



**Departamento de Engenharia Elétrica**

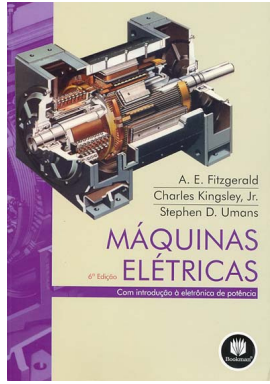
# Conversão de Energia I

Aula 5.1

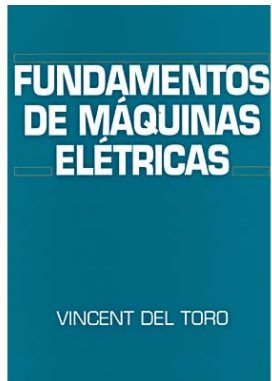
**Máquinas de Corrente Contínua**

Prof. Clodomiro Unsihuay Vila

# Bibliografia



FITZGERALD, A. E., KINGSLEY Jr. C. E UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas: com Introdução à Eletrônica De Potência. 6ª Edição, Bookman, 2006.**  
**Capítulo 4 – Introdução às Maquinas Rotativas e**  
**Capítulo 7 –Maquinas Rotativas de Corrente Contínua**



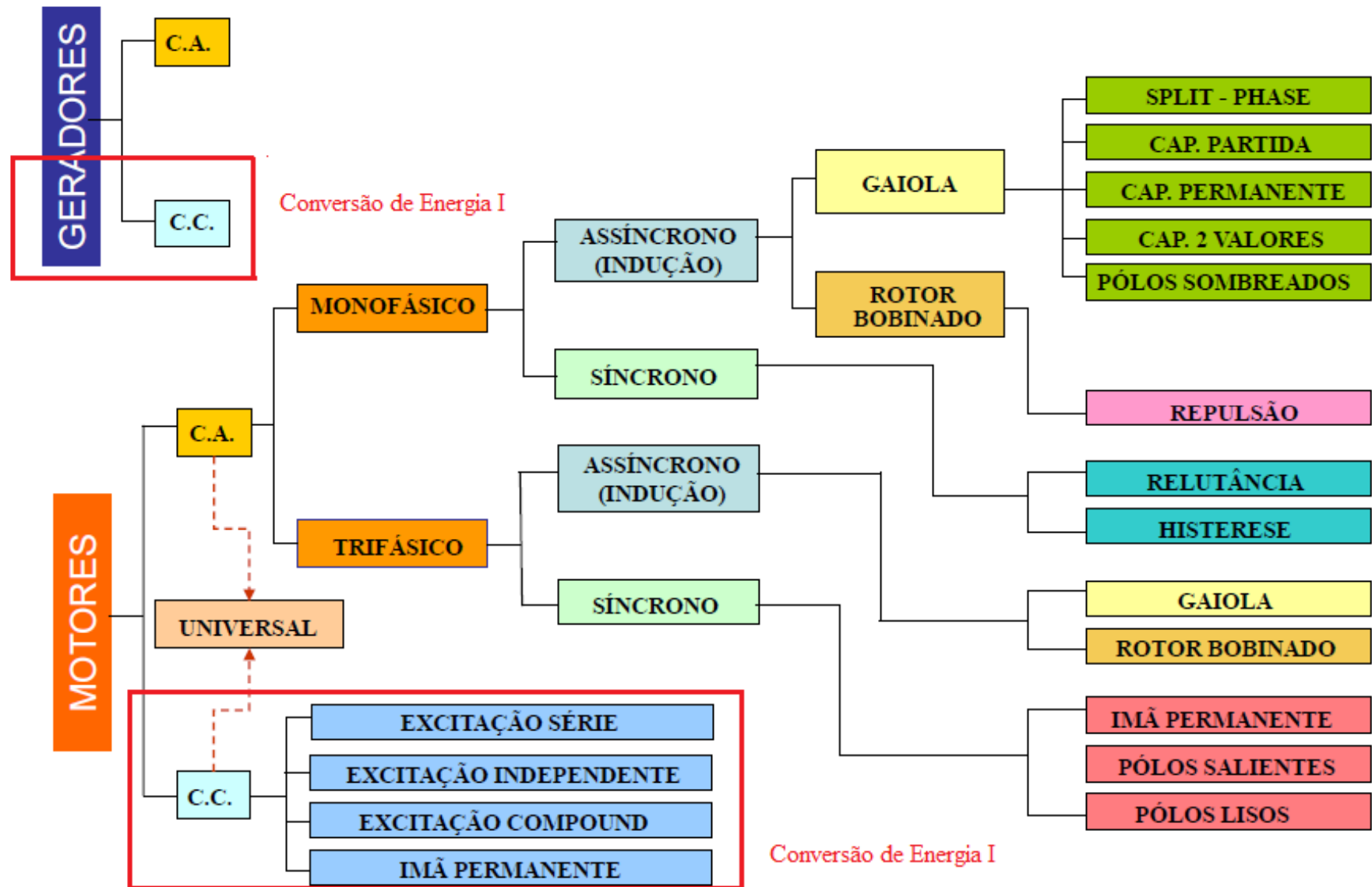
TORO, V. Del, MARTINS, O. A. **Fundamentos de Máquinas Elétricas. LTC, 1999.**  
**Capítulo 3 – Fundamentos de Conversão Eletromecânica de Energia**

Bim, Edson. **Máquinas Elétricas e Acionamento. Editora Elsevier, 2009.**  
**Capítulo 4 –Introdução às Maquinas Rotativas**

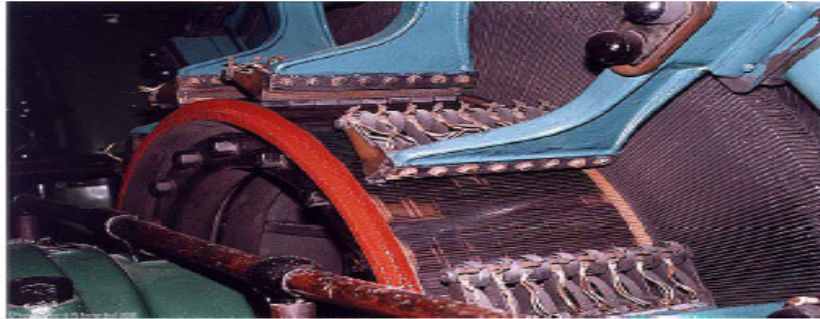


*Conversão de Energia I*

# A "ÁRVORE" DAS MÁQUINAS ELÉTRICAS



# Máquinas de Corrente Contínua

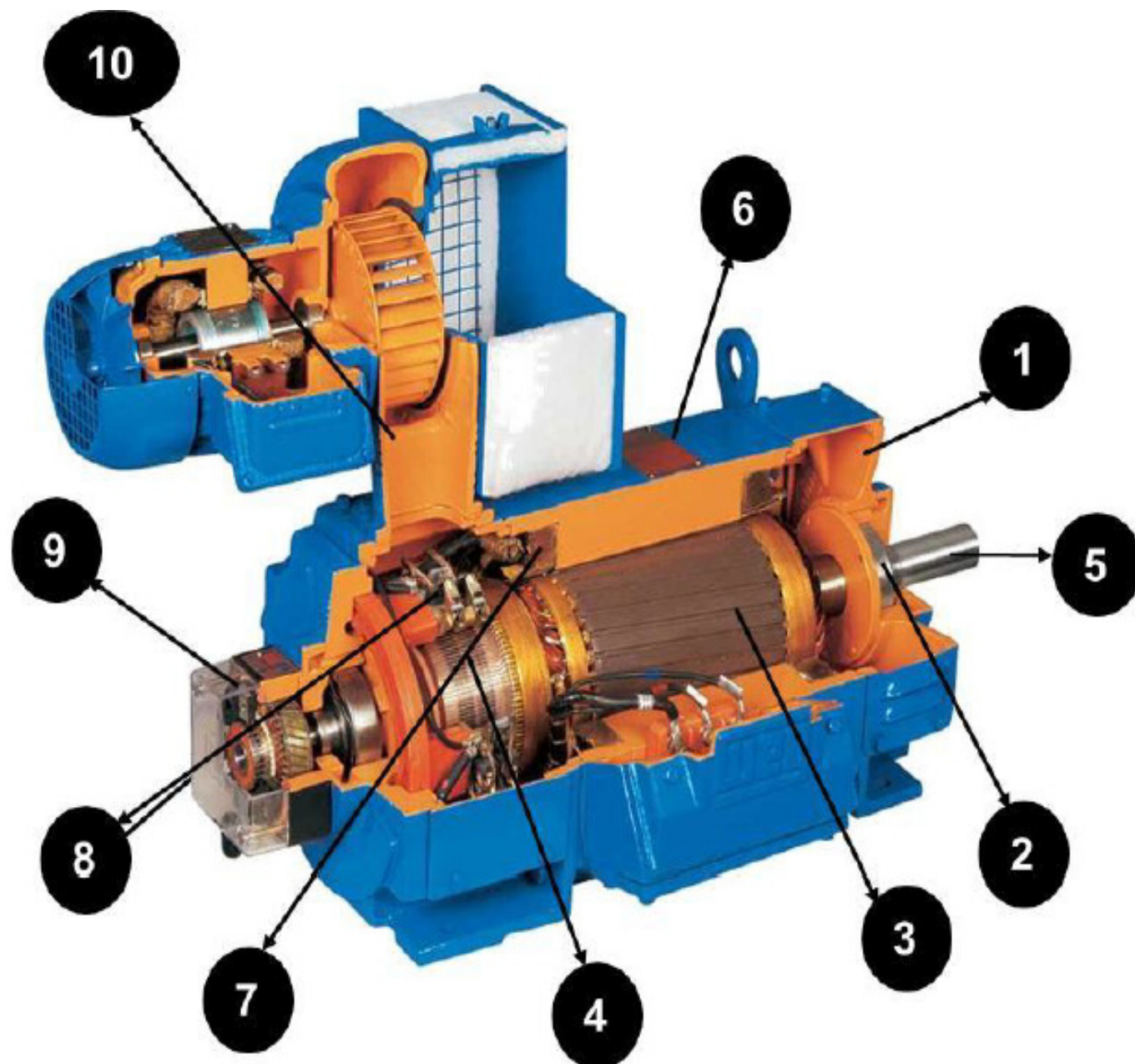


Princípio de Funcionamento:

<http://www.youtube.com/watch?v=6JGyXDZBagg&feature=related>

Visualização básica:

<http://www.youtube.com/watch?v=Kdzh9KWoKn0&feature=fvsr>

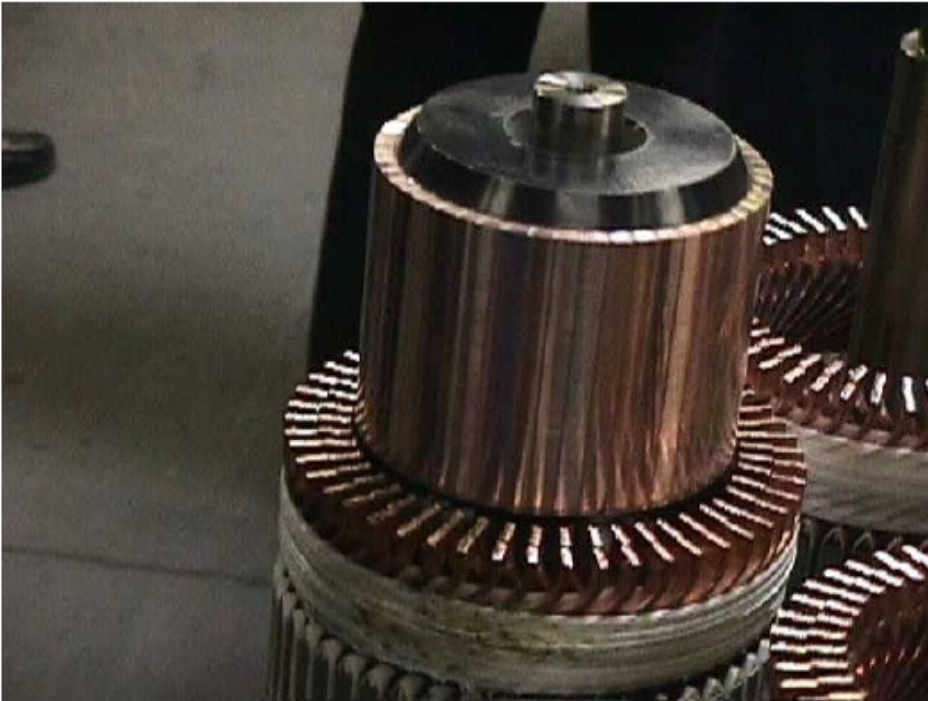


- 1 – Tampas
- 2 – Mancais
- 3 – Armadura
- 4 – Comutador
- 5 – Eixo
- 6 – Carcaça
- 7 – Pólos
- 8 – Conjunto Porta Escovas e Escovas
- 9 – Tacogeradores
- 10 – Sistemas de Ventilação

Vista em corte de uma máquina de corrente contínua.  
FONTE: WEG

## Aspectos construtivos dos máquinas CC

Barras do comutador



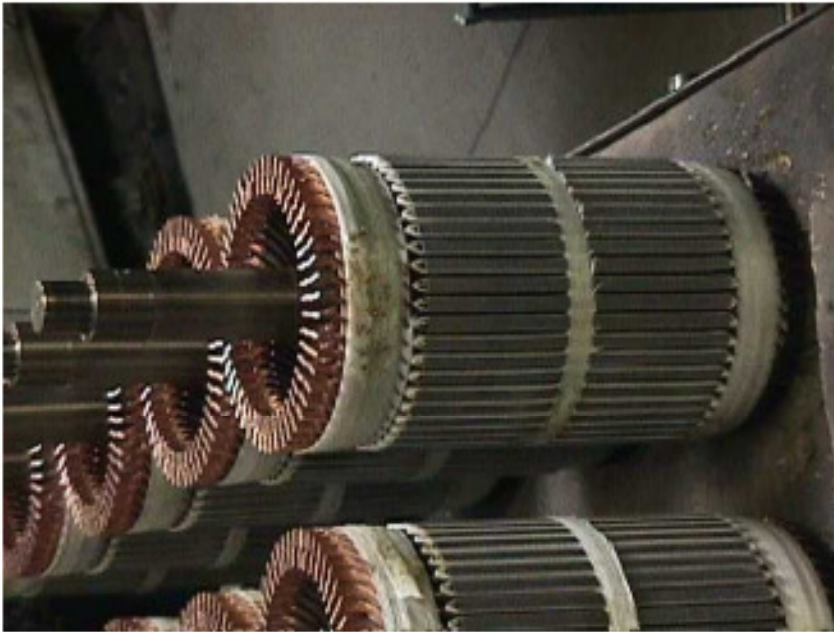
Escovas



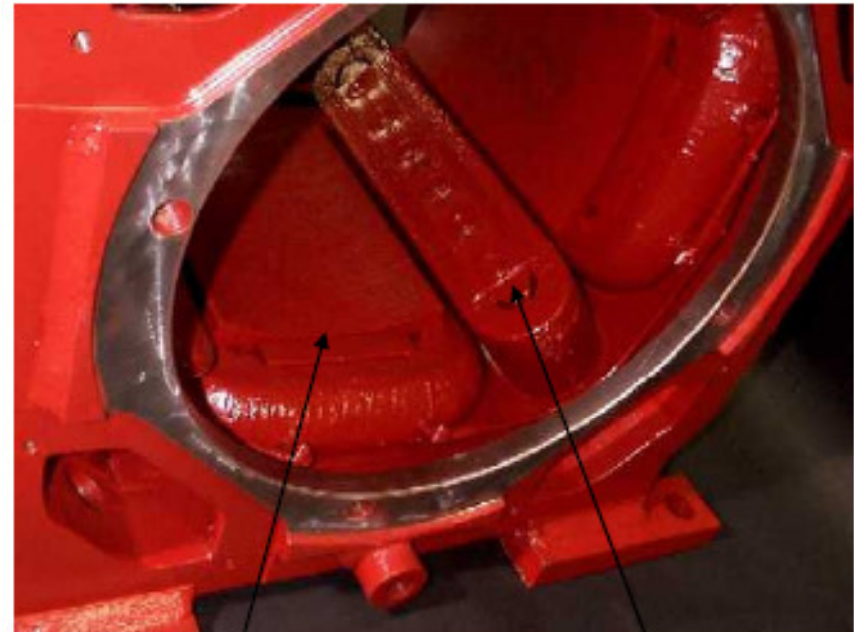
*Conversão de Energia I*

# Aspectos construtivos dos máquinas CC

Armadura (Rotor)



Campo (Estator)

