

Motores de Passo

Prof. Clovis Antonio Petry.

Florianópolis, julho de 2021.

Curso Básico de Acionamentos Eletrônicos

O material do curso está disponível em:

1. Moodle para os alunos matriculados na disciplina;
2. Página do professor;
3. Canal no youtube do professor.



<https://moodle.ifsc.edu.br>



www.ProfessorPetry.com.br



<https://www.youtube.com>

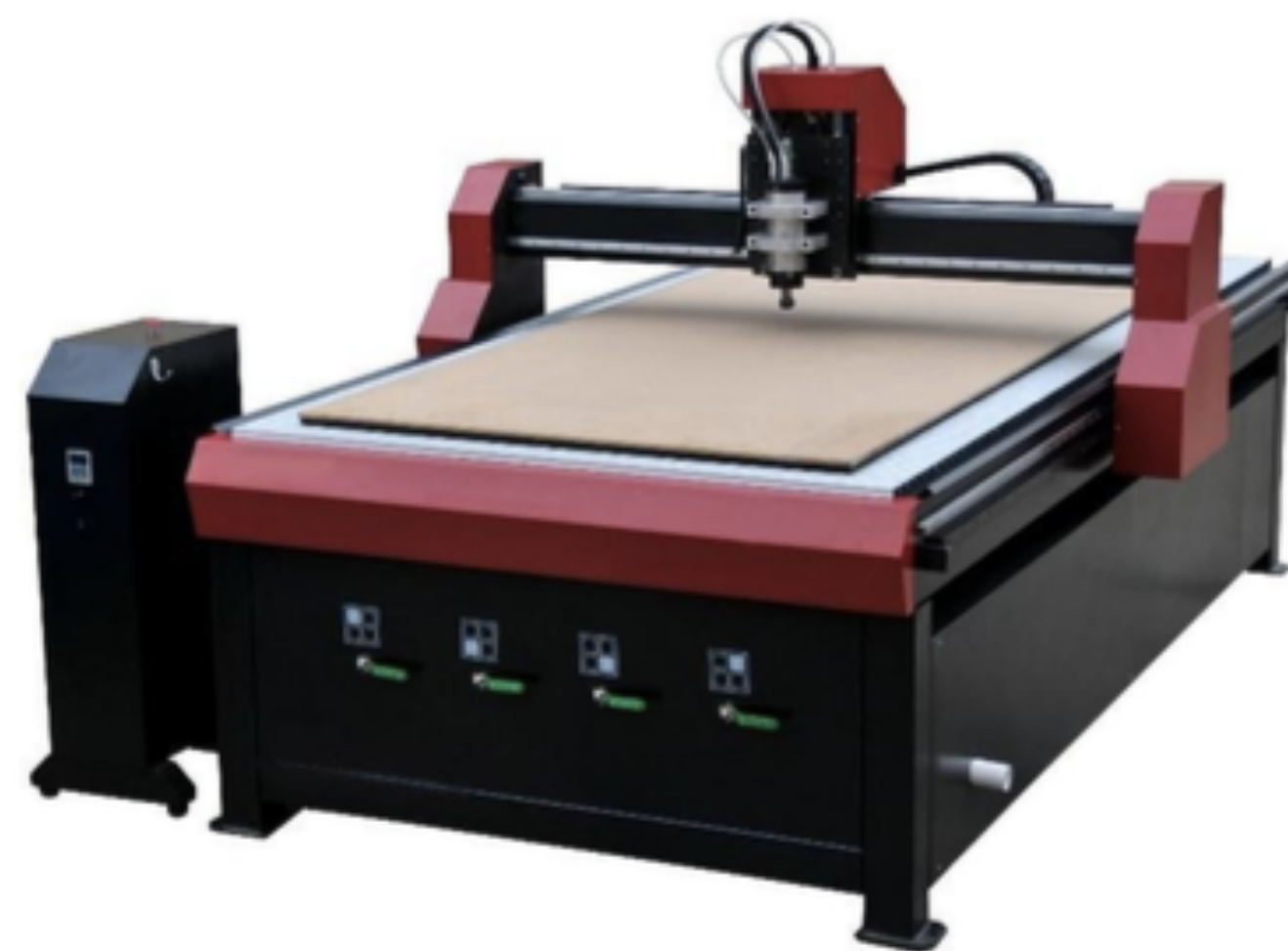
Agenda

Esta aula está organizada em:

1. Princípio de funcionamento dos motores de passo:
 - Definição e símbolo do motor elétrico de passo;
 - Princípio de funcionamento do motor de passo;
 - Principais aplicações dos motores de passo;
 - Principais características dos motores de passo.
2. Tipos de motores passo:
 - Partes de um motor de passo;
 - Motores de passo de relutância variável;
 - Motores de passo de ímã permanente;
 - Motores de passo híbridos.
3. Conexões dos motores de passo:
 - Fases dos motores de passo;
 - Tipos de polos;
 - Circuito elétrico equivalente do motor de passo.
4. Circuitos de acionamento de motores de passo:
 - Modos de passo;
 - Acionamento de motores de passo.



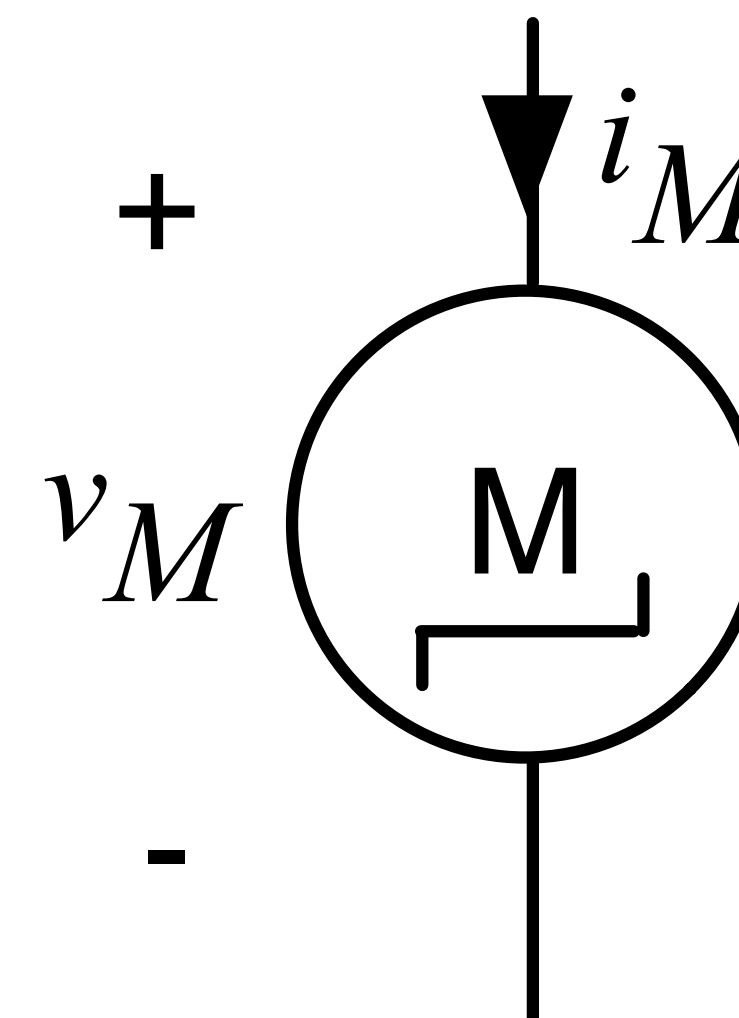
Os motores de passo são empregados em circuitos e máquinas onde se precisam realizar deslocamentos com precisão.



Funcionamento dos motores de passo

Definições e considerações:

- O motor elétrico de passo é uma máquina elétrica rotativa de corrente contínua, que converte energia elétrica em movimento.
- A principal diferença dos motores de passo para os motores de corrente contínua é o controle preciso da rotação e dos deslocamentos do eixo do motor, permitindo variações angulares discretas e conhecidas.
- Assim, os motores de passo são utilizados quando se necessita realizar deslocamentos precisos, como por exemplo em impressoras, braços robóticos, mesas digitalizadoras, dentre outras aplicações.

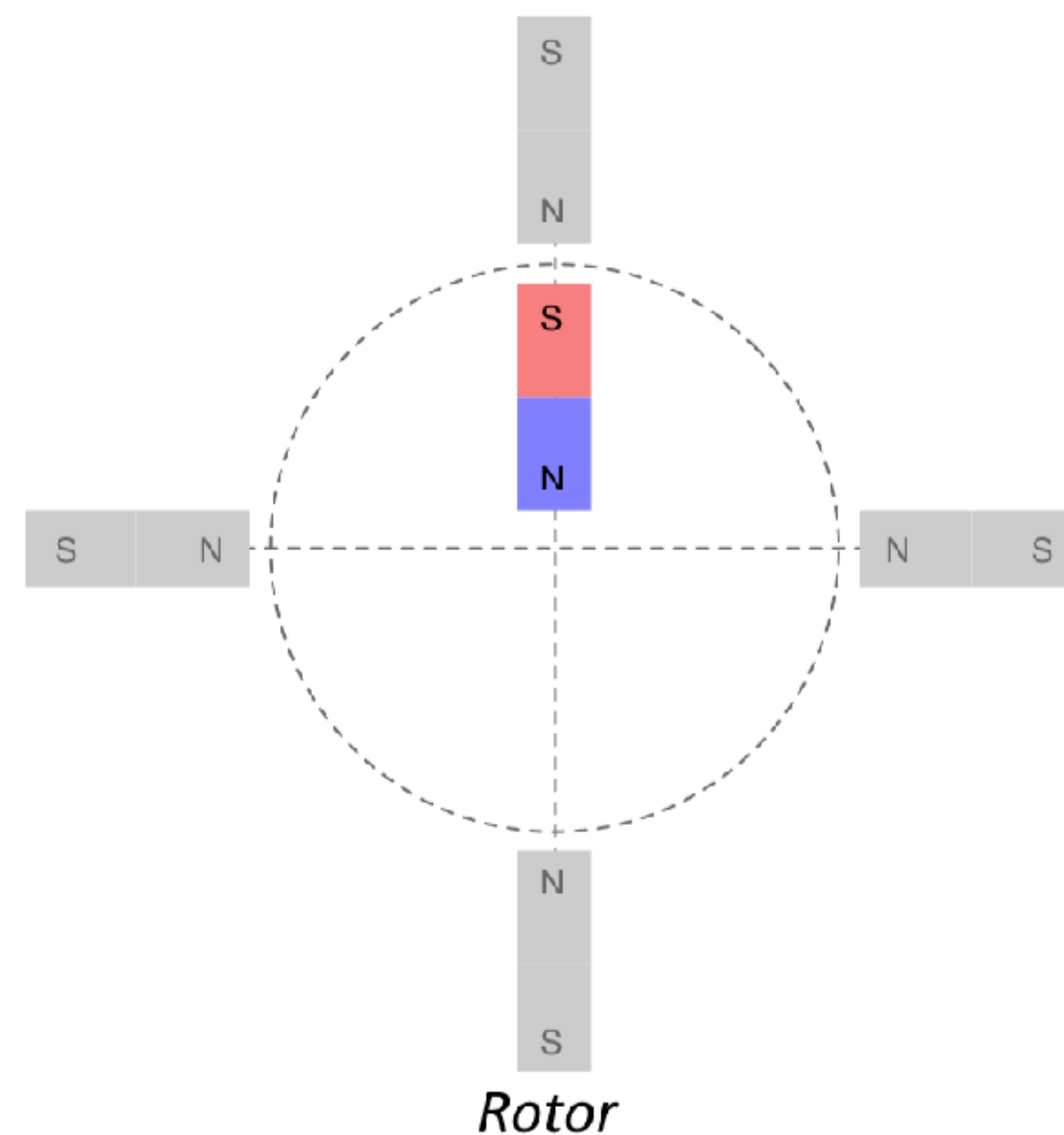
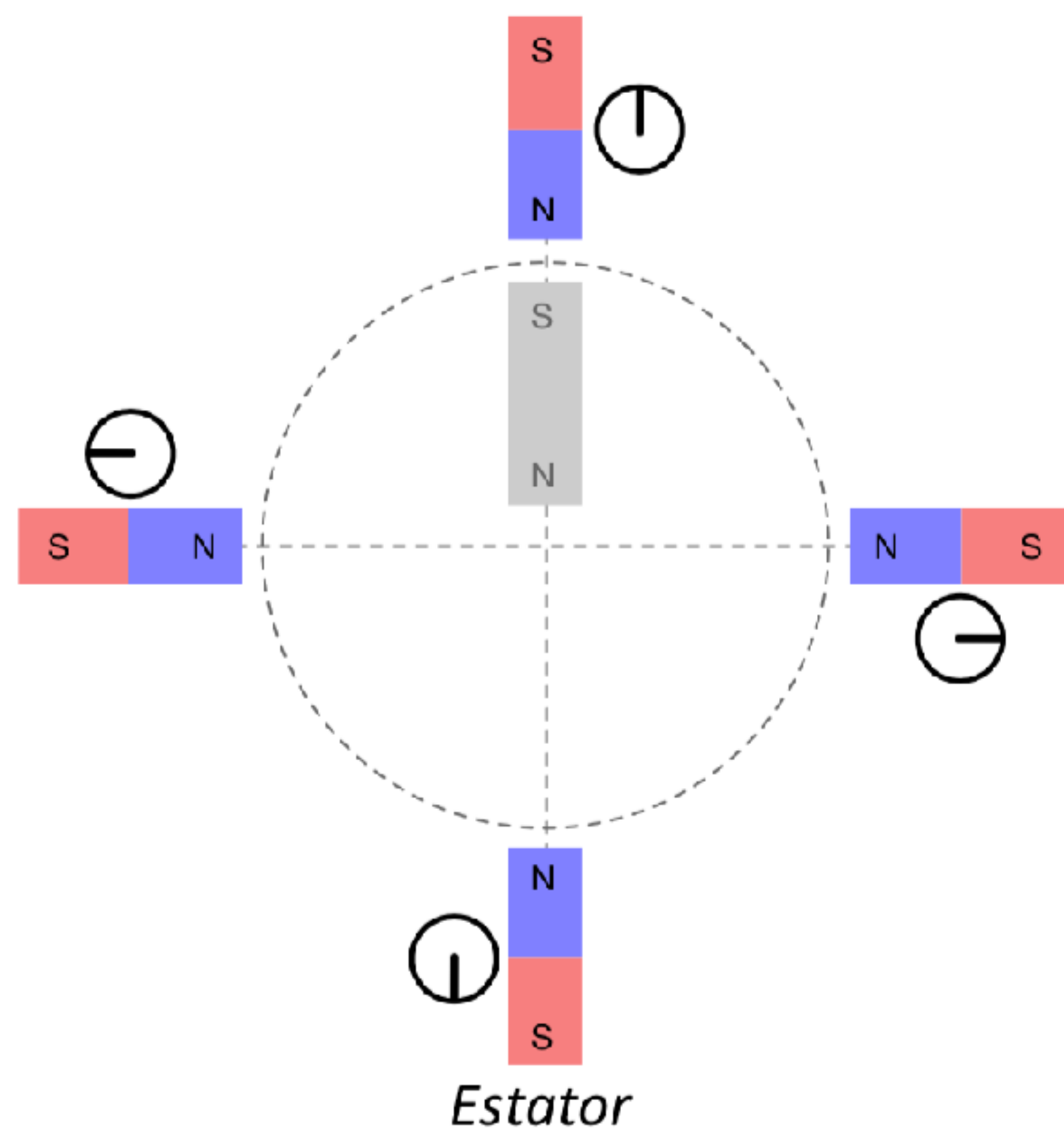


Símbolo do motor de passo

Funcionamento dos motores de passo

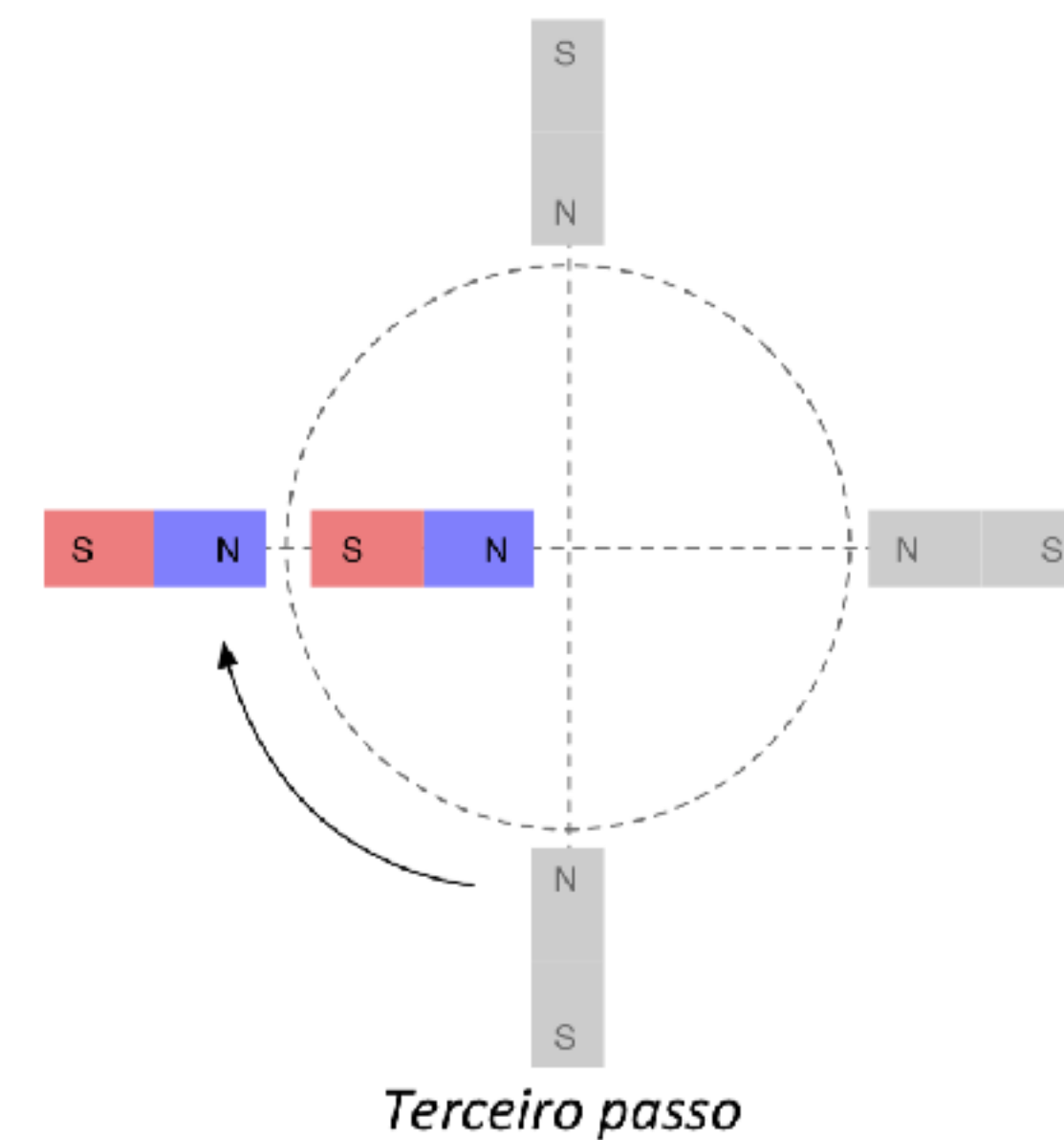
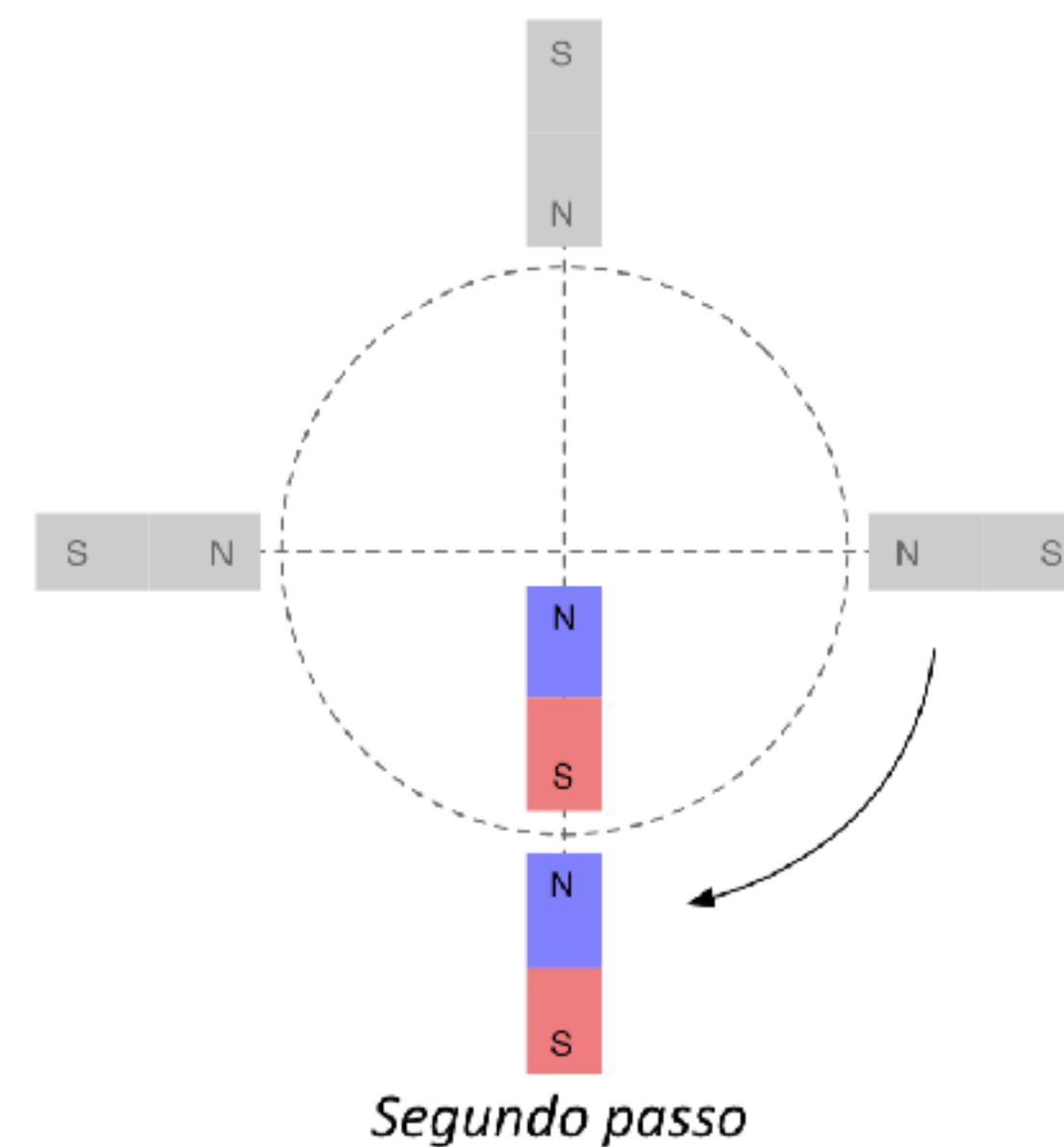
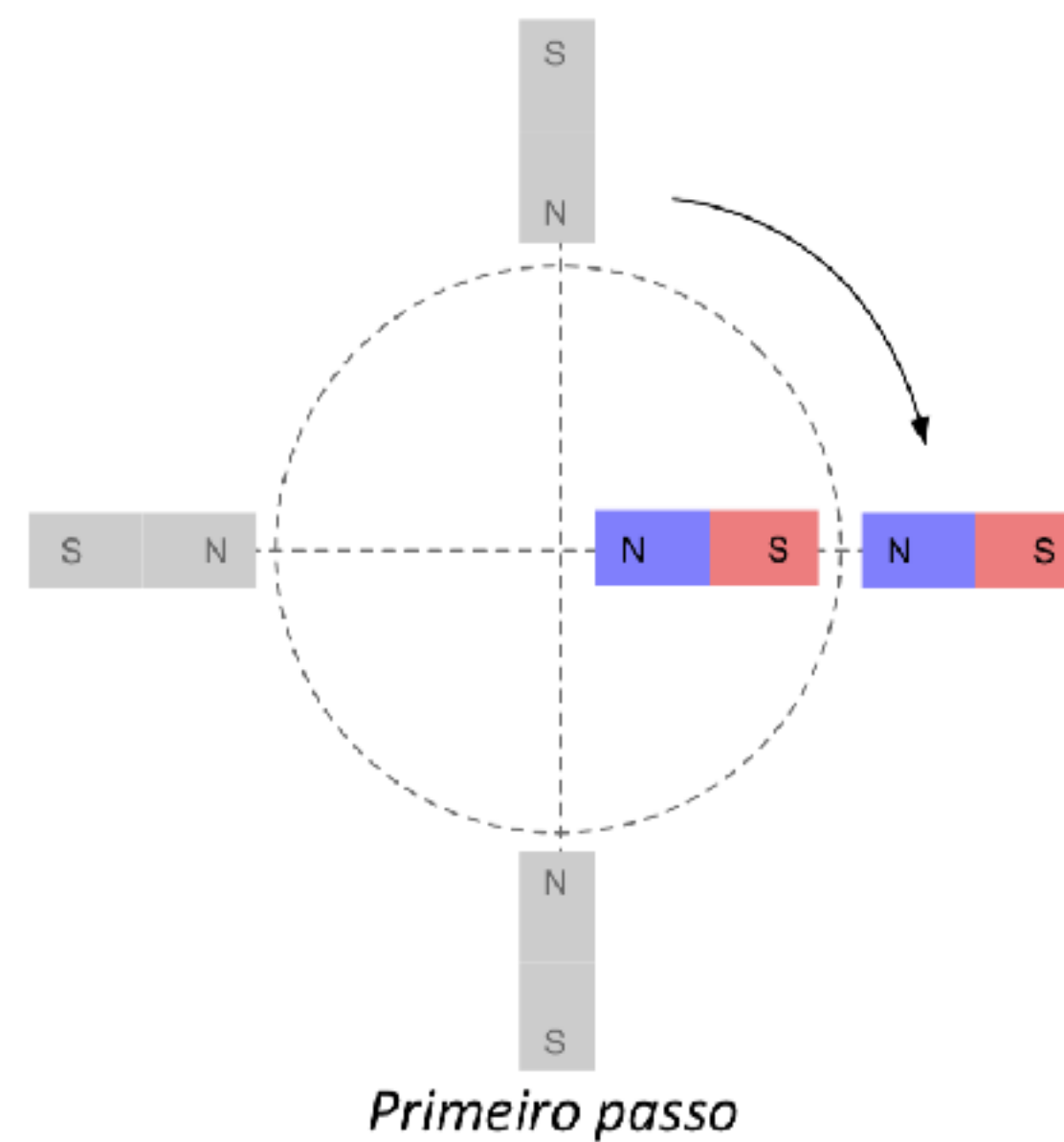
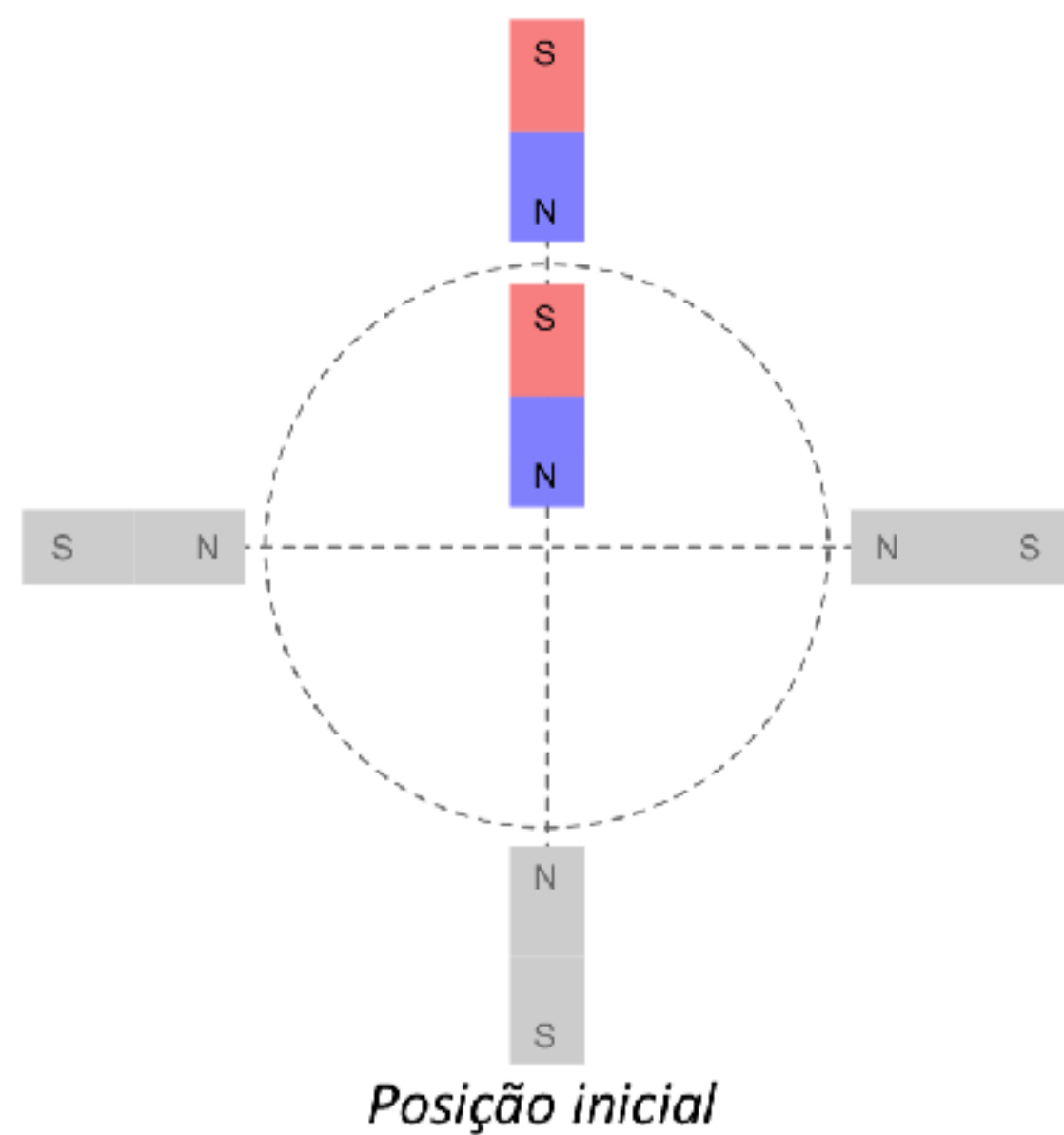
Partes elementares de um motor de passo:

- Estator;
- Rotor.



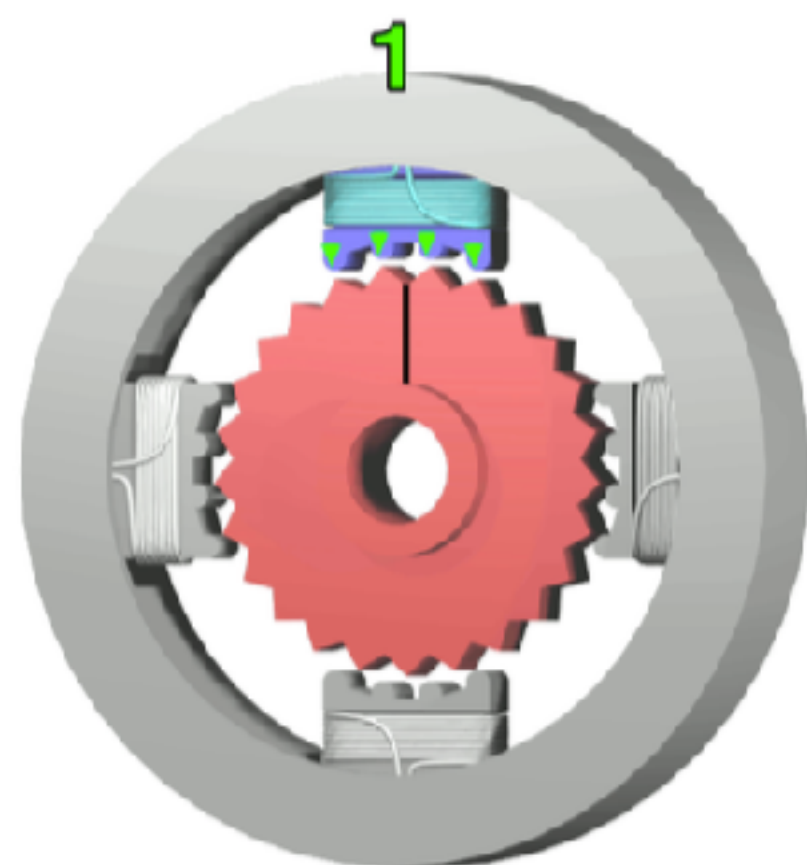
Funcionamento dos motores de passo

Sequência de passos para girar o rotor:

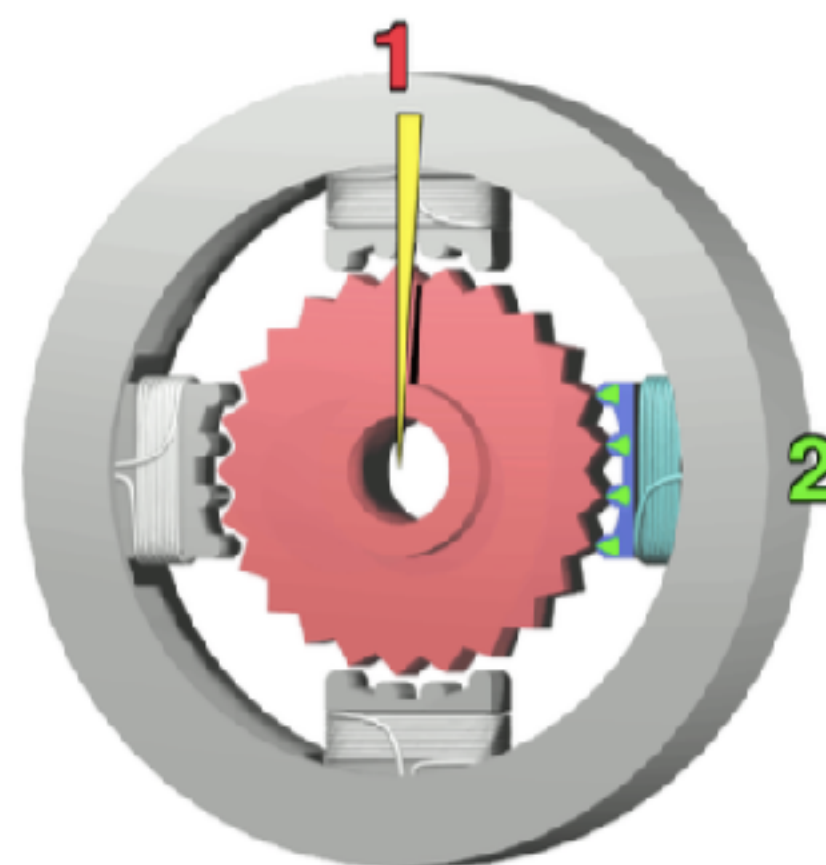


Funcionamento dos motores de passo

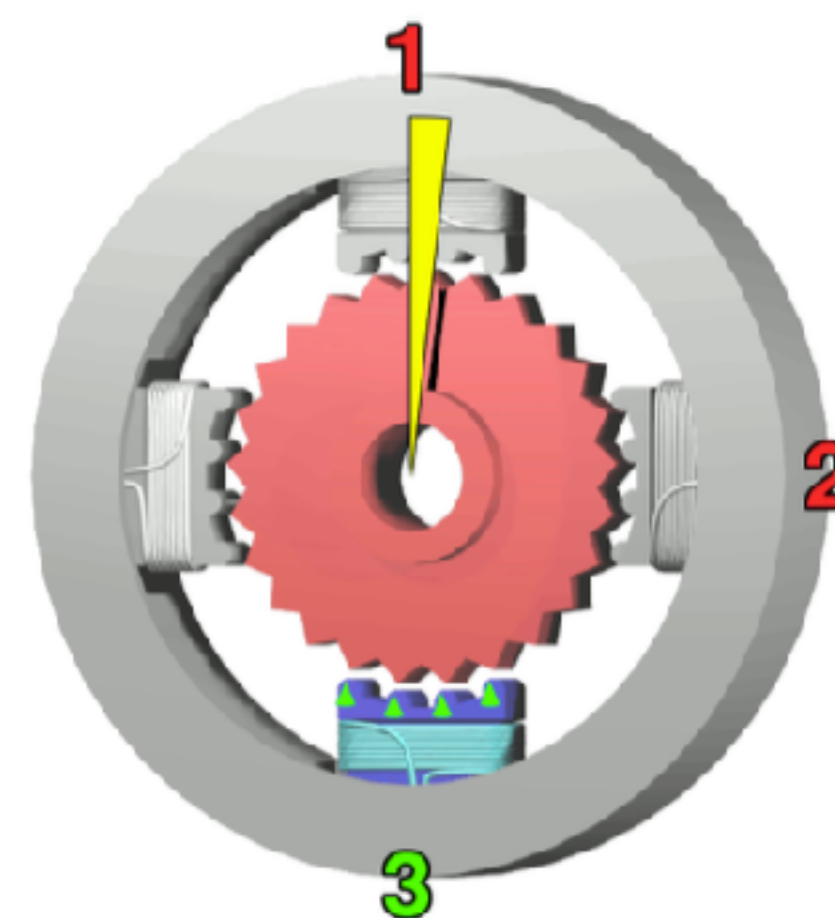
Sequência de passos para girar o rotor:



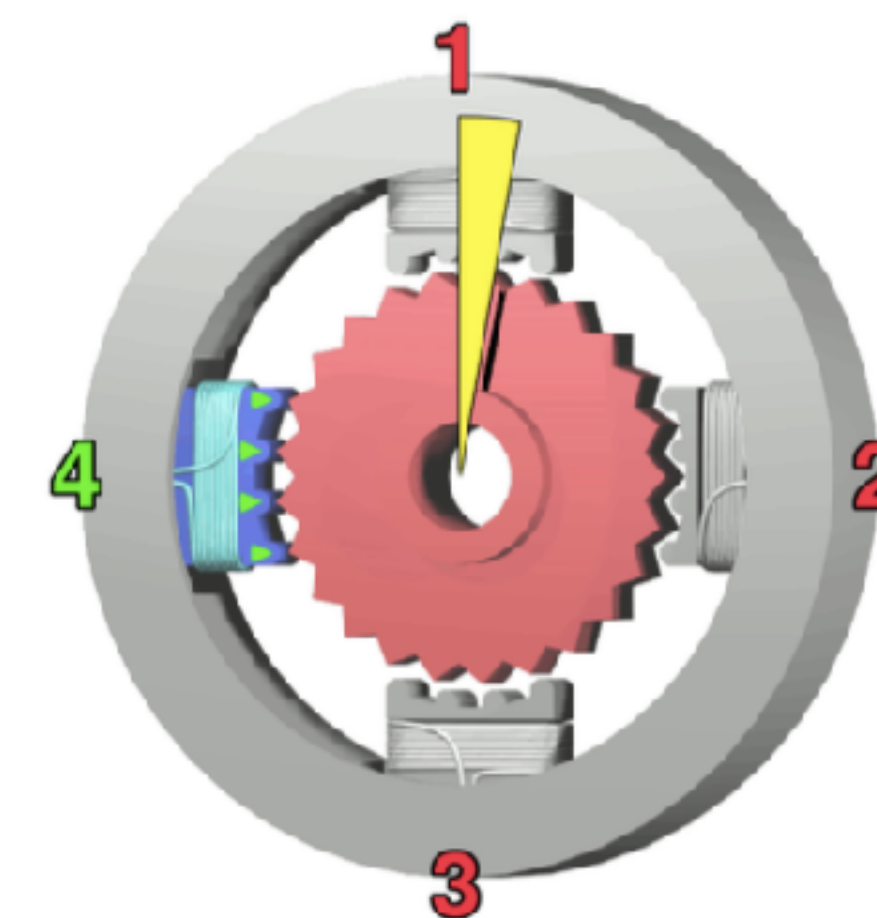
Passo 0



Passo 1



Passo 3



Passo 4

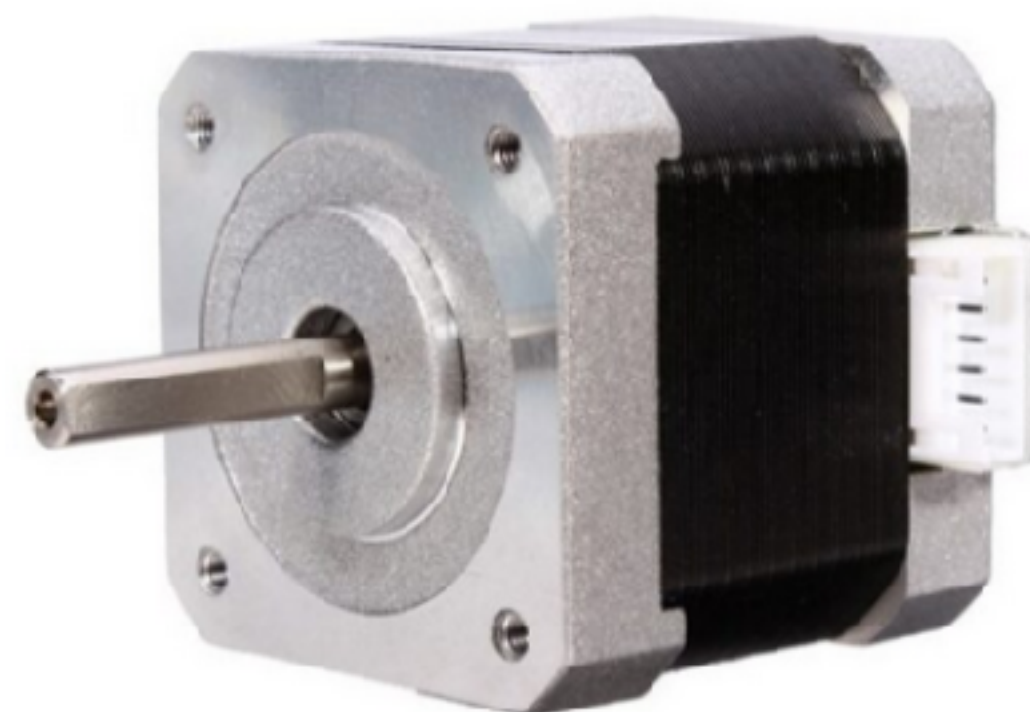
Funcionamento dos motores de passo

Principais aplicações dos motores de passo:

- Exemplos de aplicações: impressoras, máquinas de controle numérico (CNC), bombas volumétricas, robótica, câmeras de vídeo, brinquedos, automação industrial, mesas digitalizadoras, fresadoras, injeção eletrônica de automóveis, dentre outras.



Impressora



Fresadora



Robótica



Injeção eletrônica

Funcionamento dos motores de passo

Principais características dos motores de passo:

Característica	Motor de corrente contínua	Motor de passo	Servomotor
Velocidade	Alta	Baixa	Média
Torque rotacional	Alto	Médio	Alto
Torque estacionário	Ausente	Alto	Baixo
Controle	Fácil	Complexo	Complexo
Precisão rotacional	Ausente	Alta	Muito alta
Durabilidade	Média	Alta	Média
Manutenção	Requer	Não requer	Requer

Fonte: Adaptado de (Brites e Santos, 2008)

Funcionamento dos motores de passo

Vantagens dos motores de passo:

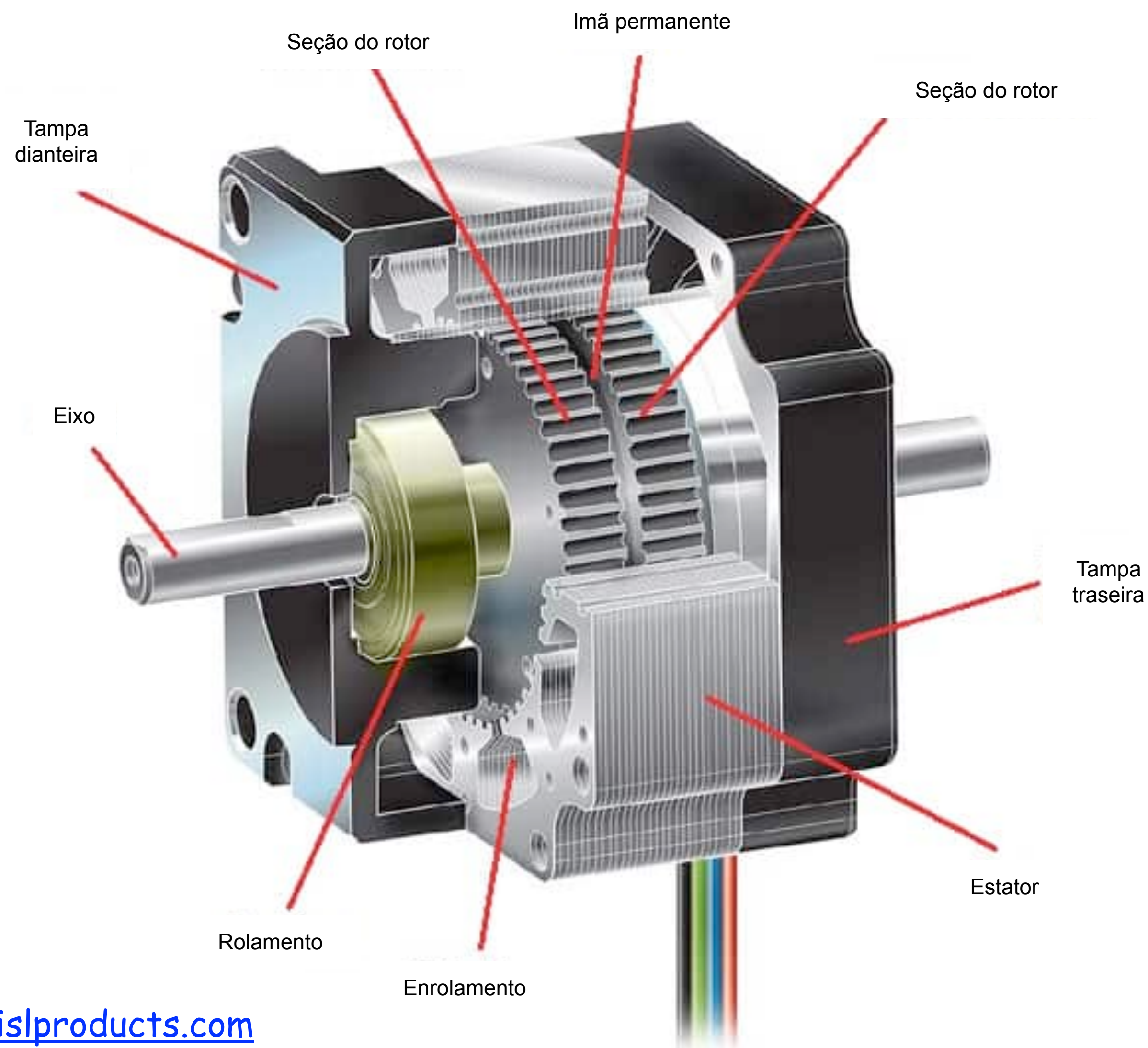
- Operam por lógica digital - São acionados por pulsos aplicados sequencialmente nas bobinas do motor;
- Posicionamento em alta precisão - Em geral tem erro de posicionamento menor do que 5%;
- Torque estável - Os motores de passo possuem torque com pouca variação;
- Resposta rápida - São motores que possuem excelente resposta para aceleração e desaceleração.

Desvantagens dos motores de passo:

- Baixo desempenho em altas velocidades - Aumentando a velocidade de acionamento das bobinas do motor de passo incorre em aumento na velocidade do rotor, mas com perda significativa de desempenho;
- Acionamento complexo - O circuito de acionamento e a lógica empregada devem ser compatíveis com o motor utilizado, sendo mais complexas dos que os circuitos de acionamento dos motores de corrente contínua;
- Ressonância e perda de passos - Em virtude da frequência natural de ressonância da estrutura física do motor, em ocorrendo coincidência entre esta e a frequência de acionamento e seus múltiplos e submúltiplos, podem ocorrer vibrações e rotações incorretas, conhecidas como perda de passos.

