

## Capítulo 12

# Motor de Indução



### Objetivos:

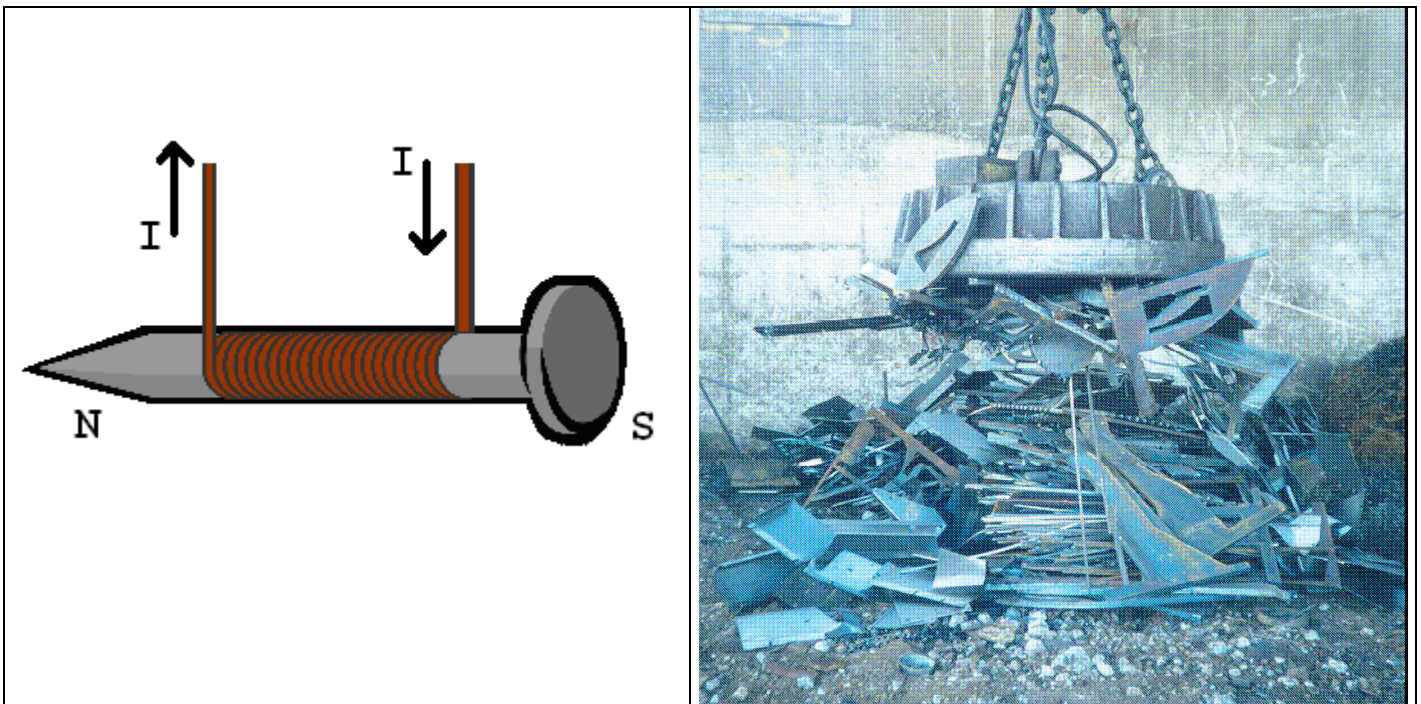
Entender o princípio de funcionamento

Analisar as características operacionais

# PRODUÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO

Um **eletroímã**, ao ser energizado, produz os mesmos efeitos magnéticos de um ímã, apresentando igualmente um **pólo norte** e um **pólo sul**.