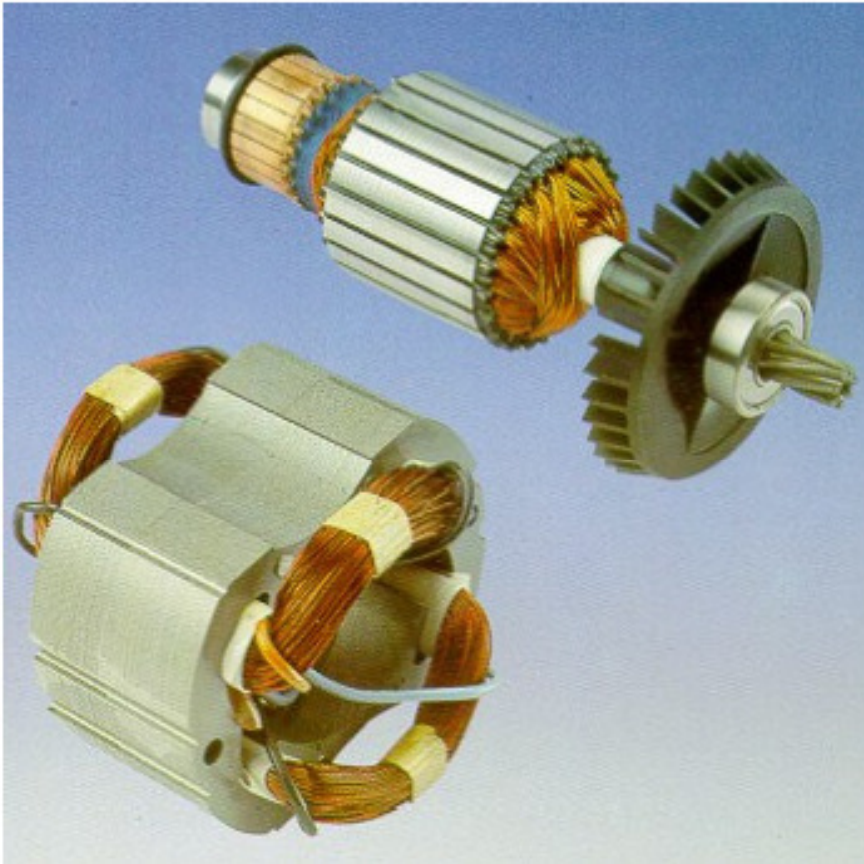


pólo

interpolo

*Conversão de Energia I*

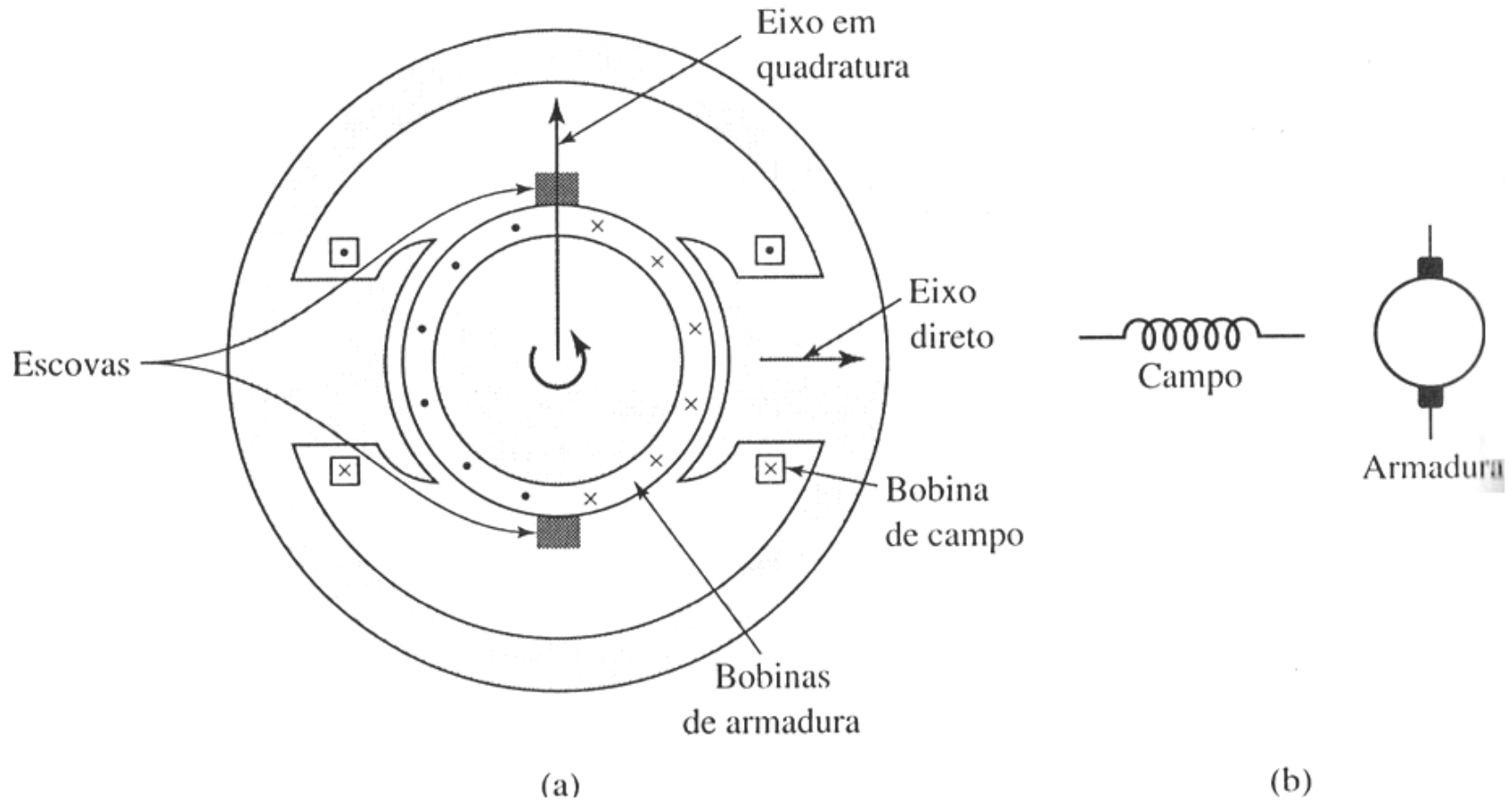
## Aspectos construtivos dos máquinas CC



*Conversão de Energia I*



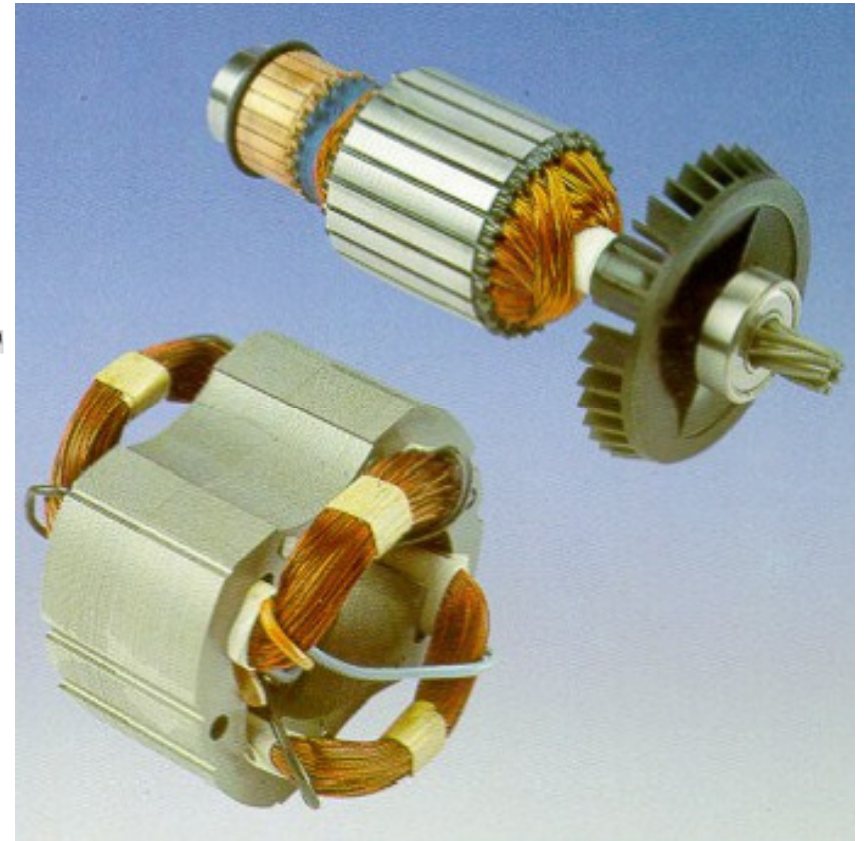
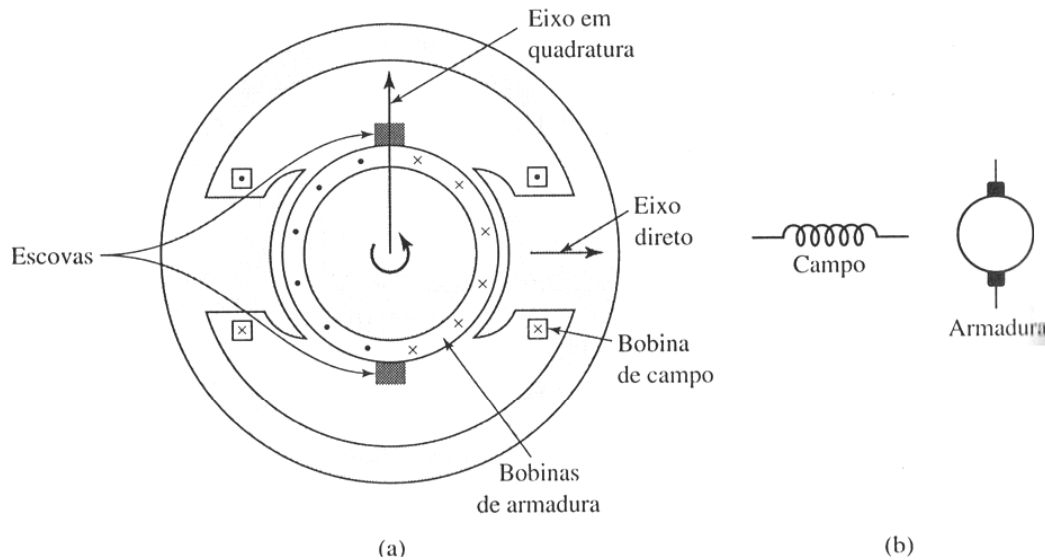
# Esquemático de uma máquina CC



