

# **SEL 329 – CONVERSÃO ELETROMECAÂNICA DE ENERGIA**

## **Introdução a Máquinas de Corrente Contínua**

## Aula de Hoje

---

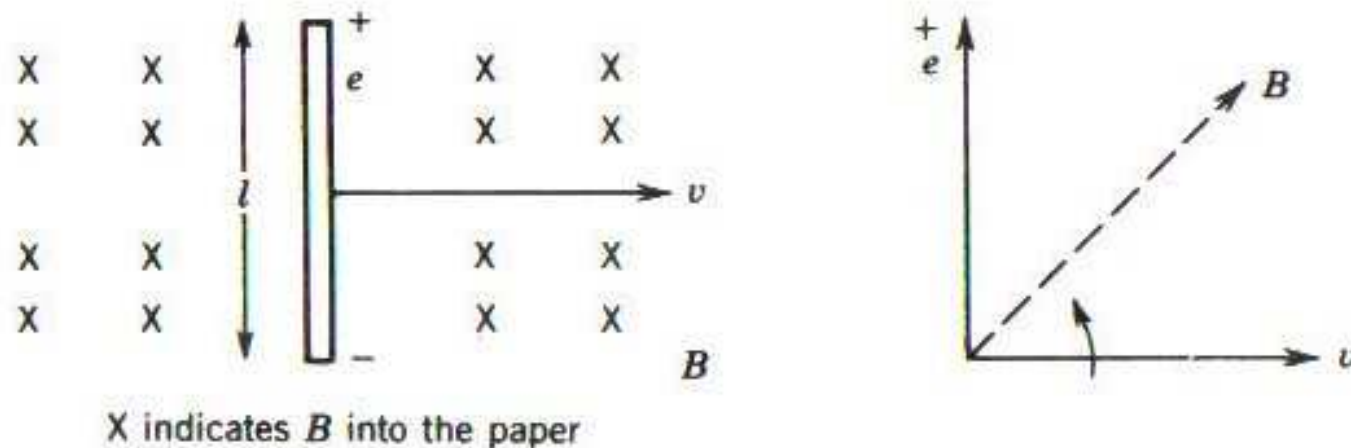
- Introdução à máquina de corrente contínua
- Produção de conjugado na máquina CC
- Ação do comutador
- Tensão gerada na armadura

## Conversão Eletromecânica de Energia

- Dois fenômenos eletromagnéticos ocorrem no processo de conversão de energia, seja em motores ou geradores, sejam as máquinas CA ou CC, síncronas ou assíncronas:

EFEITO I - **Tensão de Velocidade**: quando um condutor imerso em um campo magnético é colocado em movimento, surge uma tensão induzida em seus terminais;

$$e = (v \times B) \bullet l$$



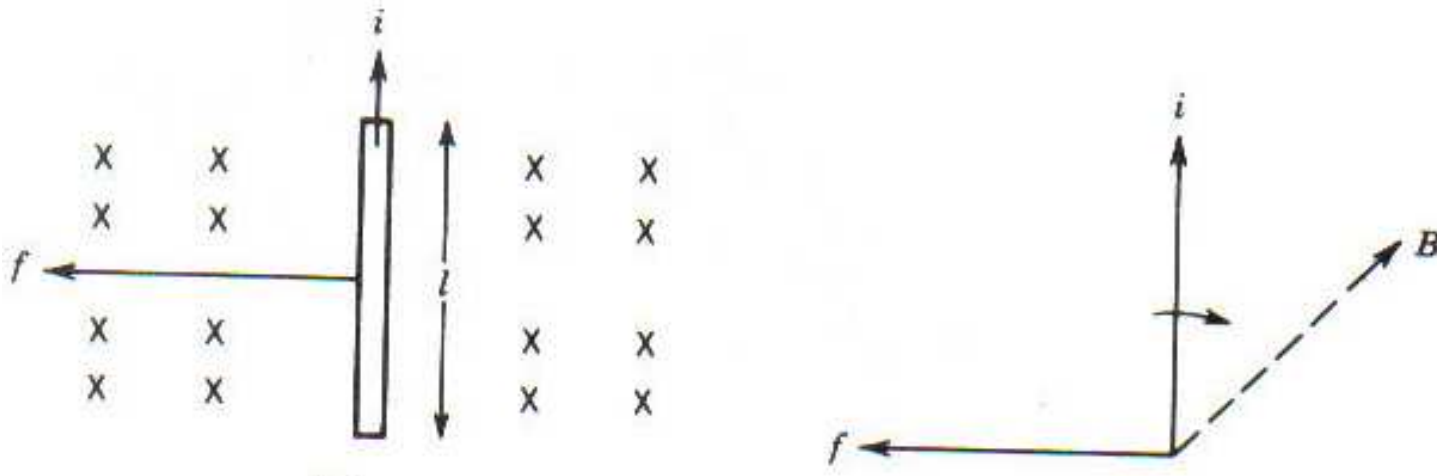
## Conversão Eletromecânica de Energia

---

EFEITO II – **Força Eletromagnética:** quando um condutor, atravessado por corrente elétrica, é imerso em um campo magnético, surge sobre o condutor uma força mecânica;

$$F = i(l \times B)$$

(Força de Lorentz)