Tipos de motores de passo

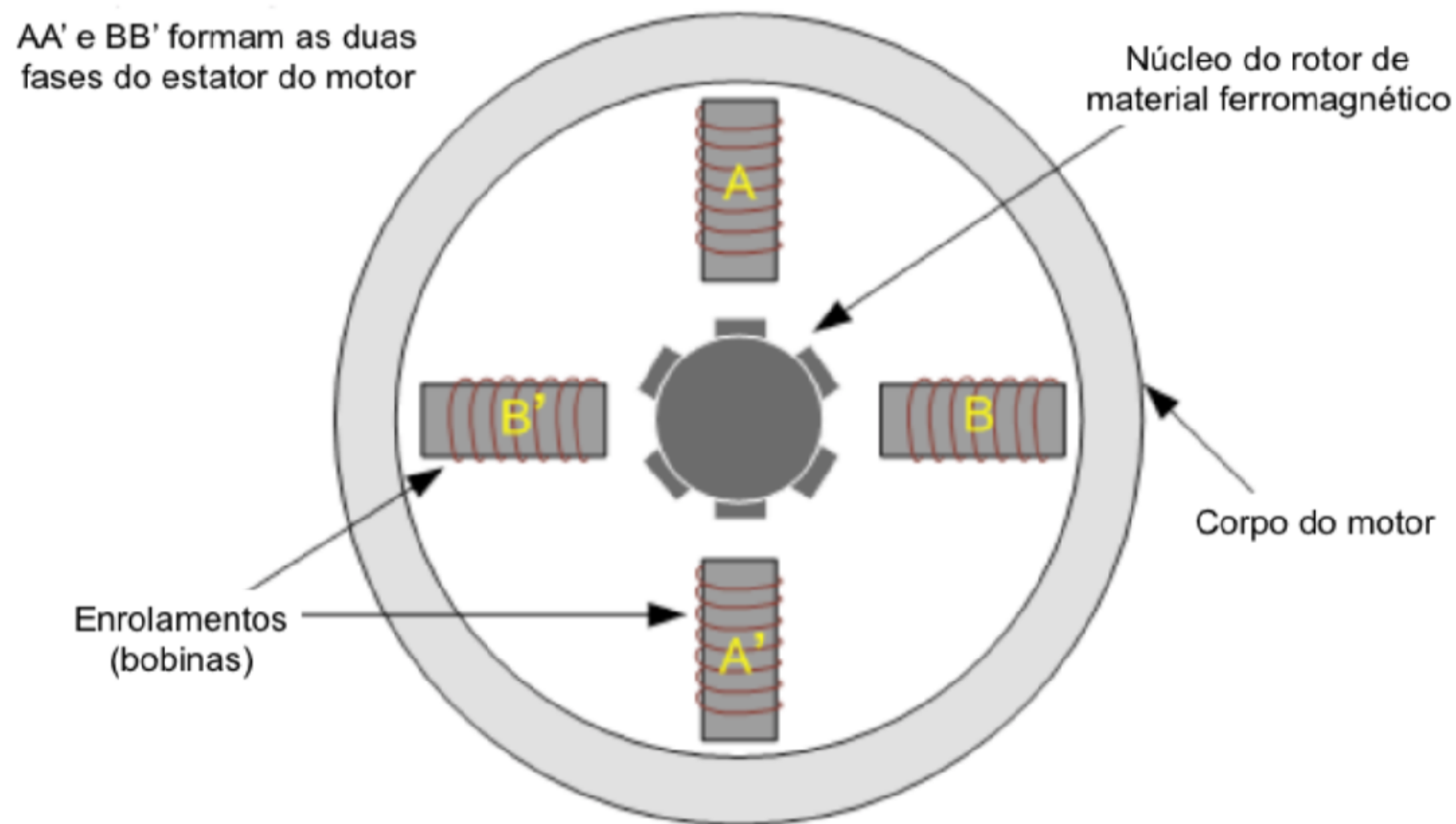
Partes de um motor de passo:



Fonte: <https://islproducts.com>

Tipos de motores de passo

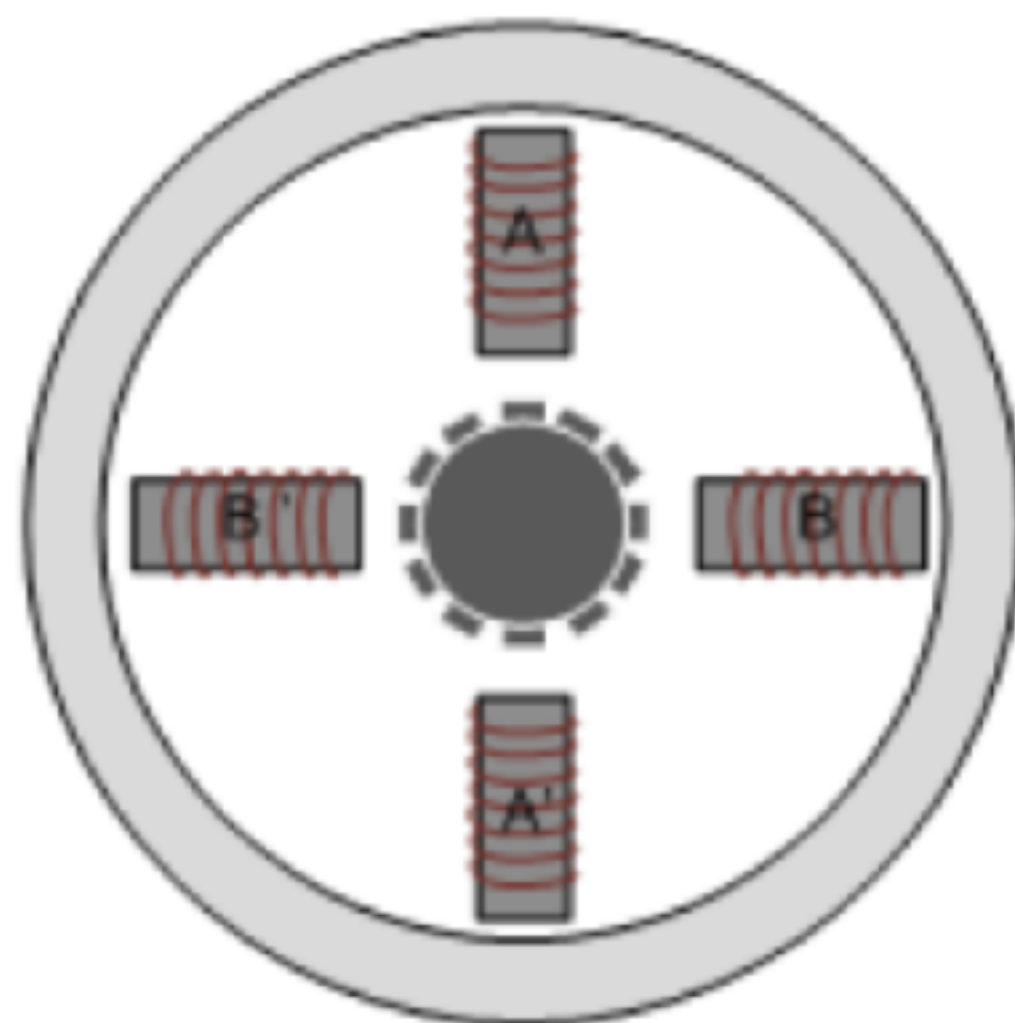
Motor de passo de relutância variável:



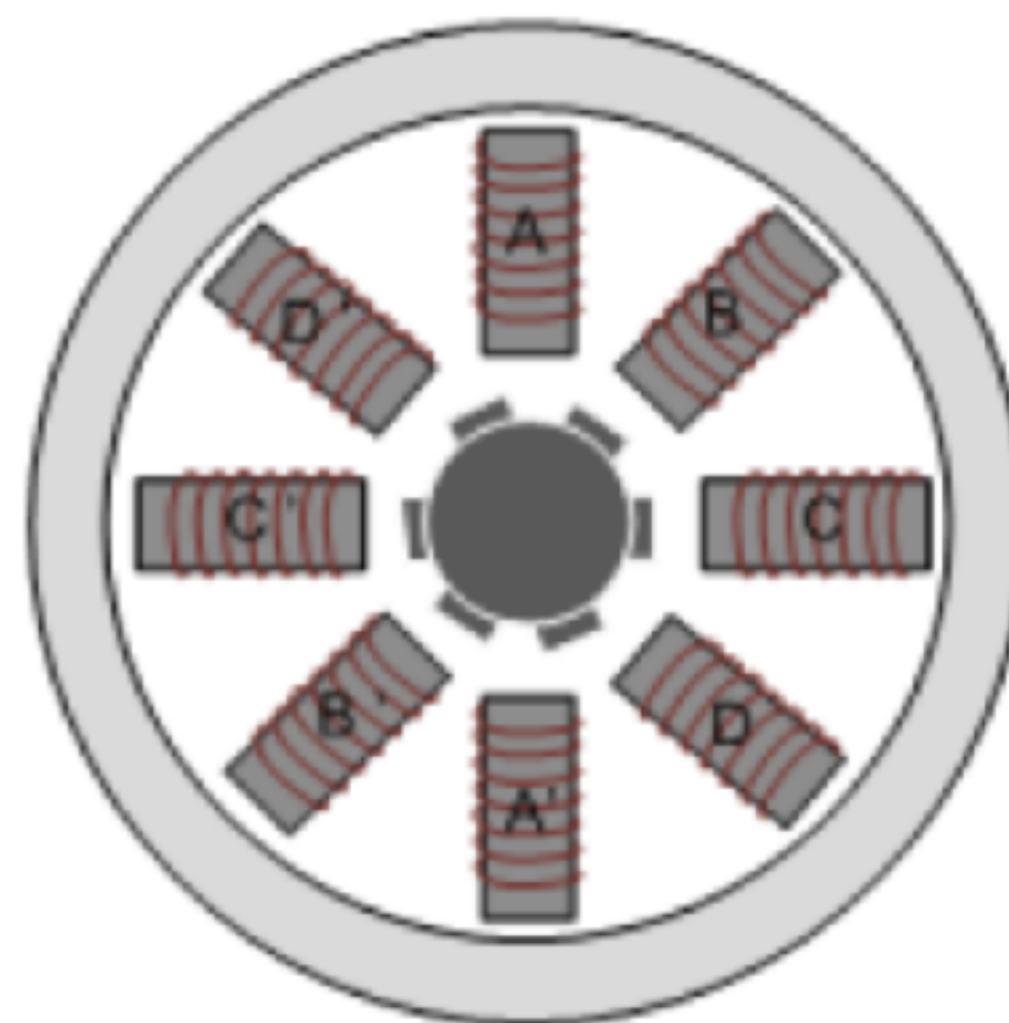
Fonte: <https://www.feis.unesp.br> e <https://www.engineersgarage.com>

Tipos de motores de passo

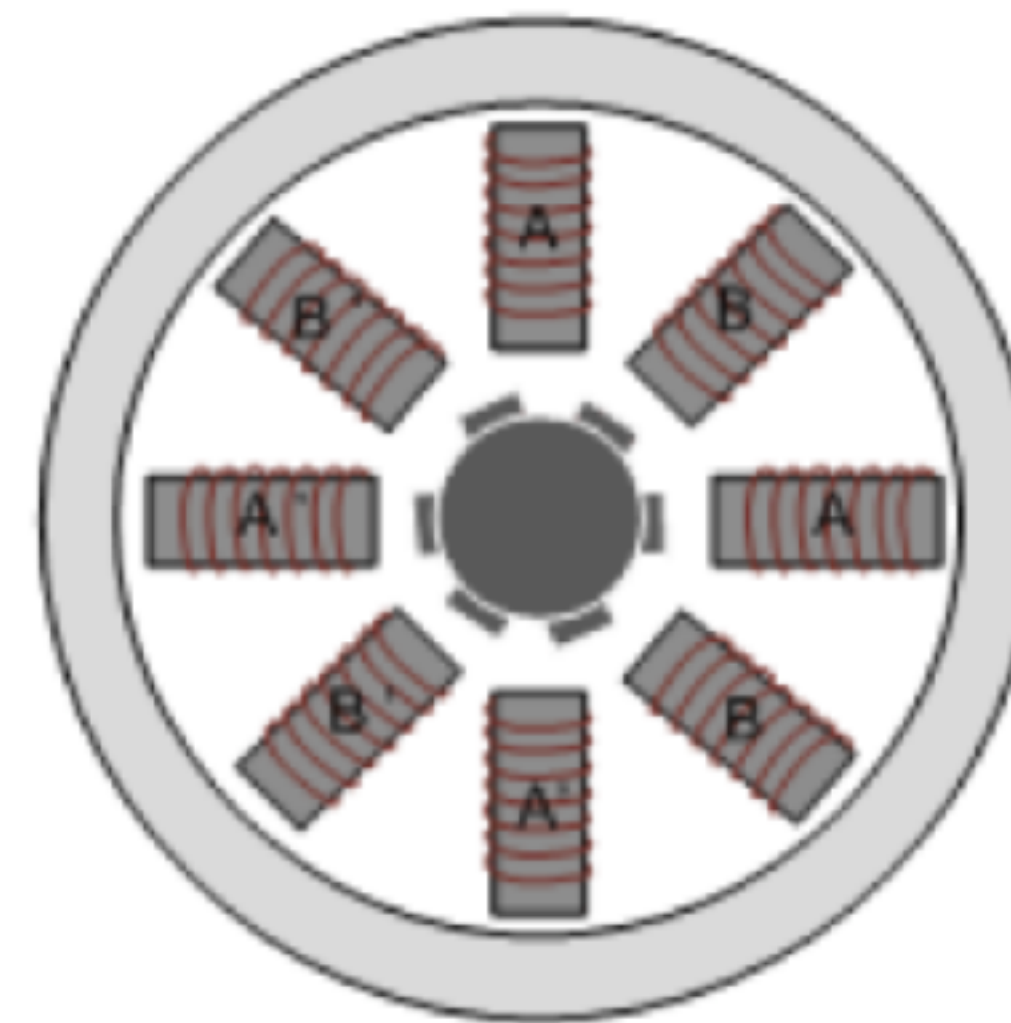
Motor de passo de relutância variável:



*Aumento do número de
dentes do rotor*



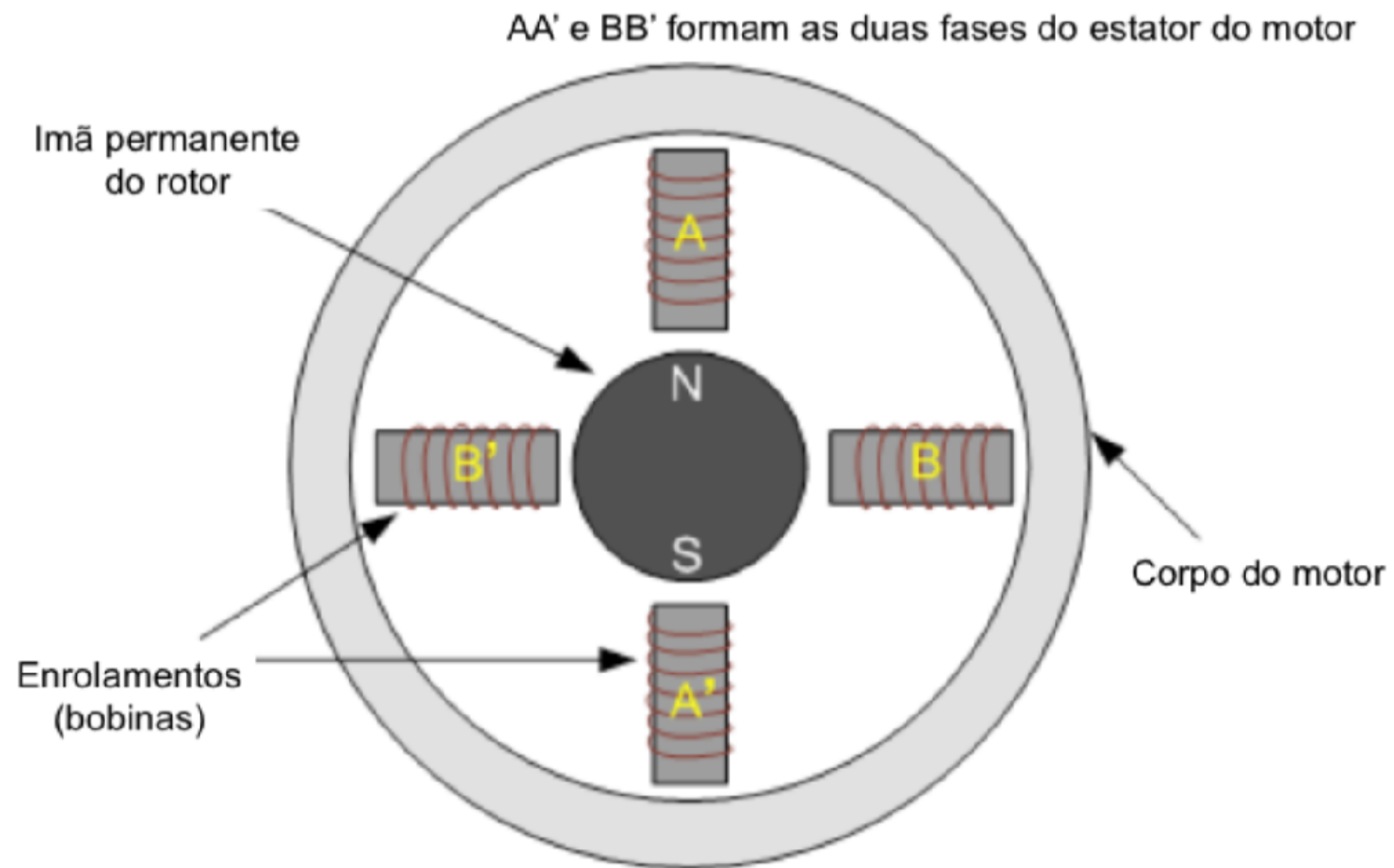
*Aumento do número
de fases do estator*



*Aumento do número de
enrolamentos por fase do estator*

Tipos de motores de passo

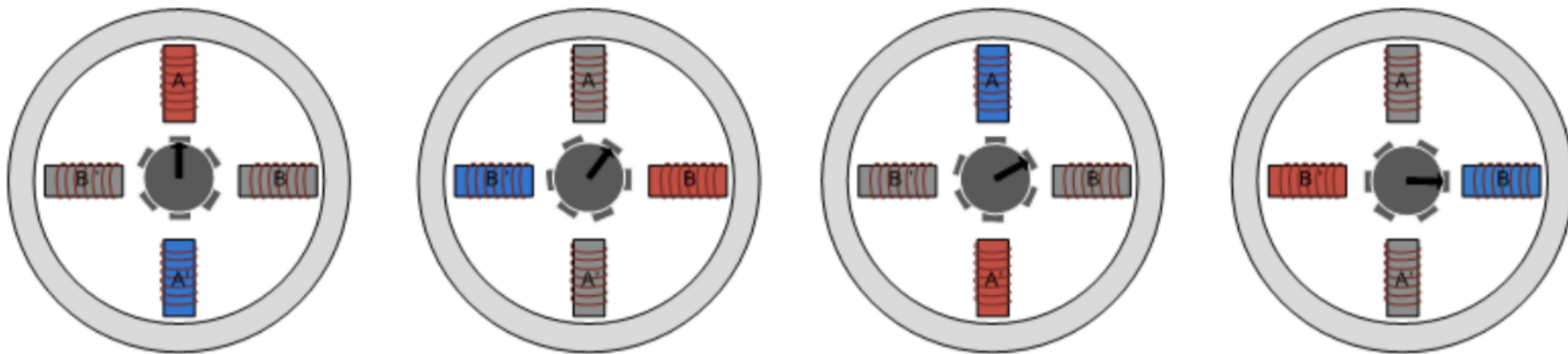
Motor de passo de ímã permanente:



Fonte: <https://www.feis.unesp.br> e <https://www.engineersgarage.com>

Tipos de motores de passo

Motor de passo de imã permanente:



Funcionamento do motor de passo de ímãs permanentes

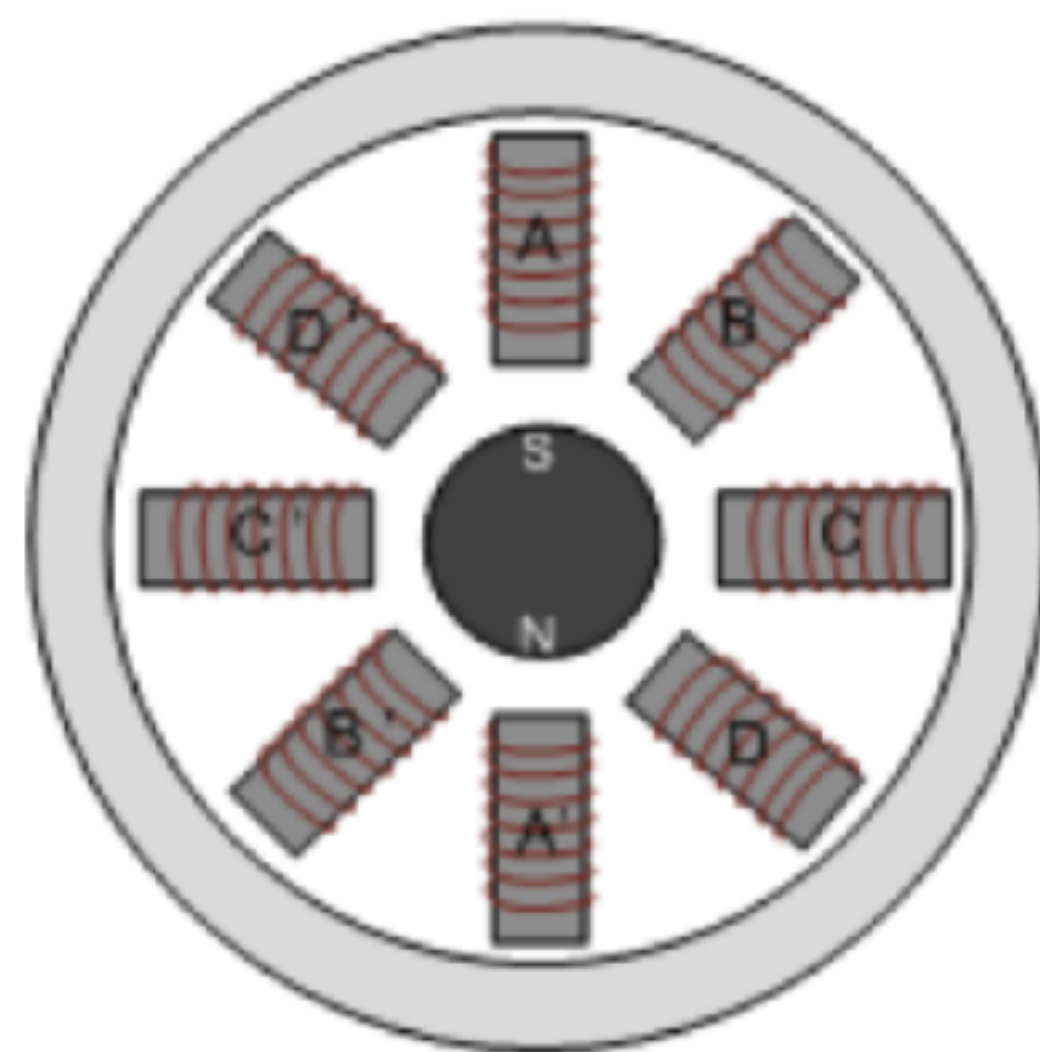
Fonte: <https://www.feis.unesp.br> e <https://www.engineersgarage.com>

Tipos de motores de passo

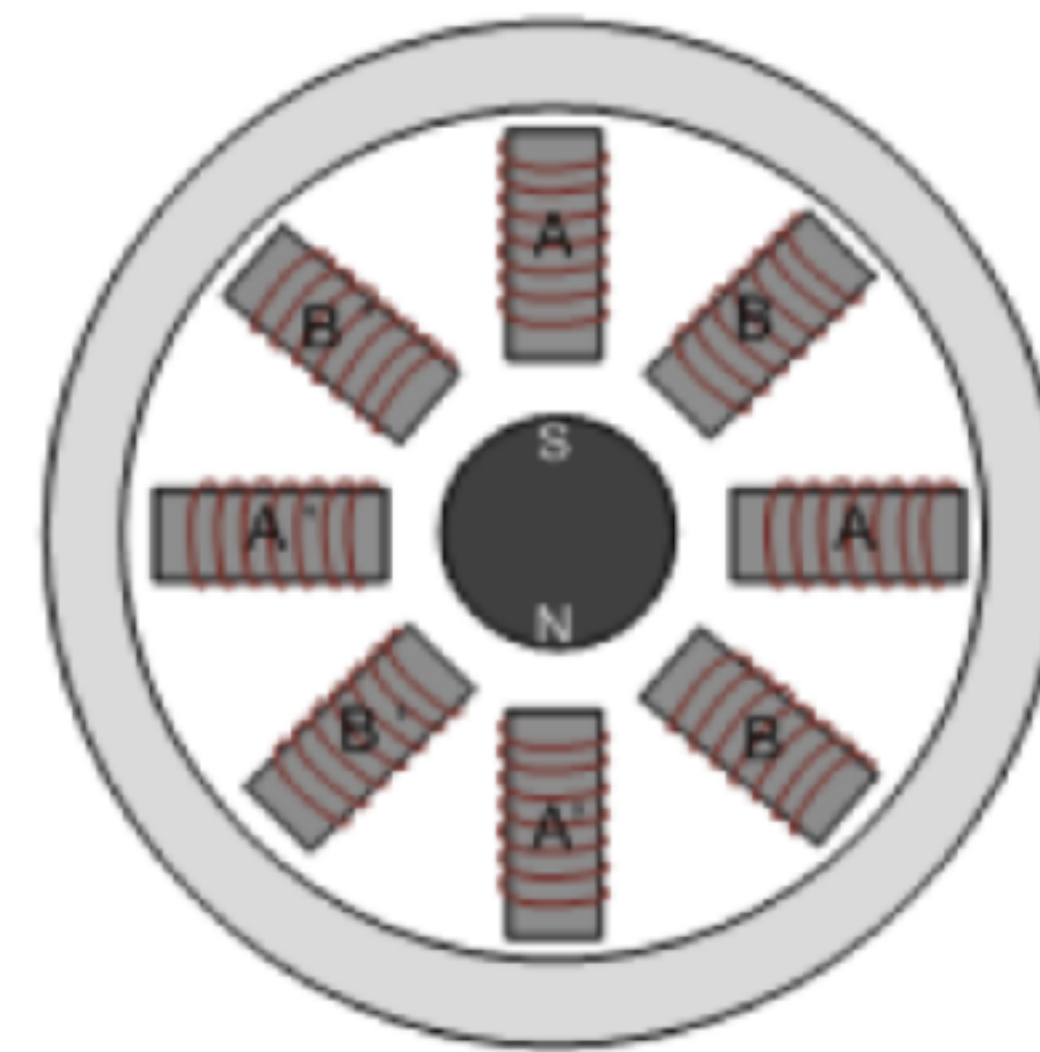
Motor de passo de imã permanente:



*Aumento do número de
polos do rotor*



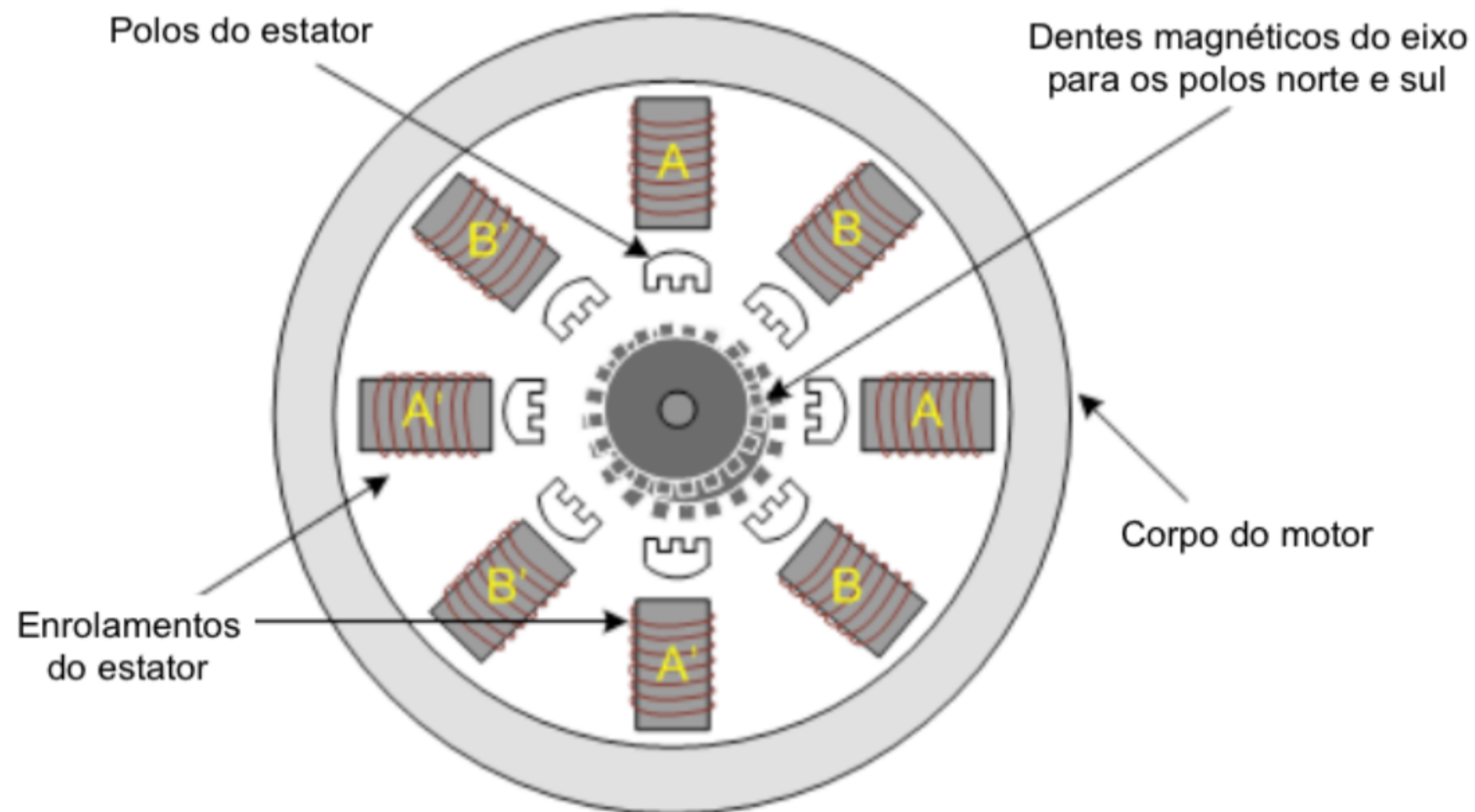
*Aumento do número
de fases do estator*



*Aumento do número de
enrolamentos por fase do estator*

Tipos de motores de passo

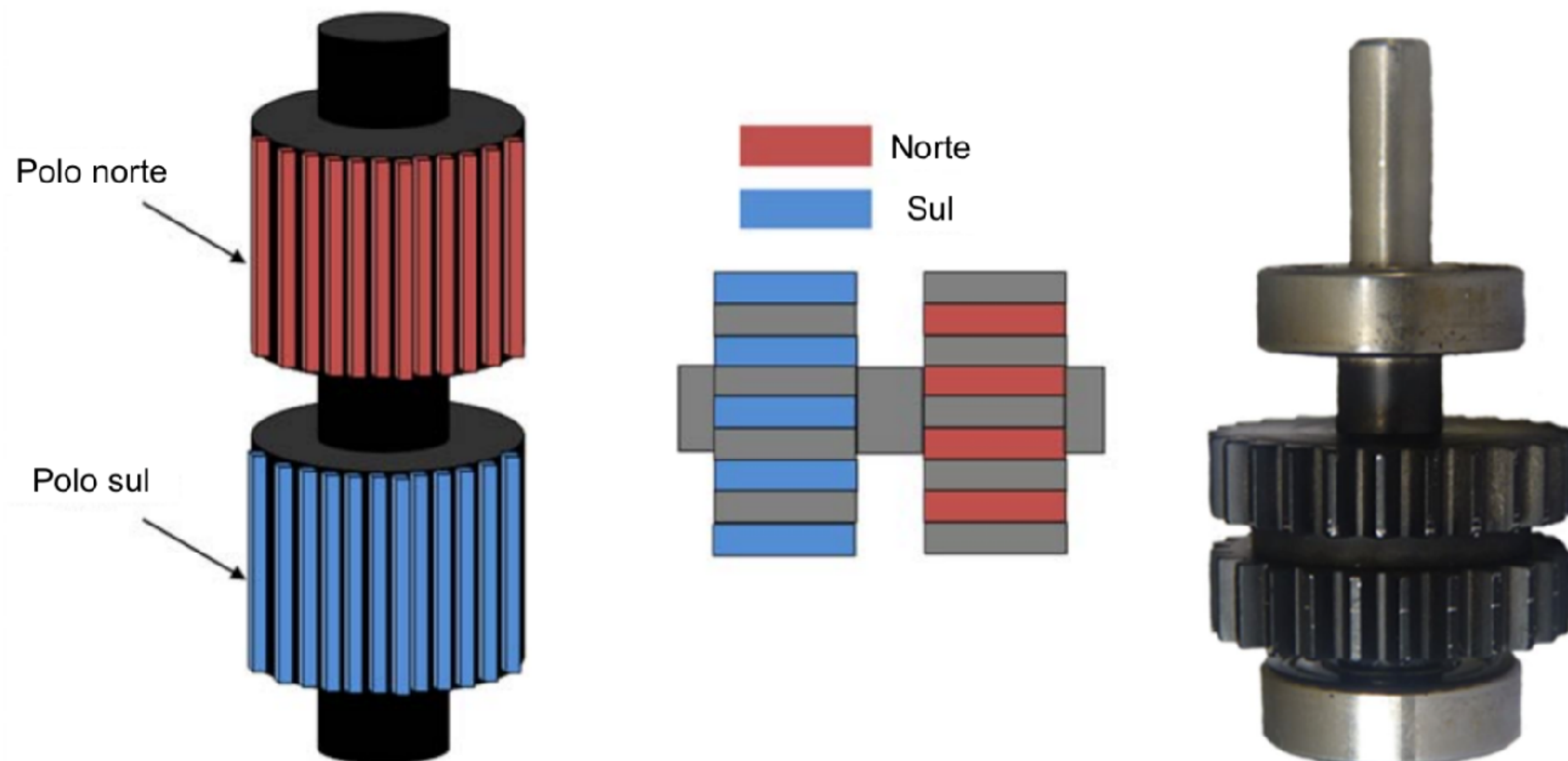
Motor de passo híbrido:



Fonte: <https://www.feis.unesp.br> e <https://www.engineersgarage.com>

Tipos de motores de passo

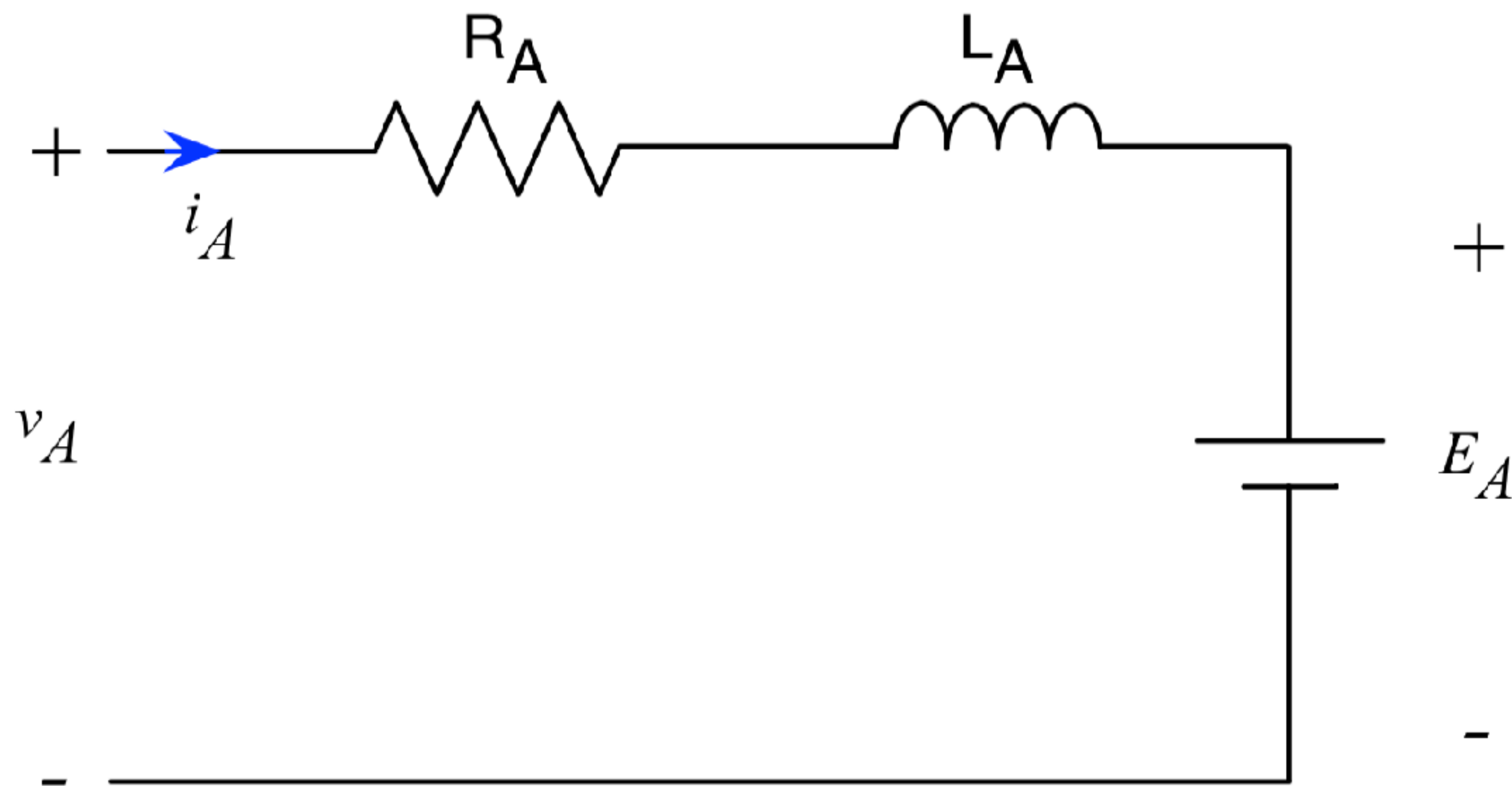
Motor de passo híbrido:



Fonte: <https://www.feis.unesp.br> e <https://www.engineersgarage.com>

Conexões dos motores de passo

Circuito elétrico equivalente do motor de passo, por fase:

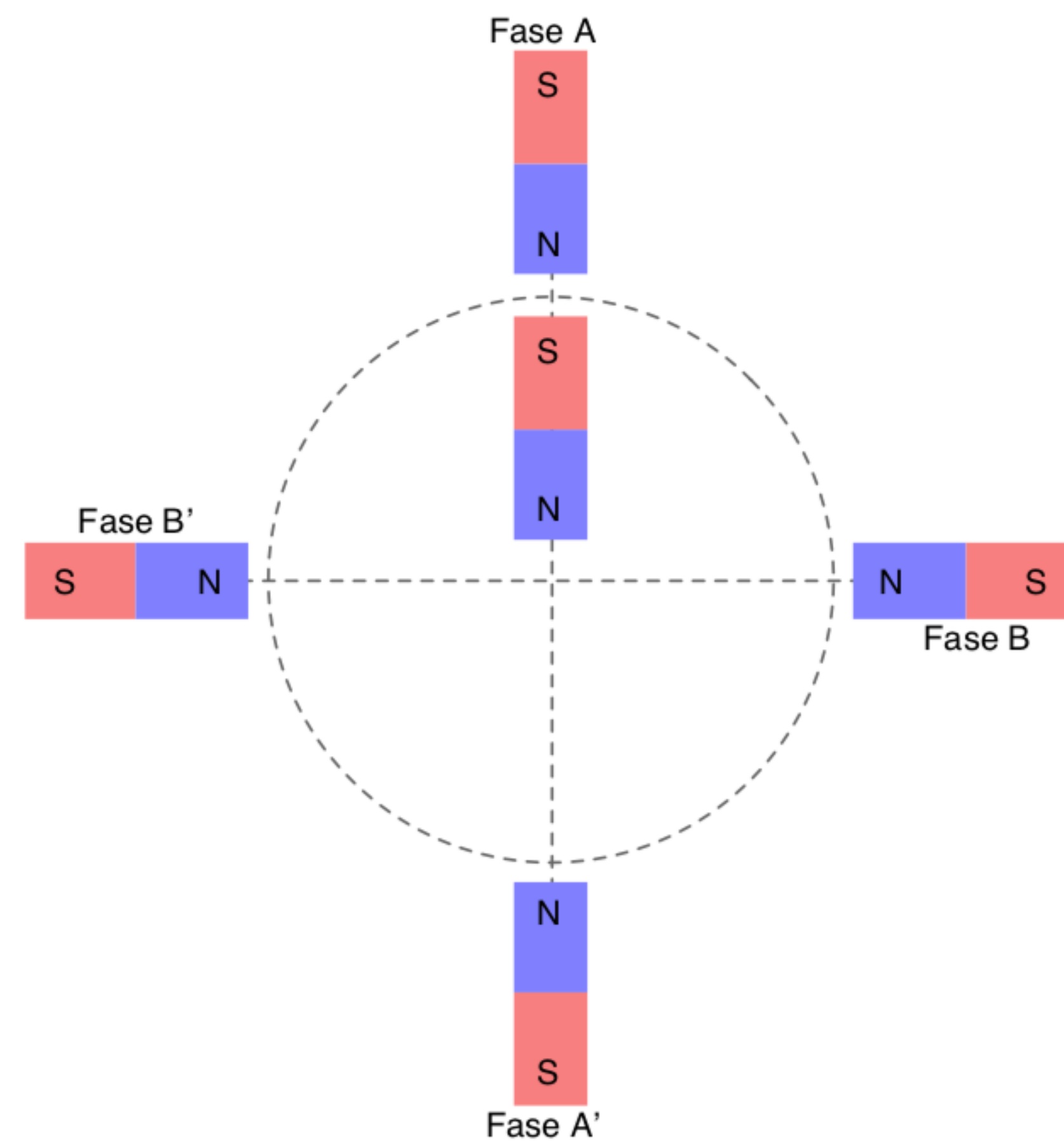
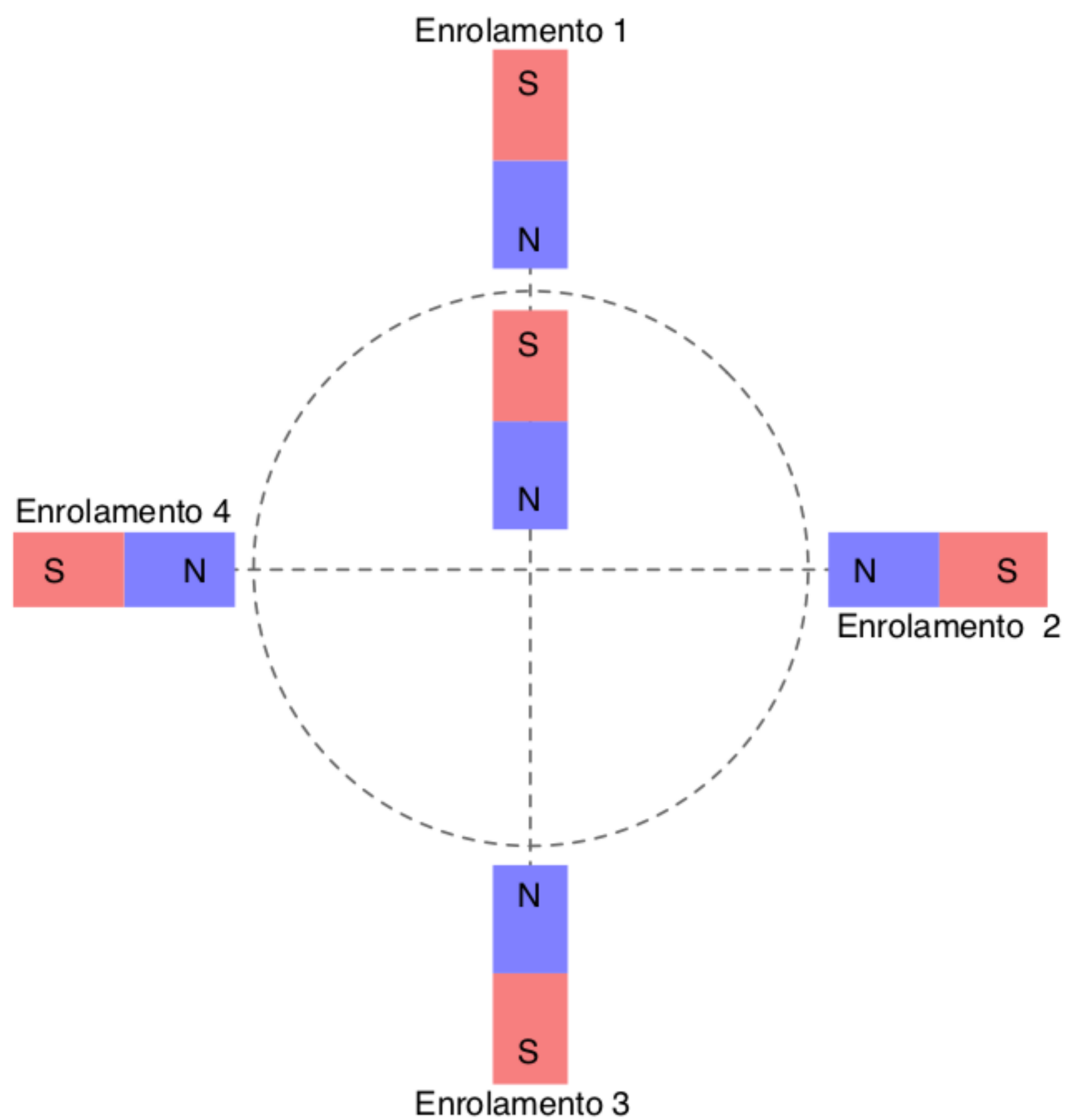