*Conversão de Energia I*

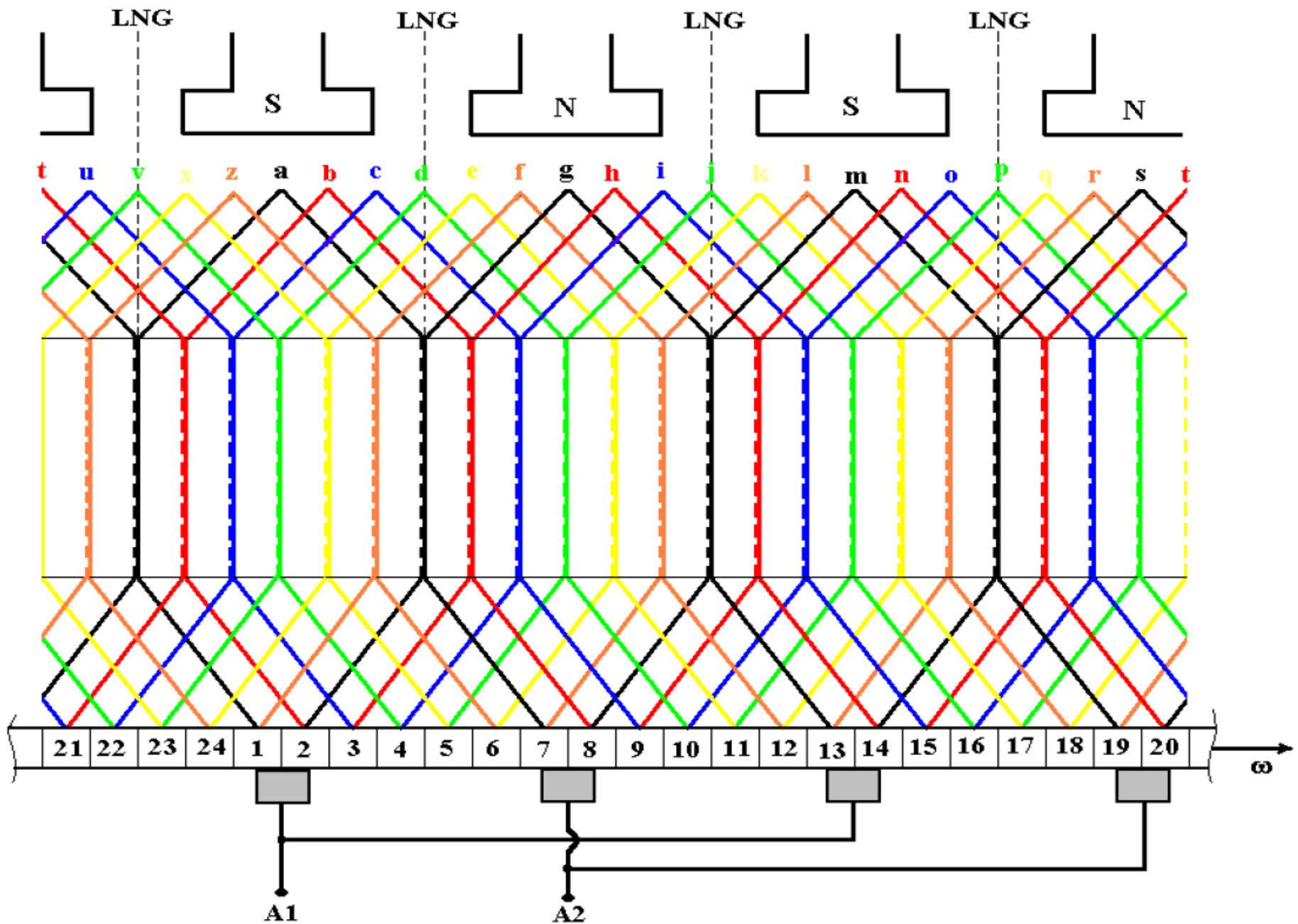
## Esquemático de uma máquina CC

O enrolamento de armadura está no rotor e o enrolamento de campo no estator.

