

UFMG  
UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE MINAS GERAIS

## Introdução à Robótica

### Motores e Transmissão

Prof. Douglas G. Macharet  
douglas.macharet@dcc.ufmg.br

DCC  
VERAB  
DEPARTAMENTO DE  
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

## Motores

- Energia Elétrica → Energia Mecânica
- *Direct Current* (DC)
  - Corrente contínua
  - Amplamente utilizado em robótica
  - Pequeno, barato, fácil de usar
  - Razoavelmente eficiente


DCC UFMG

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão 2

## Motores

### Como funcionam

- Composição
  - Conjunto de ímãs permanentes
  - Laços de fio sobre um eixo rotativo



DCC UFMG

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão 3

## Motores

### Como funcionam

- Funcionamento
  - Aplicar corrente elétrica através dos laços de fio
  - A corrente reage com campo magnético dos ímãs
  - A interação corrente/campo (laço/ímãs) gira o eixo
  - Comutador altera a direção da corrente no laço
  - O eixo permanece em movimento contínuo

DCC UFMG

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão 4

## Motores

### Como funcionam



DCC UFMG

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão 5

## Motores

### Tipos

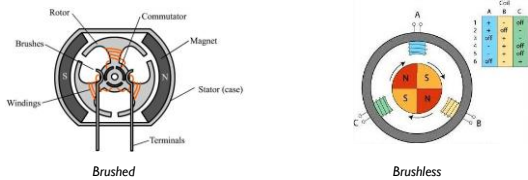
- *Brushed*
  - Baixa tensão, baixo torque, barato
  - Comutador mecânico
  - Uso comercial desde 1886
- *Brushless*
  - Alta tensão, Alto torque, caro
  - Comutador eletrônico
  - Uso comercial a partir de 1962

DCC UFMG

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão 6

## Motores

### Tipos



## Motores

### Propriedades de funcionamento

- Tensão
  - Valor recomendado para alimentar o motor
  - Valor menor → perdem potência
  - Valor maior → reduz o tempo de uso
- Corrente
  - Com tensão constante, o motor consome corrente proporcional ao trabalho que está realizando
  - Sem resistência ao movimento, a corrente consumida é mínima

## Motores

### Eficiência

- Perda de energia na forma de calor
  - Atrito
- Mais simples (brinquedos): 50%
- Melhores (industriais): 90%

## Motores

### Características

- Velocidade
- Torque
- Potência

## Motores

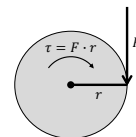
### Características – Velocidade

- Velocidade rotacional ou angular ( $\omega$ )
  - radianos/segundo (rad/s)
  - revoluções/segundo (rps)
  - revoluções/minuto (rpm)
- Proporcional à tensão utilizada

## Motores

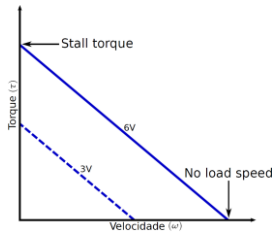
### Características – Torque

- Força de rotação que o motor pode exercer
- Proporcional à corrente utilizada
- Está diretamente relacionada à distância do eixo



## Motores

### Velocidade vs. Torque



- **Stall torque:** Torque máximo, sem rotação do eixo
- **No load speed:** Velocidade máxima, sem exercer torque

DCC 111

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

13

## Motores

### Características – Potência

- Proporcional ao produto da velocidade e torque

$$P = \omega \cdot \tau$$

- **Potência = 0**
  - **Velocidade = 0**
    - Motor parado, produzindo torque máximo
  - **Torque = 0**
    - Velocidade com seu valor máximo
    - Motor rodando livremente, sem carga no eixo