$$v_A = R_A \cdot i_A + L_A \cdot \frac{di_A}{dt} + e_A$$

$$v_B = R_B \cdot i_B + L_B \cdot \frac{di_B}{dt} + e_B$$

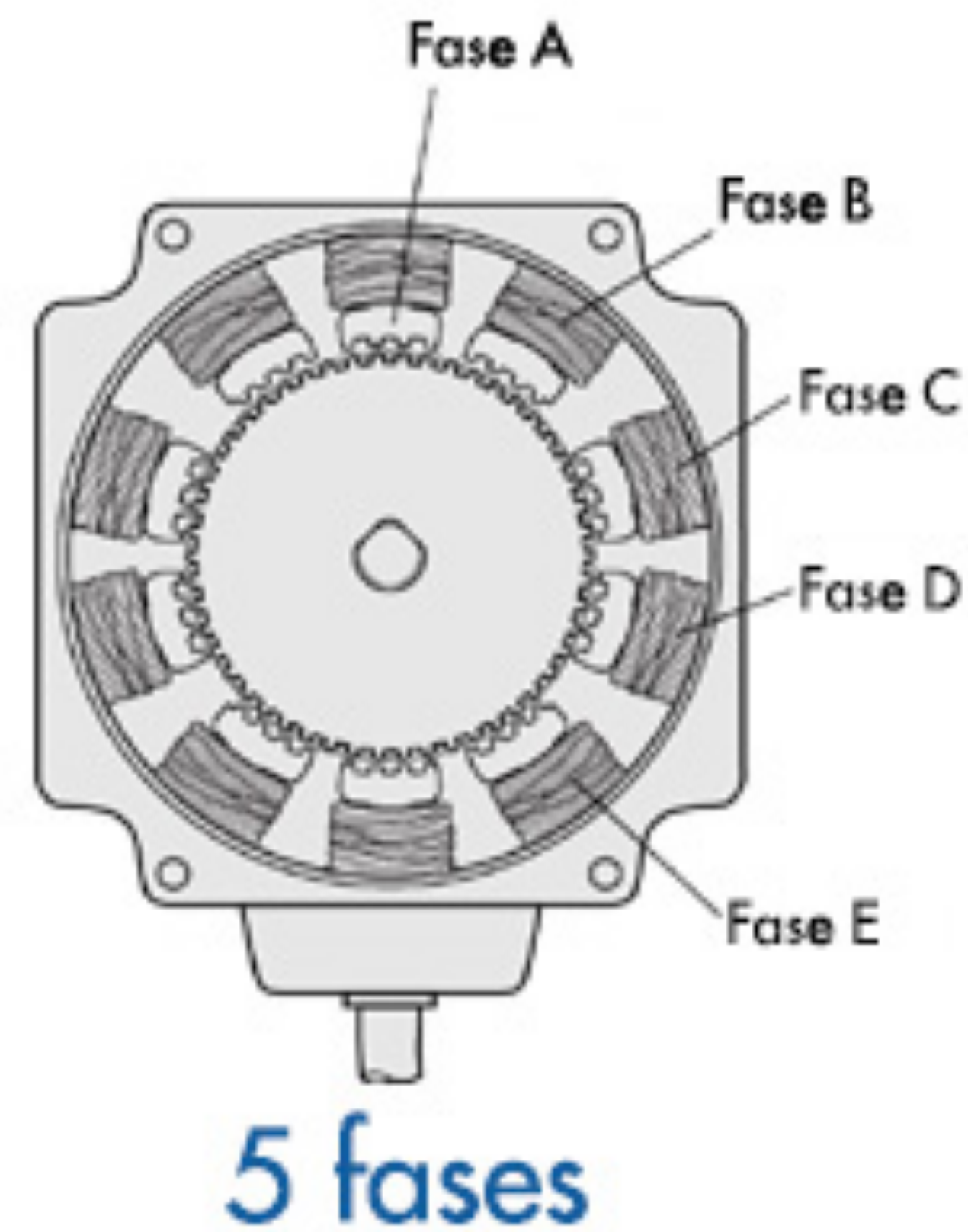
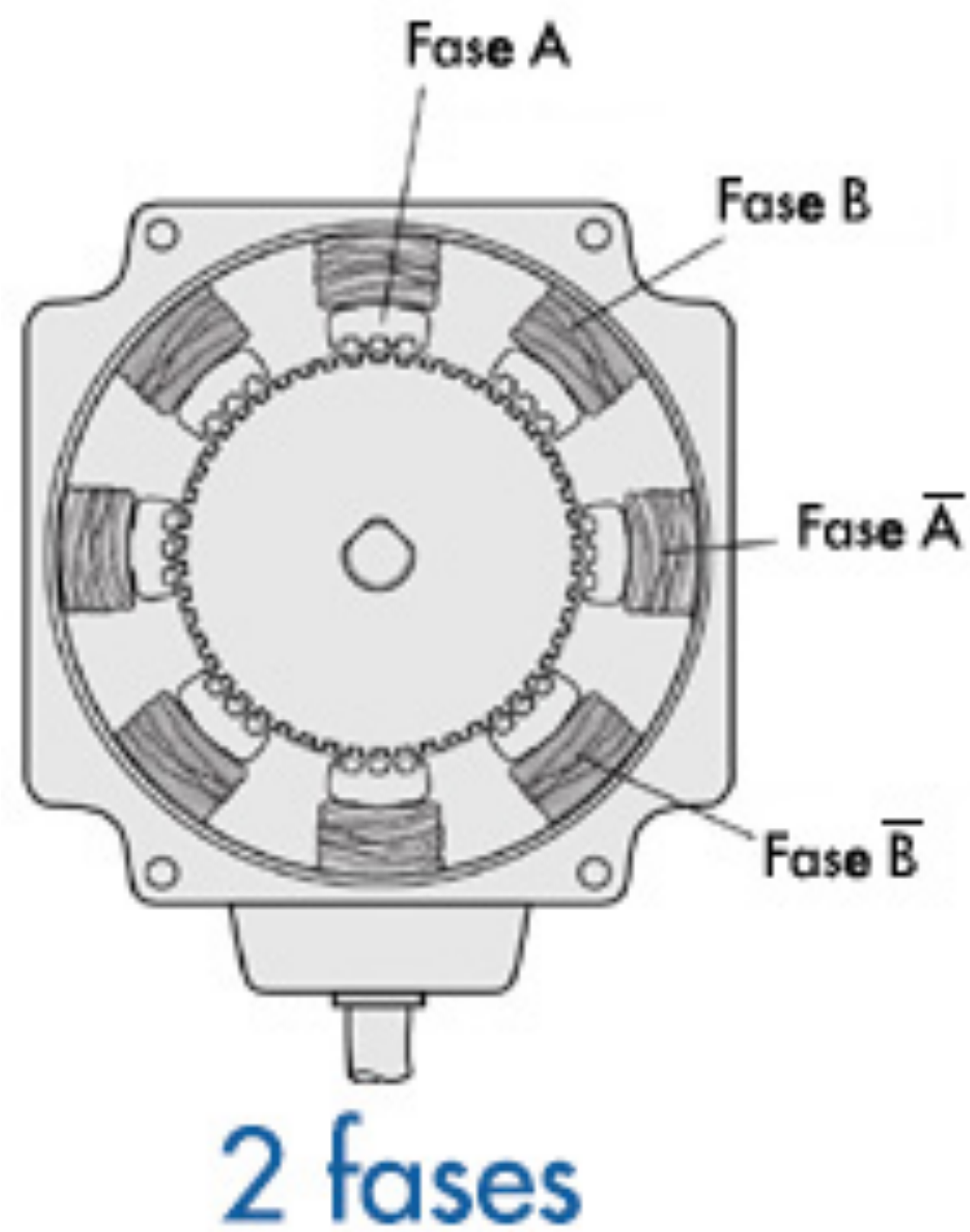
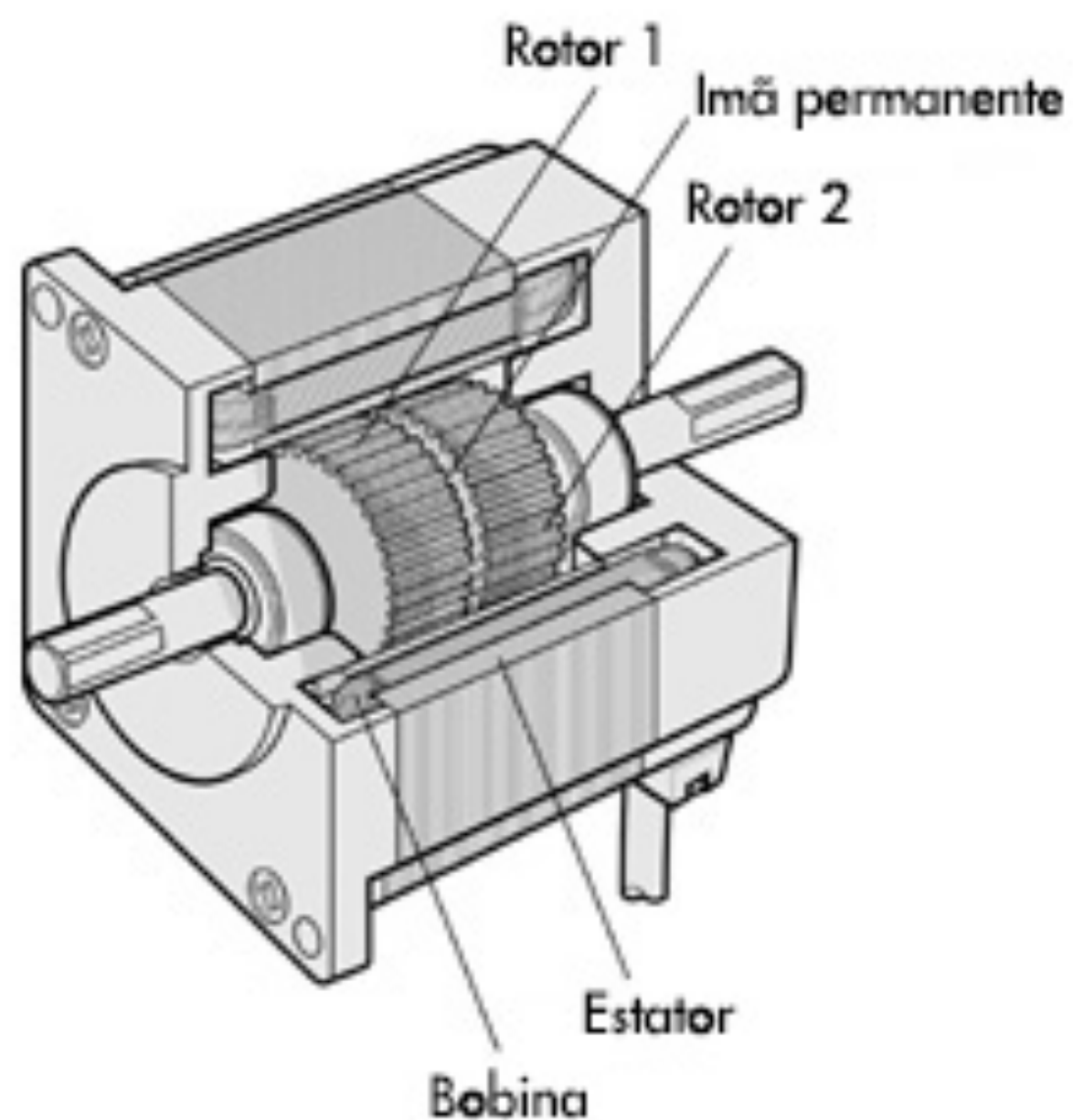
Conexões dos motores de passo

Fases de um motor de passo:



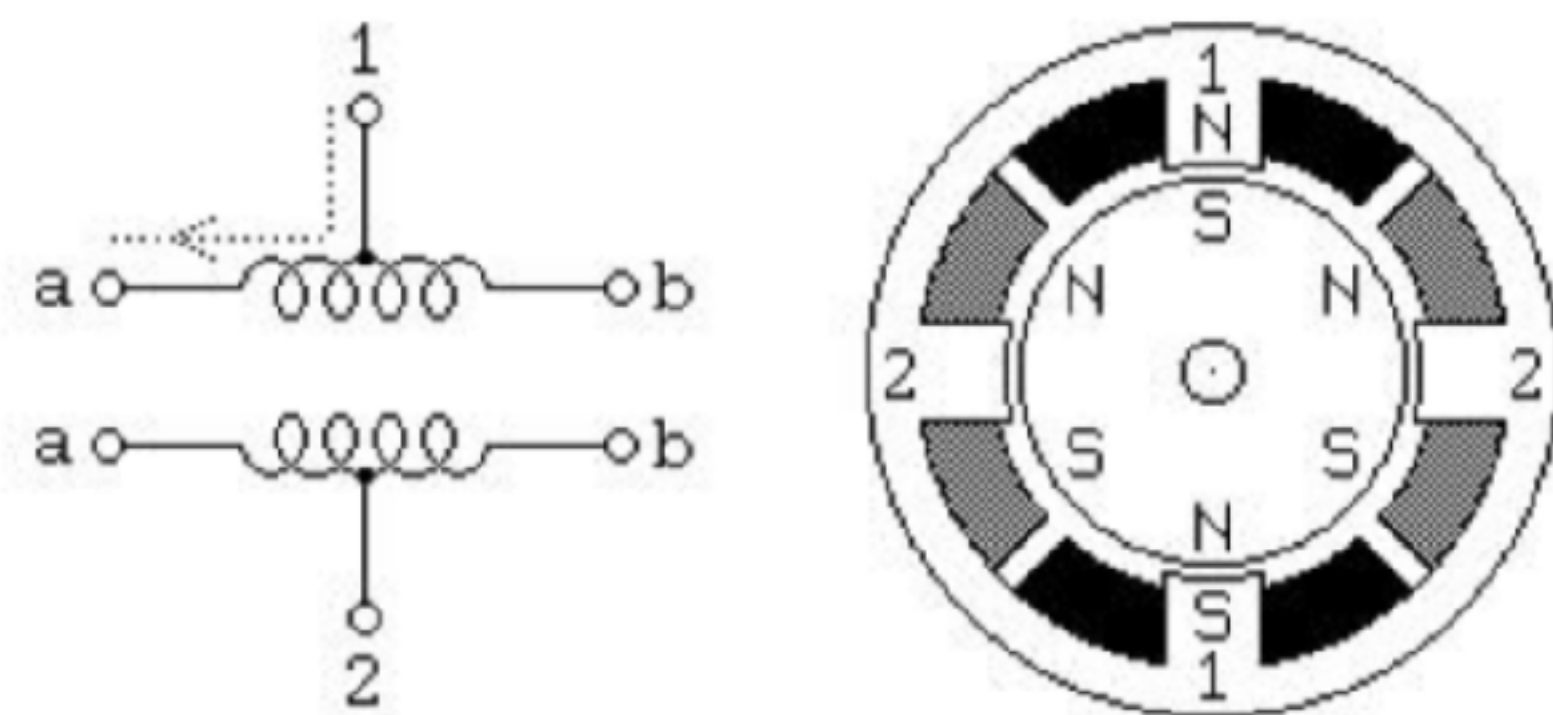
Conexões dos motores de passo

Fases de um motor de passo:

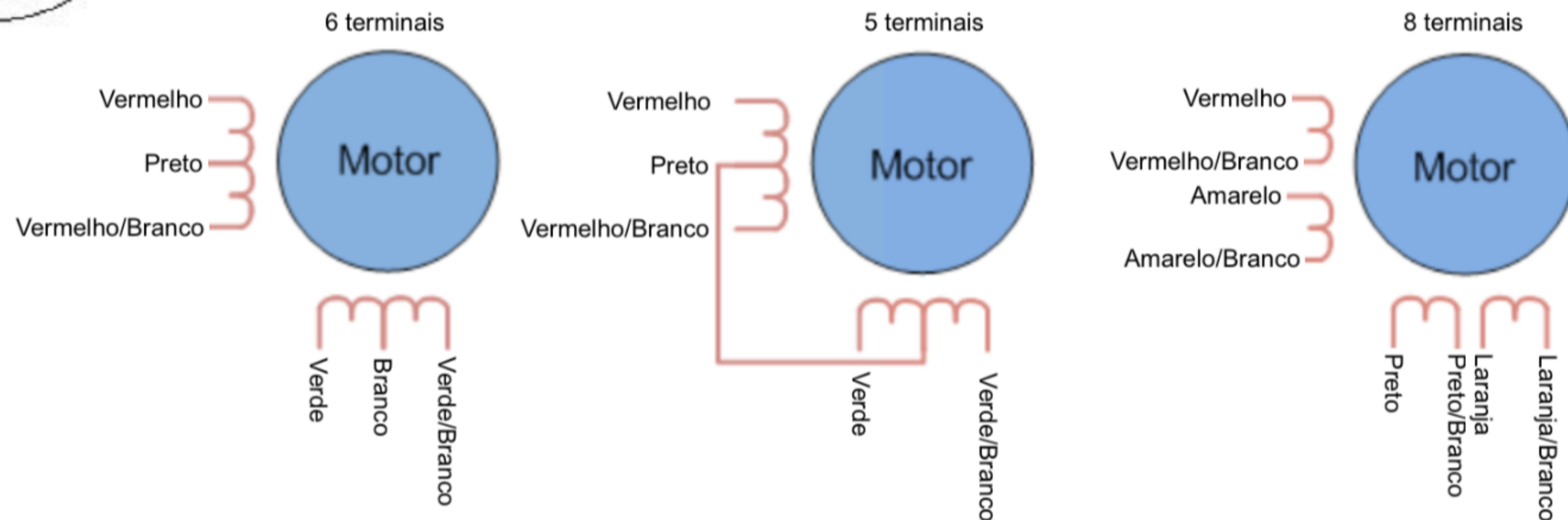


Conexões dos motores de passo

Motores de passo unipolares:



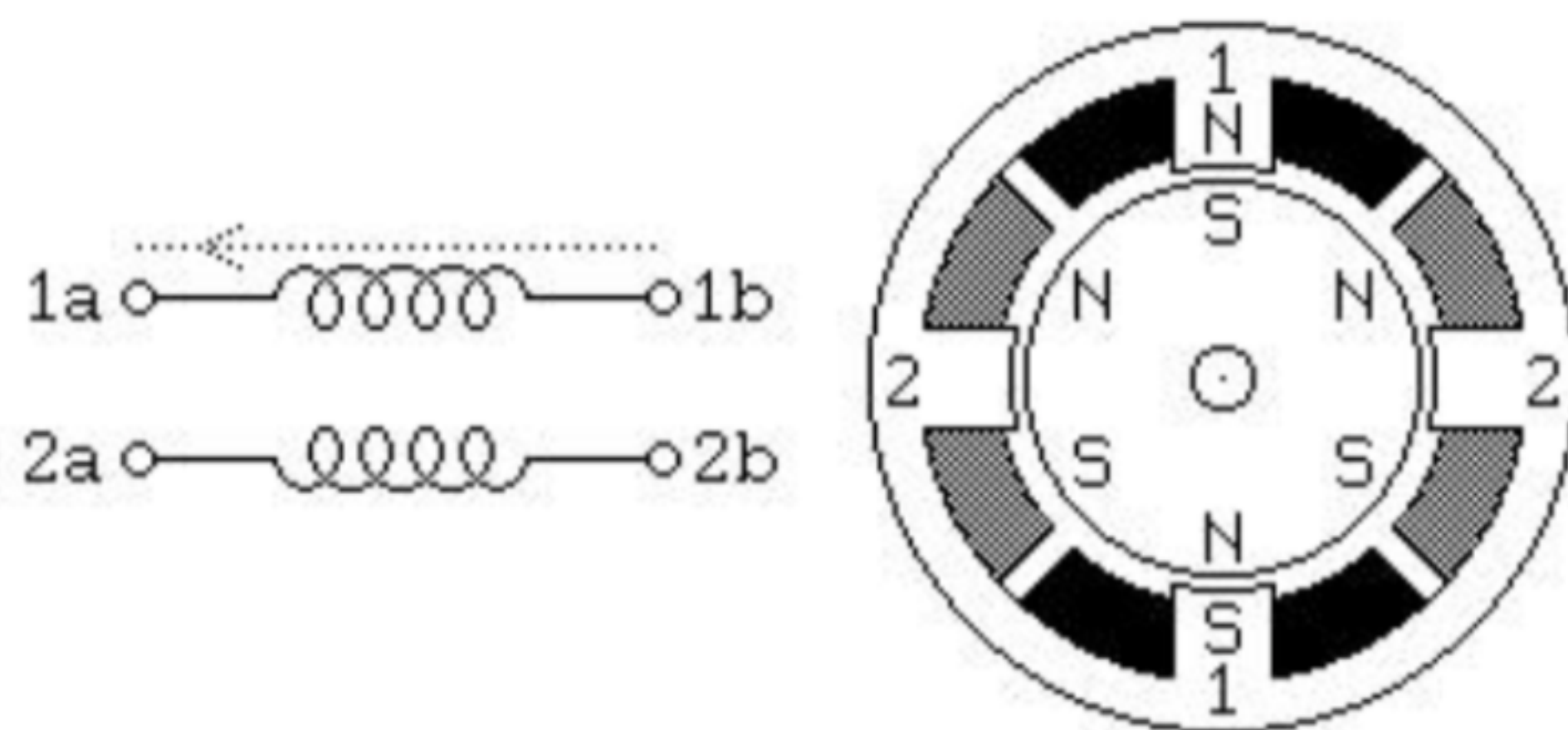
Fonte: (Brites e Santos, 2008)



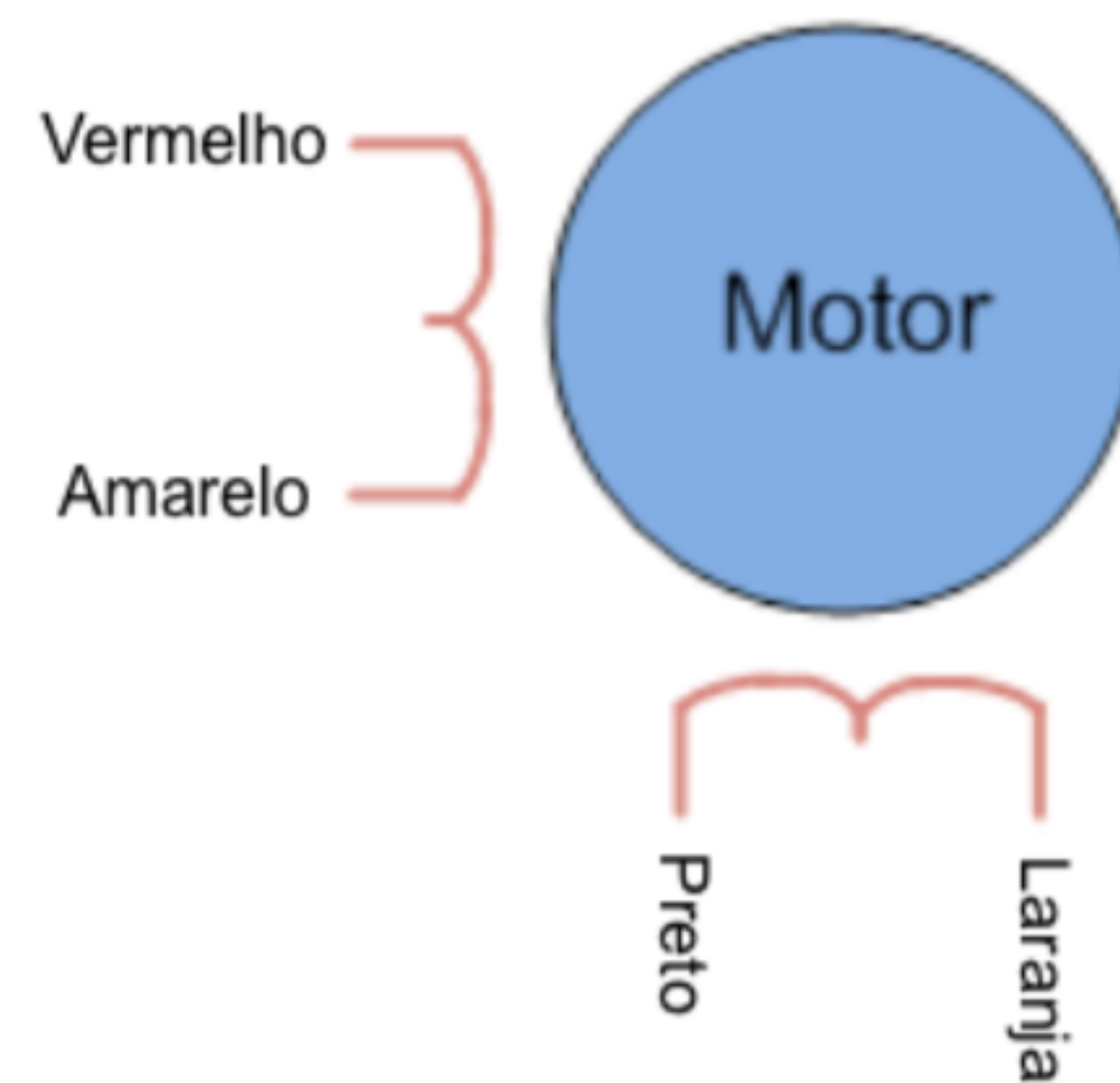
Fonte: <https://www.feis.unesp.br> e <https://www.engineersgarage.com>

Conexões dos motores de passo

Motores de passo bipolares:



Fonte: (Brites e Santos, 2008)

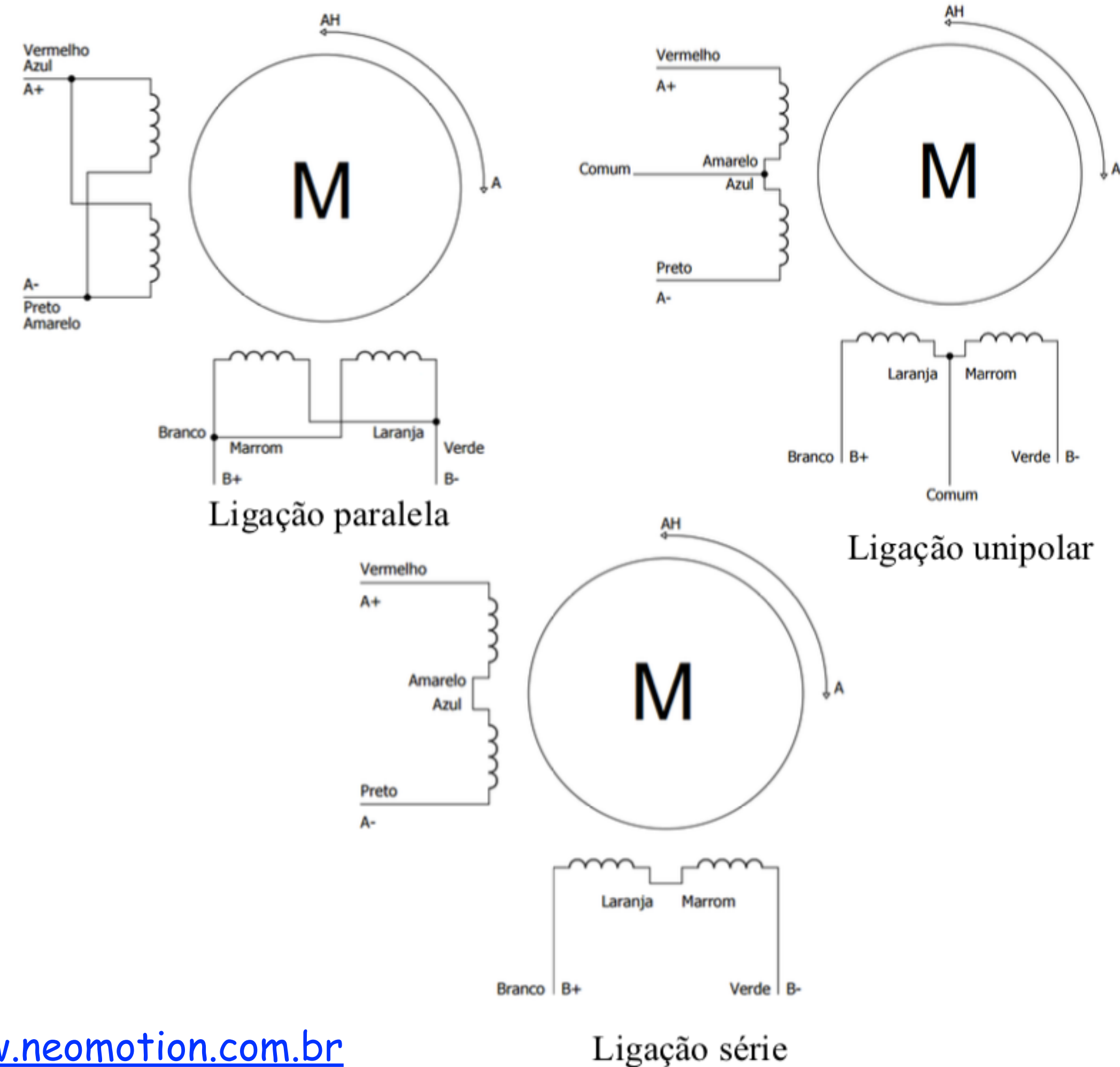


Fonte: <https://www.feis.unesp.br> e <https://www.engineersgarage.com>

Conexões dos motores de passo

Motores de passo unipolares e bipolares:

- 4 terminais - Os motores de 4 fios permitem apenas a conexão do tipo bipolar série;
- 6 terminais - Motores de 6 fios podem ser conectados fazendo-se a ligação bipolar série ou unipolar;
- 8 terminais - Os motores de 8 fios podem ser ligados em todos os tipos de conexões mostradas na figura, que são bipolar série, bipolar paralela e unipolar.