## Conversão Eletromecânica de Energia

---

- Os dois processos ocorrem simultaneamente em qualquer processo de conversão eletromecânica de energia:

**Como MOTOR:** Ocorrem os efeitos I e II, mas o efeito II é o principal;

1. Os condutores imersos em campo magnético são alimentados com corrente contínua;
2. Uma força eletromagnética surge em cada condutor, tirando o sistema mecânico do equilíbrio (EFEITO II);
3. Se os condutores forem posicionados em uma estrutura livre para girar, esse desequilíbrio será eliminado naturalmente, e o eixo encontrará uma velocidade de regime. Tem-se então a produção de torque eletromagnético  $T$  a uma velocidade  $n$ , para alimentar uma carga mecânica;
4. Se os condutores giram imersos em campo magnético, surgirá uma tensão induzida em seus terminais (EFEITO I), denominada força contra eletromotriz, e que terá um impacto no torque e velocidade final de equilíbrio.

## Conversão Eletromecânica de Energia

---

**Como GERADOR:** Ocorrem os dois fenômenos, mas o efeito I é o principal;

1. A parte girante (rotor) é colocada em movimento por uma máquina primária;
2. Os condutores agregados ao rotor giram imersos em um campo magnético;
3. Uma tensão induzida  $e$  surgirá nos terminais dos condutores (EFEITO I);
4. Se os terminais dos condutores alimentam uma carga elétrica surgirá uma corrente  $i$ , fornecida pelo gerador elétrico;
5. Os condutores transportando corrente  $e$  imersos em um campo magnético estarão sujeitos a uma força eletromecânica (EFEITO II), resultando em um torque eletromecânico de reação, ou torque resistente ao torque fornecido pela máquina primária, afetando também a tensão e corrente de equilíbrio do sistema.

# Conversão Eletromecânica de Energia

---

## Conclusões:

- Os efeitos I e II ocorrem nos dois casos;
- O campo magnético é fundamental para a produção do torque (motor) e da tensão induzida (gerador), servindo de interface entre os sistemas elétrico e mecânico.

# Estrutura Básica das Máquinas Elétricas Rotativas

---

- Estator e rotor separados por um entreferro;
  1. **Estator** é a parte fixa da máquina
  2. **Rotor** é a parte móvel
- O estator e o rotor são constituídos por lâminas de material ferromagnético;

## VANTAGENS:

Laminação: reduz correntes parasitas no rotor e estator(melhoria do rendimento);

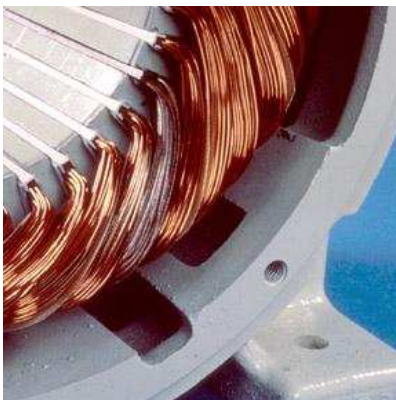
Material Ferromagnético: Aumenta a densidade de fluxo magnético na máquina (alta permeabilidade -  $\mu$ ); Diminui o tamanho da máquina; Diminui a dispersão de fluxo magnético;



# Estrutura Básica das Máquinas Elétricas Rotativas

---

- Máquinas elétricas usualmente tem dois enrolamentos:
  - Enrolamento de campo: Compõe o eletroímã produtor do campo principal da máquina;
  - Enrolamento de armadura: Contém os condutores que serão imersos no campo principal para a produção de tensão (gerador - induzido) ou torque (motor);
- Estes enrolamentos são posicionados em ranhuras localizadas no estator e no rotor;



