

Introdução à Robótica

Motores e Transmissão

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

Motores

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

Motores

Como funcionam

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



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



Motores

Como funcionam



Motores

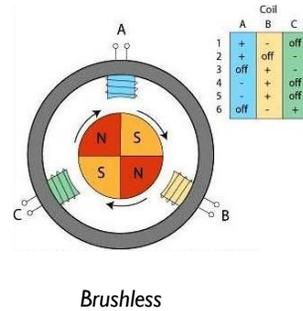
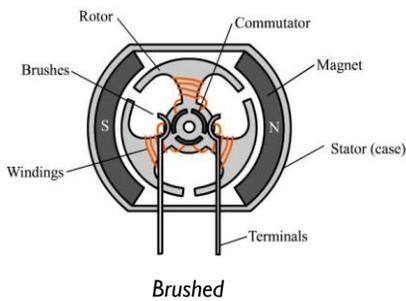
Tipos

- *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



Motores

Tipos



Motores

Propriedades de funcionamento

- **Tensão**
 - Valor recomendado para alimentar o motor
 - Funcionam com valor menor, perdem potência
 - Funcionam com valor maior, reduz o tempo de uso
- **Corrente**
 - Utilizando tensão constante, o motor consome corrente proporcional à quantidade de 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

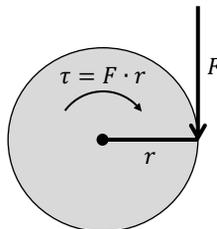
- Velocidade rotacional ou angular (ω)
 - radianos/segundo (rad/s)
 - revoluções/segundo (rps)
 - revoluções/minuto (rpm)
- Proporcional à tensão utilizada



Motores

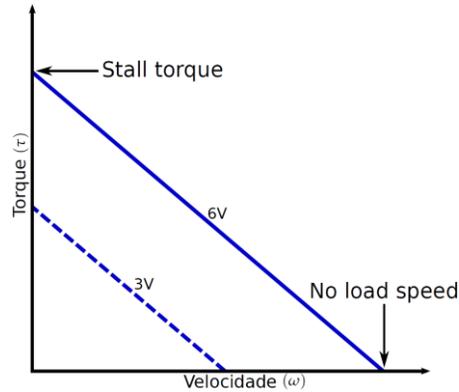
Características – Torque

- 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



Motores

Características – Potência

- Proporcional ao produto da velocidade e torque

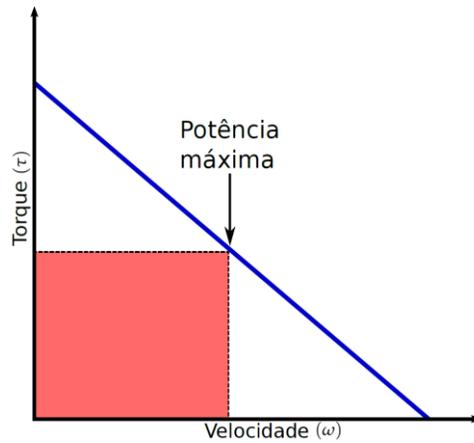
$$P = \omega \cdot \tau$$

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



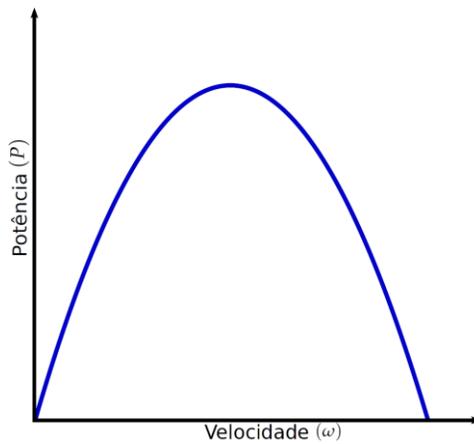
Motores

Potência: Velocidade vs. Torque



Motores

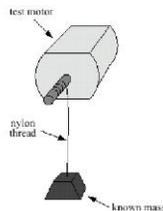
Velocidade vs. Potência



Motores

Medindo torque máximo

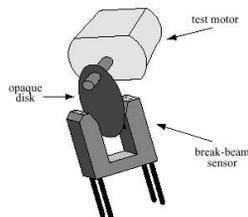
- Prender um fio de nylon ao eixo e à um peso conhecido
- Ligar o motor e observar o fio se enrolar no eixo
- Continuar até o motor não levantar mais o peso
- Medir o raio da bobina forma pelo fio de nylon
 - $\text{Stall torque} = \text{raio da bobina} \times \text{massa}$