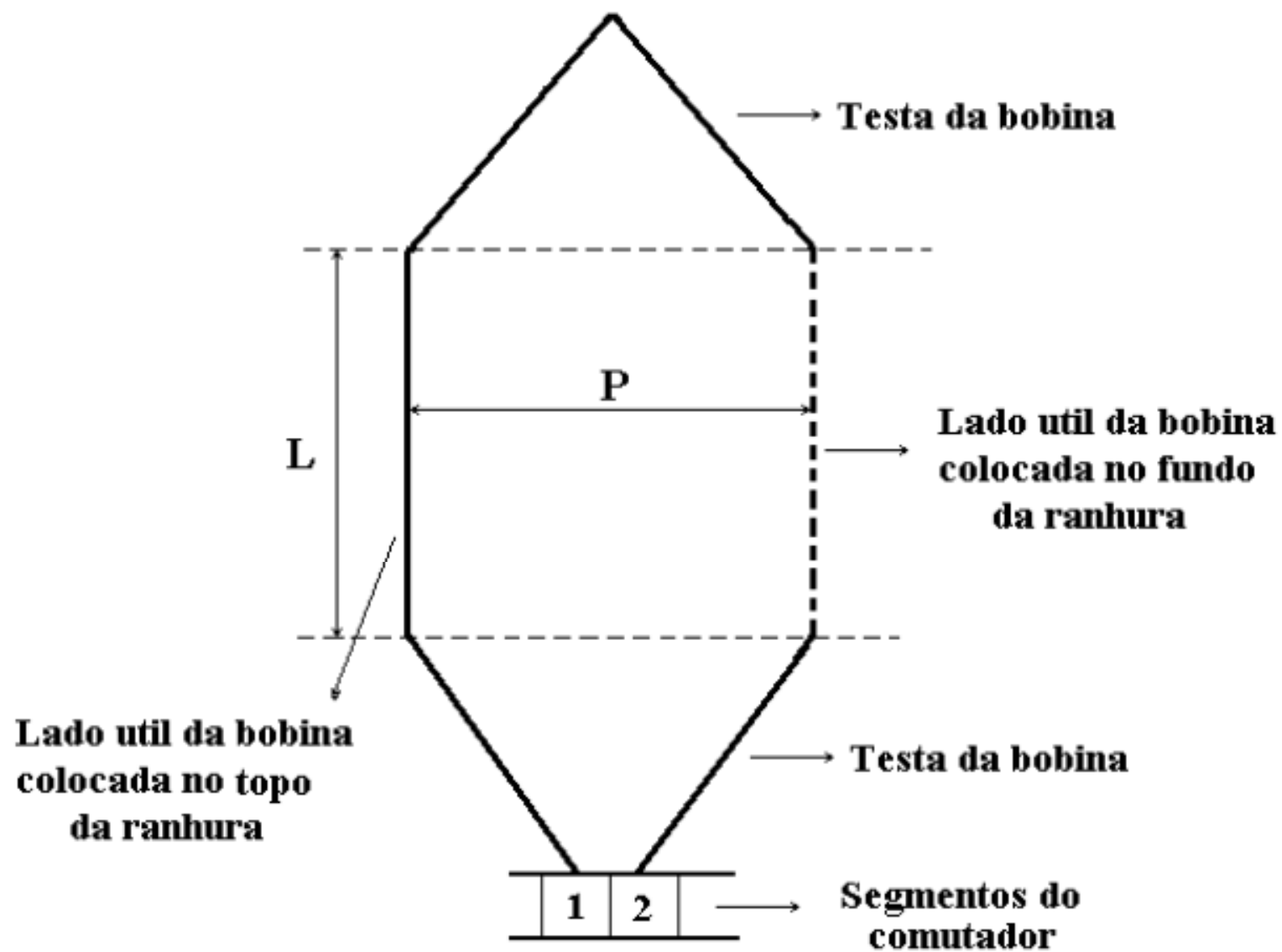


<http://www.youtube.com/watch?v=hGMxGhpRHZA&feature=related>

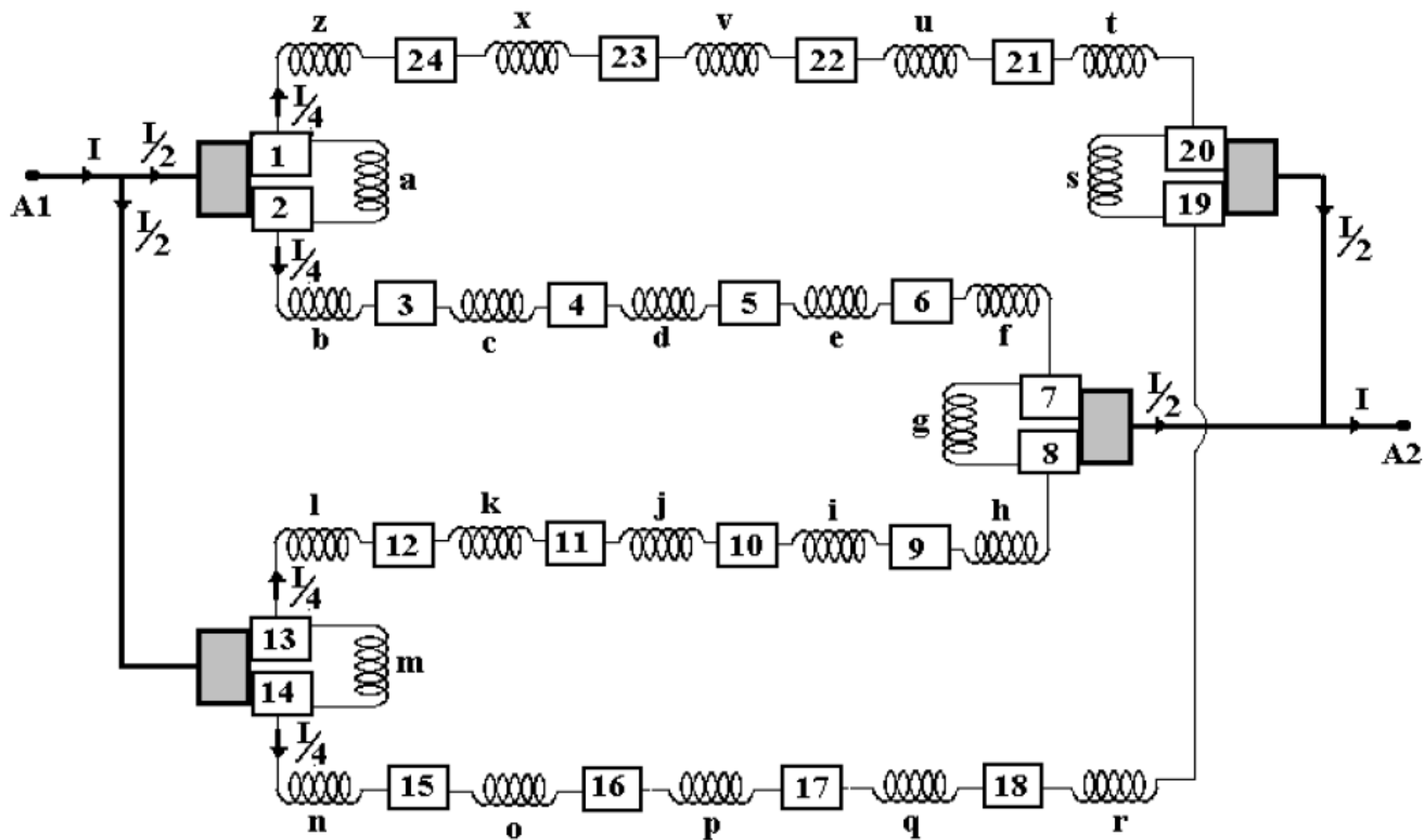
*Conversão de Energia I*



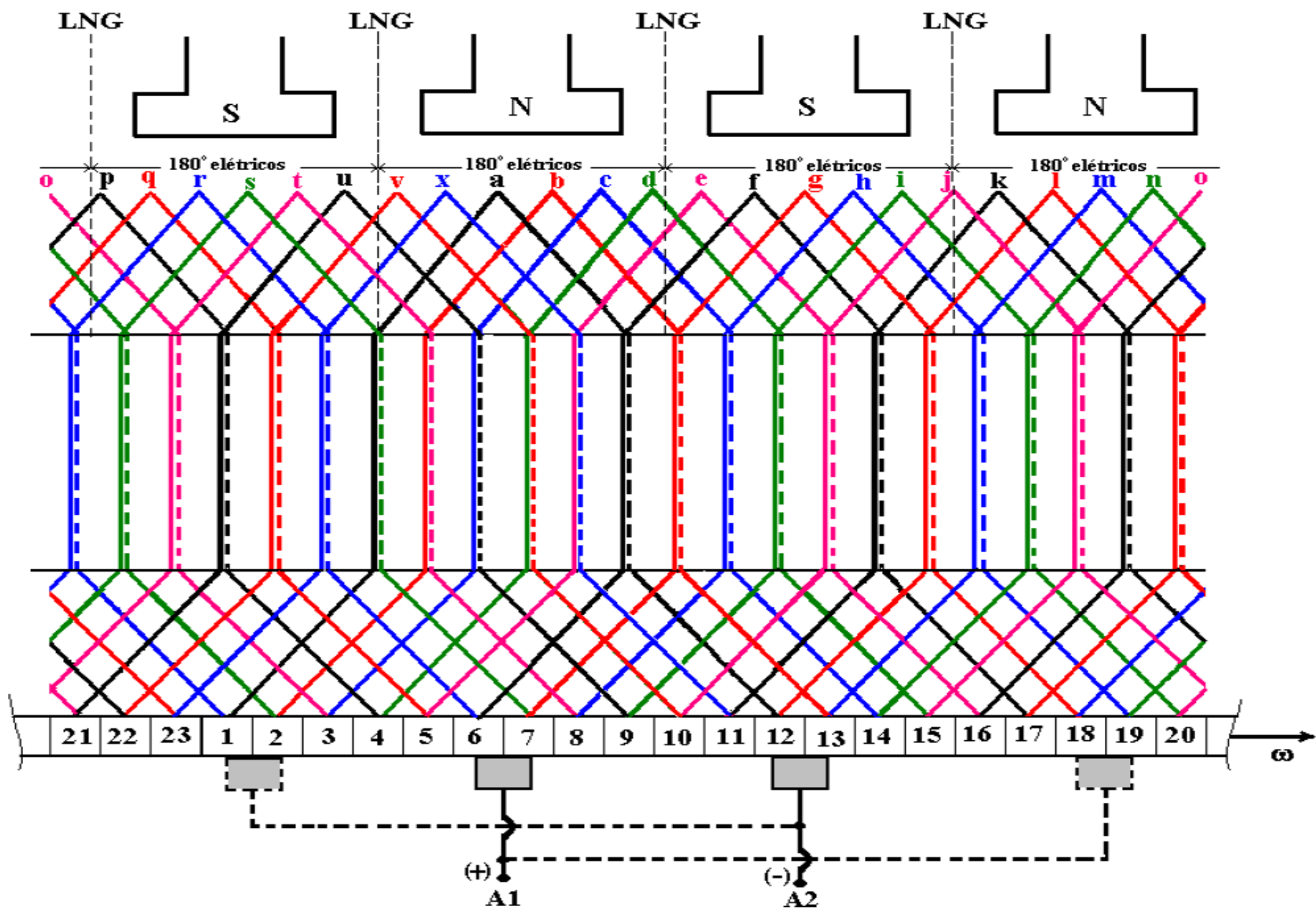
*Enrolamento imbricado com pólos e escovas.*