Circuitos de acionamento de motores de passo

Modos de passo:

- Passo completo - O passo completo é realizado energizando ambas as fases (A e B) e alternando-se o sentido de corrente nas mesmas. Por exemplo, para um motor que executa 200 passos completos por rotação, se terá um ângulo de $1,8^\circ$ para cada passo completo ($360^\circ/200$);
- Meio passo - Neste caso o número de passos para uma volta completa será o dobro do modo passo completo, implicando, para um motor de 200 passos completos por rotação, em um deslocamento de $0,9^\circ$ por passo, o que é obtido energizando-se uma fase e em seguida ambas as fases, de maneira alternada. Este modo apresenta um torque menor do que no modo passo completo;
- Micropasso - No modo de acionamento de micropassos, um passo completo é dividido em passos menores, obtido aplicando-se correntes com intensidades variáveis nos enrolamentos do motor. O torque é em torno de 30% menor do que no modo de passo completo. O movimento neste modo de acionamento é muito suave, sendo utilizado quando se tem necessidade de posicionamentos exatos e grande gama de velocidades para o motor.



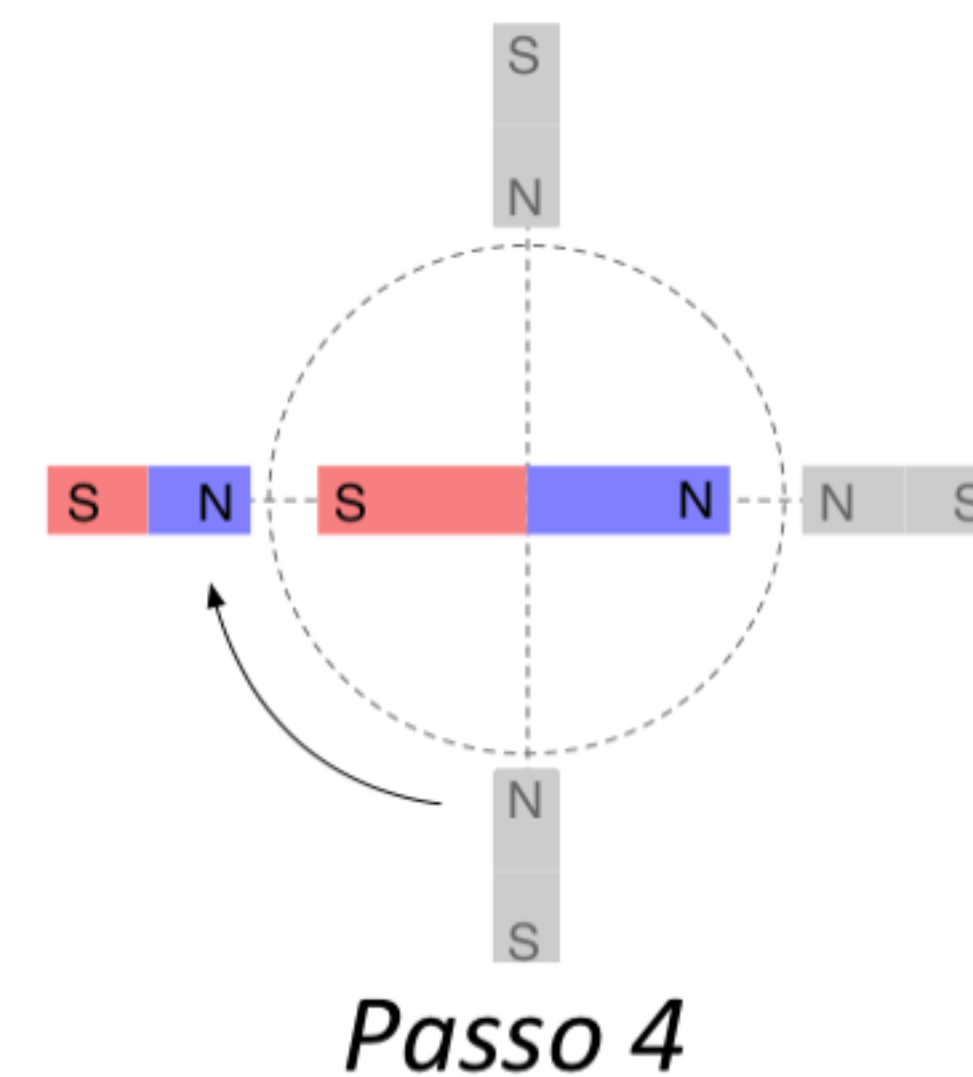
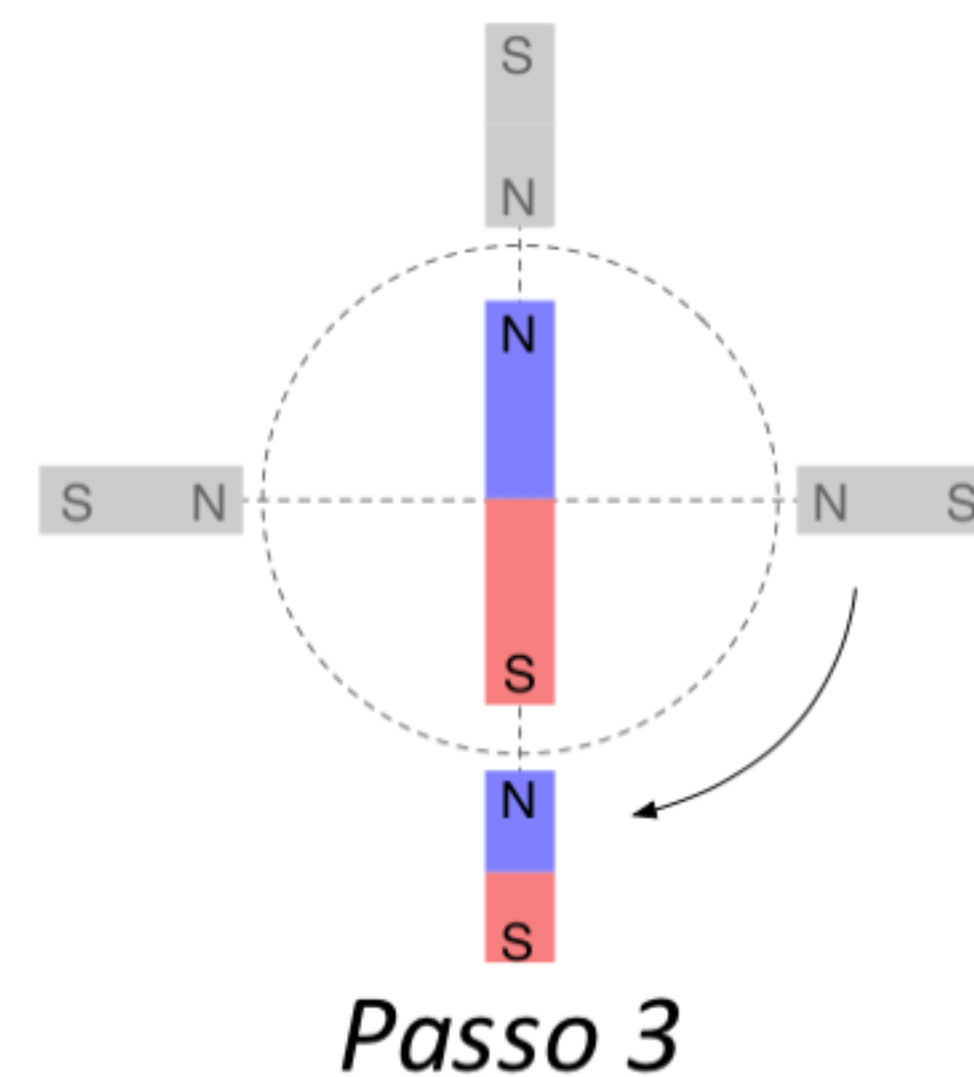
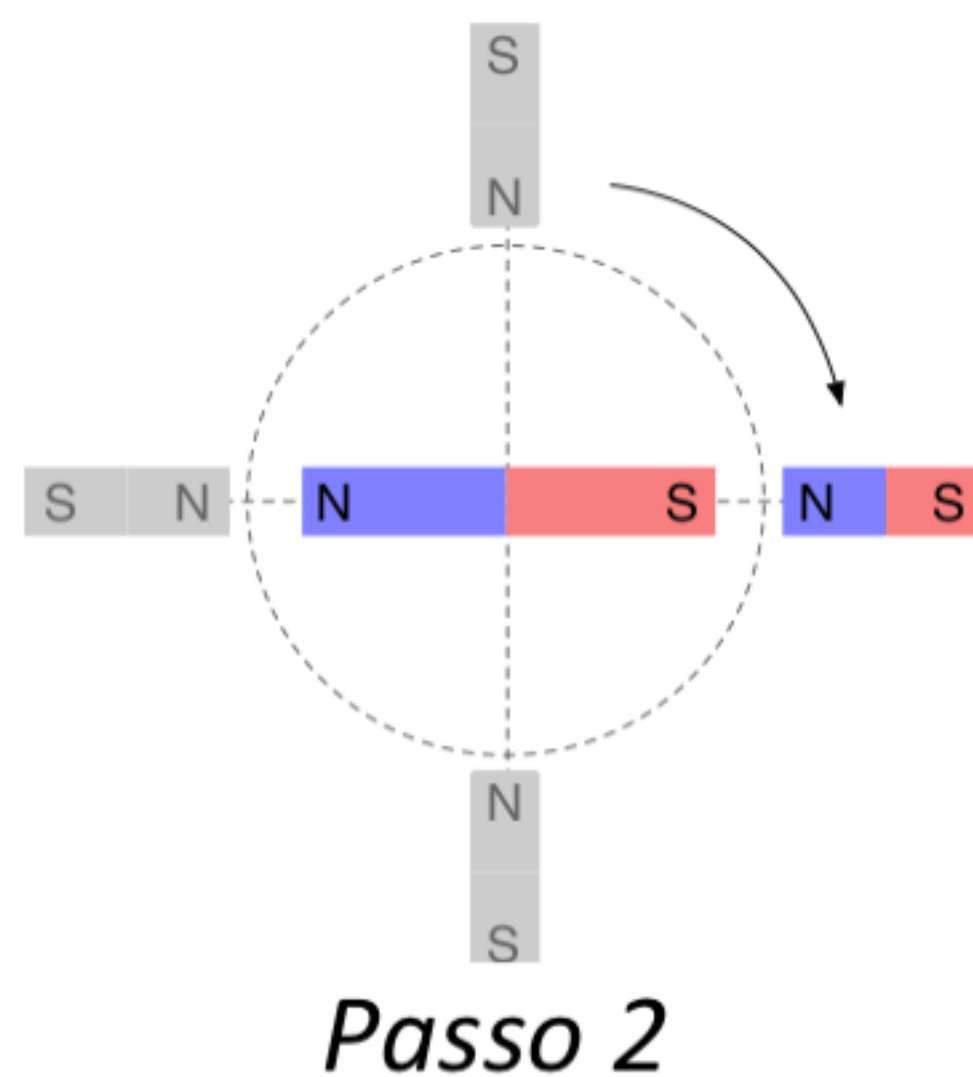
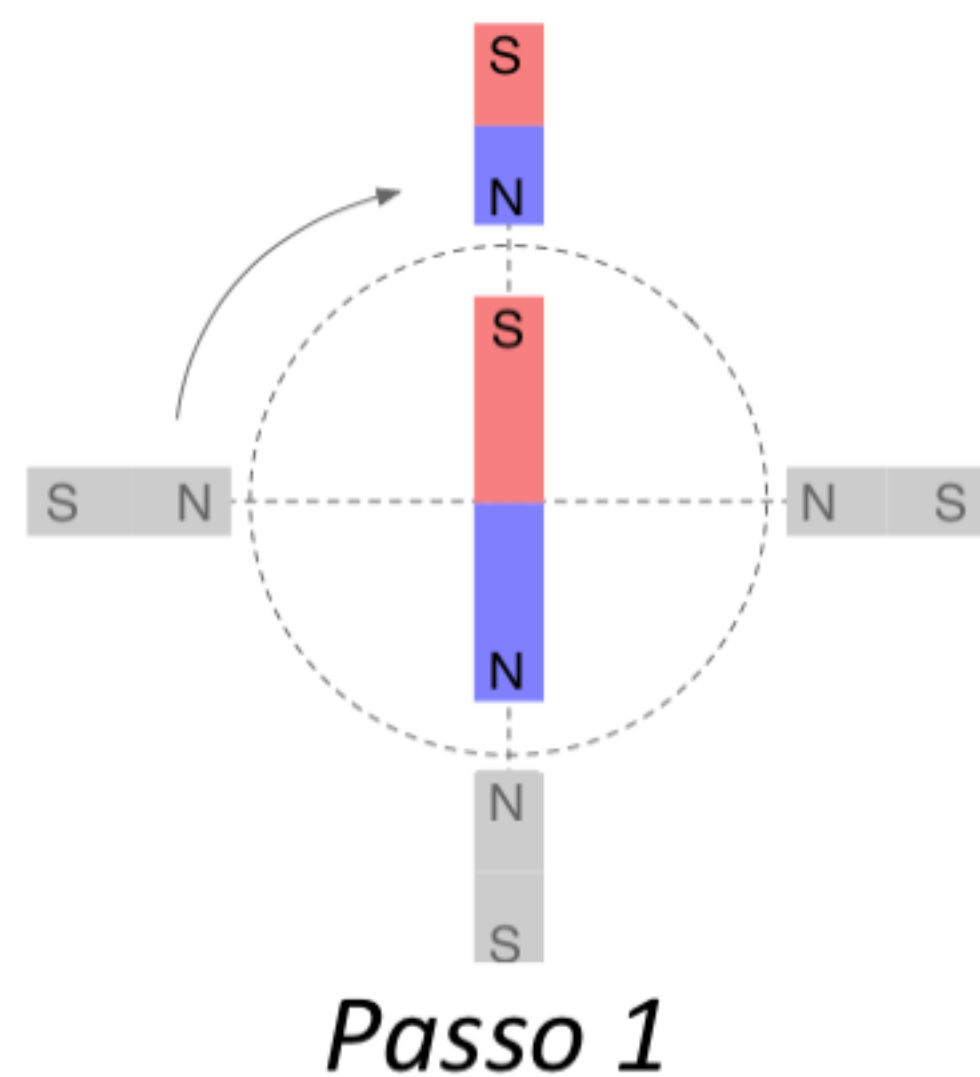
Passo completo e meio passo



Micropassos

Circuitos de acionamento de motores de passo

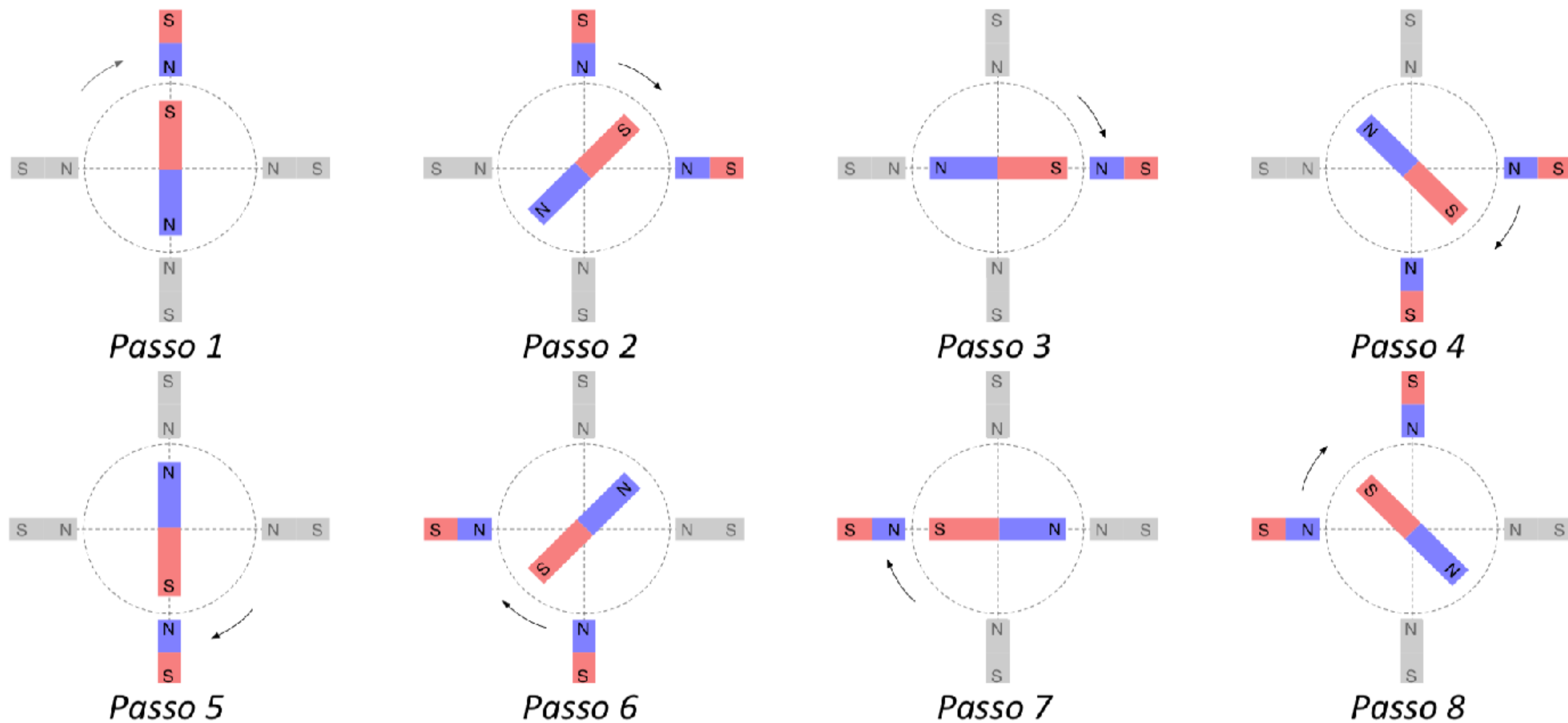
Acionamento de motor de passo unipolar com passo inteiro:



Fonte: Adaptado de (Brites e Santos, 2008)

