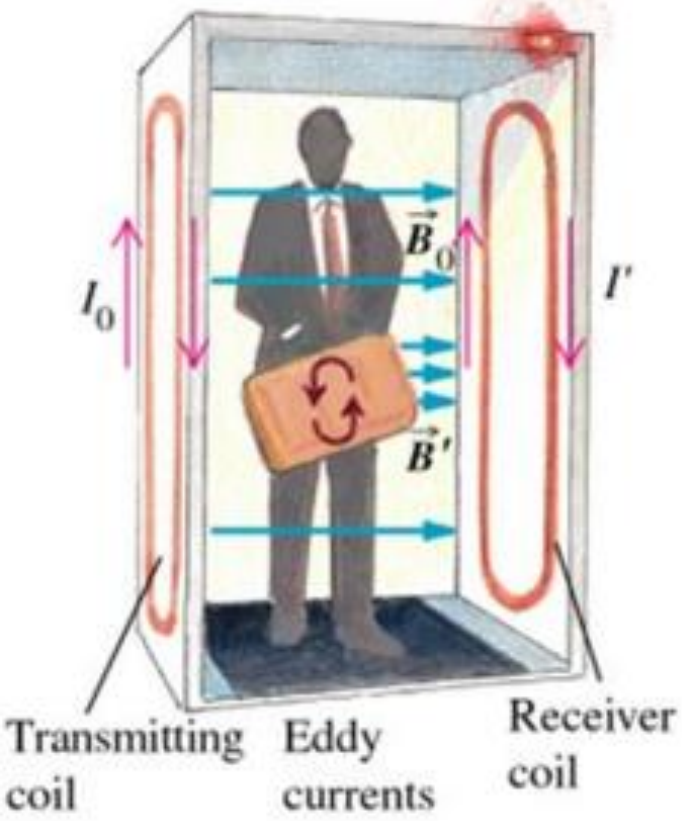
Goliath

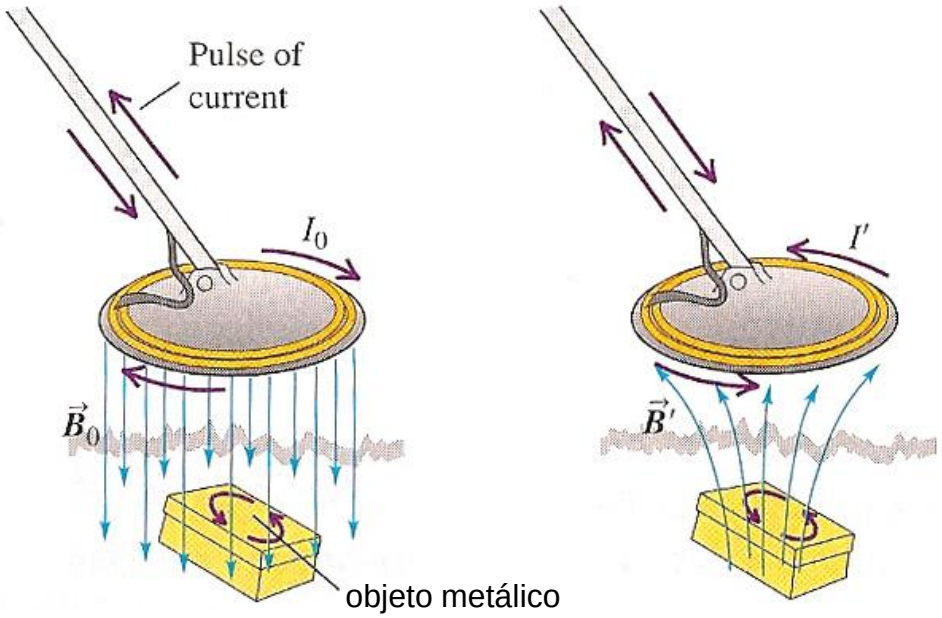
Walibi Holland Theme Park, Biddinghuizen, Dronten