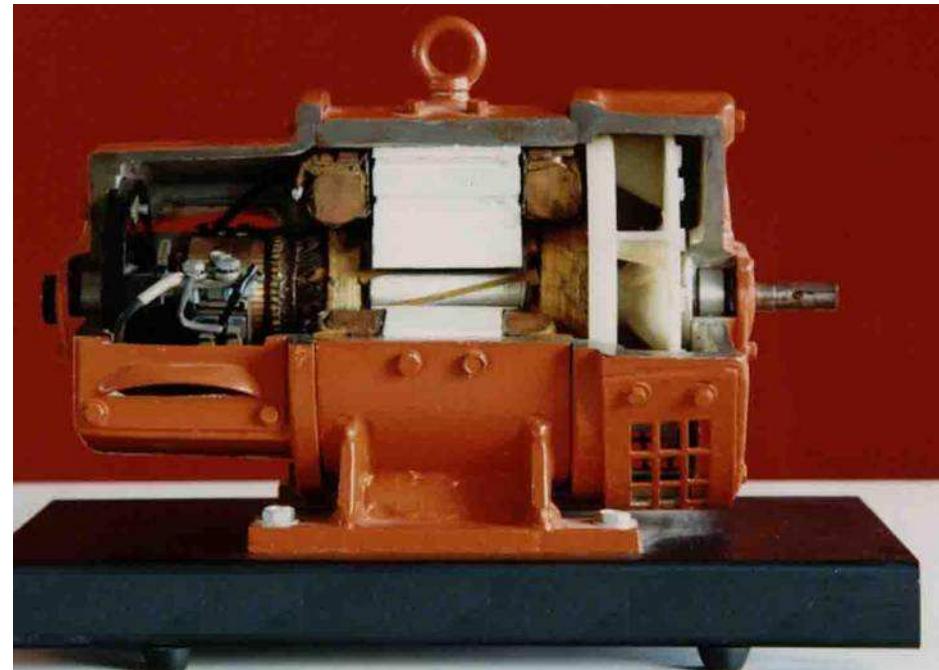
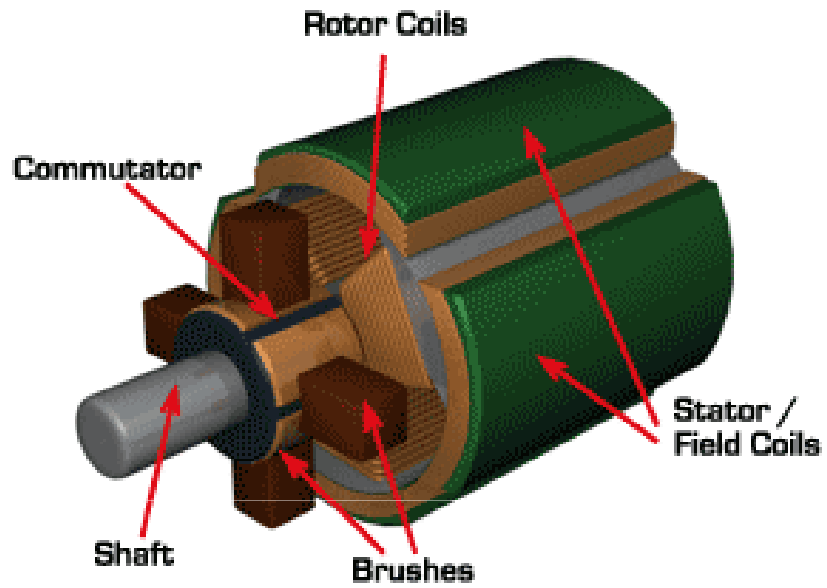
## Máquinas CC: Características Básicas

---

- O enrolamento de campo é colocado no estator;
- O enrolamento de armadura é colocado no rotor;
- Como motor, os dois enrolamentos são alimentados em CC, de diversas maneiras ou configurações: independente, série, paralelo e composto (combinações de série e paralelo);
- Oferece várias opções para o controle de velocidade como motor;
- Como gerador, o enrolamento de campo é alimentado com CC, produzindo um campo constante sobre a armadura