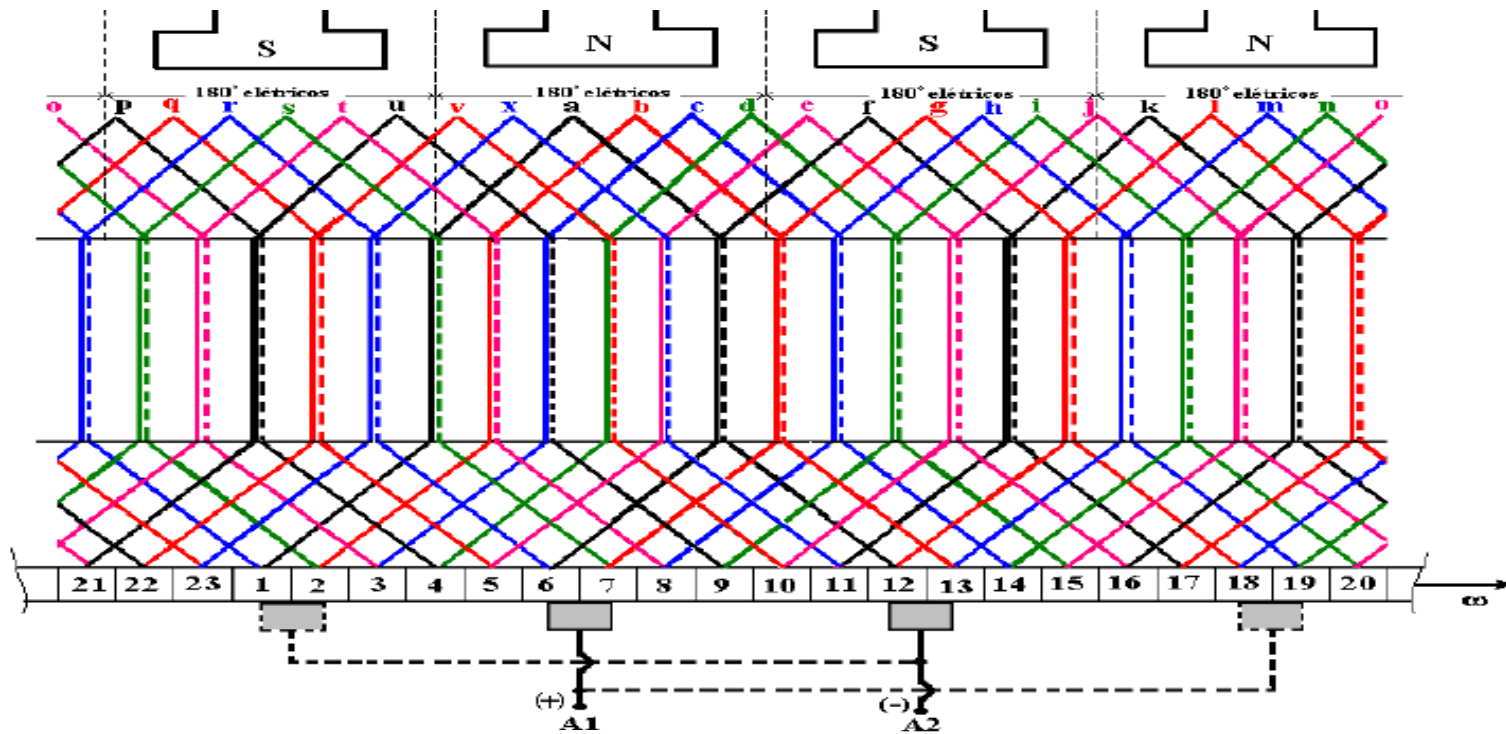
*Detalhes da bobina.*



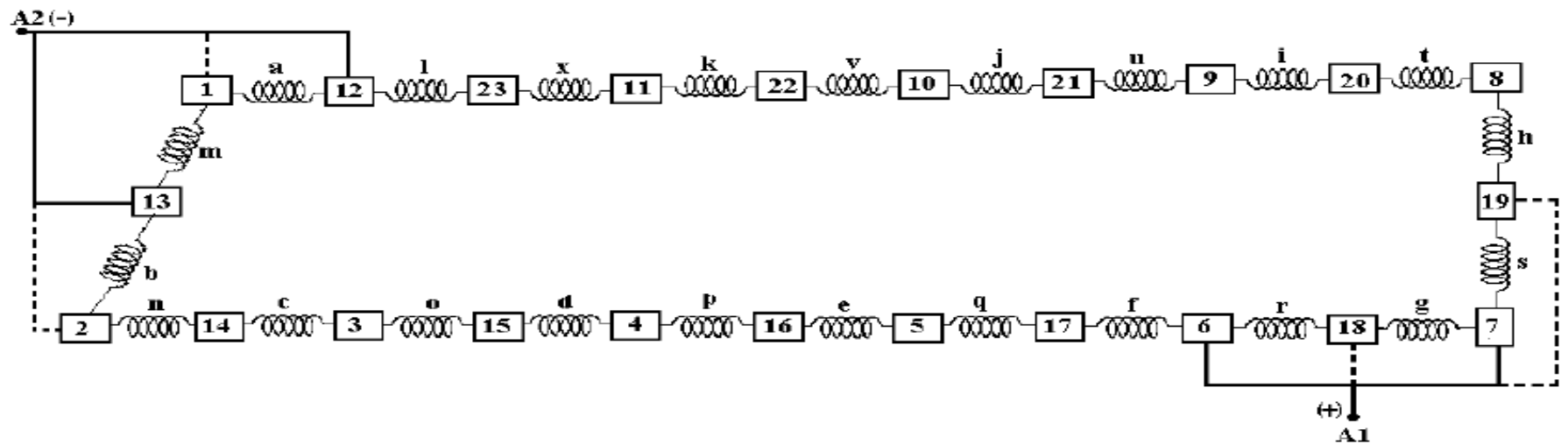
*Esquema simplificado do enrolamento.*



*Enrolamento ondulado com pólos e escovas.*



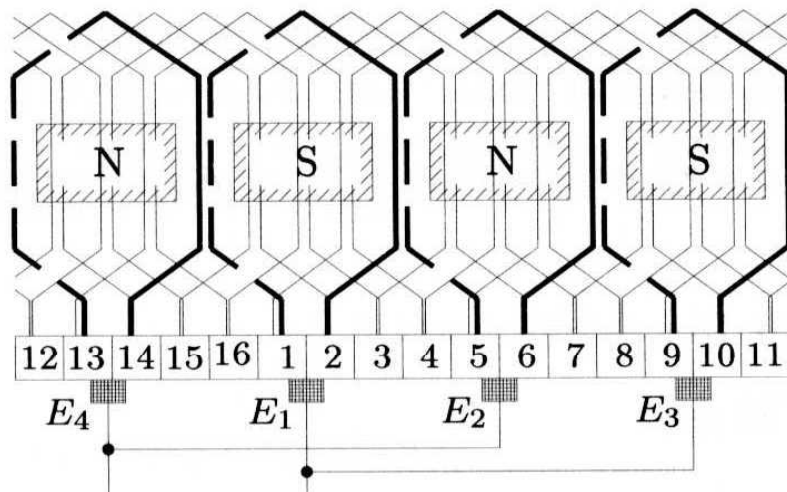
*Enrolamento ondulado com pólos e escovas.*



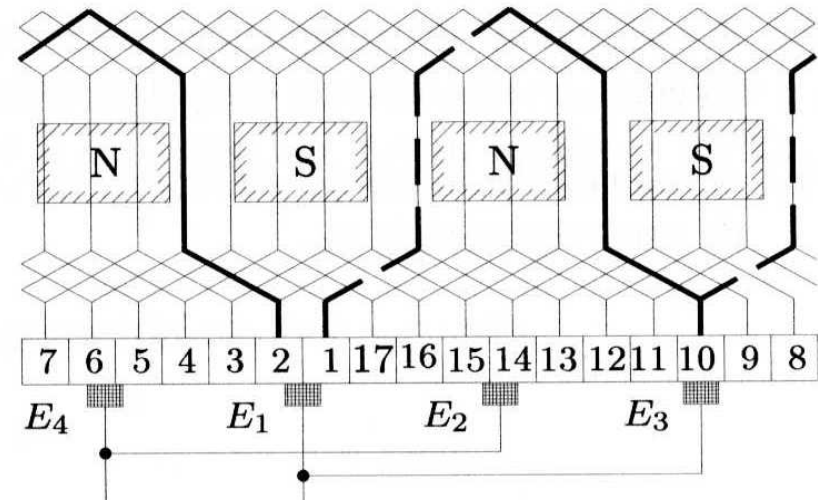
*Esquema simplificado do enrolamento.*

## Tipos de enrolamento

As bobinas da armadura ligadas em série formam grupos paralelos entre as escovas. A forma com que essas bobinas são ligadas às barras definem dois tipos básicos de enrolamentos: o *imbricado* e o *ondulado*.



Enrolamento imbricado de 4 polos



Enrolamento ondulado de 4 polos

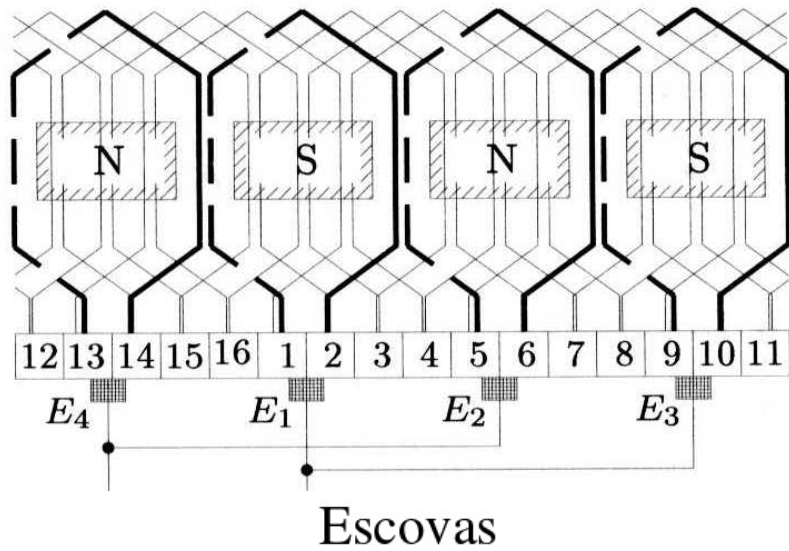
O enrolamento imbricado tem os terminais de sua bobina ligados a barras vizinhas, enquanto no enrolamento ondulado os terminais de suas bobinas estão ligados a barras deslocadas entre si de  $X^{\circ}$  elétricos.

Ambos os enrolamentos acima apresentam multiplicidade um ( $m = 1$ ).