Países Baixos

- ***Aplicações:***

Detector de Metais

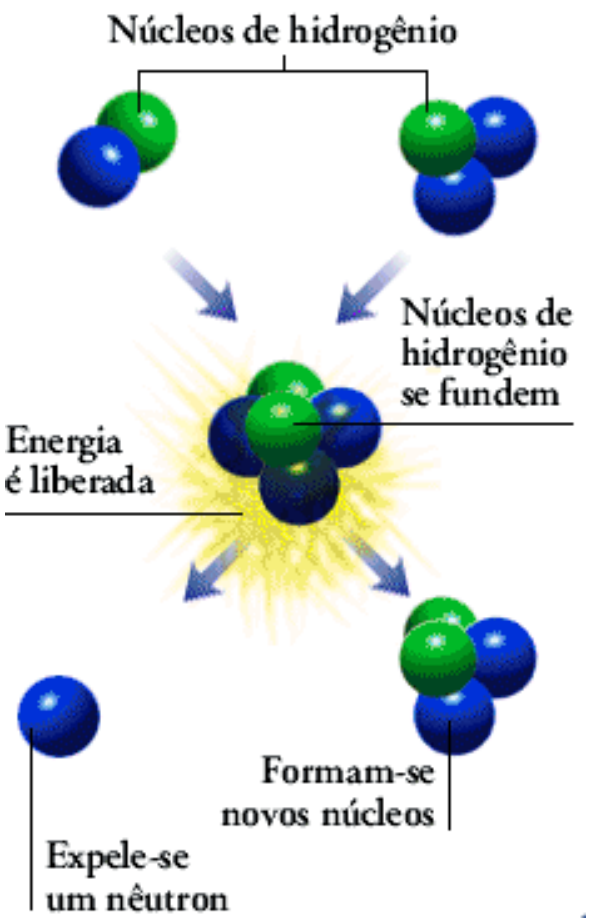




$\boldsymbol{B_0}$ e $\boldsymbol{I_0}$ → estímulo

$\boldsymbol{B'}$ e $\boldsymbol{I'}$ → resposta

• Fusão *deutério-trítio* ocorre no interior de reatores experimentais do tipo *Tokamak* (*câmara magnética toroidal*)



*A soma das massas dos "reagentes" é maior do que a soma das massas dos "produtos". O que aconteceu com a **massa**?*

$\Delta E = \Delta m.c^2$

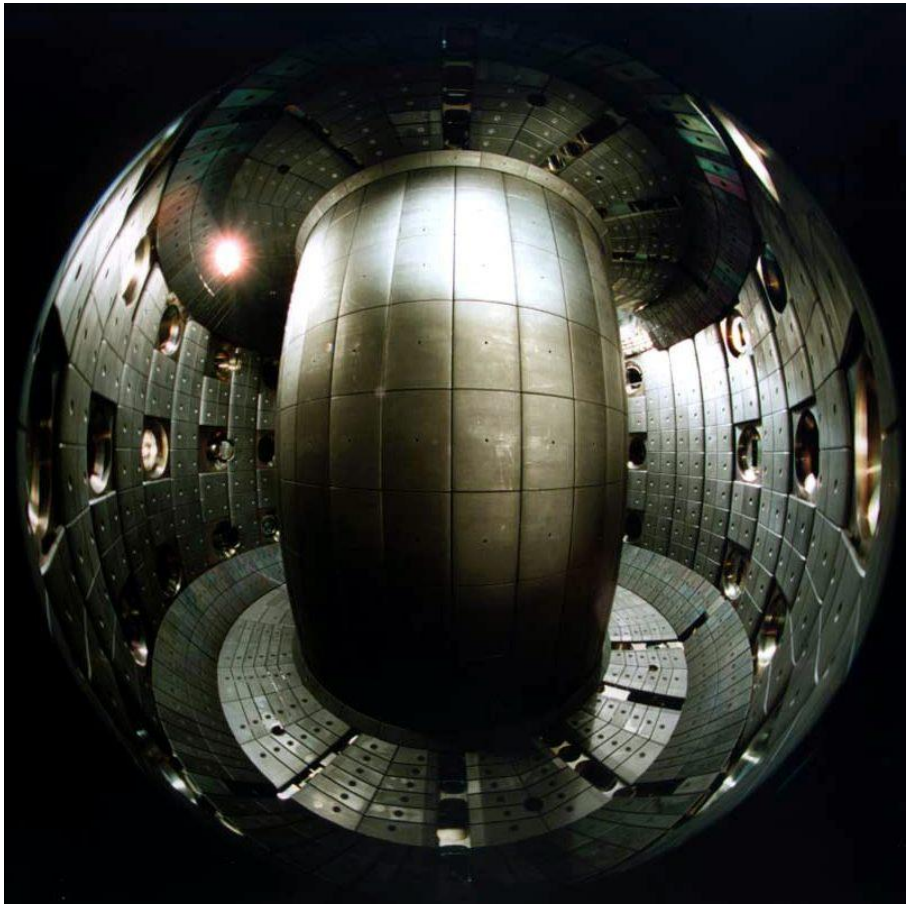
Reatores experimentais de fusão nuclear (tipo *Tokamak*)