# Máquinas CC: Características Básicas

---



## Máquinas CC: Aplicações

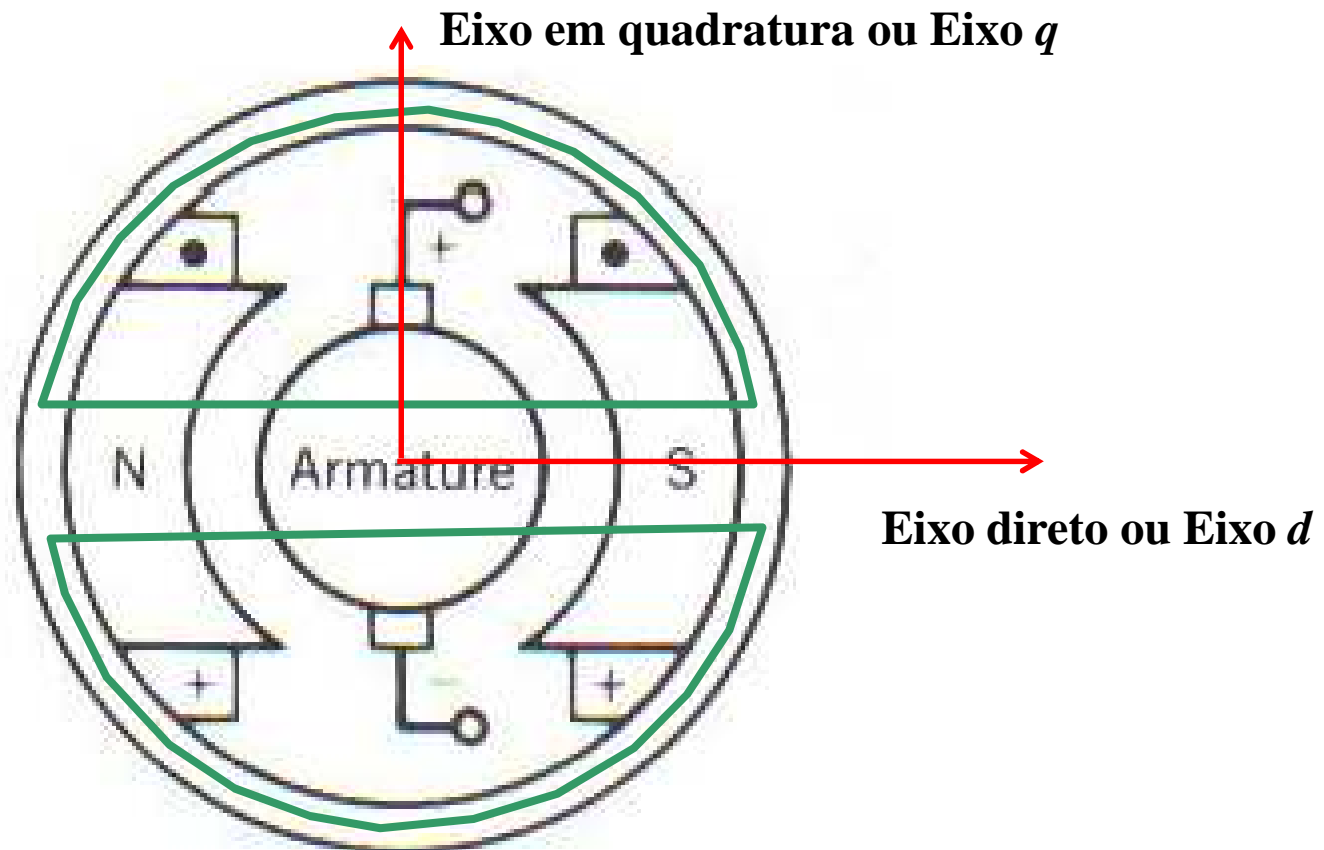
---

- Máquinas de Papel
- Bobinadeiras e desbobinadeiras
- Laminadores
- Máquinas de Impressão
- Prensas
- Elevadores
- Movimentação e Elevação de Cargas
- Moinhos de rolos
- Indústria de Borracha
- Tração elétrica

## Máquinas CC

---

- O estator tem pólos salientes, excitados por um ou mais enrolamentos (série e shunt/paralelo/em derivação);
- O enrolamento de campo produz uma distribuição de fluxo simétrica em relação ao eixo dos pólos do estator (eixo direto, ou eixo  $d$ ).



## Máquinas CC – Comutador

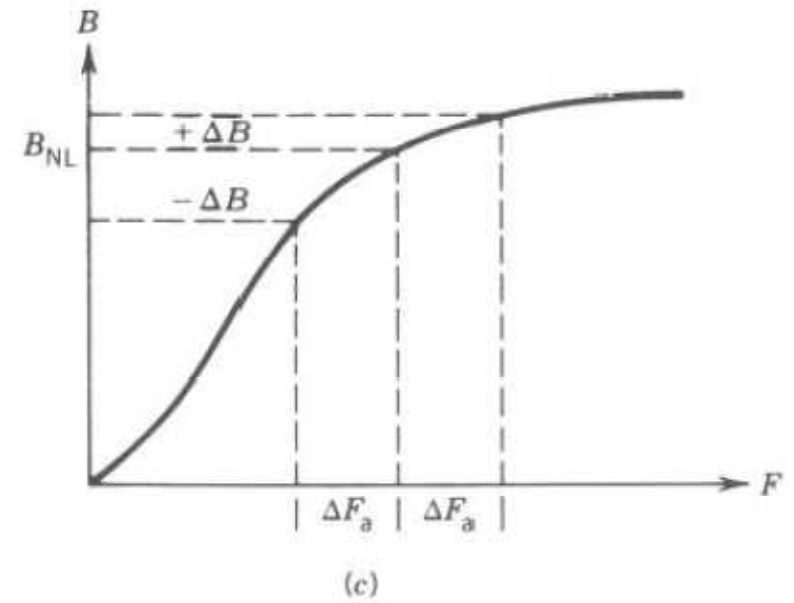
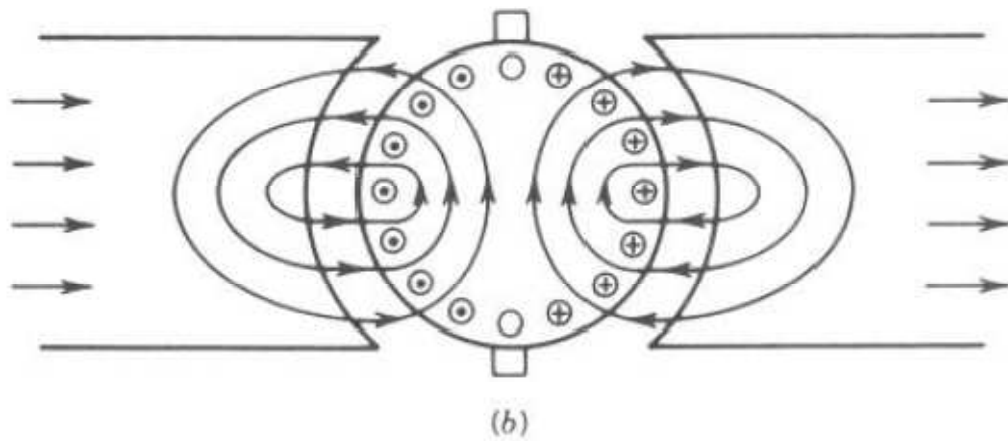
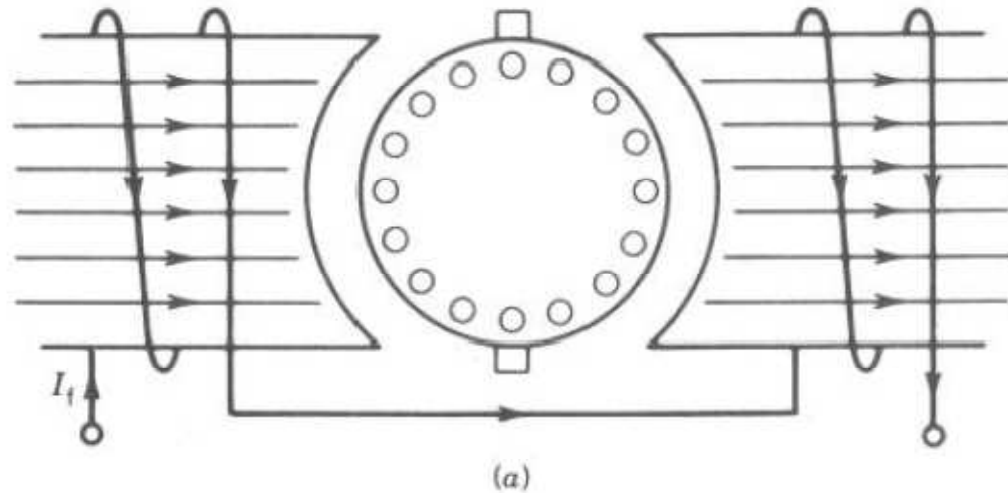
---

