

UFMG  
UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE MINEIROS

## Introdução à Robótica

### Motores e Transmissão

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

**DCC**  
**VERlab**  
VERlab - Vídeo e Robótica  
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

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

2

## Motores

### Como funcionam

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



**DCC**  
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**  
Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

4

## Motores

### Como funcionam

MÍDIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE FÍSICA  
Eletromagnetismo

**FORÇA MAGNÉTICA**

**DCC**  
Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

5

## Motores

### Tipos

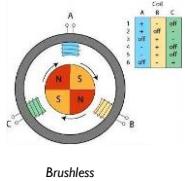
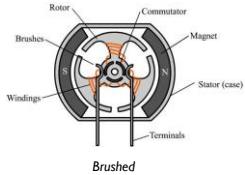
- **Brushed**
  - Baixa tensão, baixo torque, barato
  - Comutador mecânico
  - Uso comercial desde 1886
- **Brushless**
  - Alta tensão, Alto torque, caro
  - Comutador eletrônico
  - Uso comercial a partir de 1962

**DCC**  
Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

6

## Motores

### Tipos



DCC 11

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

7

## 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

DCC 11

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

8

## Motores

### Eficiência

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

DCC 11

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

9

## Motores

### Características

- Velocidade
- Torque
- Potência

DCC 11

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

10

## Motores

### Características – Velocidade

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

DCC 11

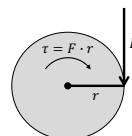
Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

11

## Motores

### Características – Torque

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



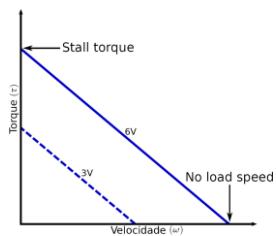
DCC 11

Introdução à Robótica - Motores e Transmissão

12

## Motores

### Velocidade vs. Torque



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



## Motores

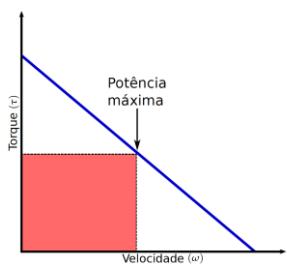
### Características – Potência

- 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



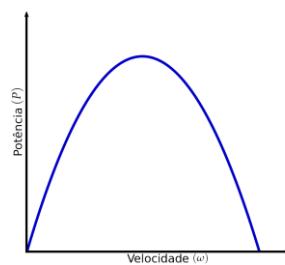
## Motores

### Potência:Velocidade vs. Torque



## Motores

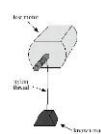
### Velocidade vs. Potência



## Motores

### Medindo torque máximo

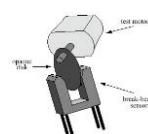
- Prender um fio de nylon ao eixo e à um peso conhecido
- Ligar o motor e observar o fio se enrolar no eixo
- Continuar até o motor não levantar mais o peso
- Medir o raio da bobina formada pelo fio de nylon
  - **Stall torque** = raio da bobina · massa



## 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



## Motores

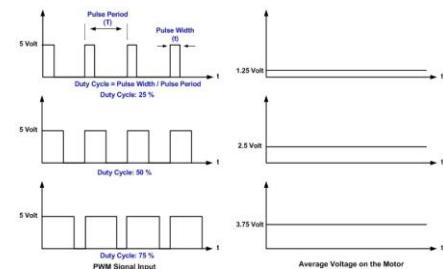
### Pulse Width Modulation (PWM)

- 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



## Motores

### Pulse Width Modulation (PWM)



## Motores

### Servo

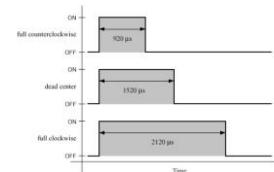
- Utilizado para girar à uma posição específica
- Componentes
  - Motor DC
  - Redução
  - Sensor de posição do eixo
  - Circuito eletrônico de controle
- Muito utilizado em veículos radiocontrolados
  - Aeromodelos, carros, barcos



## Motores

### Servo

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

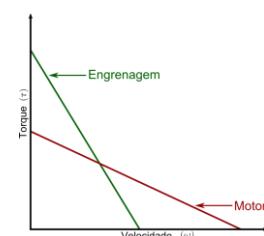


## Engrenagens

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



## Engrenagens



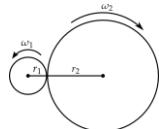
- Velocidade/Torque alterados na mesma proporção



## 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

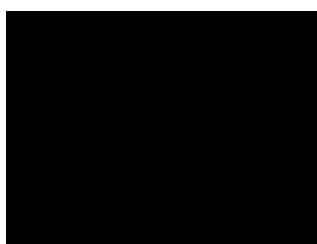
Agrupando engrenagens

- 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



## 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

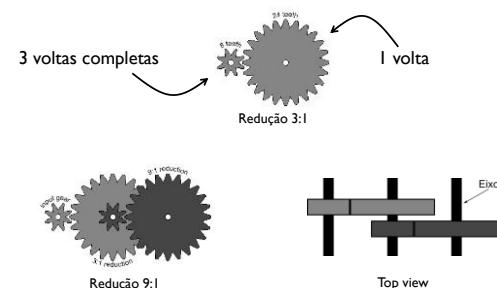
Agrupando engrenagens

- 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 × 4 : 1 = 16 : 1



## Engrenagens

Agrupando engrenagens

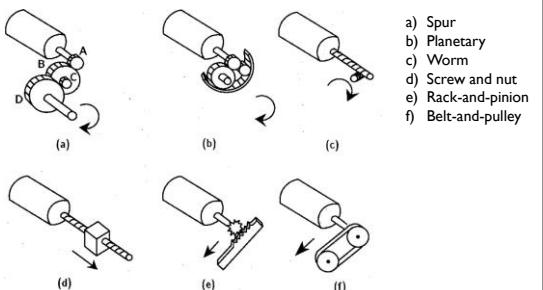


## Transmissão

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

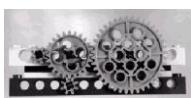
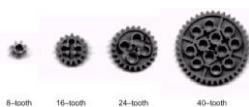


## Transmissão



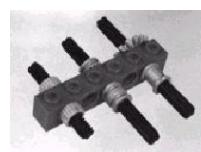
## Transmissão

Exemplos utilizando LEGO



## Transmissão

Exemplos utilizando LEGO

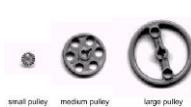


Redução 243:1



## Transmissão

Exemplos utilizando LEGO



## Transmissão

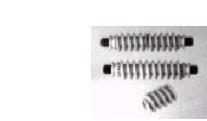
Exemplos utilizando LEGO



24-tooth crown gear



bevel gear



## Transmissão

Exemplos utilizando LEGO

