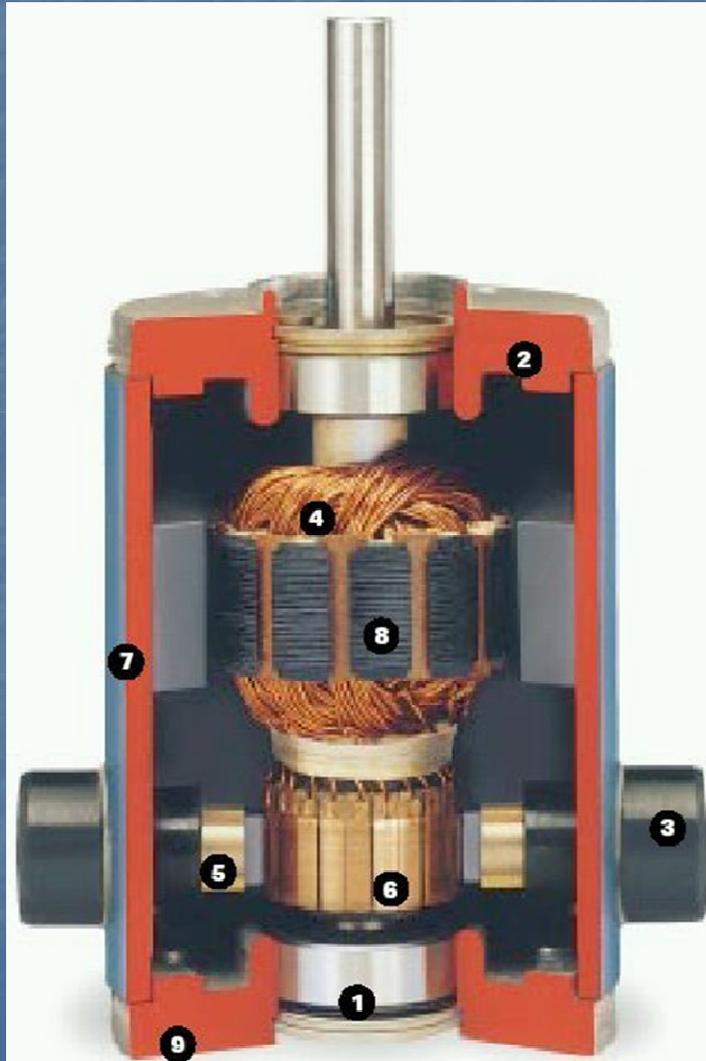


# Máquina de Corrente Contínua

Aspectos Construtivos e Princípios  
de Funcionamento



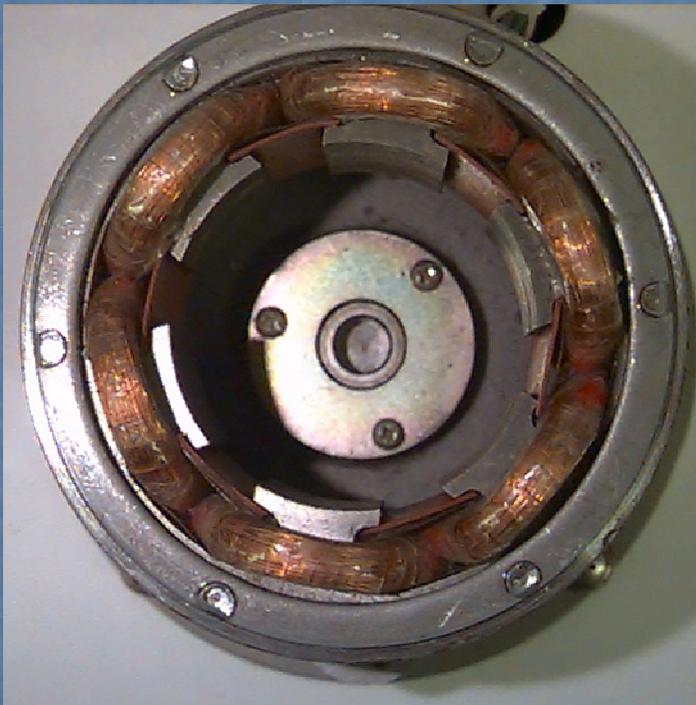
# Aspectos Construtivos



1. Mancal
2. Tampa
3. Porta-Escovas ( parte externa)
4. Bobinas (armadura)
5. Porta-Escovas (parte interna)
6. Comutador (lâminas)
7. Carcaça
8. Núcleo do Rotor (armadura)
9. Tampa