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor)
Construção - 2025
Operação com fusão D/T - 2035
Temperatura do plasma = 1,5 x 10^{+8}K

JET (1997) - Entrada de *24 MW* → Saída de ***16,1 MW***

ITER - Entrada de *50 MW* → Saída de ***500 MW***

www.iter.org



***TCV**, an experimental tokamak fusion reactor at École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland*

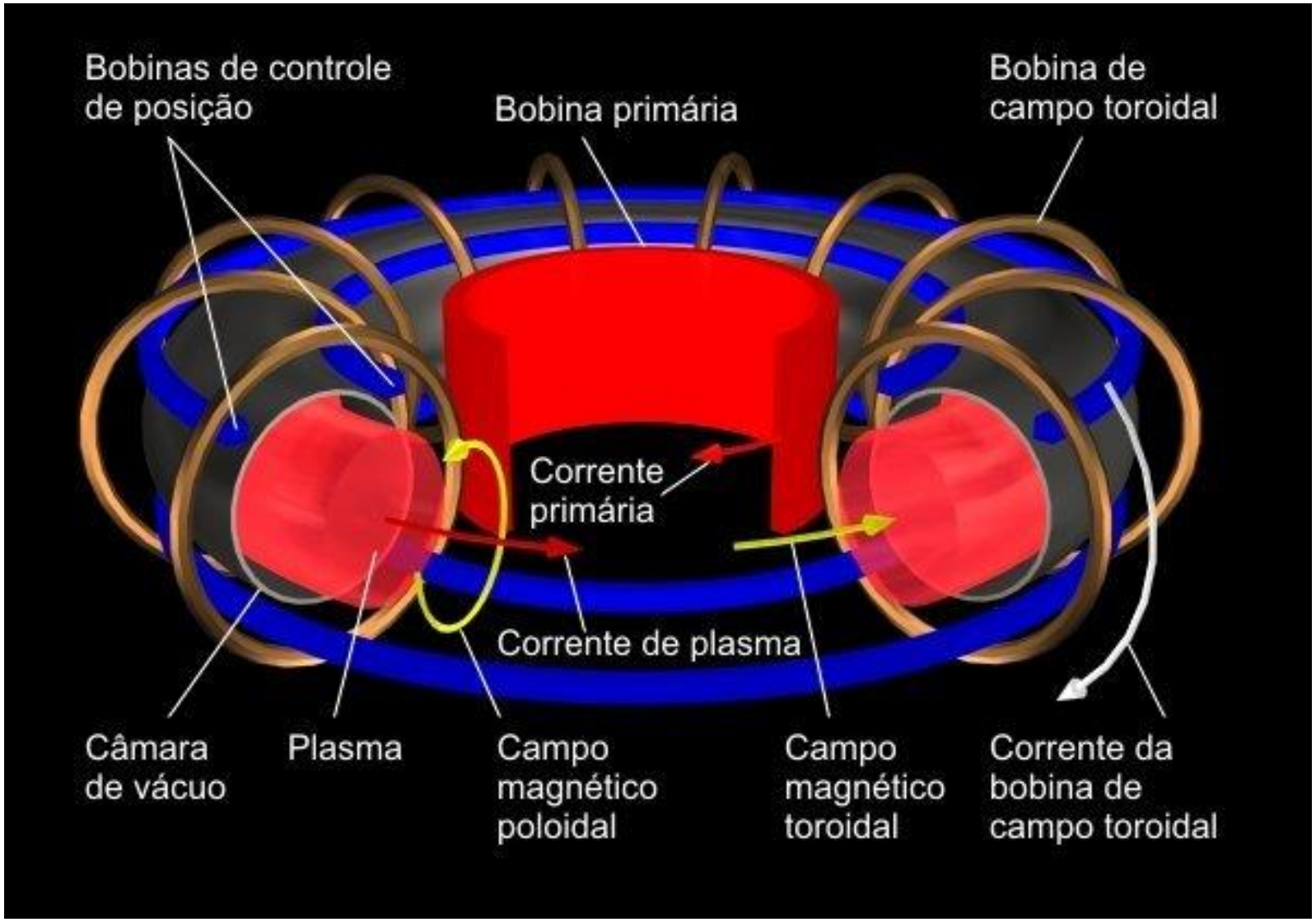
Solenoide Central

- *6 Módulos*
- *18m de altura*
- *4,25m de largura*
- *1.000 ton.*
- *B = 13T*
- *43km de supercondutor Nb-Sn*