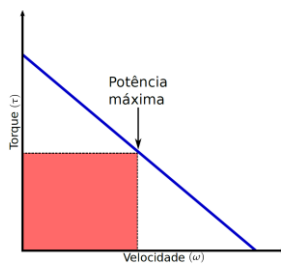
DCC 111

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

14

## Motores

### Potência: Velocidade vs. Torque



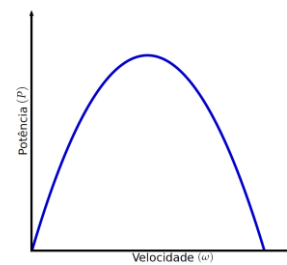
DCC 111

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

15

## Motores

### Velocidade vs. Potência



DCC 111

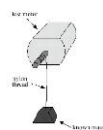
Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

16

## Motores

### Medindo torque máximo

- Prender um fio de nylon ao eixo e a um peso conhecido
- Ligar o motor e observar o fio se enrolar no eixo
- Continuar até o motor não levantar mais o peso
- Medir o raio da bobina formada pelo fio de nylon
  - **Stall torque** = raio da bobina  $\times$  massa



DCC 111

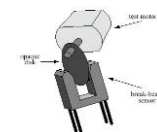
Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

17

## Motores

### Medindo velocidade máxima em RPM

- Um disco opaco e leve deve ser colocado ao eixo
- Utilizar um sensor *break-beam*
- Maioria dos motores varia entre 3000 e 9000 RPM
  - Provavelmente não é possível utilizar Interactive C



DCC 111

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

18

## Motores

### Pulse Width Modulation (PWM)

- Controle de velocidade
- Liga/Desliga rapidamente a tensão no motor
- Razão cíclica (*duty cycle*)
  - Duração do pulso/Período
- Chaveando a tensão com a razão cíclica apropriada, a saída se aproximará do nível de tensão desejado

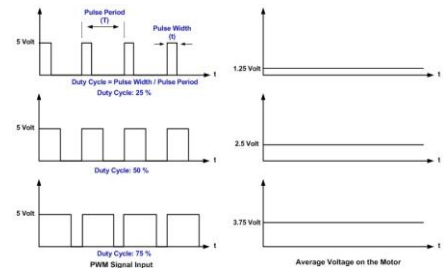


Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

19

## Motores

### Pulse Width Modulation (PWM)



Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

20

## Motores

### Servo

- Utilizado para girar à uma posição específica
- Componentes
  - Motor DC
  - Redução
  - Sensor de posição do eixo
  - Circuito eletrônico de controle
- Muito utilizado em veículos radiocontrolados
  - Aeromodelos, carros, barcos



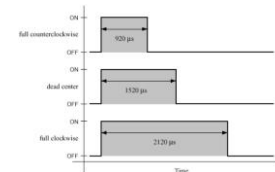
Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

21

## Motores

### Servo

- Controlado utilizando-se PWM
  - Velocidade: Determinada a partir da razão cíclica geral
  - Posição: Determinada pela duração do pulso



Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

22

## Engrenagens

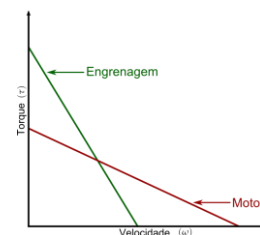
- Problema
  - Motores DC: Alta velocidade, baixo torque
  - Robôs: Alto torque, baixa velocidade
- Solução
  - Engrenagens
  - Utilizadas para substituir velocidade por torque



Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

23

## Engrenagens



- Velocidade/Torque alterados na mesma proporção



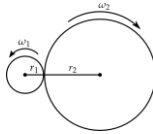
Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

24

## Engrenagens

### Agrupando engrenagens

- Engrenagens de tamanhos diferentes
- Raios determinam a transferência de torque
  - Engrenagem motriz → Engrenagem impulsionada
- Questões
  - Dado  $\omega_1$ , qual o valor de  $\omega_2$ ?
  - Dado  $\tau_1$ , qual o valor de  $\tau_2$ ?