# Aspectos Construtivos

Enrolamento de Campo

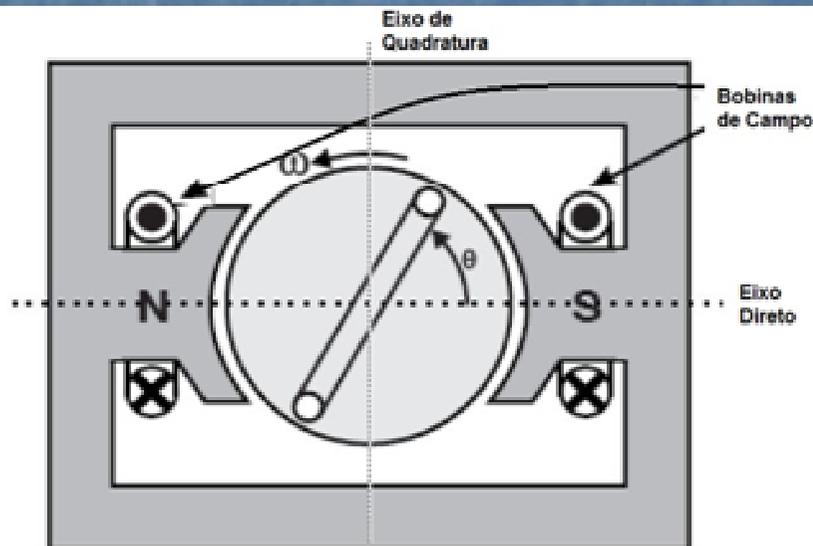


Enrolamento de Armadura

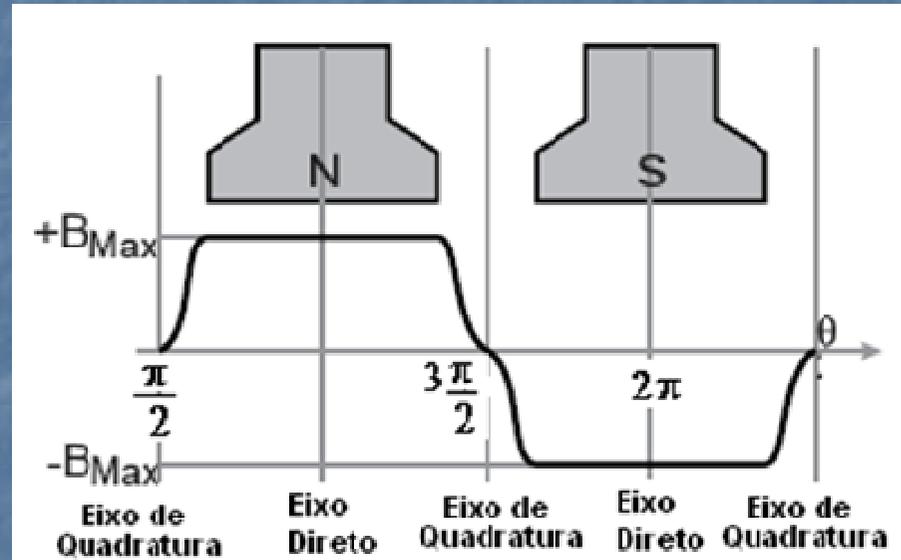


# Princípios de Funcionamento da Máquina de Corrente Contínua

A máquina em corte

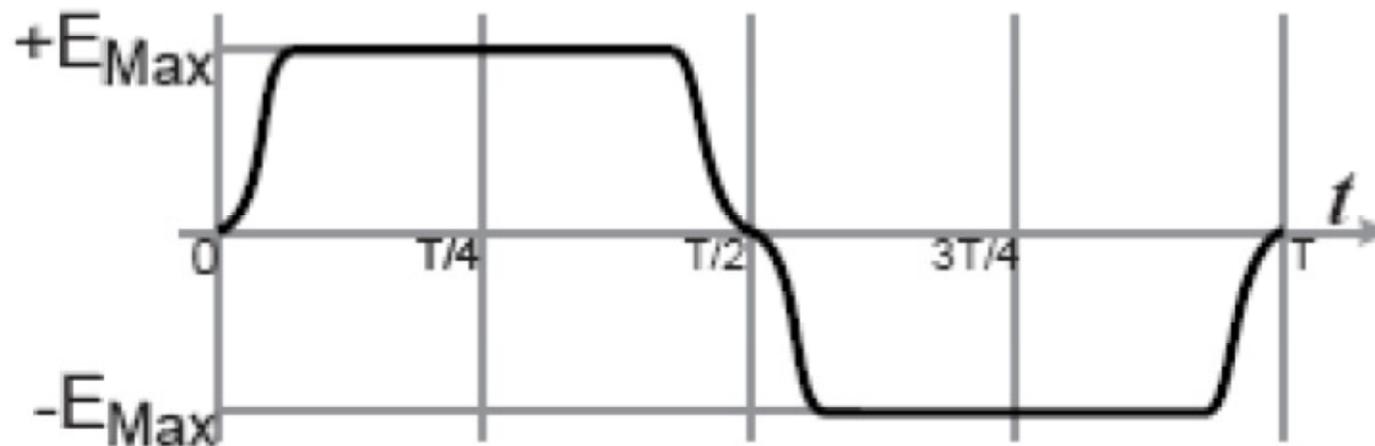


A indução ao longo do entreferro



tensão induzida?

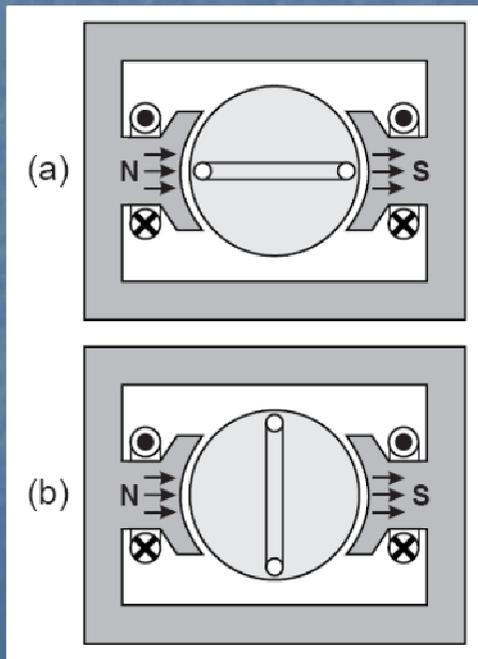
# Valor instantâneo da tensão induzida nos condutores do rotor