**Eletroímã**  $\equiv$  enrolamento com núcleo de material ferromagnético



Os seguintes fenômenos são facilmente observáveis:

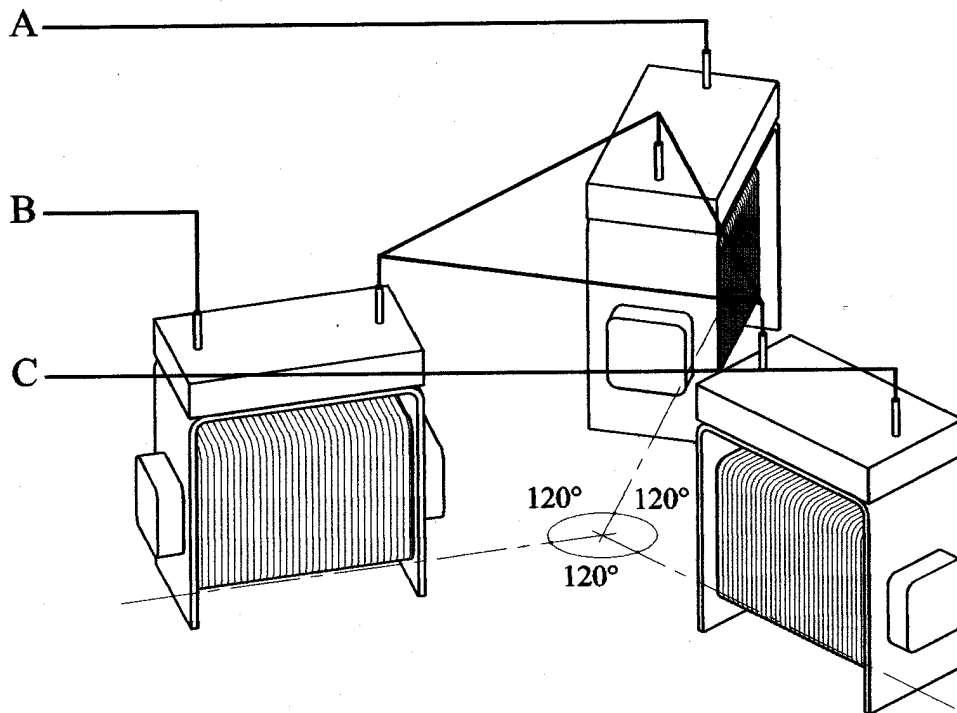
- Ao aproximarmos dois ímãs ocorrerá um alinhamento na direção do campo magnético, porém com os pólos opostos se defrontando.

- Dois eletroímãs ao serem energizados, também se alinharão de modo que os eixos longitudinais coincidam com a direção do campo, porém com os pólos opostos se defrontando.

E sempre que houver um deslocamento de um dos componentes surgirá uma força que restabelecerá o alinhamento, com a realização de um trabalho mecânico cuja energia necessária é fornecida pela fonte que supre a corrente elétrica que gera o campo magnético. Portanto, ao se impor um desalinhamento de dois eletroímãs energizados, um trabalho mecânico está sendo realizado e tem-se um processo de conversão eletromecânica de energia.

# CAMPO MAGNÉTICO GIRANTE

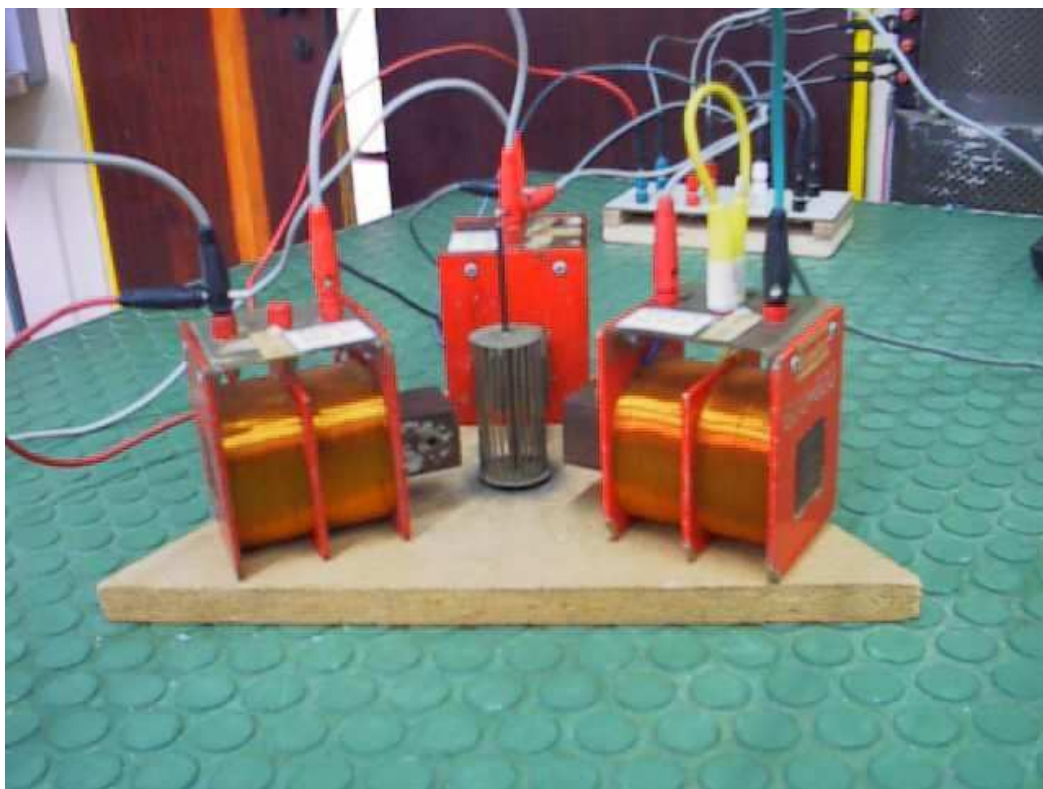
Com 3 bobinas idênticas, dispostas geometricamente a  $120^\circ$  entre si e ligadas à rede elétrica em Y ou  $\Delta$ , é possível obter um campo magnético girante.