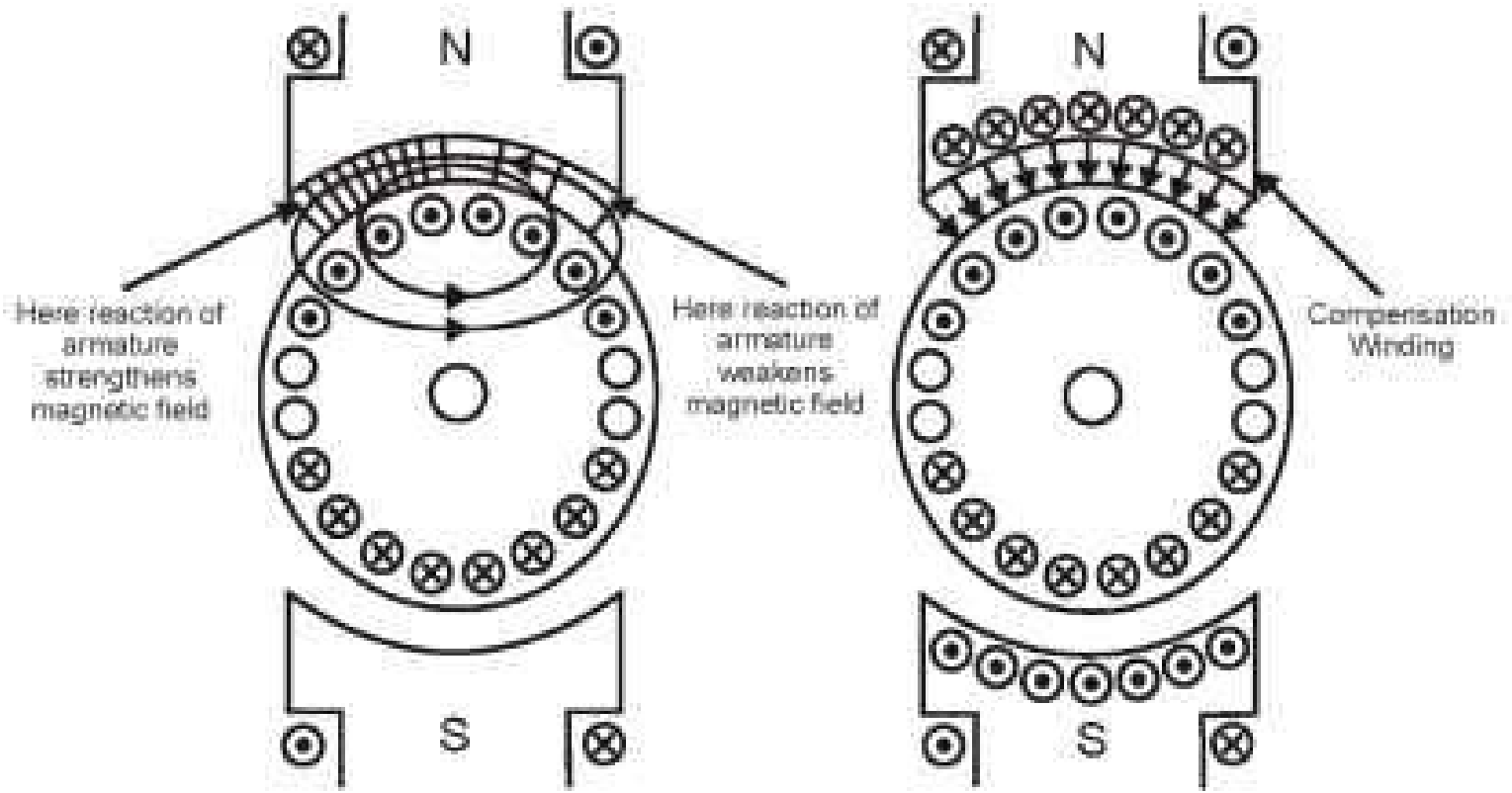
- O comutador também é fundamental para o funcionamento da máquina CC como motor, uma vez que o torque surge devido à busca de alinhamento entre os campos do rotor e do estator;
- O comutador varia continuamente a orientação do campo produzido pela armadura, não permitindo que os dois campos se alinhem e que o torque seja nulo.