# Cálculo da Tensão Induzida

## Valor Médio de meio período

- (a) fluxo nulo
- (b) fluxo máximo

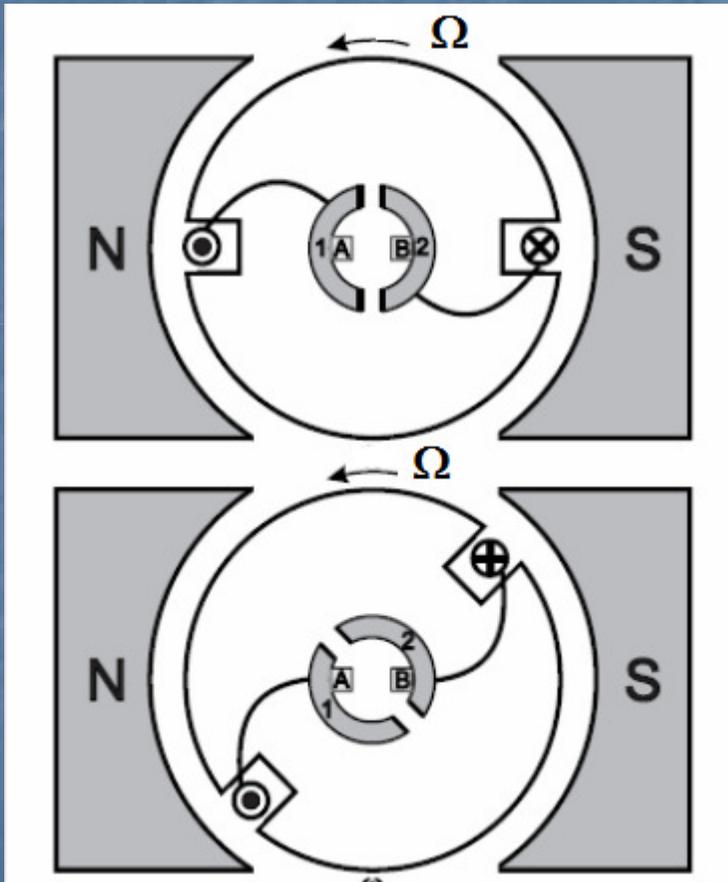


$$E = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = N \frac{\phi - 0}{\frac{T}{4}} = 4N\phi \frac{1}{\frac{2\pi}{\Omega}} = \frac{2N}{\pi} \phi \Omega$$