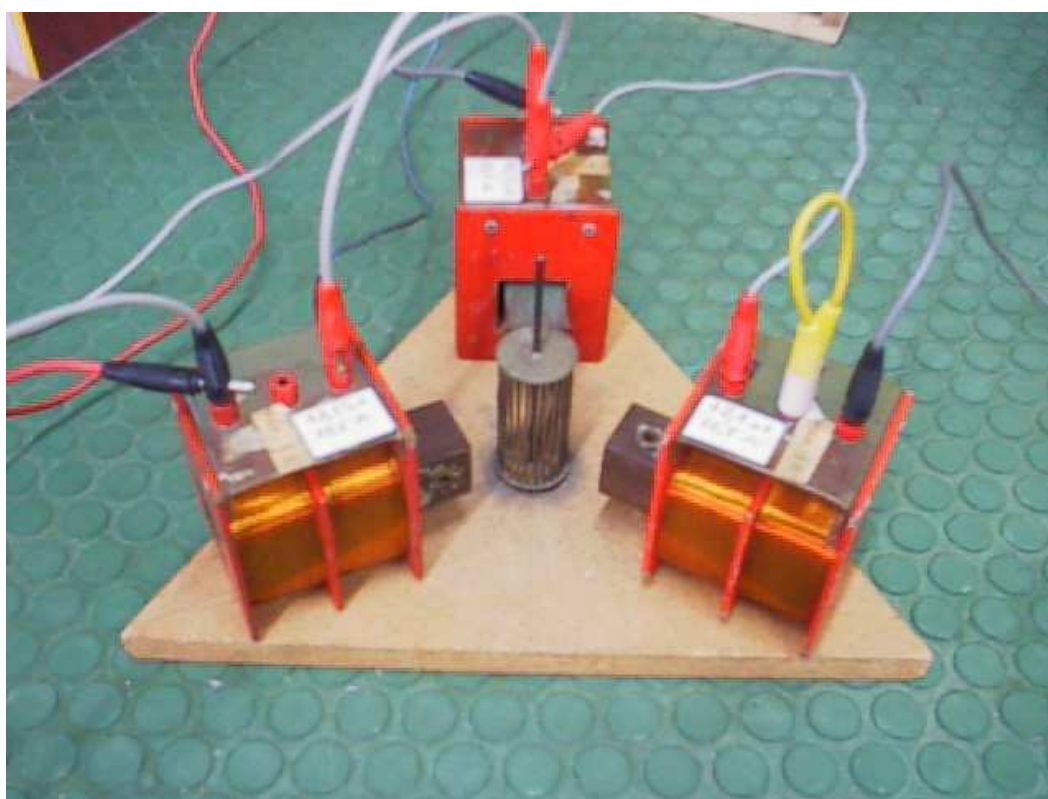
ESTAS BOBINAS COMPÕEM A PARTE FIXA DO MOTOR, DENOMINADA **ESTATOR**

**A PARTE MÓVEL É DENOMINADA ROTOR**

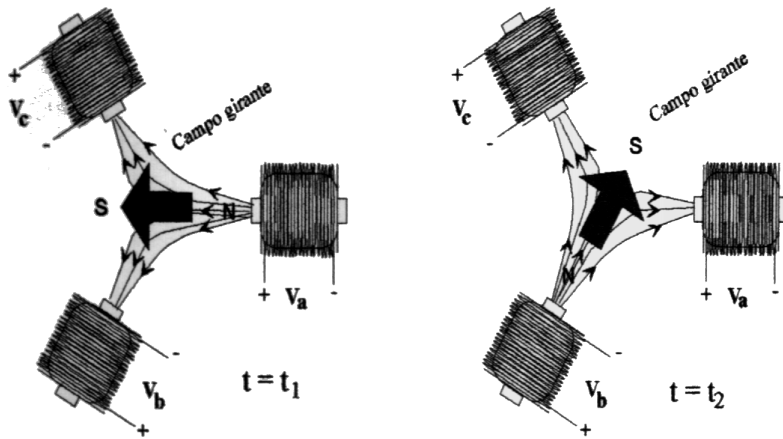




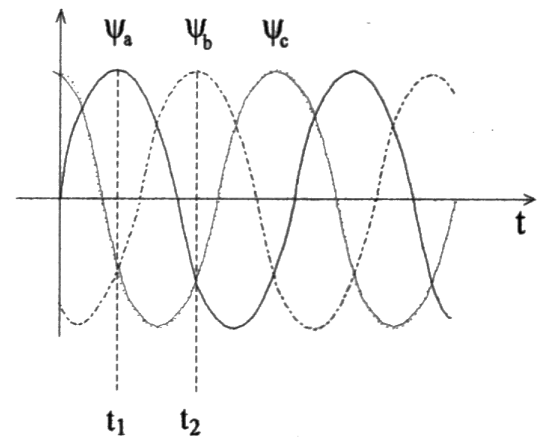
Veja VÍDEO no YOUTUBE



O que a figura abaixo nos permite concluir a respeito da intensidade e da velocidade de rotação do campo magnético girante?



(a)