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

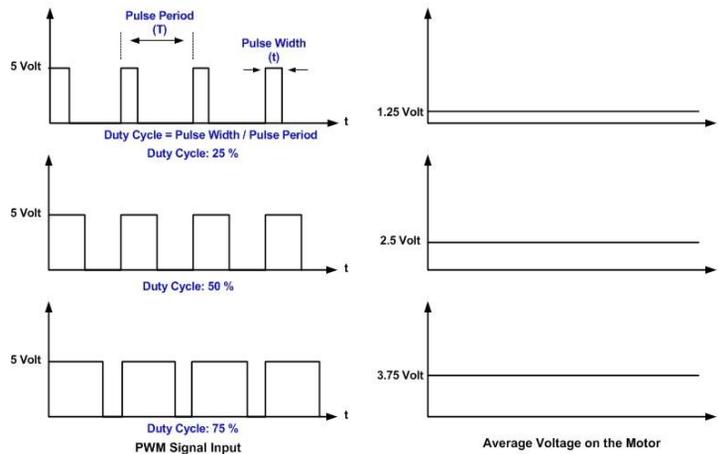
Pulse Width Modulation (PWM)

- 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

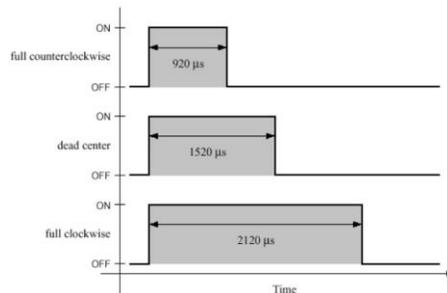
- Utilizado para girar à uma posição específica
- Componentes
 - Motor DC
 - Redução
 - Sensor de posição do eixo
 - Circuito eletrônico de controle
- Muito utilizado em veículos radiocontrolados
 - Aeromodelos, carros, barcos



Motores

Servo

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

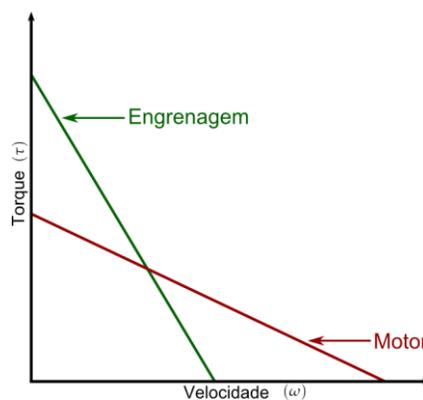


Engrenagens

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



Engrenagens



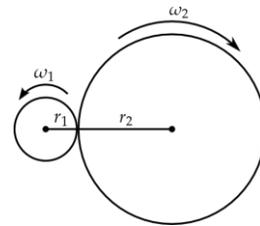
- Velocidade/Torque alterados na mesma proporção



Engrenagens

Agrupando engrenagens

- Engrenagens de tamanhos diferentes
- Raios determinam a transferência de torque
 - Engrenagem motriz → Engrenagem impulsionada
- Questões
 - Dado ω_1 , qual o valor de ω_2 ?
 - Dado τ_1 , qual o valor de τ_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

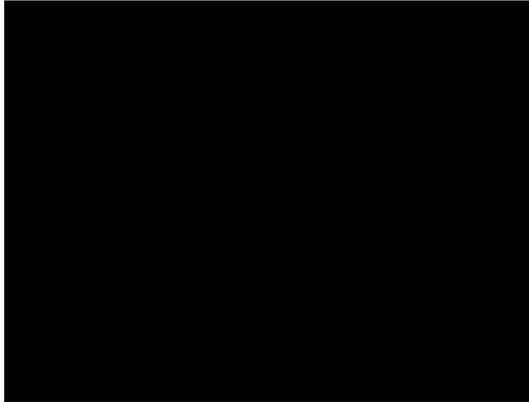
Agrupando engrenagens

- 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: $4 : 1 \times 4 : 1 = 16 : 1$