Módulo do Ímã

Componentes principais e esquema de funcionamento

Corrente de plasma ≈ 15 x 10^{+8} A



https://www.energy.gov/science/doe-explainstokamaks

Matriz Energética Brasileira

em 30/04/2019

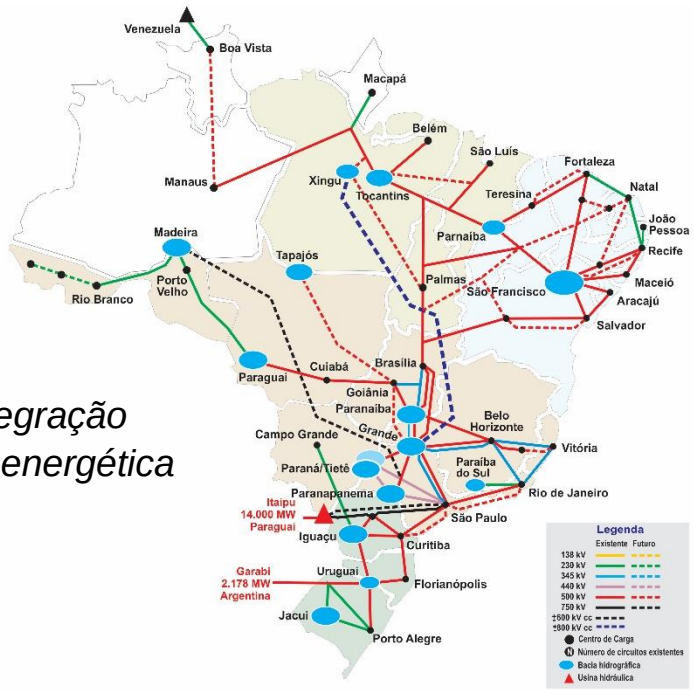
Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	699	712.632	712.446	0,43
CGU	1	50	50	0
EOL	614	15.099.289	15.063.893	9,18
PCH	424	5.230.629	5.188.556	3,16
UFV	2.470	2.105.252	2.084.002	1,27
UHE	217	102.529.978	98.698.211	60,13
UTE	3.006	41.959.689	40.401.760	24,61
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,21
Total	**7.433**	**169.627.519**	**164.138.918**	100

Legenda	
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CGU	Central Geradora Undi-elétrica
EOL	Central Geradora Eólica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica
UTN	Usina Termonuclear

→ Usina de Ondas Marítimas

Usina de Pecém - CE

Integração Eletroenergética



http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm

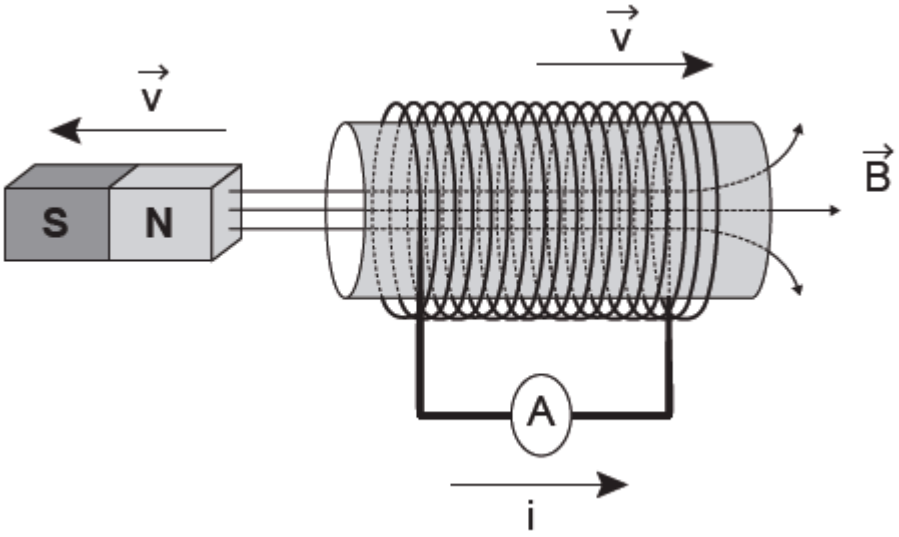
Não se esqueça de assistir aos seguintes vídeos:

- https://www.youtube.com/watch?v=Rba9EdXO368 - Lei de Faraday
- https://www.youtube.com/watch?v=Oz15bjsSVxY - Lei de Lenz
- https://www.youtube.com/watch?v=2FlUoufJBqI - Transformador
- https://www.youtube.com/watch?v=Oz15bjsSVxY - Freio Magnético