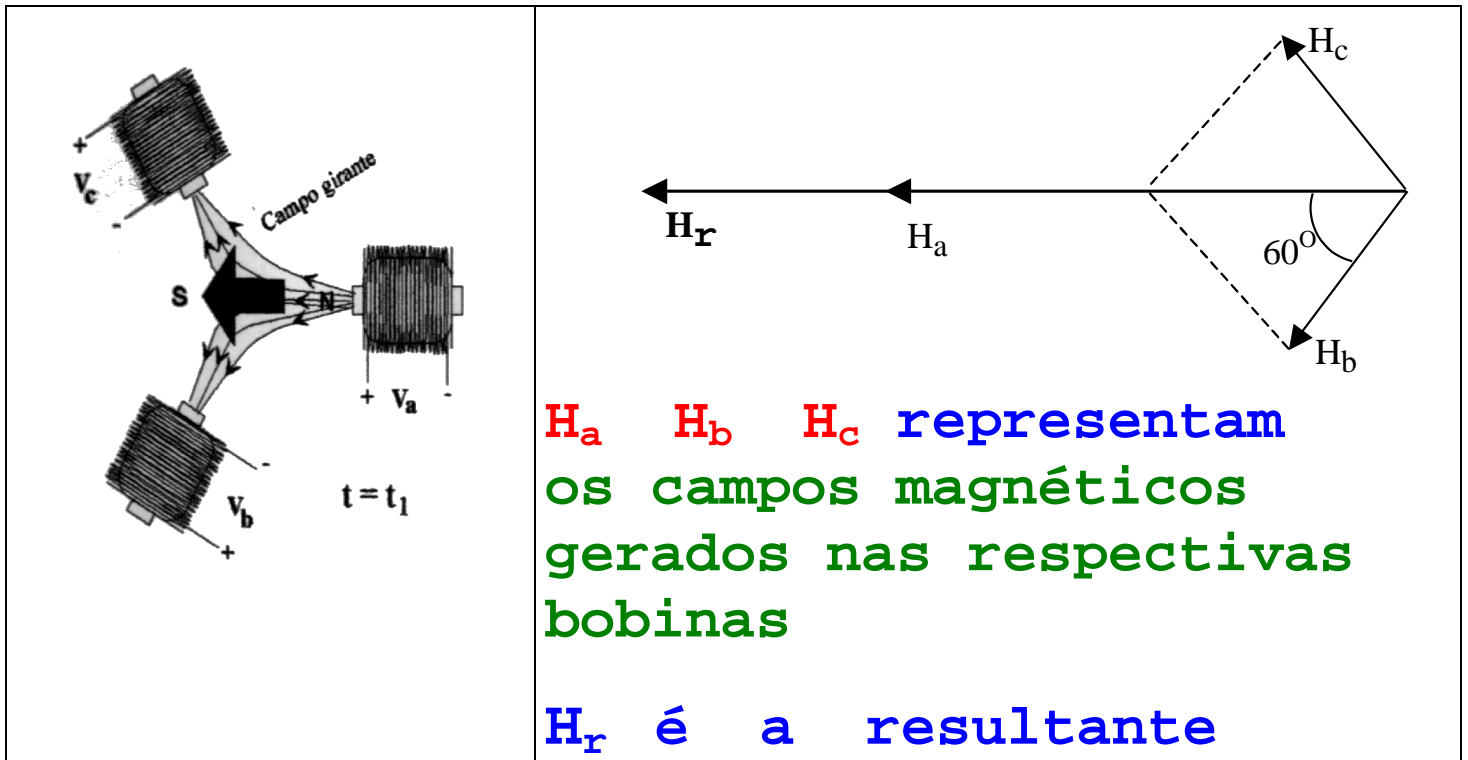


(b)

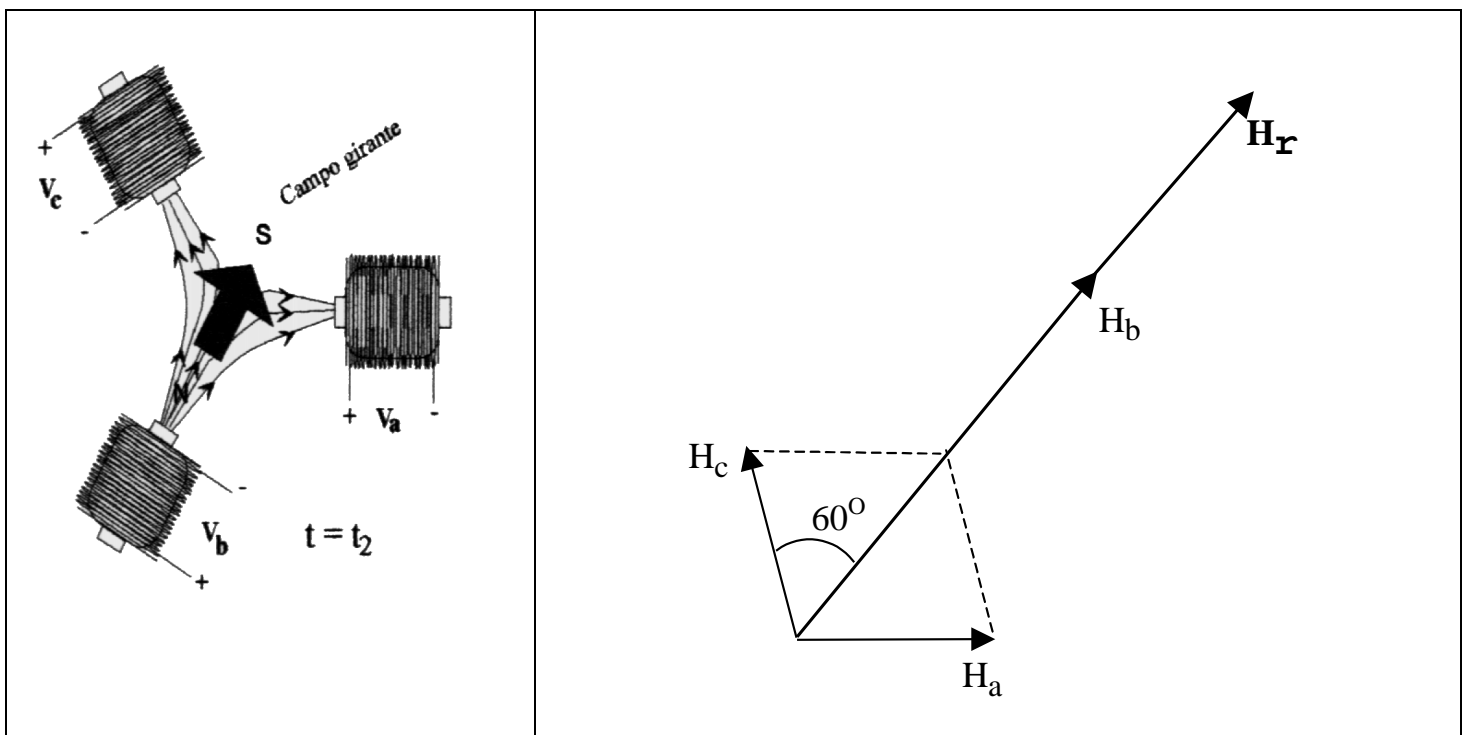
UM RACIOCÍNIO BASEADO EM DIAGRAMA FASORIAL POSSIBILITA RESPONDER ESTA PERGUNTA:



## NO INSTANTE DE TEMPO $t_1$



## NO INSTANTE DE TEMPO $t_2$



## CONCLUSÃO:

Constata-se que  $H_r$  é constante, e portanto, o campo magnético girante tem intensidade constante.

COM RELAÇÃO À VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO GIRANTE, O QUE SE PODE CONCLUIR?

Dado que é **constante** a **velocidade angular** (rad/s) das correntes alternadas que circulam pelas bobinas, e que a cada **120° elétricos**  $H_r$  rotaciona **120° mecânicos**, conclui-se que a **velocidade de rotação do campo magnético girante é constante**.

**Expressão para o cálculo da velocidade de rotação do campo magnético girante também conhecida como velocidade síncrona ( $n_s$ ):**

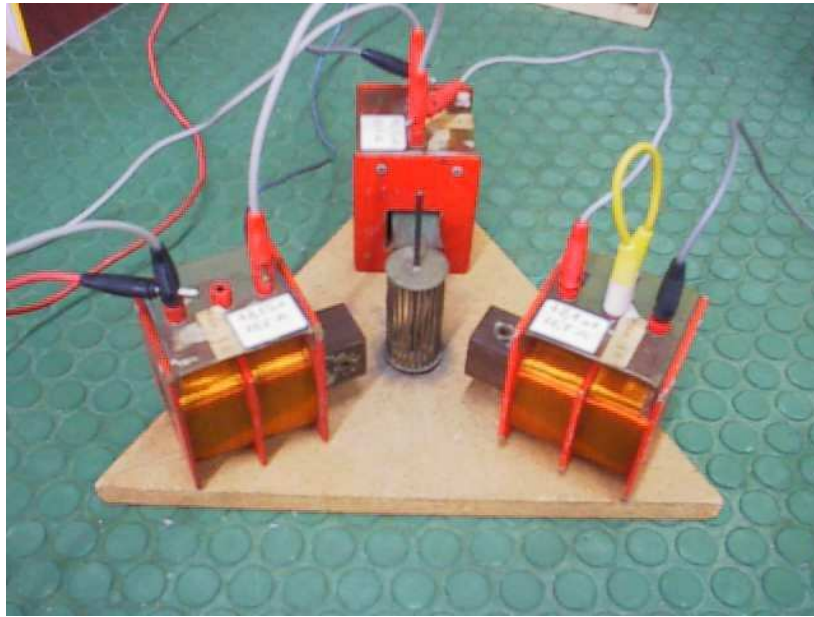
$$n_s = \frac{120 \cdot f_e}{p}$$

**$f_e \rightarrow$  frequência das correntes trifásicas nas bobinas do estator**  
 **$p \rightarrow$  quantidade de pólos**

Obs.: A constante 120 concilia a unidade de  $f_e$  (Hz) com a unidade de  $n_s$  (rpm).



O que ocorrerá se uma agulha magnética for colocada no centro geométrico?