## *Conversão de Energia I*



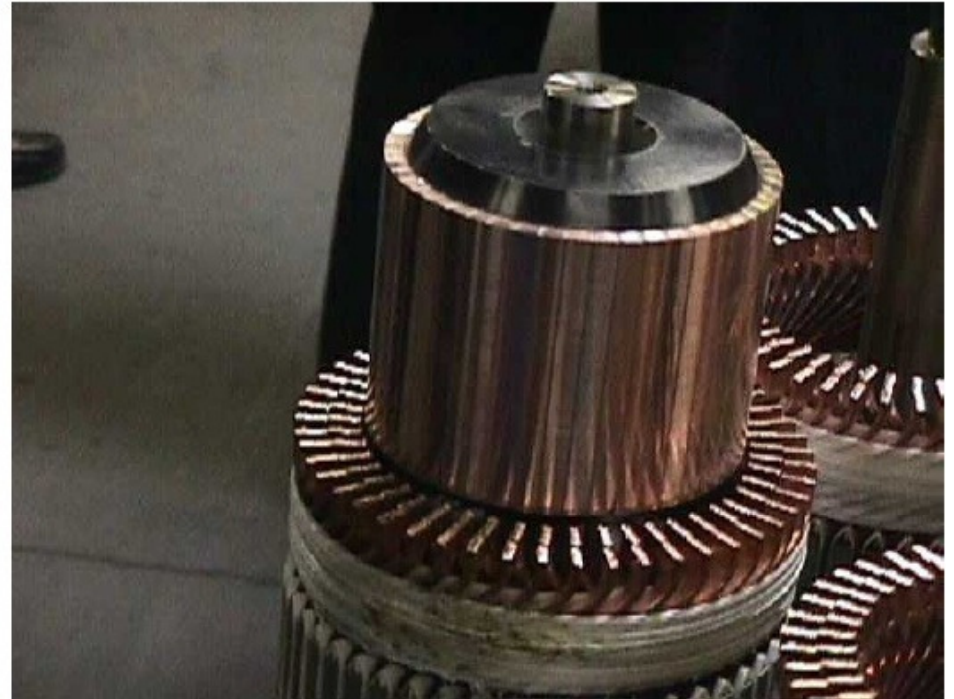
## Tipos de enrolamento



Escovas



## Barras do comutador



*Conversão de Energia I*

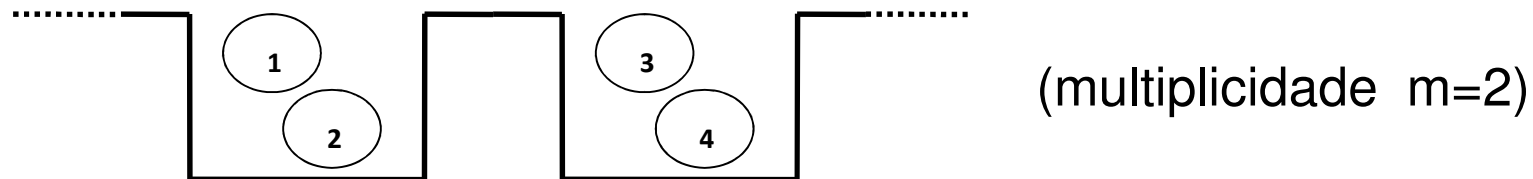
## Tipos de enrolamento

As correntes dos grupos paralelos  $I_C$ , tanto do imbricado como do ondulado, se somam nas escovas, o que define a corrente de armadura externa ( $I_a = a \cdot I_C$ ). Se “m” é a multiplicidade do enrolamento, “a” o número de grupos de bobinas em paralelo e “p” o número de polo, têm-se as seguintes relações:

$$a = m \cdot p \quad (\text{imbricado})$$

$$a = 2 \cdot m \quad (\text{ondulado})$$

Se a armadura tem somente um enrolamento, o grupo de bobinas é denominado de enrolamento simples (multiplicidade  $m=1$ ); se o enrolamento for duplo, o número de caminhos paralelos é dobrado em relação ao enrolamento simples.

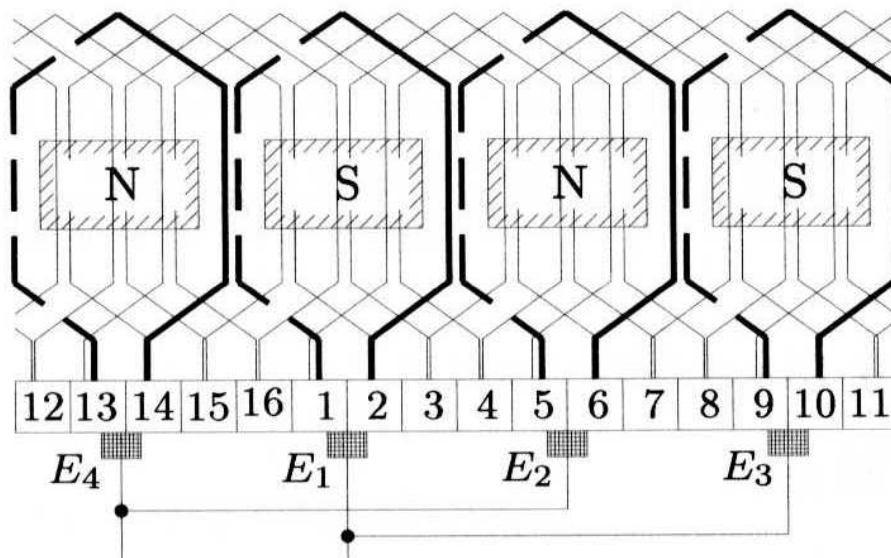


***Conversão de Energia I***

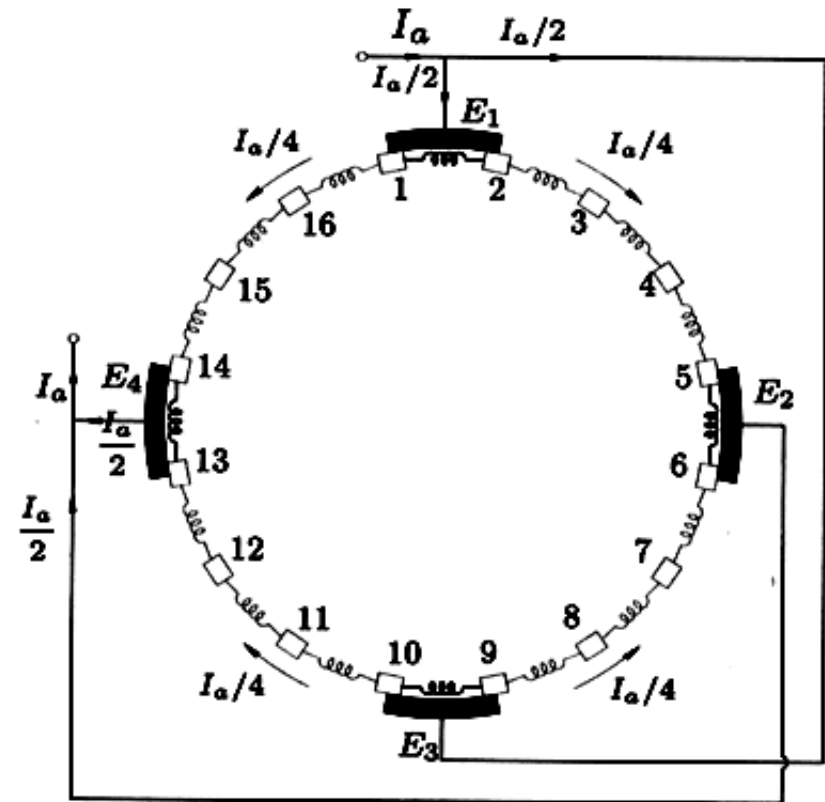
## Tipos de enrolamento

O valor de “a” representa por quantos caminhos diferentes (paralelos) a corrente de armadura vai circular.

Para o enrolamento imbricado abaixo, com 4 polos a corrente terá 4 caminhos.



$$a = m \cdot p \quad (\text{imbricado})$$

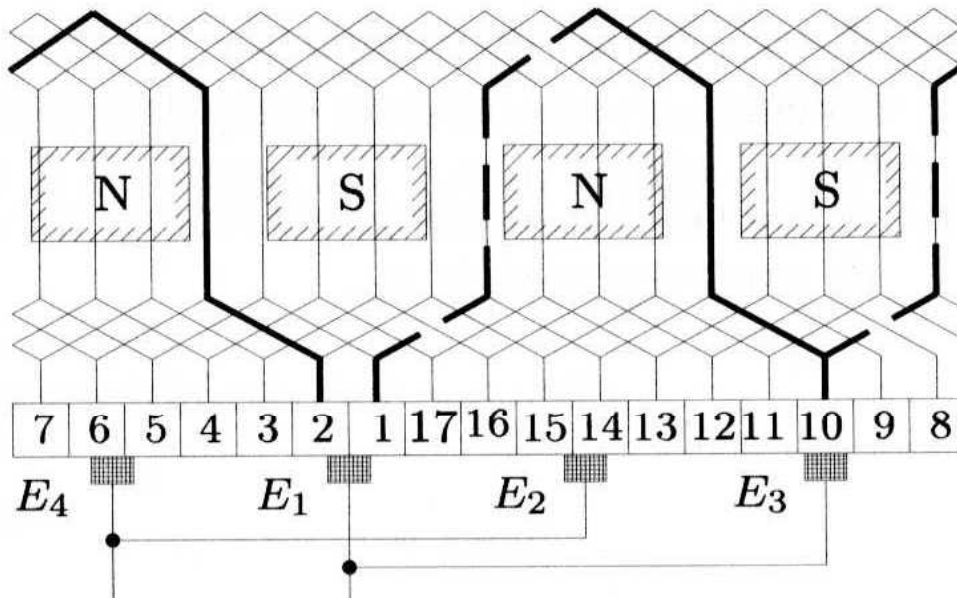


(c)  $a = p = 4$

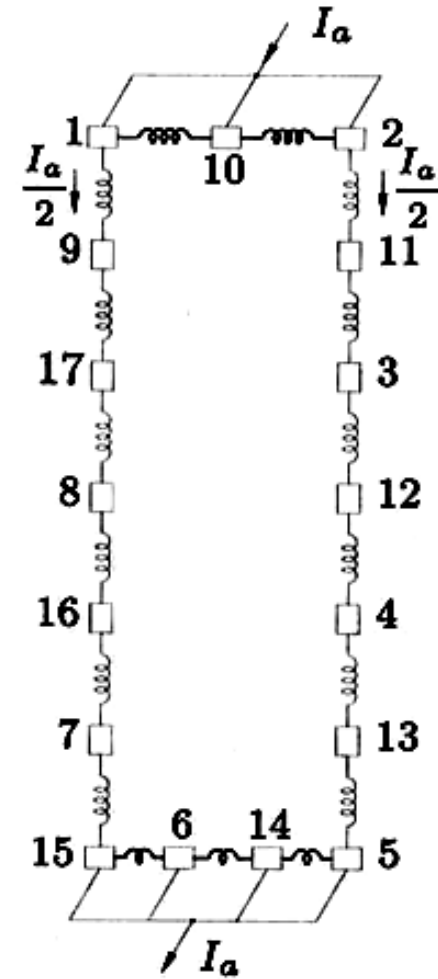
*Conversão de Energia I*

## Tipos de enrolamento

Para o enrolamento ondulado abaixo a corrente de armadura terá dois caminhos para circular.