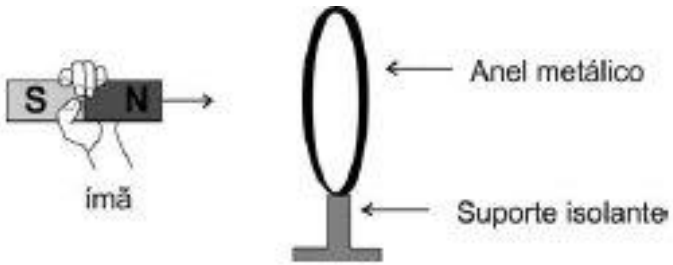
Exercícios

1. O funcionamento dos geradores de usinas elétricas baseia-se no fenômeno da indução eletromagnética, descoberto por Michael Faraday no século XIX. Pode-se observar esse fenômeno ao se movimentar um ímã e uma espira em sentidos opostos com módulo da velocidade igual a ***v***, induzindo uma corrente elétrica de intensidade ***i***, como ilustrado na figura do enunciado. A fim de se obter uma corrente com o mesmo sentido da apresentada na figura do enunciado, utilizando os mesmos materiais, outra possibilidade é mover a espira para a:

a) a esquerda e o ímã para a direita com polaridade invertida.
b) direita e o ímã para a esquerda com polaridade invertida.
c) esquerda e o ímã para a esquerda com mesma polaridade.
d) direita e manter o ímã em repouso com polaridade invertida.
e) esquerda e manter o ímã em repouso com mesma polaridade.



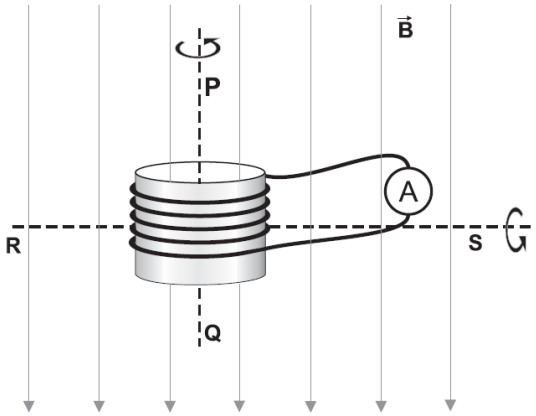
2. (FUVEST 2010) Aproxima-se um ímã de um anel metálico fixo em um suporte isolante, como mostra a figura. O movimento do ímã, em direção ao anel:



a) não causa efeitos no anel.
b) produz corrente alternada no anel.
c) faz com que o polo sul do ímã vire polo norte e vice-versa.
d) produz corrente elétrica no anel, causando uma força de atração entre anel e ímã.
e) produz corrente elétrica no anel, causando uma força de repulsão entre anel e ímã.

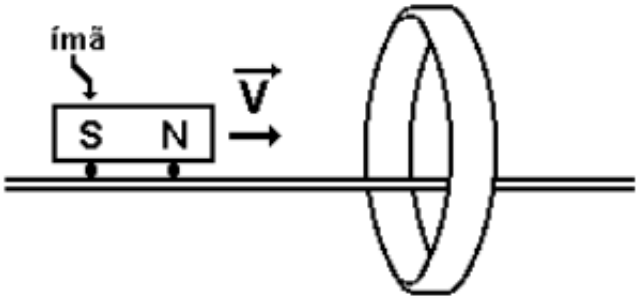
3. (UFMG/2007) Uma bobina condutora, ligada a um amperímetro, é colocada em uma região onde há um campo magnético $\vec{B}$, uniforme, vertical, paralelo ao eixo da bobina, como representado nesta figura:

Essa bobina pode ser deslocada horizontal ou verticalmente ou, ainda, ser girada em torno do eixo **PQ** da bobina ou da direção **RS**, perpendicular a esse eixo, permanecendo, sempre, na região do campo. Considerando-se essas informações, é **CORRETO** afirmar que o amperímetro indica uma corrente elétrica quando a bobina é



A) deslocada horizontalmente, mantendo-se seu eixo paralelo ao campo magnético.
B) deslocada verticalmente, mantendo-se seu eixo paralelo ao campo magnético.
C) girada em torno do eixo **PQ**.
D) girada em torno da direção **RS**.