Se uma agulha magnética (bússola) for colocada no centro geométrico das bobinas, o seu campo magnético se alinhará com o campo magnético girante e a agulha girará com a mesma velocidade do campo magnético girante, desde que não existam limitações mecânicas para tal.

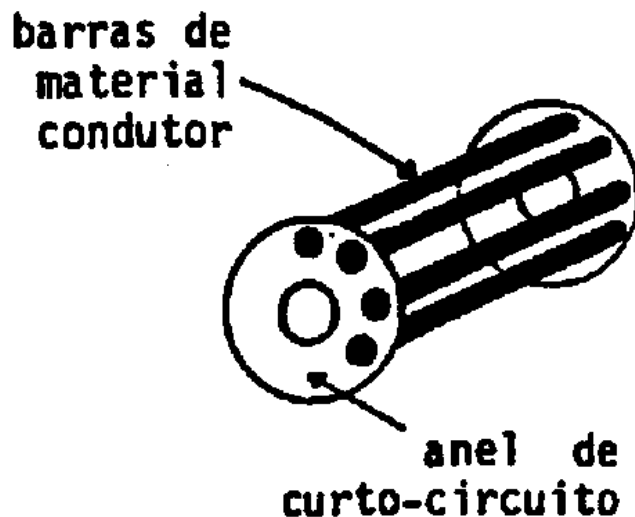
Nesse caso, diz-se que o rotor está em sincronismo com o campo magnético girante.

Estudar no material didático a Figura 12.3 sobre quantidade de pólos.

## Motor de indução com Rotor Gaiola

Em geral, o rotor (parte móvel) é uma peça maciça, cilíndrica, de material ferromagnético, em cuja superfície são incrustadas barras de alumínio ou cobre, curto-circuitadas nas extremidades através de anéis condutores. Esta estrutura é conhecida como gaiola de esquilo.

rotor tipo gaiola





Dado que o rotor do tipo gaiola não é um ímã, ou seja, não apresenta campo magnético próprio, como ocorre o giro deste rotor?

LEMBRAR DA LEY DE INDUÇÃO DE FARADAY  
(NO CASO: INDUÇÃO DE CORRENTE)

A VELOCIDADE DO ROTOR GAIOLA TAMBÉM  
SERÁ SÍNCRONA?

## Escorregamento

Denomina-se **escorregamento**, a grandeza obtida através da seguinte relação:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

**s** - escorregamento  
 **$n_s$**  - velocidade síncrona  
(velocidade do campo girante)  
**n** - velocidade do rotor

Em geral, o **escorregamento** é expresso em **porcentagem**, variando à **plena carga** entre 1 a 5%, dependendo do tamanho e do tipo do motor.

O valor da **freqüência da corrente induzida no rotor** pode também ser obtido através de:

$$f_r = s \cdot f_e$$

**$f_r$**  - freqüência da corrente elétrica no rotor

**$f_e$**  - freqüência da corrente elétrica no estator

**s** - escorregamento

# Características elétricas

## POTÊNCIA DE SAÍDA OU POTÊNCIA NO EIXO:

Geralmente expressa em CV ou HP e eventualmente em kW.

## POTÊNCIA DE ENTRADA (PE):

Expressa em kW, é a potência no eixo dividida pelo rendimento ( $\eta$ ):

$$P_E(\text{kW}) = \frac{P_N(\text{kW})}{\eta}$$

$$P_E(\text{kW}) = \frac{P_N(\text{CV})}{\eta} 0,736$$

$$P_E(\text{kW}) = \frac{P_N(\text{HP})}{\eta} 0,746 \quad (\text{Rever Cap. 1})$$

## CORRENTE NOMINAL ou CORRENTE de PLENA CARGA:

É a corrente consumida pelo motor quando ele fornece a potência nominal a uma carga.

Para os motores de corrente alternada as correntes podem ser determinadas pelas seguintes expressões:

**Monofásico:**  $I_N = \frac{P_N}{U_N \times \cos \varphi \times \eta} = \frac{P_E}{U_N \times \cos \varphi} \quad (\text{Cap. 7})$

**Trifásico:**  $I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3} \times U_N \times \cos \varphi \times \eta} = \frac{P_E}{\sqrt{3} \times U_N \times \cos \varphi} \quad (\text{Cap. 9})$

$U_N$  é a tensão de linha nominal

$\cos \varphi$  é o fator de potência nominal.