## Engrenagens

### Agrupando engrenagens

- As engrenagens possuem velocidade linear igual
 
$$v_1 = v_2$$

$$\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2$$
- Velocidade e torque resultantes são obtidos por
 
$$\omega_2 = (r_1/r_2) \cdot \omega_1$$

$$\tau_2 = (r_2/r_1) \cdot \tau_1$$
- onde  $(r_2/r_1)$  é a razão de transmissão (*gear ratio*)

## Engrenagens

### Agrupando engrenagens

- Redução
  - $r_1 = 1, r_2 = 2$  (2 : 1)
  - Dobro do torque, metade da velocidade
- Aumento
  - $r_1 = 2, r_2 = 1$  (1 : 2)
  - Metade do torque, dobro da velocidade

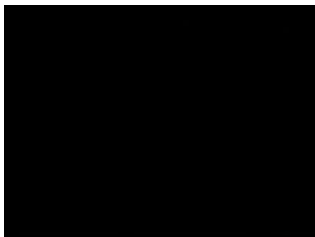
## Engrenagens

### Agrupando engrenagens

- Dependendo do sistema, apenas um par de engrenagens pode não ser suficiente
- Agrupar as engrenagens em vários estágios
- A razão de transmissão total será o produto das razões de transmissão em cada estágio
  - Ex:  $4 : 1 \times 4 : 1 = 16 : 1$

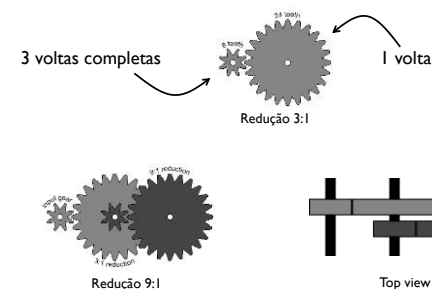
## Engrenagens

### Agrupando engrenagens



## Engrenagens

### Agrupando engrenagens



## Transmissão

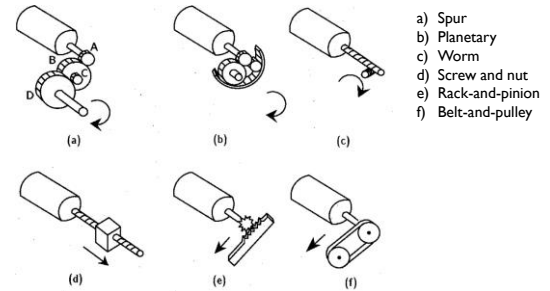
- Características
  - Converter potência
  - Deslocar potência
- Engrenagem é **uma** forma de transmissão



Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

31

## Transmissão

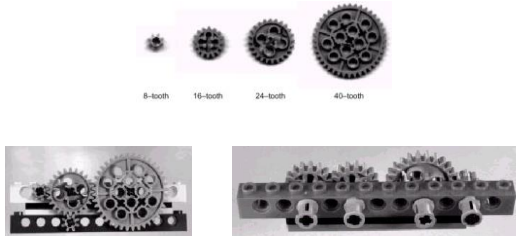


Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

32

## Transmissão

Exemplos utilizando LEGO

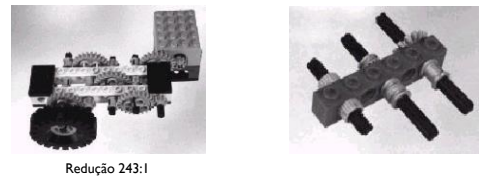


Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

33

## Transmissão

Exemplos utilizando LEGO



Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

34

## Transmissão

Exemplos utilizando LEGO

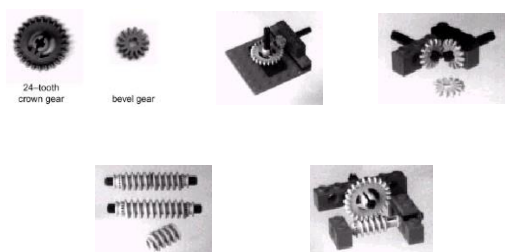


Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

35

## Transmissão

Exemplos utilizando LEGO



Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

36

## Transmissão

Exemplos utilizando LEGO