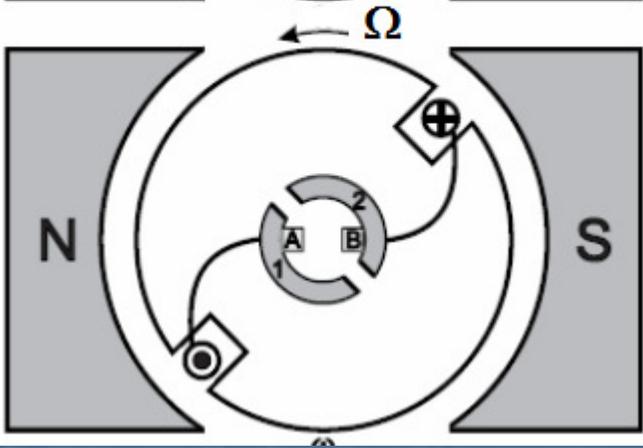
$$E = k\phi\Omega \quad [\text{V}]$$

# Retificação da Tensão Induzida: o Comutador

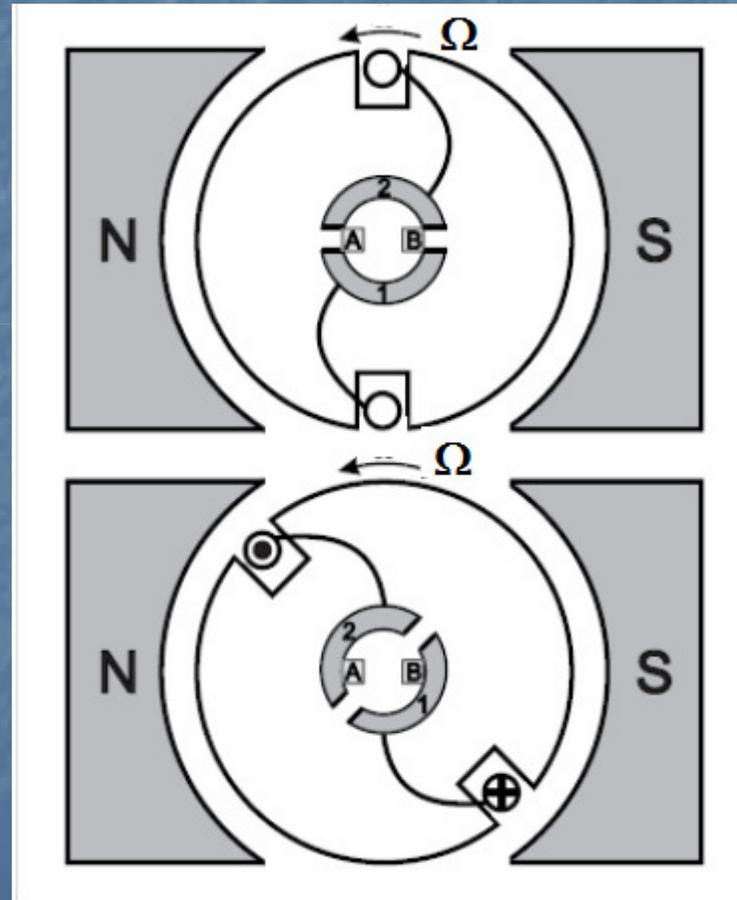
**A**



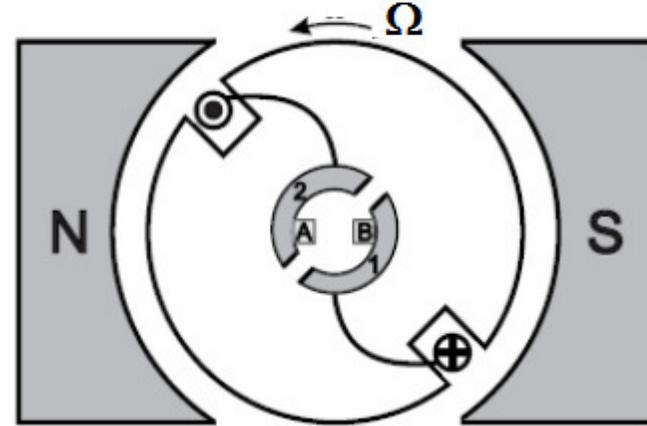
**B**



**C**



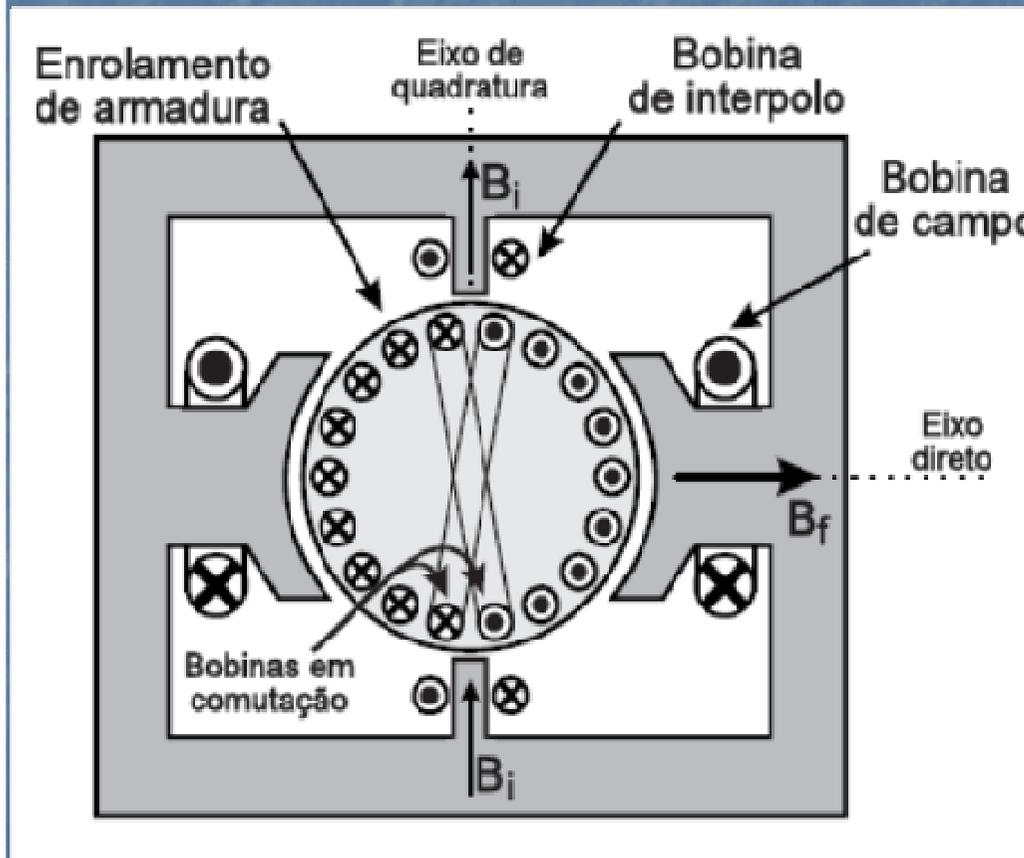
**D**



# Consequências da Ação do Comutador

- A lâmina A sempre estará ligada ao condutor "ponto"
- A lâmina B sempre estará ligada ao condutor "cruz"
- Ou seja: o potencial em A é sempre positivo e em B sempre negativo.
- O comutador retifica a tensão da bobina
- Retificador Mecânico

# A Máquina de Corrente Contínua Real



Muitos condutores no enrolamento de armadura.

Sempre haverá condutores em comutação:

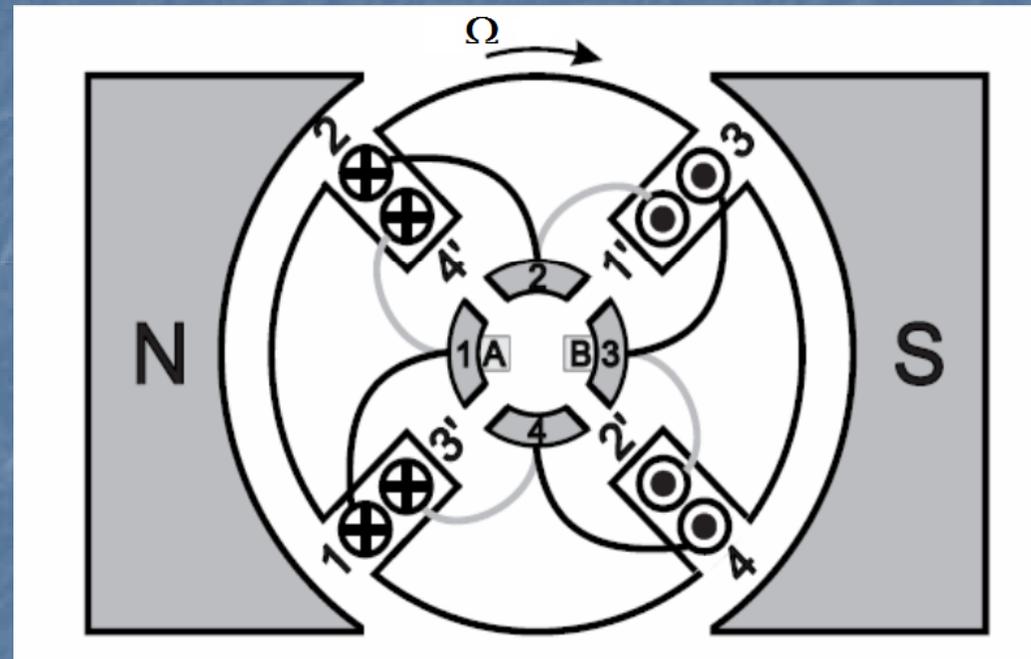
- Ponto → Cruz ou
- Cruz → Ponto

Solução: enrolamento de interpolos.