Conjugado eletromagnético (torque - T) pode ser obtido através da expressão:

$$P_{em} = T \cdot \omega$$

$P_{em}$  é a potência eletromagnética (potência no rotor) em Watts.

$\omega$  é a velocidade do eixo em rad/s.

A unidade de T é N.m.

## Identificação (Dados de placa)



Para instalar adequadamente um motor, é imprescindível que se saiba interpretar os seguintes dados de placa.

Ler no material didático as informações sobre dados de placa.

## Acionamento

No instante de acionamento (partida) do motor de indução, este se comporta como um transformador cujo enrolamento secundário corresponde ao do rotor parado e curto-circuitado.

Dado que o circuito do rotor apresenta uma baixa impedância, teremos um alto valor da corrente induzida no enrolamento secundário que se reflete para o circuito do estator que está conectado na rede elétrica em tensão nominal.

---

Imediatamente após o acionamento (partida), o que ocorre?

OU

À medida que o rotor acelera o que ocorre com os valores da intensidade e da frequência da corrente elétrica induzida NO ROTOR?

A FREQUÊNCIA DA CORRENTE ELÉTRICA INDUZIDA NO ROTOR PODE SER CALCULADA POR:

$$f_r = f_e - \frac{p \cdot n}{120}$$

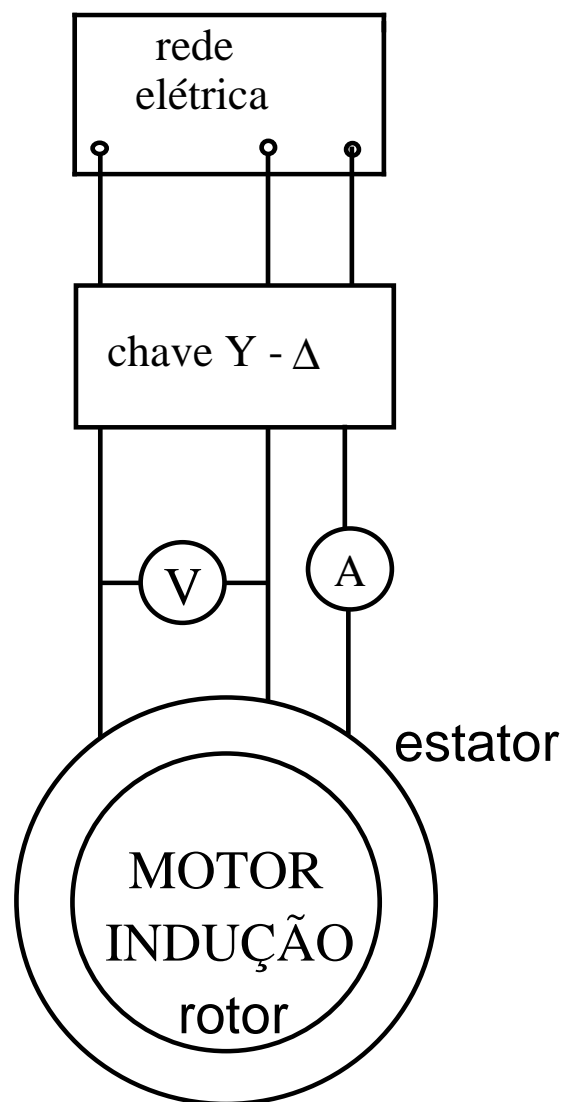
p → quantidade de pólos

n → velocidade de rotação (r.p.m)

## LIMITAÇÃO da CORRENTE de PARTIDA

Em geral, dependendo do porte (potência), a partida de um motor elétrico não deve ocorrer conectando-o diretamente à rede elétrica, ou seja, aplicando-se tensão nominal em seus terminais pois, em função do tipo e das características construtivas, a corrente de partida pode atingir de 3 a 6 vezes (ou mais) o valor da corrente nominal - corrente a plena carga.

Portanto, deve-se dispor de algum tipo de dispositivo que limite a corrente de partida.



## Utilização da Chave Y- $\Delta$