$$a = 2 \cdot m \quad (\text{ondulado})$$



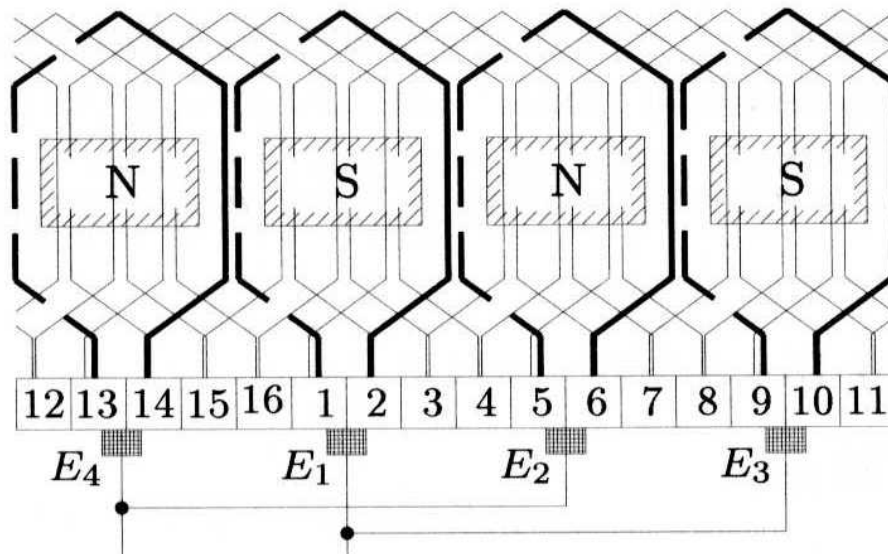
(d)  $a = 2$  paralelos

*Conversão de Energia I*

## Tipos de enrolamento

A posição das escovas do comutador é escolhida para ter contato elétrico com aquelas barras ligadas a condutores que estão transitoriamente na região interpolar.

Quando uma espira está sobre um polo seu fluxo é máximo e sua tensão induzida é mínima (tensão induzida e derivada do fluxo).

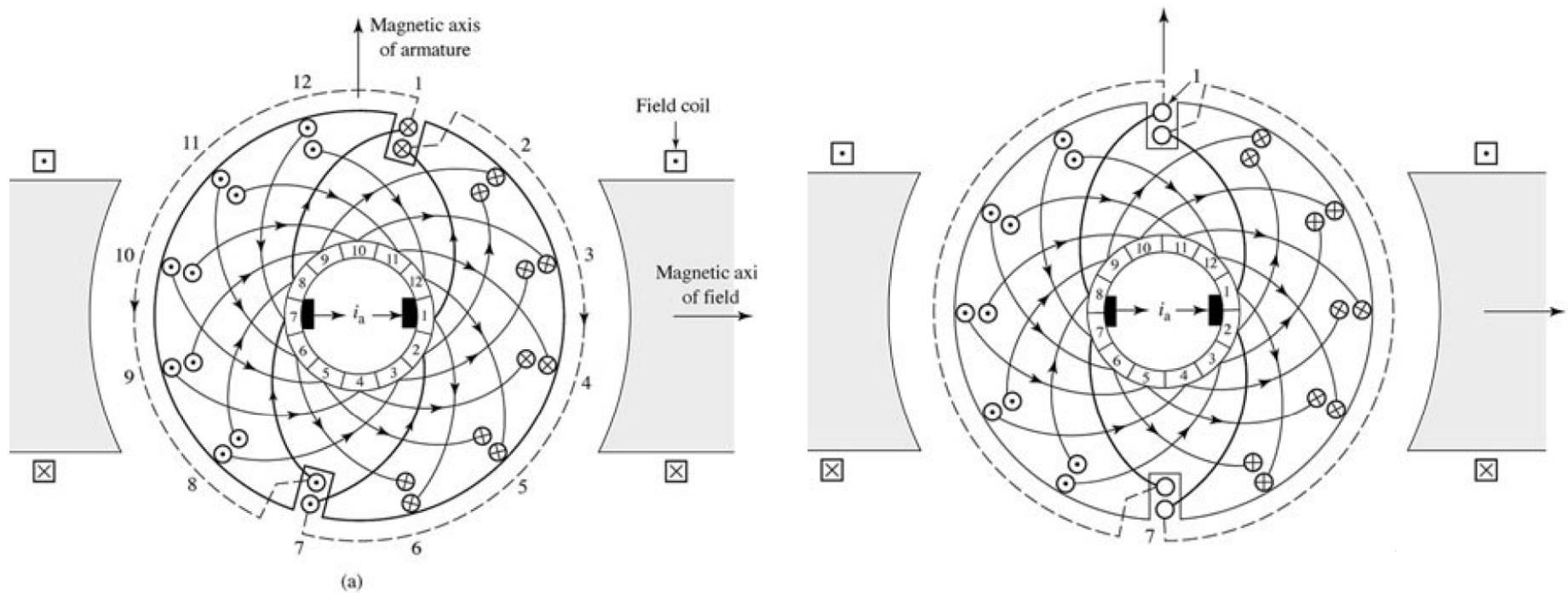


$$fem = N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

*Conversão de Energia I*

## Tipos de enrolamento

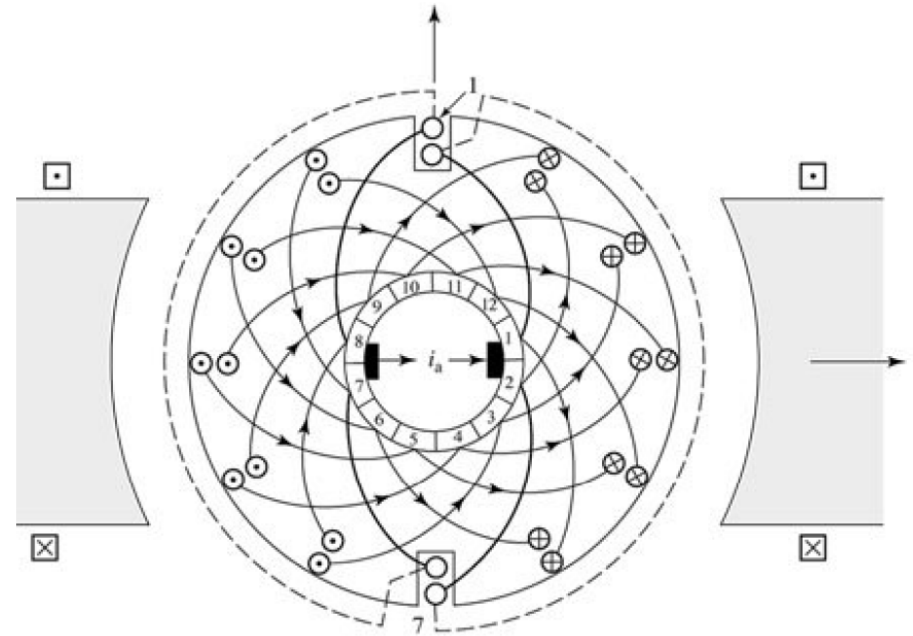
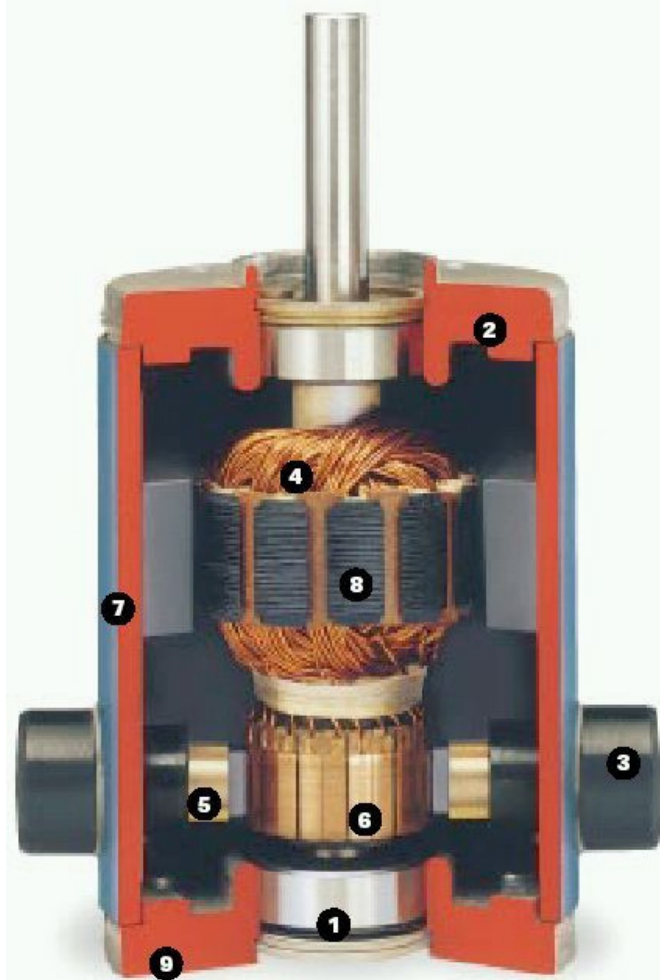
O enrolamento abaixo é imbricado ou ondulado?



Quando uma espira está sobre um polo seu fluxo é máximo e sua tensão induzida é mínima (tensão induzida é derivada do fluxo).

***Conversão de Energia I***

## Tipos de enrolamento



*Conversão de Energia I*