# O enrolamento em dupla camada

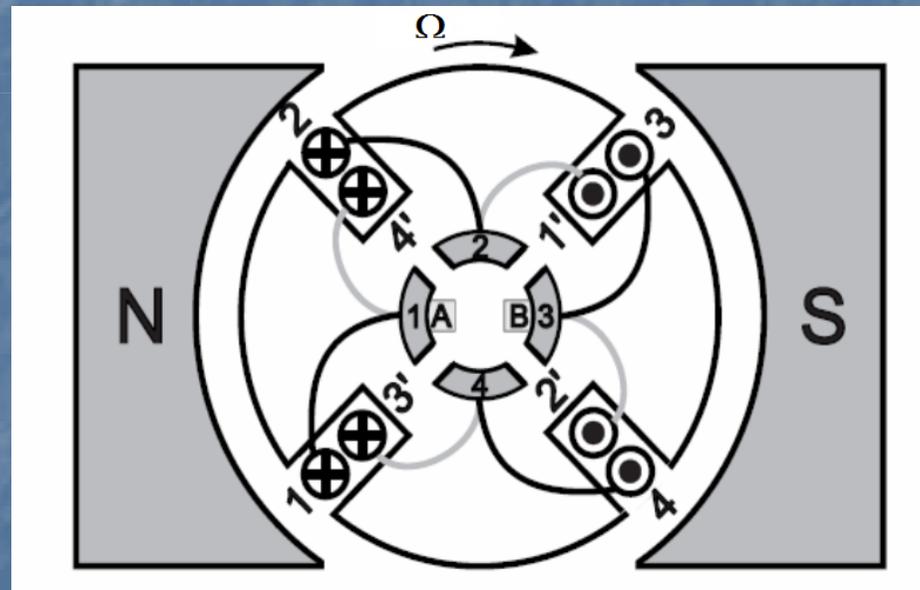
## Conexões:

- Terminal 1 → Lâmina 1
  - Terminal 1' → Lâmina 2
  - Terminal 2 → Lâmina 2
  - Terminal 2' → Lâmina 3
  - Terminal 3 → Lâmina 3
  - Terminal 3' → Lâmina 4
  - Terminal 4 → Lâmina 4
  - Terminal 4' → Lâmina 1
- 
- O enrolamento é sempre fechado!
  - O acesso é possível apenas através das escovas.