Circuitos de acionamento de motores de passo

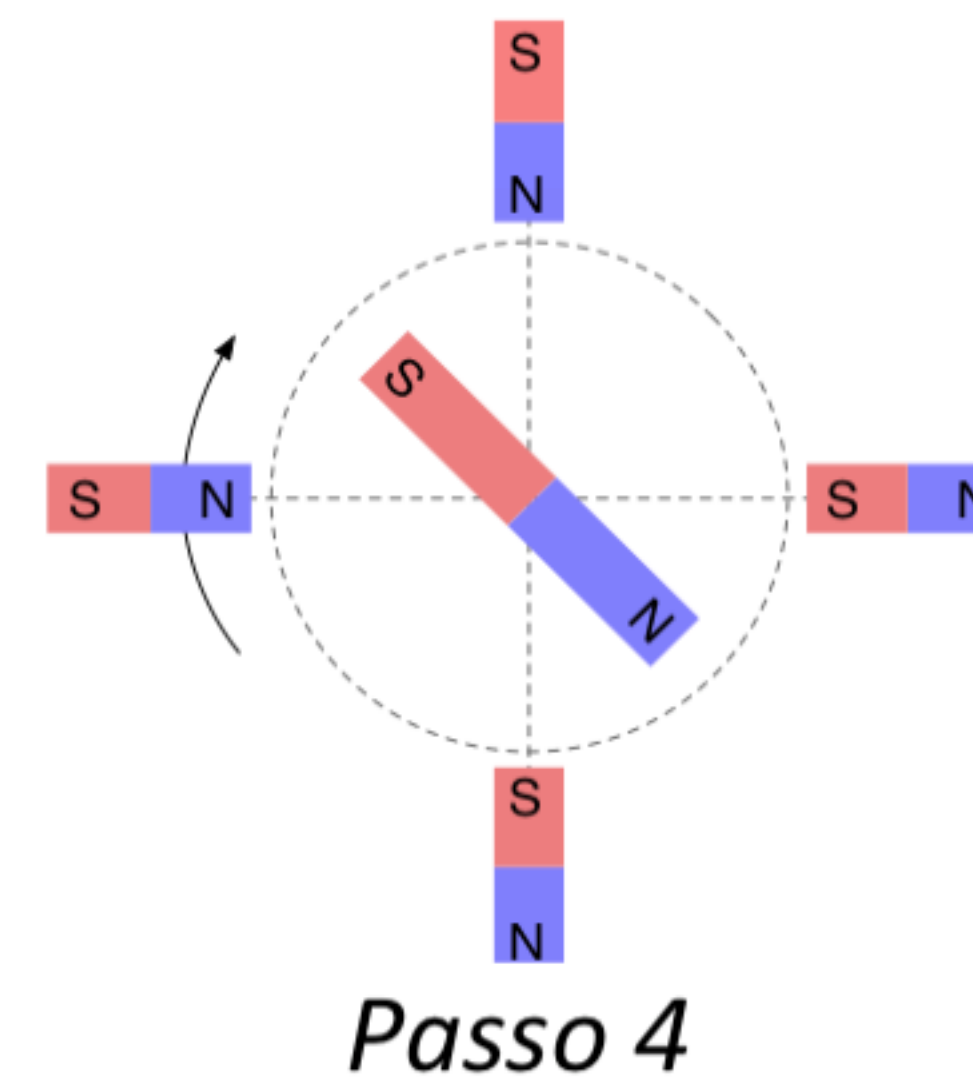
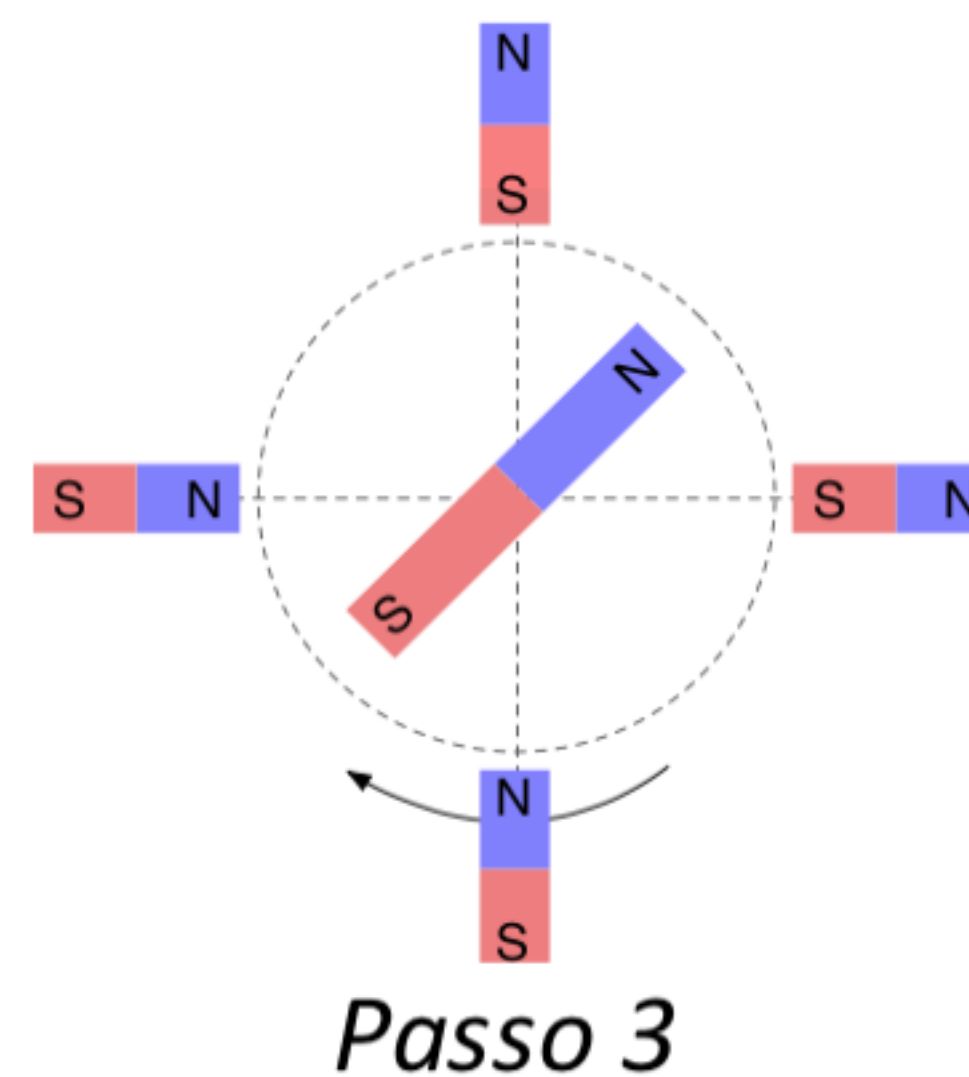
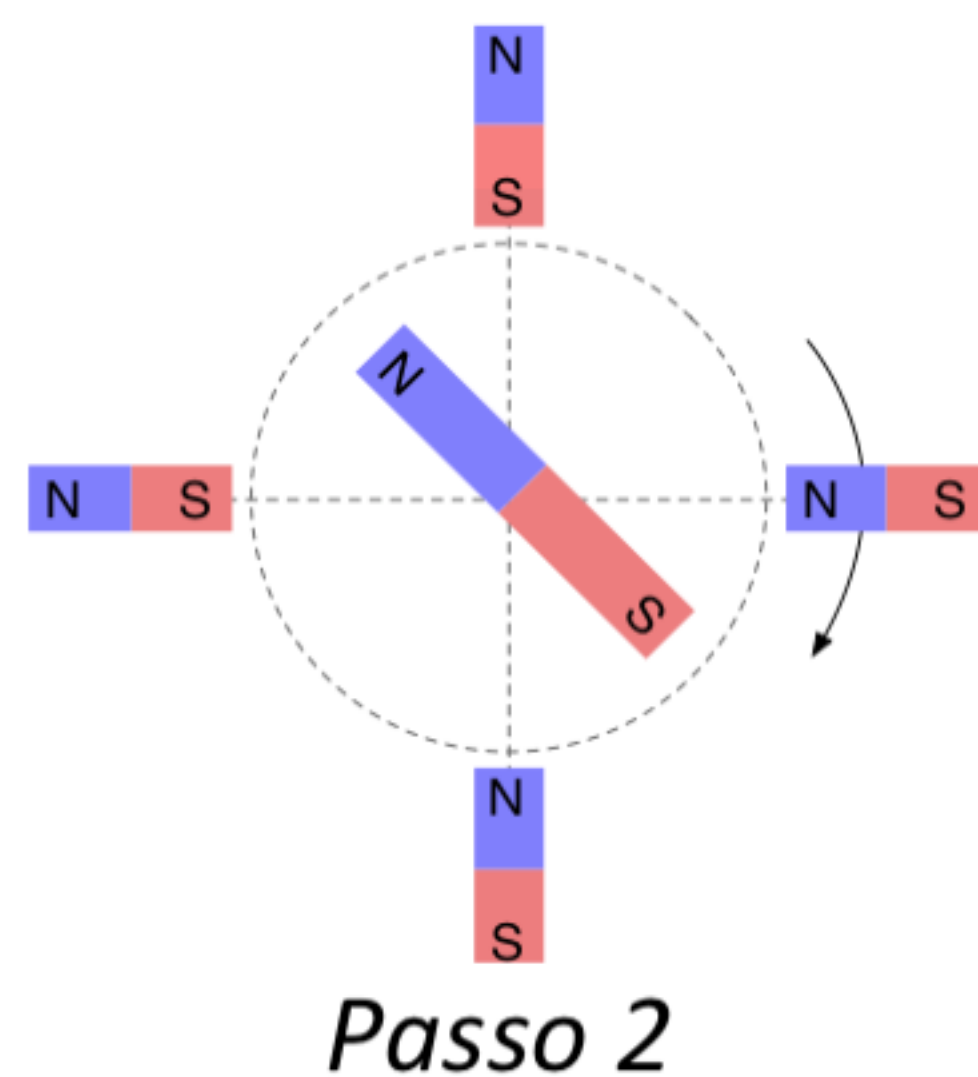
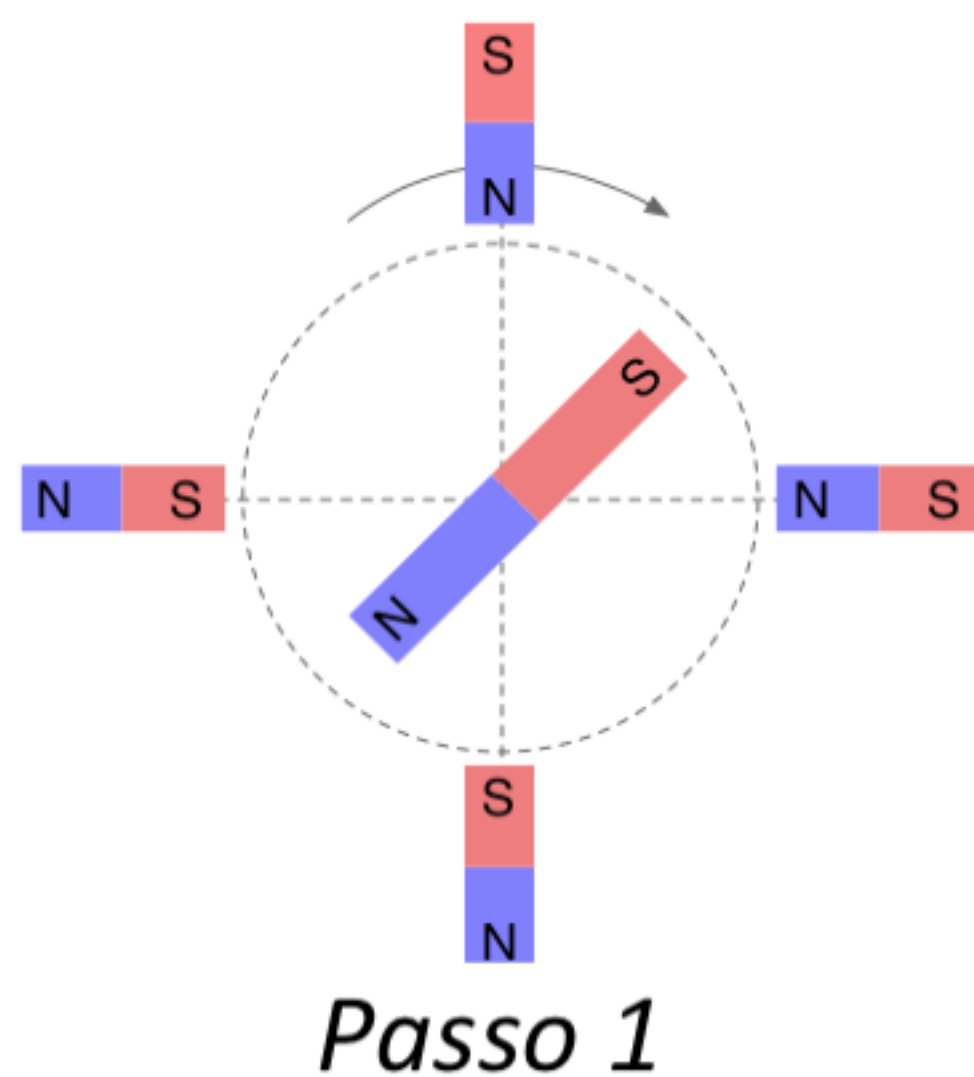
Acionamento de motor de passo unipolar com meio passo:



Fonte: Adaptado de (Brites e Santos, 2008)

Circuitos de acionamento de motores de passo

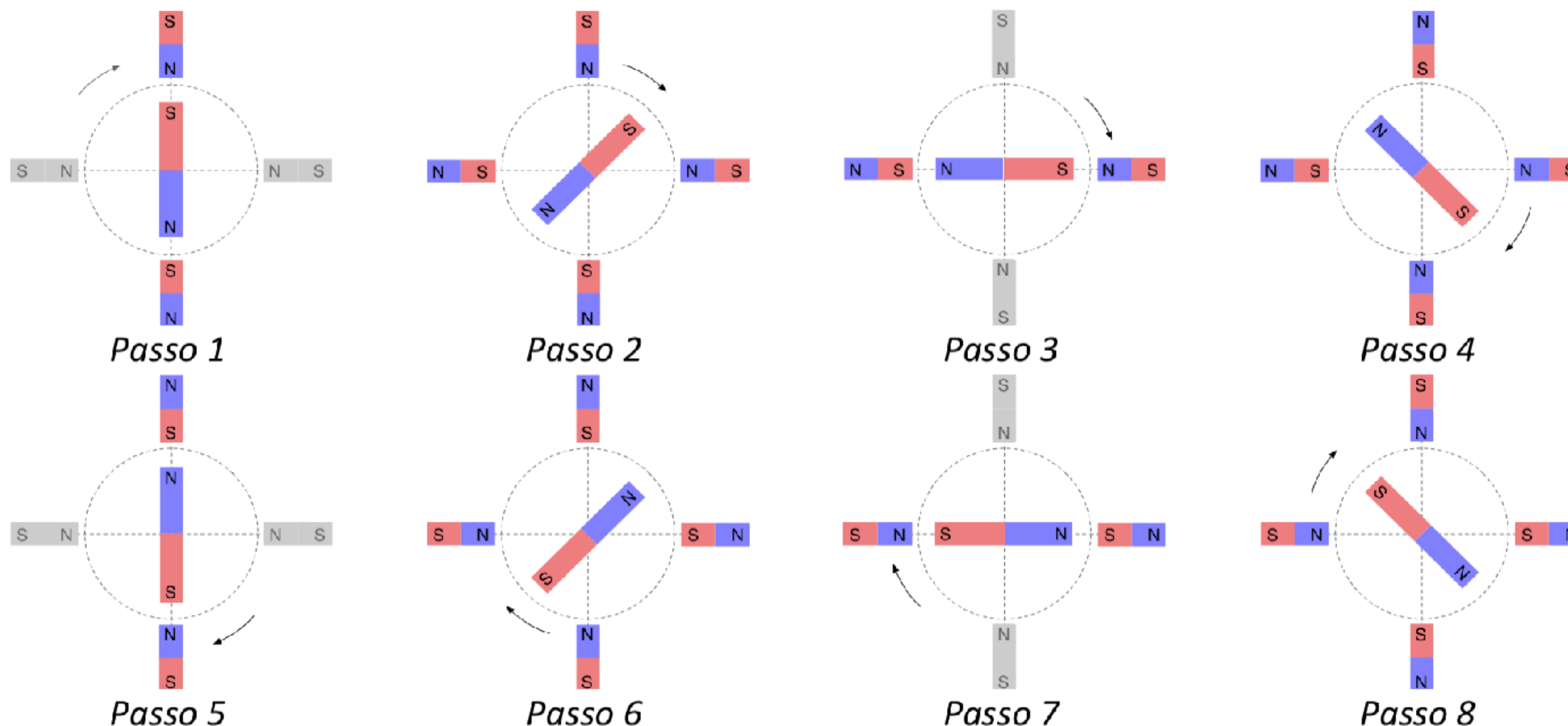
Acionamento de motor de passo bipolar com passo inteiro:



Fonte: Adaptado de (Brites e Santos, 2008)

Circuitos de acionamento de motores de passo

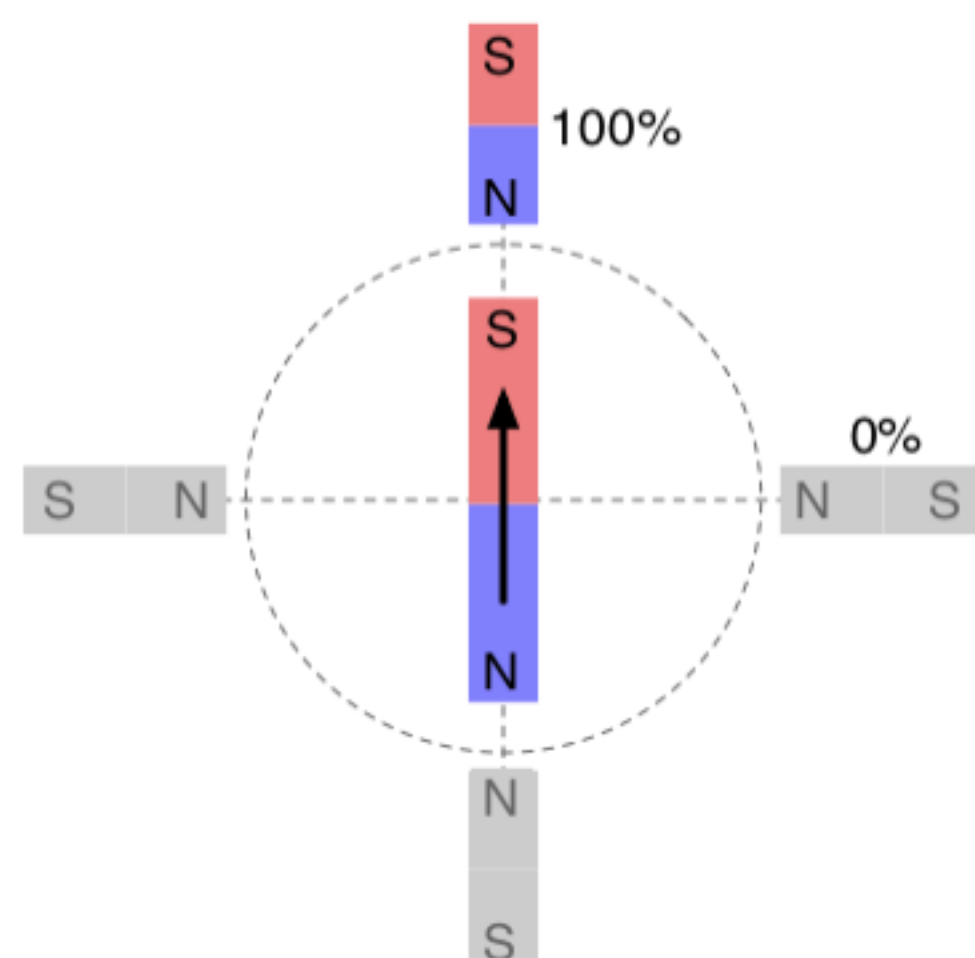
Acionamento de motor de passo bipolar com meio passo:



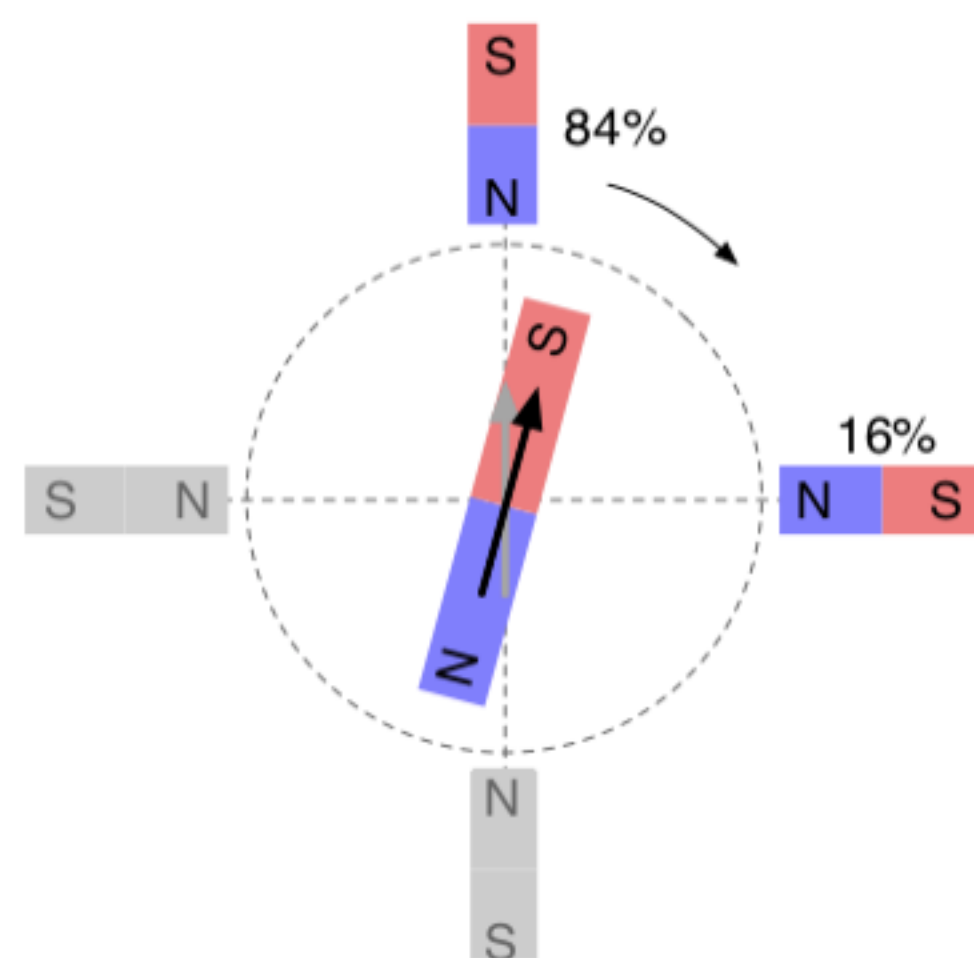
Fonte: Adaptado de (Brites e Santos, 2008)

Circuitos de acionamento de motores de passo

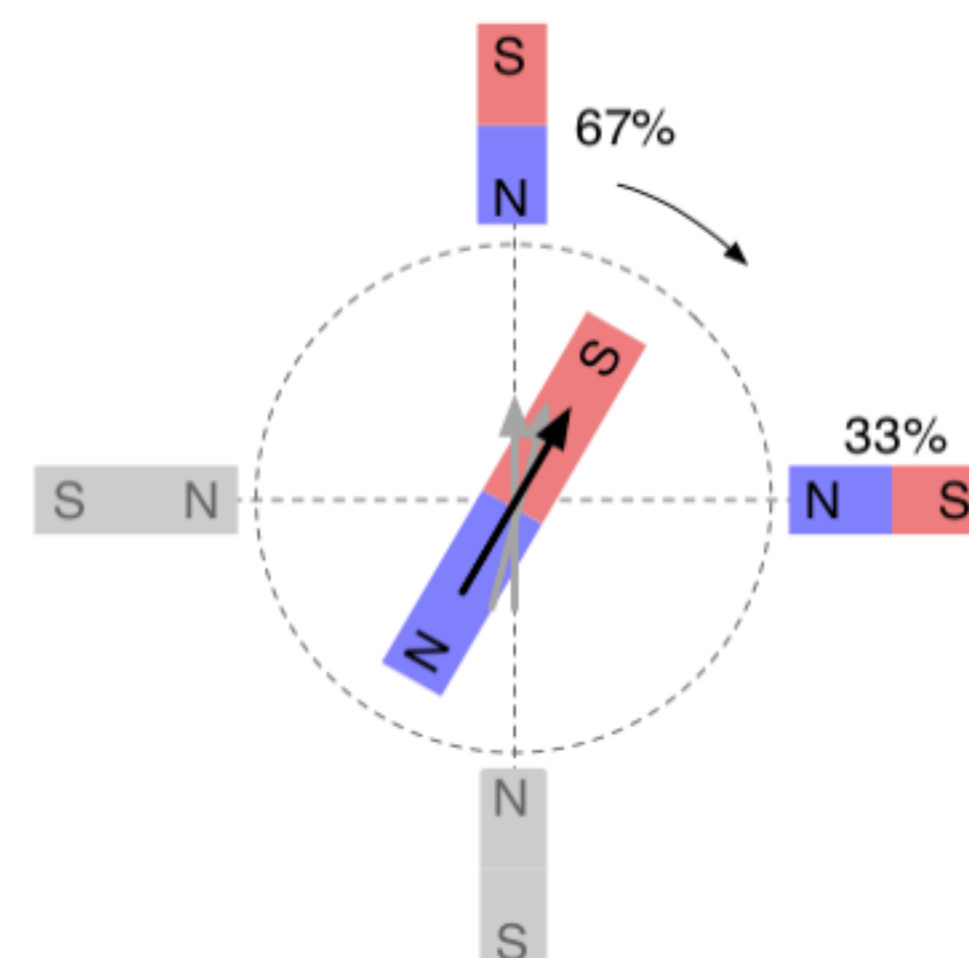
Acionamento de motor de passo unipolar com micropassos:



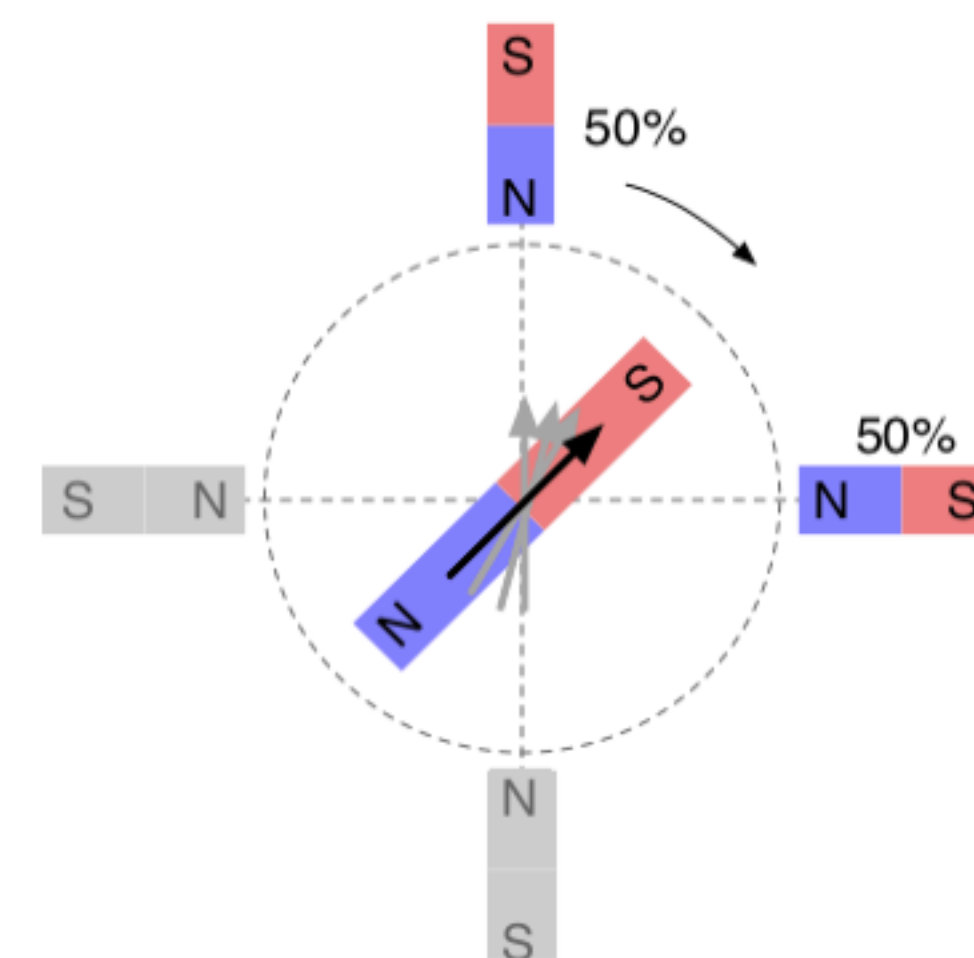
Micropasso 1



Micropasso 2



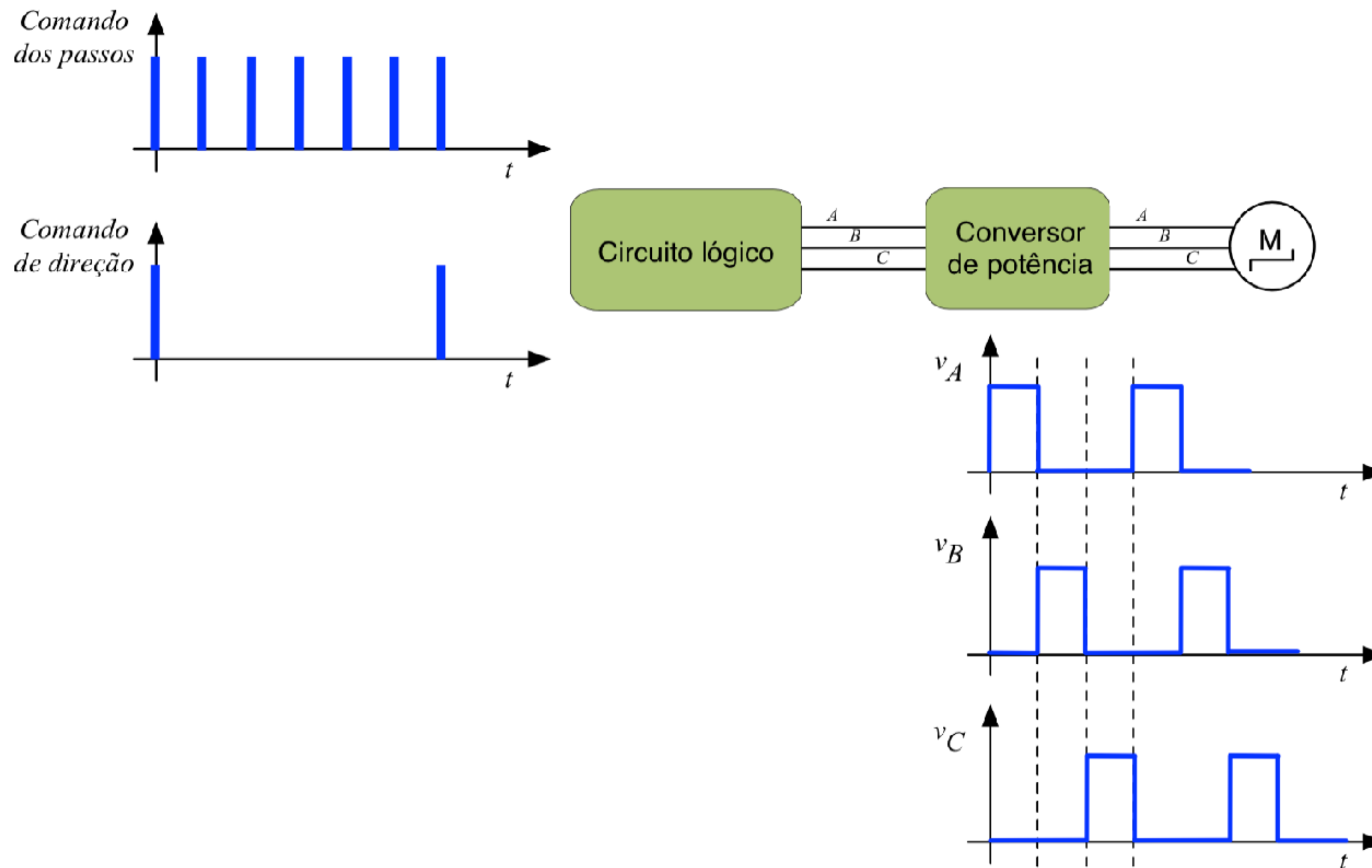
Micropasso 3



Micropasso 4

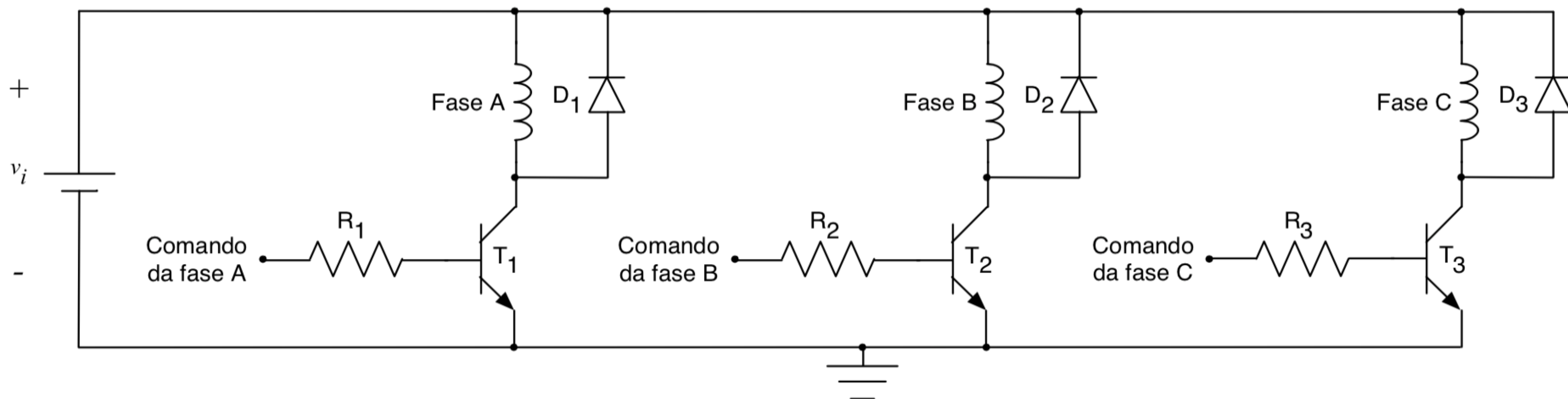
Circuitos de acionamento de motores de passo

Acionamento de motores de passo:



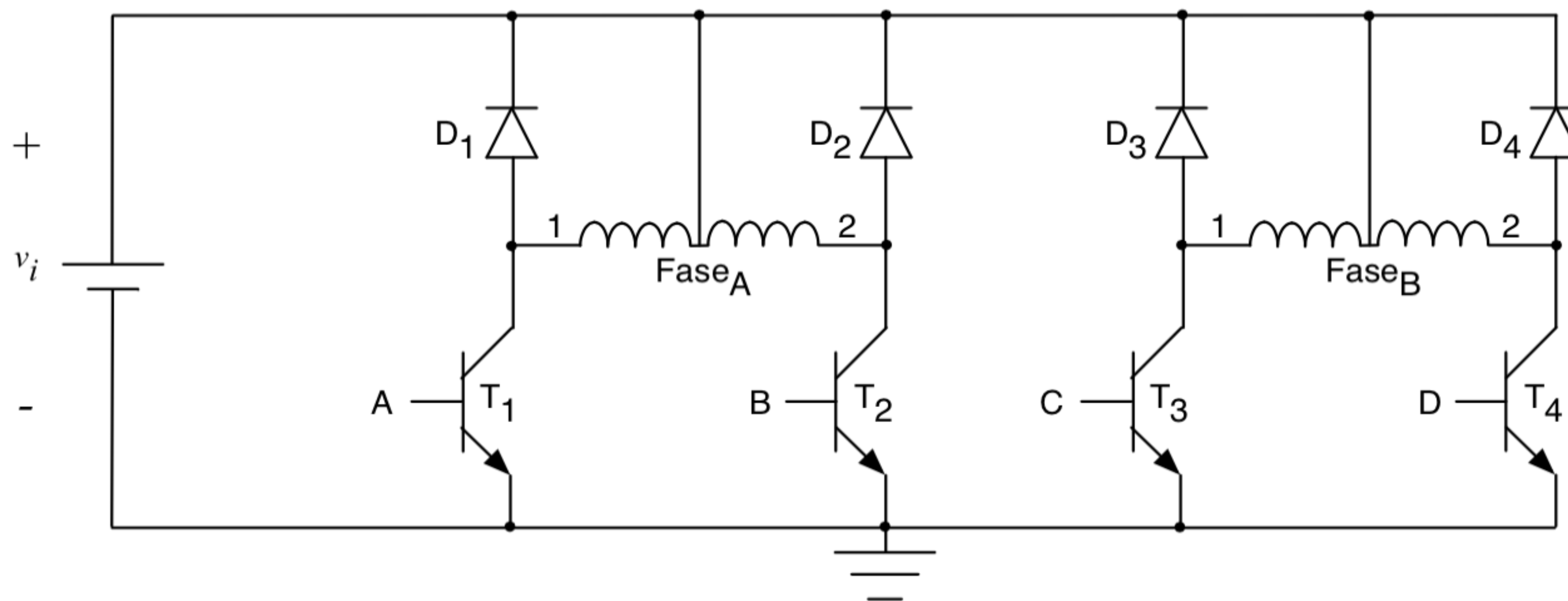
Circuitos de acionamento de motores de passo

Acionamento de motores de passo de relutância variável:



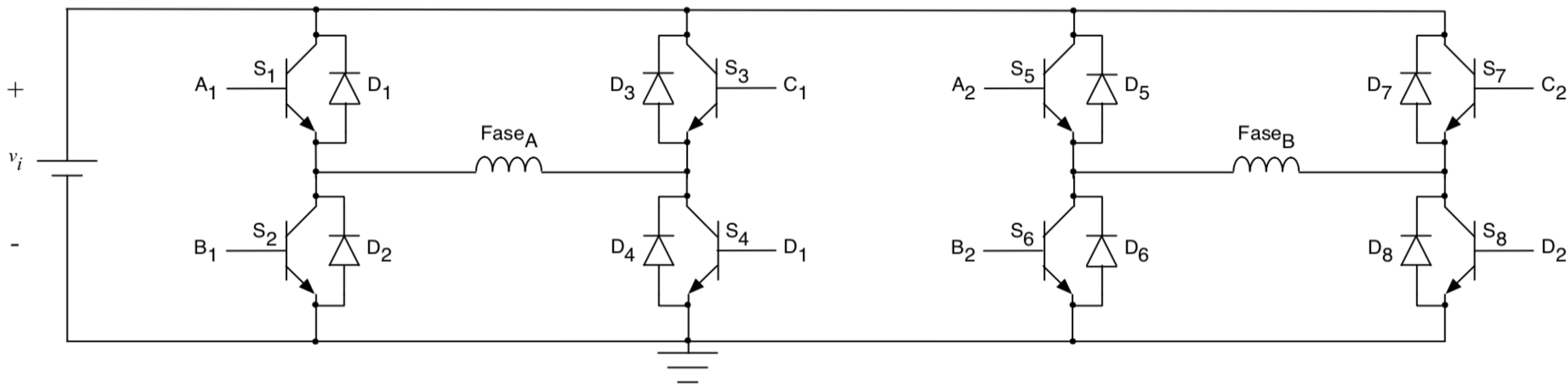
Circuitos de acionamento de motores de passo

Acionamento de motores de passo unipolar:



Circuitos de acionamento de motores de passo

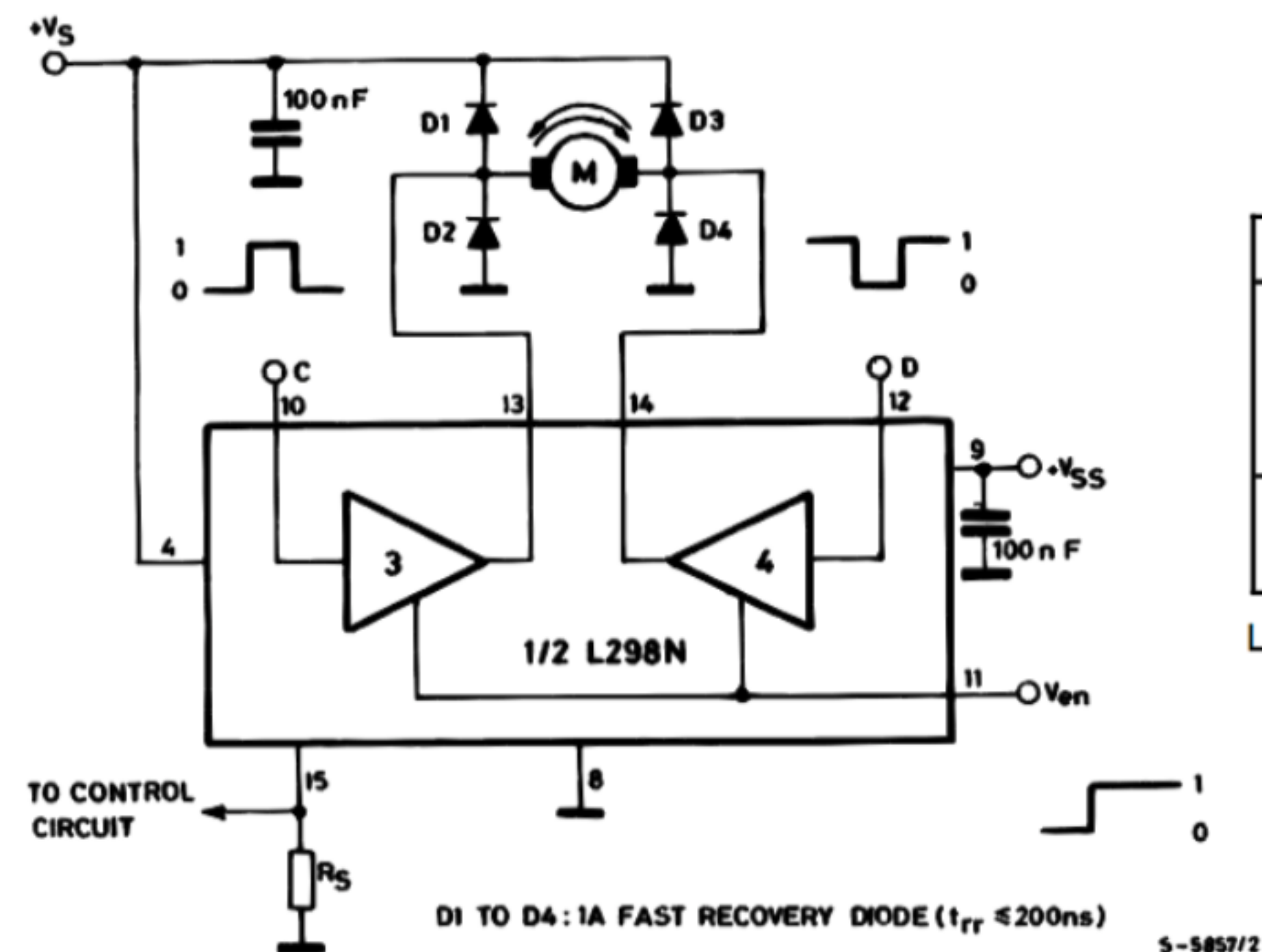
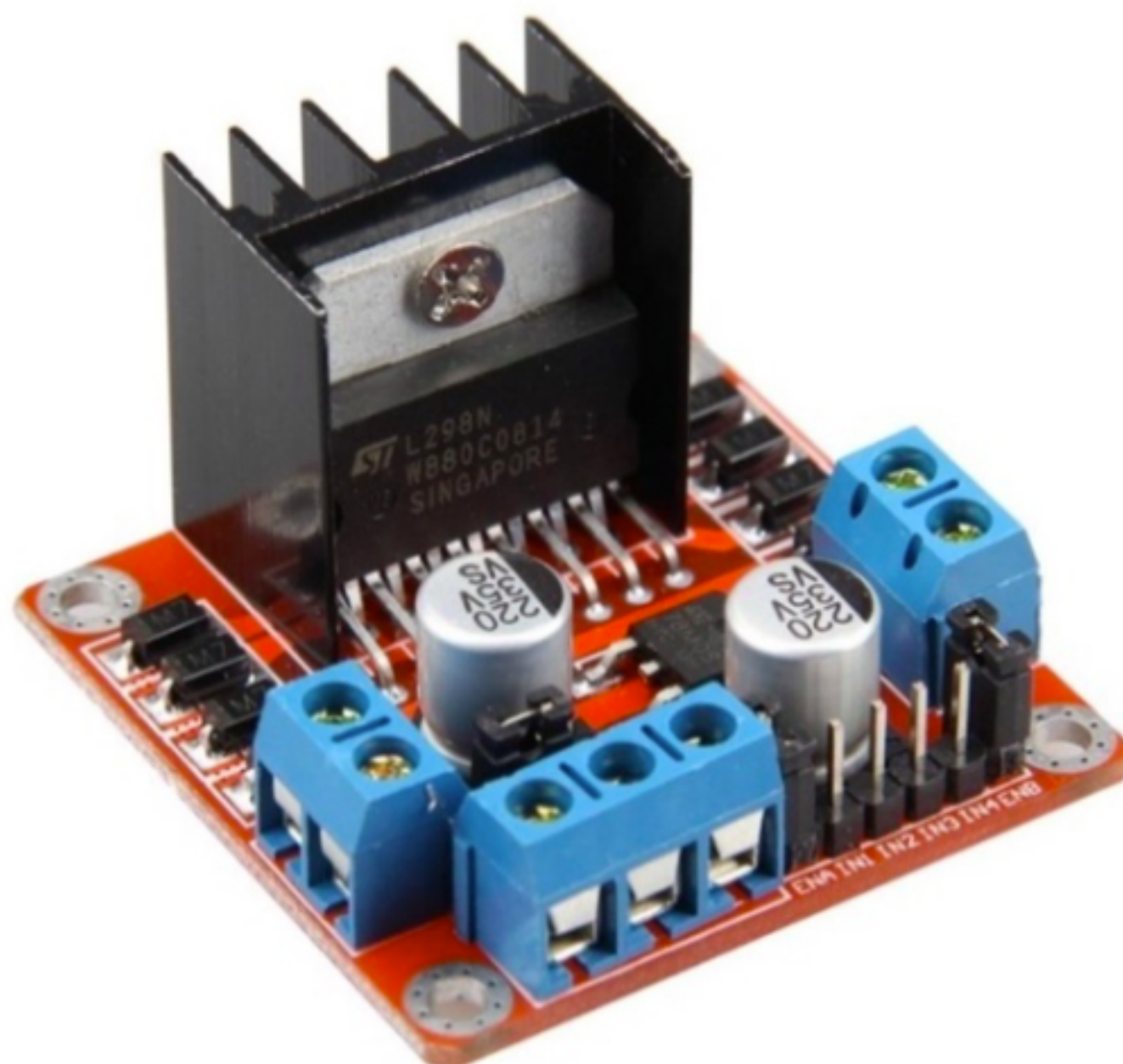
Acionamento de motores de passo bipolar:



Fonte: Adaptado de <https://www.feis.unesp.br>

Circuitos de acionamento de motores de passo

Acionamento de motores de passo com circuitos integrados:



Inputs		Function
$V_{en} = H$	$C = H ; D = L$	Forward
	$C = L ; D = H$	Reverse
	$C = D$	Fast Motor Stop
$V_{en} = L$	$C = X ; D = X$	Free Running Motor Stop

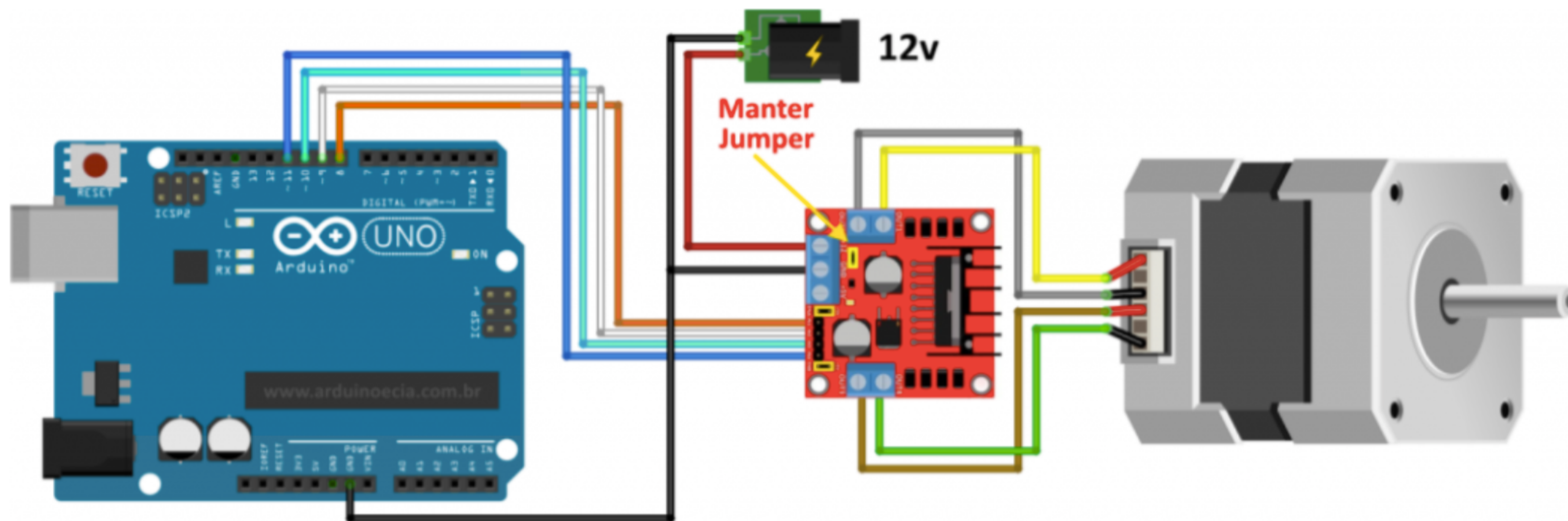
L = Low

H = High

X = Don't care

Circuitos de acionamento de motores de passo

Acionamento de motores de passo com circuitos integrados:

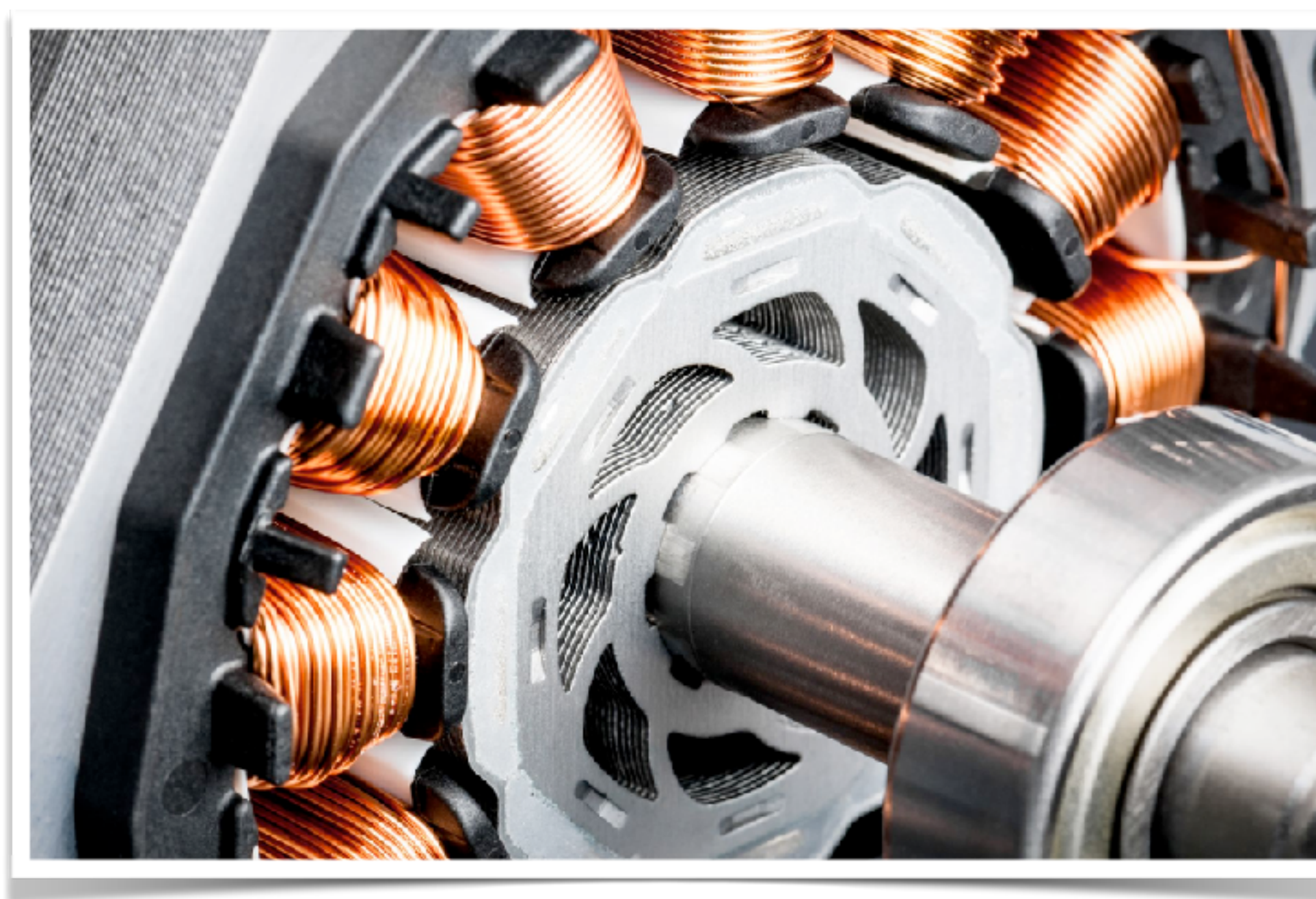


Próxima Aula

Motores sem escovas (brushless)



Fonte: <https://www.faulhaber.com>



Fonte: <https://www.automate.org>