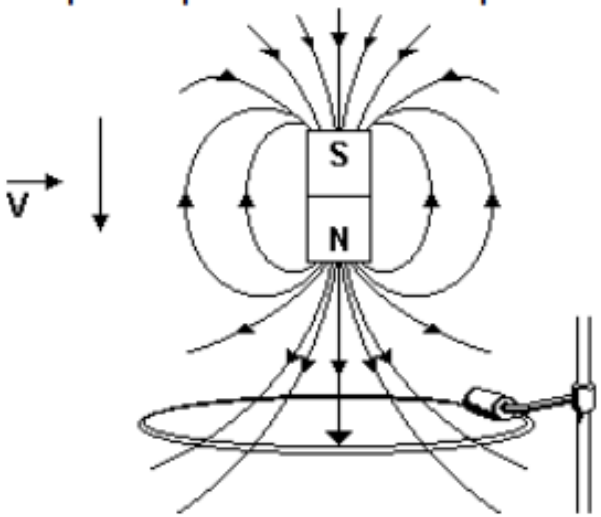
5. Um ímã, preso a um carrinho, desloca-se com velocidade constante ao longo de um trilho horizontal. Envolvendo o trilho há uma espira metálica, como mostra a figura adiante. Pode-se afirmar que, na espira, a corrente elétrica:



a) É sempre nula.
b) Existe somente quando o ímã se aproxima da espira.
c) Existe somente quando o ímã está dentro da espira.
d) Existe somente quando o ímã se afasta da espira.
e) Existe quando o ímã se aproxima ou se afasta da espira.

- *Supondo que a Lei de Lenz funcione de maneira diferente do que foi dito, analise as consequências para a resolução do exercício do ponto de vista da* ***Lei de Conservação da Energia***.

6. Um ímã permanente cai por ação da gravidade através de uma espira condutora circular fixa, mantida na posição horizontal, como mostra a figura. O pólo norte do ímã esta dirigido para baixo e a trajetória do ímã é vertical e passa pelo centro da espira.



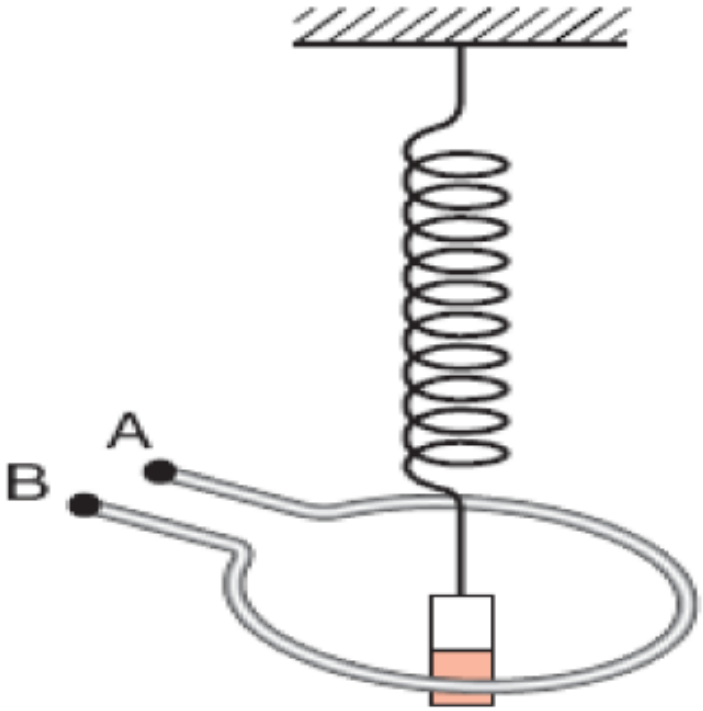
Use a lei de Faraday e mostre por meio de diagramas:

a) O sentido da corrente induzida na espira no momento ilustrado na figura;
b) A direção e o sentido da força resultante exercida sobre o ímã. Justifique.

7. (UFMG) A corrente elétrica induzida em uma espira circular será:

a) nula, quando o fluxo magnético que atravessa a espira for constante.
b) inversamente proporcional à variação do fluxo magnético com o tempo.
c) no mesmo sentido da variação do fluxo magnético.
d) tanto maior quanto maior for a resistência da espira.
e) sempre a mesma, qualquer que seja a resistência da espira.