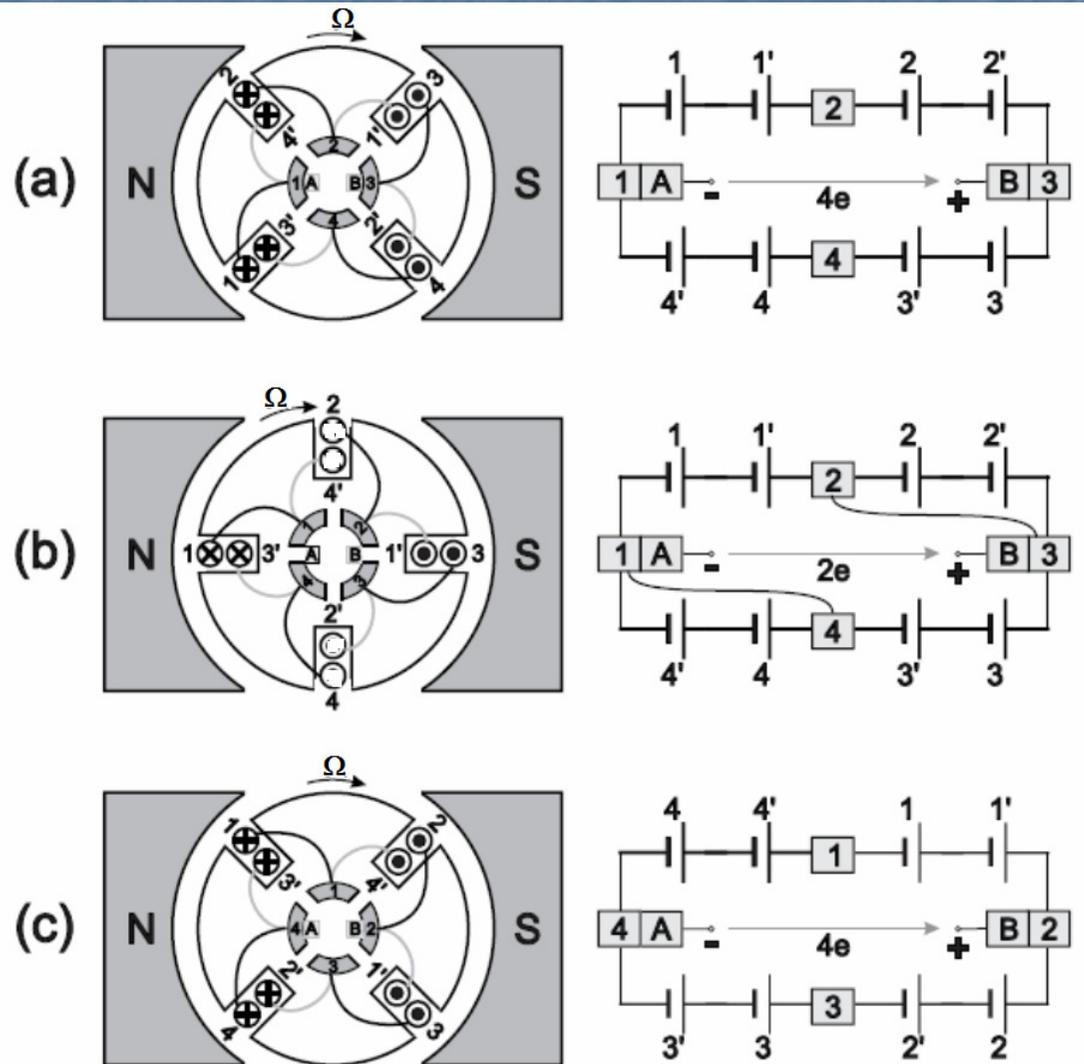


# O enrolamento em dupla camada

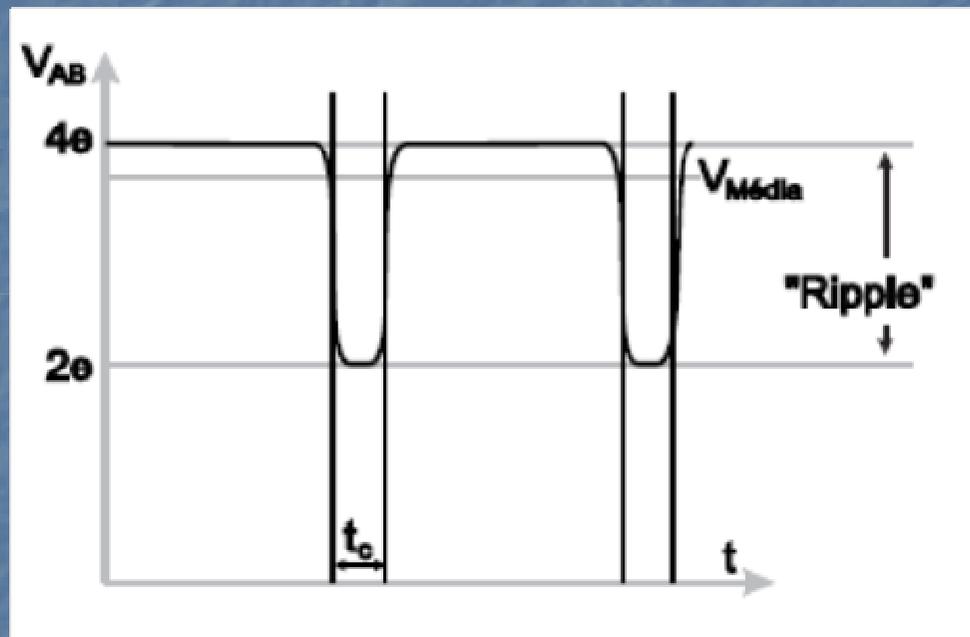
- Sob o polo norte os condutores tem polaridade x
- Sob o polo sul os condutores tem polaridade •



# A tensão induzida ao longo do tempo: enrolamento dupla camada



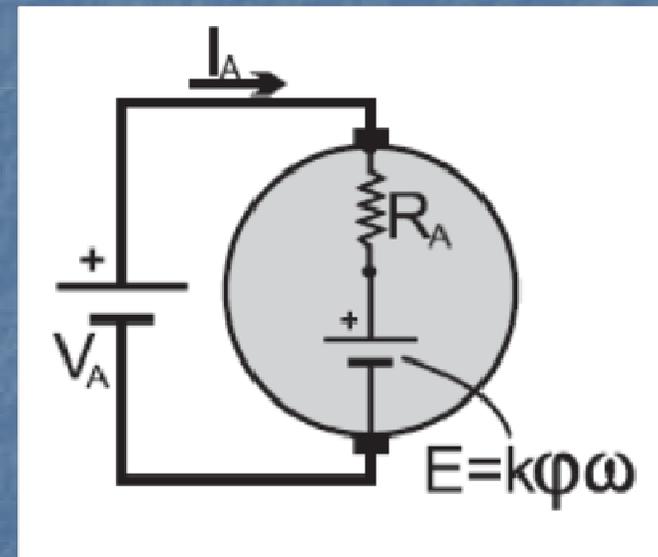
# A tensão induzida ao longo do tempo: enrolamento dupla camada



Ao inserir mais condutores, a flutuação ("ripple") diminui.

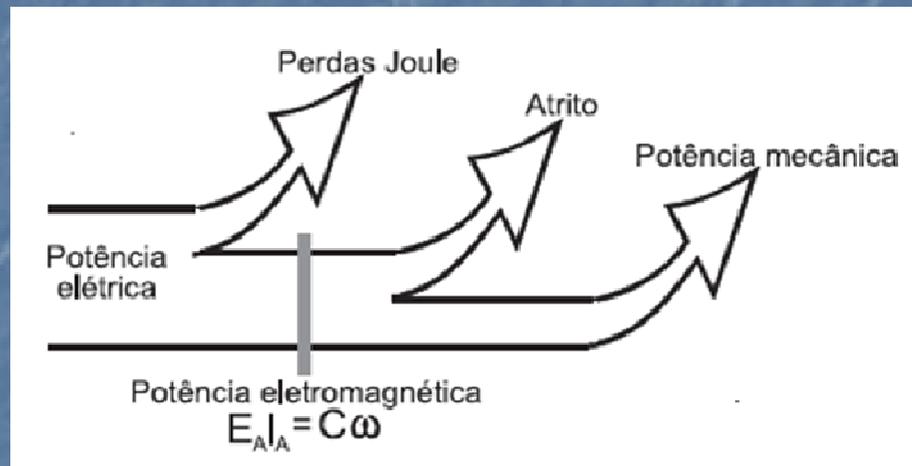
# Circuito Equivalente para Motor

- Em vazio pode-se admitir  
 $V = E = k\phi\omega$
- Controle Básico de Velocidade
- $\omega$  ↑
  - $V$  ↑
  - ou  $\phi$  ↓ , ou seja, a corrente de campo (ou de excitação) ↓ .
- $\omega$  ↓
  - $V$  ↓
  - ou  $\phi$  ↑ , ou seja, a corrente de campo (ou de excitação) ↑