# Problemas na comutação

## a) Reação de Armadura







## Gerador CC com Excitação Independente – Reação de Armadura

- O efeito líquido da reação de armadura pode ser traduzido (imaginado/interpretado) como uma diminuição da corrente de campo, ou seja:

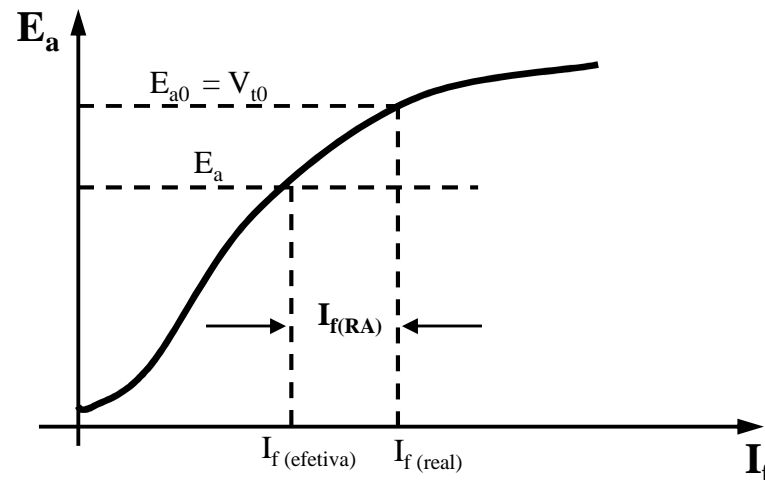
$$I_{f(\text{efetiva})} = I_{f(\text{real})} - I_{f(\text{RA})}$$

sendo:

$I_{f(\text{real})}$  – corrente que percorre o enrolamento de campo

$I_{f(\text{efetiva})}$  – corrente que produz o fluxo líquido no eixo d.

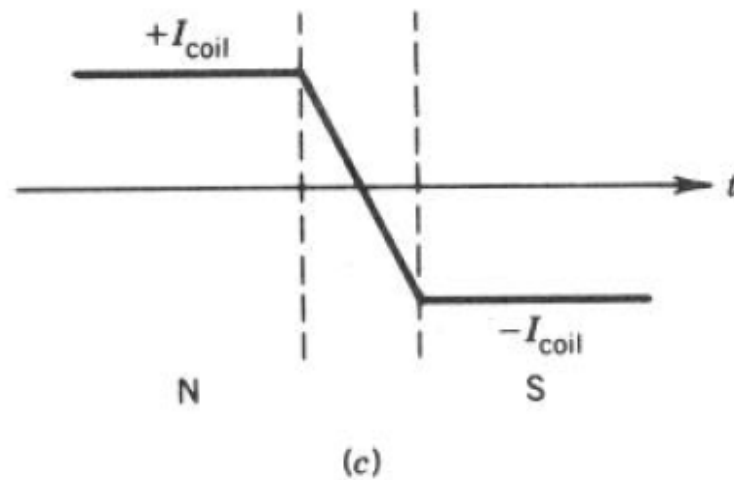
$I_{f(\text{RA})}$  – é a reação de armadura traduzida como uma corrente desmagnetizante no enrolamento de campo.