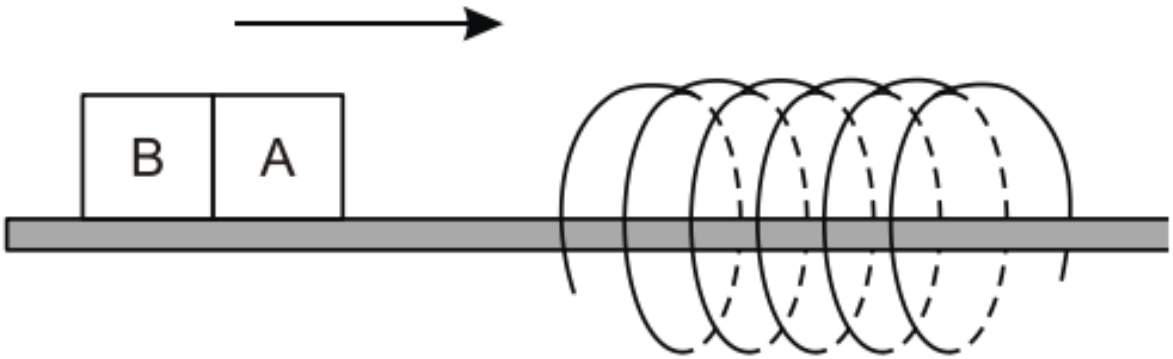
8. Um pequeno corpo imantado está preso à extremidade de uma mola e oscila verticalmente na região central de uma bobina cujos terminais *A* e *B* estão abertos, conforme indica a figura.



Devido à oscilação do ímã, aparece entre os terminais *A* e *B* da bobina:

a) Uma corrente elétrica constante
b) Uma corrente elétrica variável
c) Uma tensão elétrica constante
d) Uma tensão elétrica variável
e) Uma tensão e uma corrente elétrica, ambas constantes

9. A figura abaixo mostra um ímã AB se deslocando, no sentido indicado pela seta, sobre um trilho horizontal envolvido por uma bobina metálica fixa.



Nessas condições, é correto afirmar que, durante a aproximação do ímã, a bobina

a) sempre o atrairá.

b) sempre o repelirá.

c) somente o atrairá se o polo A for o Norte.

d) somente o repelirá se o polo A for o Sul.

10. Marque a alternativa **ERRADA**.

a) Transformadores são dispositivos eletromagnéticos que transformam o valor da tensão elétrica alternada, aplicada em sua entrada, para uma tensão alternada diferente na saída.
b) Os transformadores podem ser usados tanto para aumentar quanto para diminuir o valor da tensão.
c) Um transformador consiste em duas bobinas enroladas no mesmo núcleo de ferro.
d) Um transformador consiste em uma bobina enrolada em dois núcleos de ferro.
e) Em transformadores com dois enrolamentos, é comum denominá-los de enrolamento primário e enrolamento secundário.

11. (UFRGS) Entre os dispositivos elétricos citados nas alternativas, qual o que só pode funcionar com corrente elétrica alternada?

a) Rádio
b) Transformador
c) Lâmpada incandescente
d) Chuveiro
e) Ferro de passar roupa

12. (UFRS) Num transformador, a razão entre o número de espiras no primário (N_1) e o número de espiras no secundário (N_2) é $N_1/N_2 = 10$. Aplicando-se uma diferença de potencial alternada V_1 no primário, a diferença de potencial induzida no secundário é V_2. Supondo tratar-se de um transformador ideal, qual a relação entre V_2 e V_1?

a) $V_2 = V_1/100$
b) $V_2 = 10V_1$
c) $V_2 = 100V_1$
d) $V_2 = V_1$
e) $V_2 = V_1/10$

13. Uma máquina de solda elétrica precisa operar com uma corrente elétrica de 400 A para que haja potência dissipada suficiente para fundir as peças metálicas. A potência necessária é dada por $P = R.i^2$, onde R é a resistência dos eletrodos de solda. Com a intenção de obter esse valor de corrente elétrica, utiliza-se um transformador, que está ligado a uma rede elétrica cuja tensão vale 110 V, e pode fornecer um máximo de 40 A. Qual deve ser a razão do número de espiras entre o enrolamento primário e o secundário do transformador, e qual a tensão de saída?

a) $N_1/N_2 = 5$; $V = 9$
b) $N_1/N_2 = 10$; $V = 11$
c) $N_1/N_2 = 15$; $V = 15$
d) $N_1/N_2 = 20$; $V = 20$
e) $N_1/N_2 = 25$; $V = 22$