# Conjugado desenvolvido pelo motor de corrente contínua

$$C \times \Omega = E_a \times I_a$$



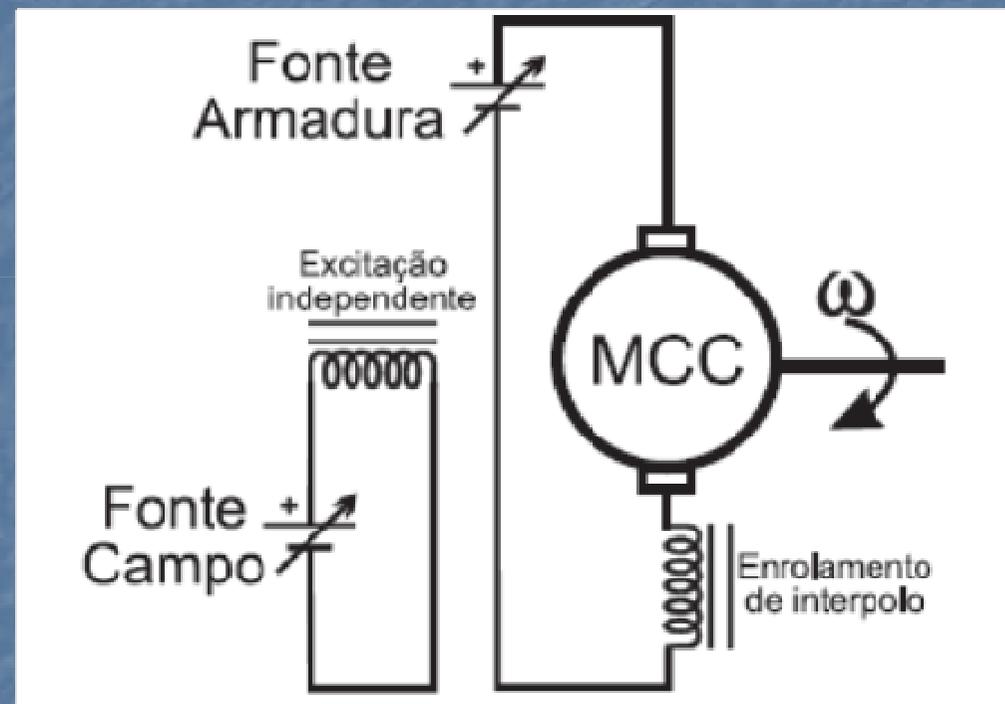
$$E_a = k \phi \Omega$$

$$C = k \phi I_a$$

*É igualmente possível a dedução por balanço de energia e por  $f = Bli$*

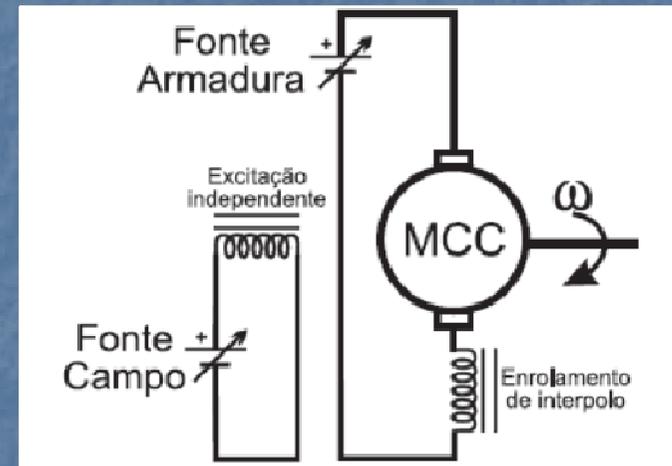
# Motor de Corrente Contínua em Ligação Independente

- Duas fontes independentes.
- Uma para o campo e outra para a armadura.



# Ligação Independente Equacionamento

$$V_a = R_a I_a + E_a$$
$$C = C_{\text{útil}} + C_{\text{atrito}}$$
$$E_a = k\phi\omega$$
$$C = k\phi I_a$$



# Ligação Independente Característica Externa

Resulta em:

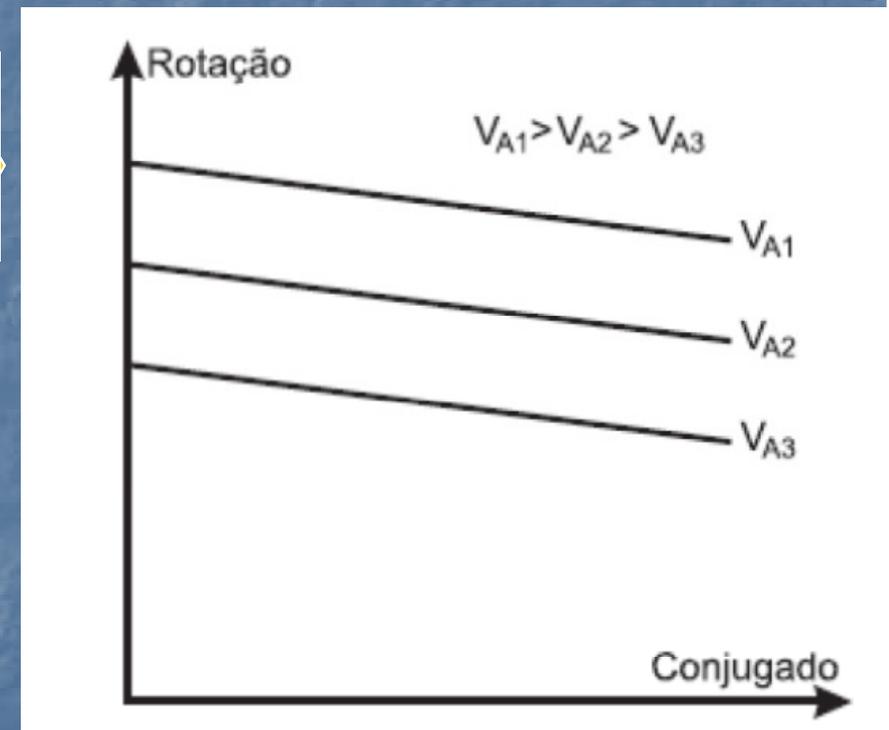
$$\Omega = \frac{V}{k\phi} - \frac{R_a}{(k\phi)^2} (C_{\acute{u}til} + C_{atrito})$$