## Tensões Induzida $L di/dt$

---

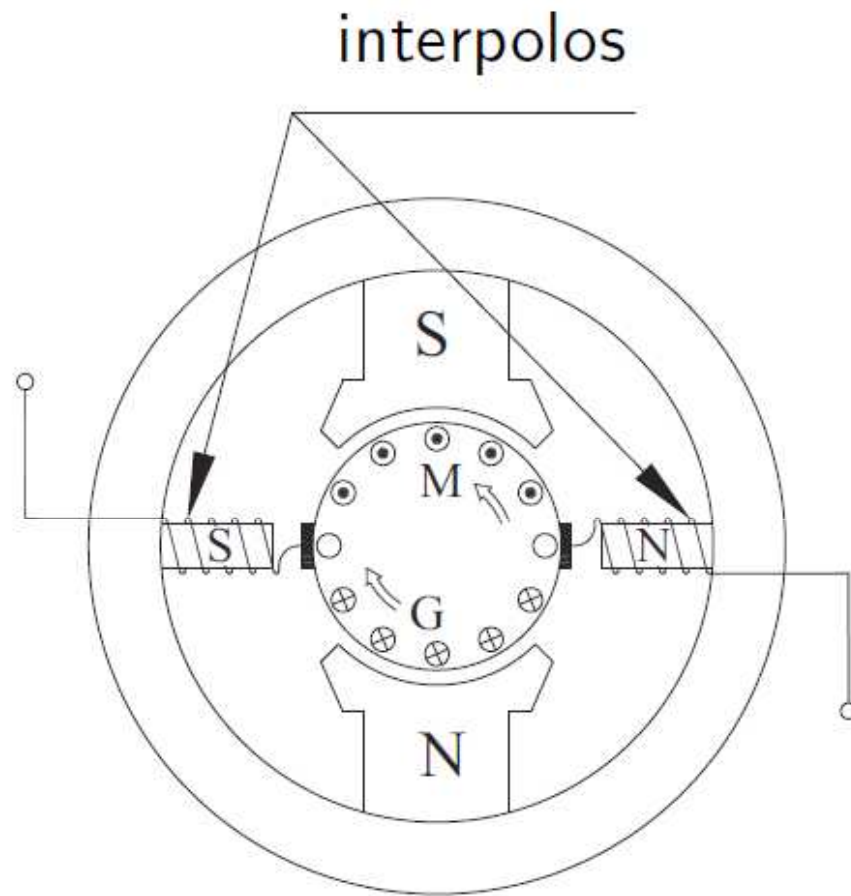
$$\blacktriangleright V = L \, di/dt$$



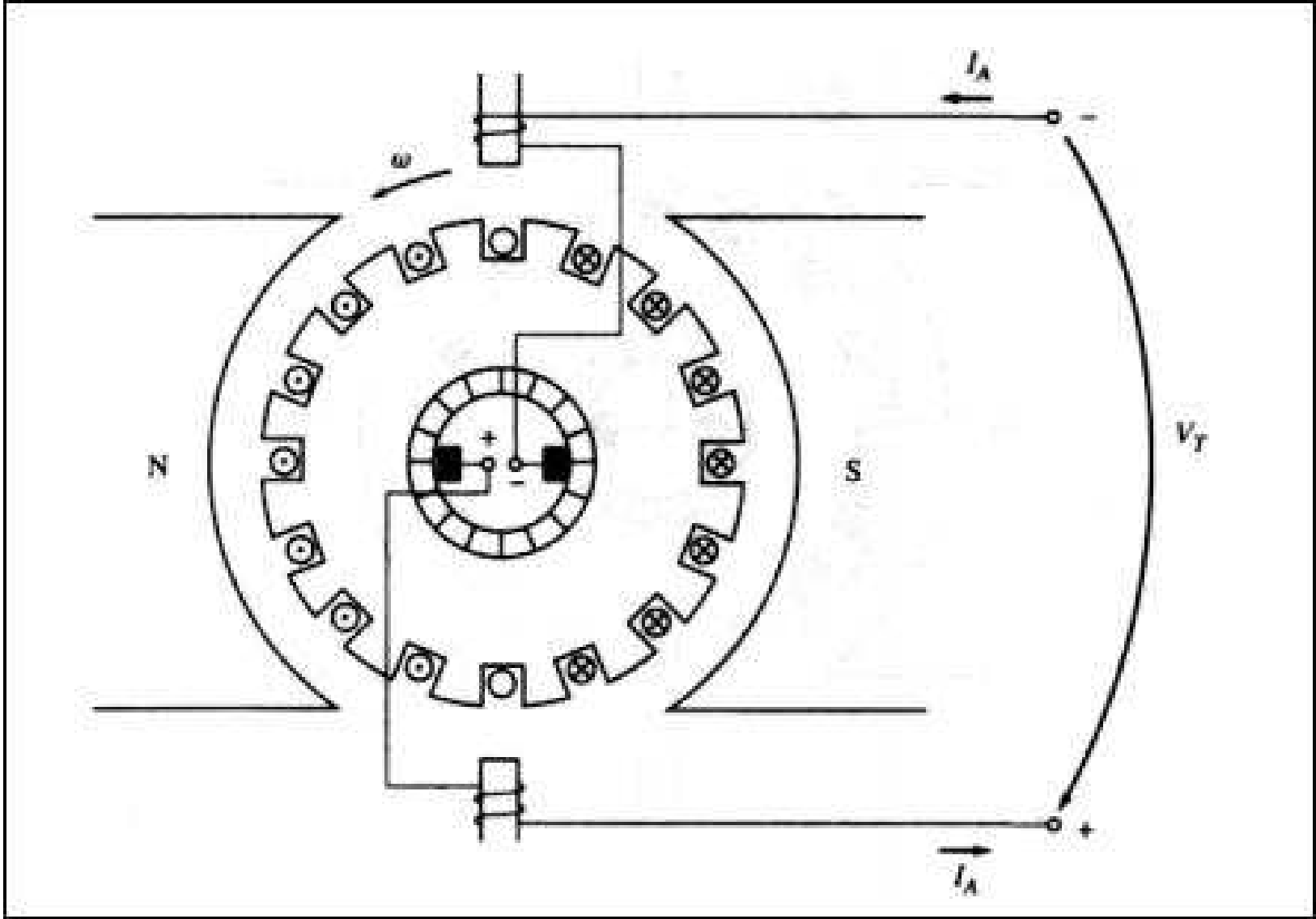
# Soluções:

---

## a) Interpólos



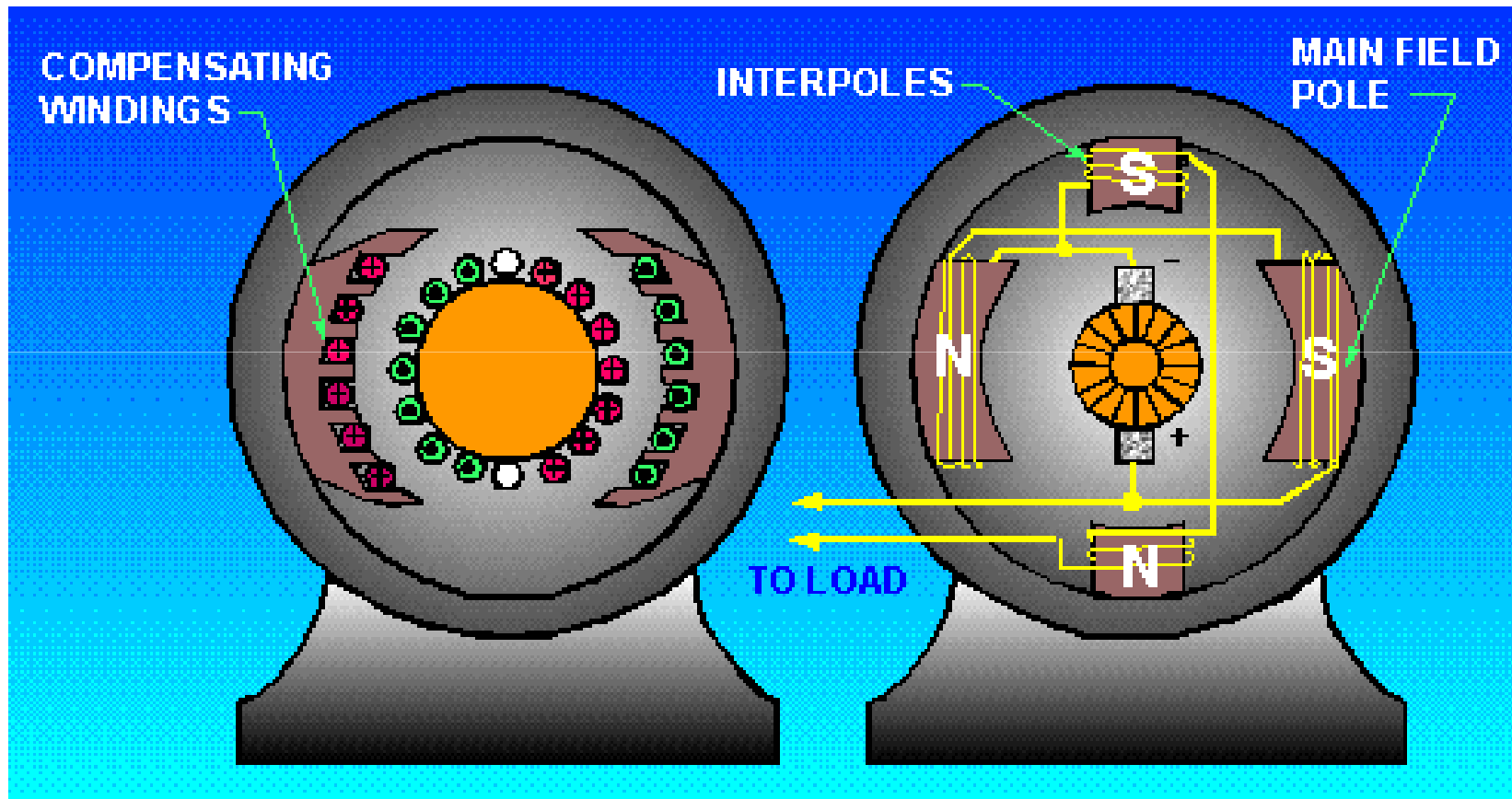
(e) Interpolos







## b) Enrolamento compensador



## Máquinas CC – Torque

---

$$T = K\Phi I_A$$

- A expressão do torque também é válida como motor ou como gerador:

**Como motor:** representa o torque desenvolvido para atender a carga (principal variável da máquina);

**Como gerador:** representa um torque de reação, ou torque resistivo ao torque fornecido pela máquina primária (tem impacto secundário);



## Máquinas CC – Torque

---

$$P_{elet} = E_A I_A \quad T_{ind} = P_{conv} / \omega = E_A I_A / \omega$$

Exercícios Propostos do texto guia:  
Electris Machinery Fundamentals 4e.

**Questões:**

9-1;9-2;9-3;9-4

**Problemas**

9-1;9-2;9-3;9-4;9-5;9-6;9-7