Máquina de Solda Compact
MTS-150 - SOMAR-919.000

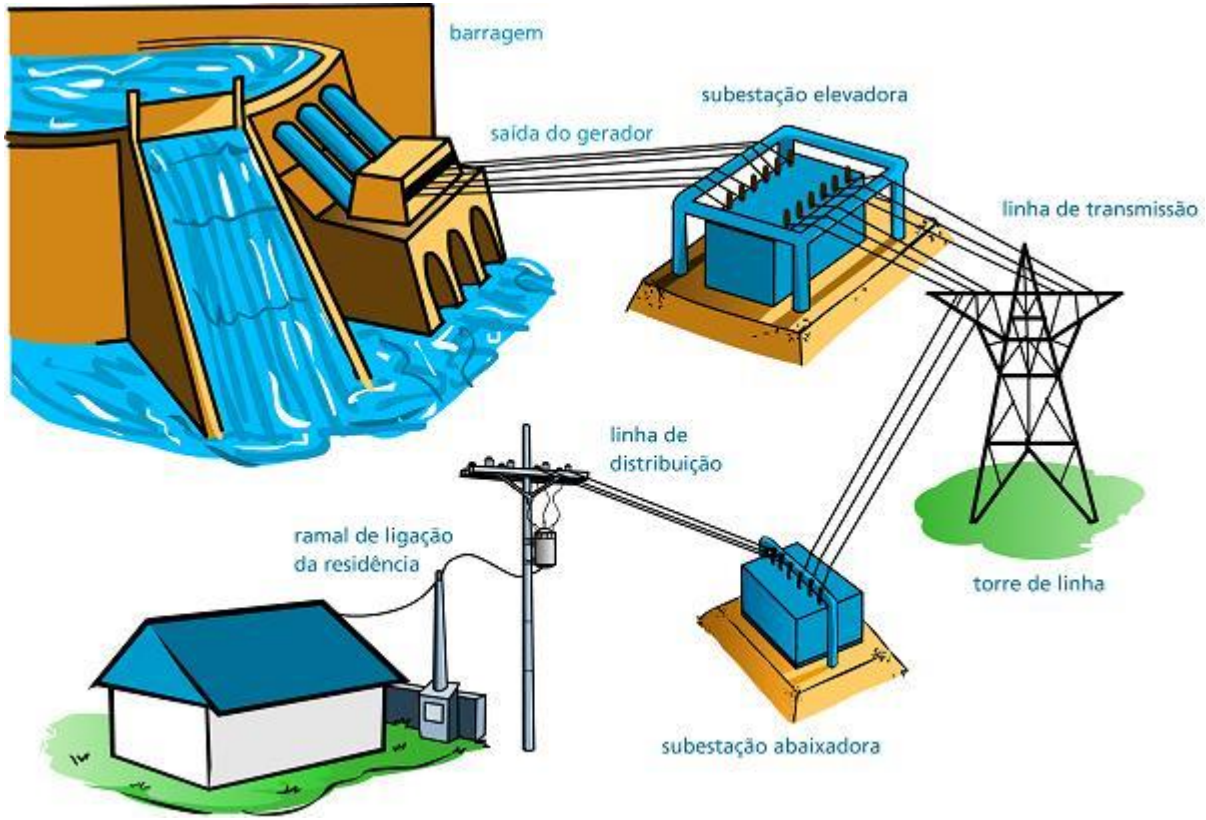
14. (Unisinos-RS) As companhias de distribuição de energia elétrica utilizam transformadores nas linhas de transmissão. Um determinado transformador é utilizado para baixar a diferença de potencial de 3.800 V (rede urbana) para 115 V (uso residencial). Nesse transformador:

I. O número de espiras no primário é maior que no secundário;
II. A corrente elétrica no primário é menor que no secundário;
III. A diferença de potencial no secundário é contínua.

Das afirmações acima:

a) Somente I é correta.
b) Somente II é correta.
c) Somente I e II são corretas.
d) Somente I e III são corretas.
e) I, II e III são corretas.

Esquema



Referências

- http://docslide.com.br/documents/dissertacaofinal-559dff55502cc.html
- https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/descomplica-blog/wp-content/uploads/2014/11/Materialdeapoioextensivo-fisica-exercicios-lei-lenz-faraday.pdf
- http://www.infoescola.com/fisica/eletromagnetismo/exercicios/
- http://exercicios.brasilescola.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-inducao-eletromagnetica.htm
- https://en.wikipedia.org/wiki/Eddy_current
- http://inductothermgroup.com.br/what-is-induction/
- http://www.brastemp.com.br/produto/cooktop-de-inducao-4-bocas-brastemp-gourmand/
- http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/eca-tutorial/intro/
- https://exercicios.brasilescola.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-transformadores.htm
- https://exercicios.mundoeducacao.bol.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-transformadores.htm
- https://www.mundodaeletrica.com.br/um-pouco-mais-sobre-o-sistema-eletrico-de-potencia-sep/
- https://www.3bscientific.com.br/galvanometro-neutro-ca-403-1002726-u11170-chauvin-arnoux-metrix,p_809_788.html
- https://www.itaipu.gov.br
- ftp://ftp.sm.ifes.edu.br/professores/SolivanAltoe/4EN/Subestações_Solivan.pdf
- https://abrate.org.br/integracao-eletroenergetica/
- https://www.youtube.com/watch?v=5tH4obUsY64