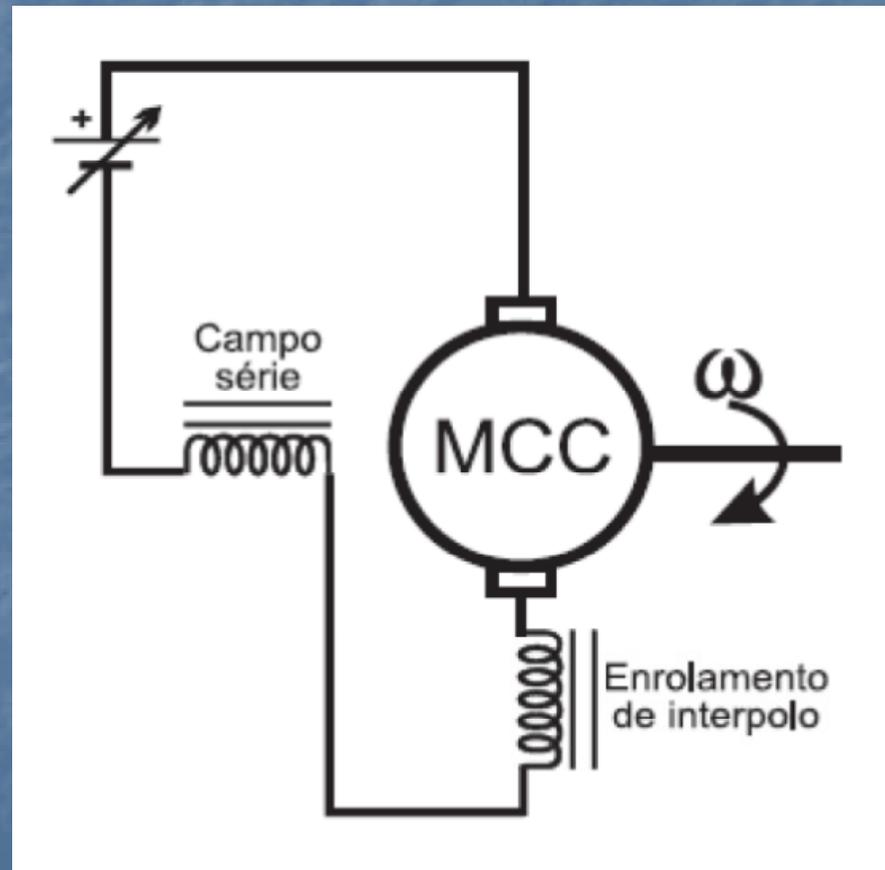
$$\Omega = \Omega_{lim} - \frac{R_a}{(k\phi)^2} C$$



$$\Omega_{lim} = \frac{V}{k\phi}$$

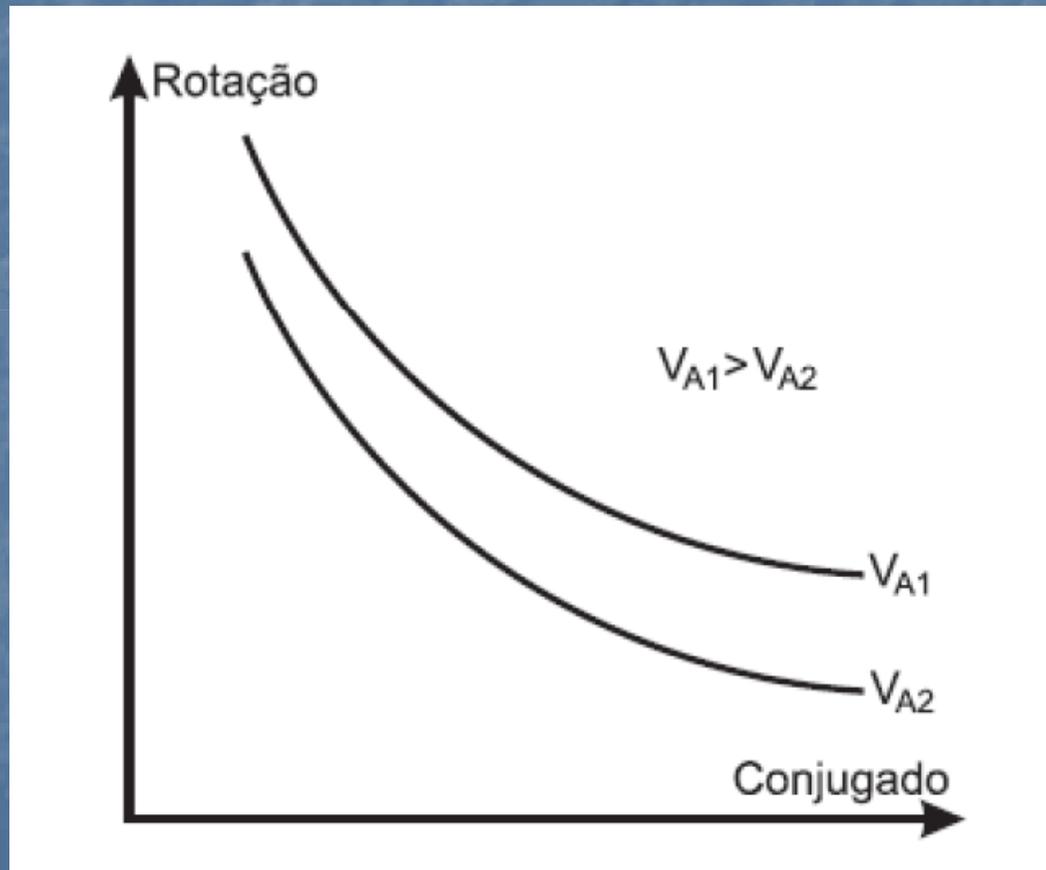


# Motor de Corrente Contínua em Ligação Série



# Ligação Série

## Característica Externa



# Ligação Série

## Equacionamento

$$\left\{ \begin{array}{l} V_a = R_a I_a + E_a \\ C = C_{\text{útil}} + C_{\text{atrito}} \\ E_a = k\phi\omega \\ C = k\phi I_a \\ k\phi = k_1 I_a \end{array} \right.$$

- No motor série a corrente de excitação é a de armadura.
- Logo,  $\phi$  depende de  $I_a$
- Simplificação adotada: Circuito Magnético Linear, ou seja:

$$k\phi = k_1 I_a$$

# Equacionamento da Característica Externa do Motor Série

$$\begin{cases} V_a = R_a I_a + E_a \\ C = C_{\text{útil}} + C_{\text{atrito}} \\ E_a = k\phi\omega \\ C = k\phi I_a \\ k\phi = k_1 I_a \end{cases}$$



$$C = k_1 I_a^2$$

$$\omega = \frac{V}{\sqrt{C}\sqrt{k_1}} - \frac{R_a}{k_1} = \frac{V}{\sqrt{(C_{\text{útil}} + C_{\text{atrito}})}\sqrt{k_1}} - \frac{R_a}{k_1}$$

# Característica Externa do Motor Série

Expressão aproximada, mas que mostra que a um incremento de velocidade tem-se um decréscimo de conjugado e vice-versa.

$$\omega = \frac{V}{\sqrt{C}\sqrt{k_1}} - \frac{R_a}{k_1}$$