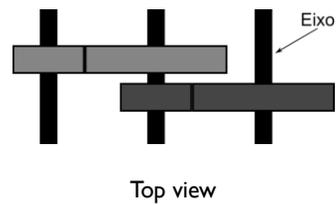
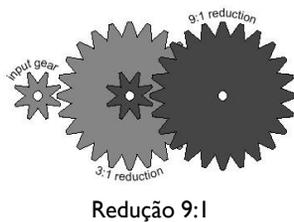
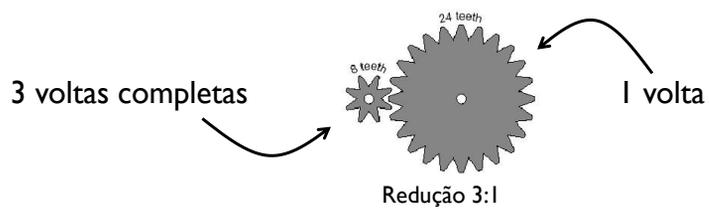
Engrenagens

Agrupando engrenagens



Engrenagens

Agrupando engrenagens

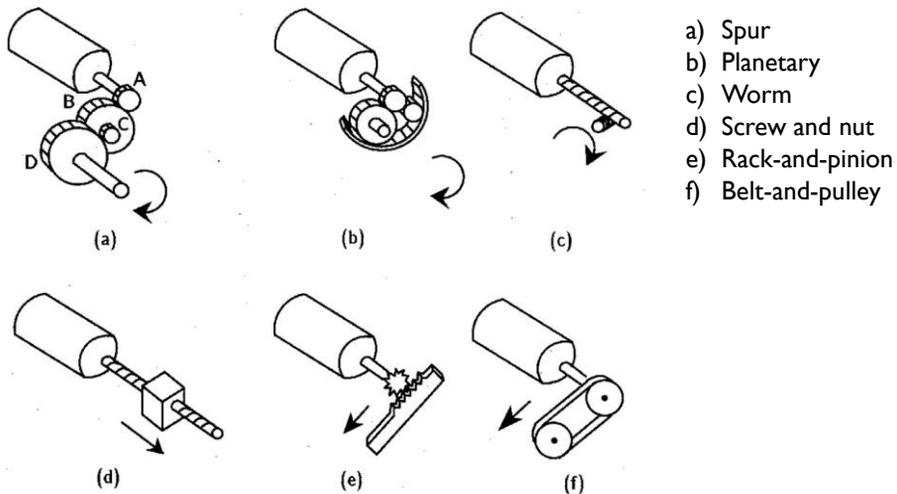


Transmissão

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

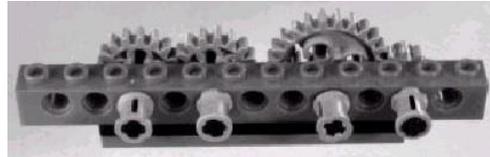
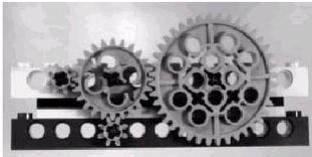
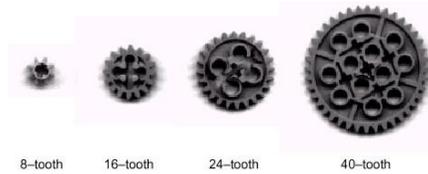


Transmissão



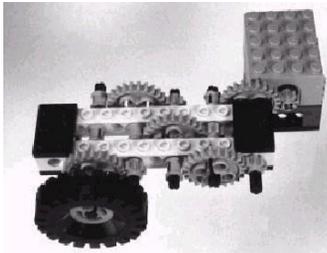
Transmissão

Exemplos utilizando LEGO

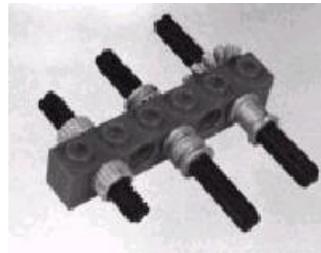


Transmissão

Exemplos utilizando LEGO

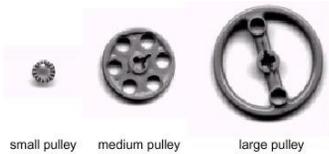
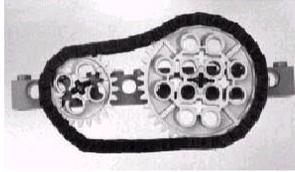


Redução 243:1



Transmissão

Exemplos utilizando LEGO



small pulley

medium pulley

large pulley

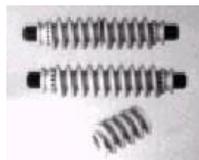
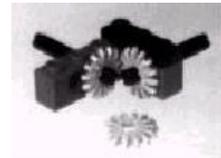


Transmissão

Exemplos utilizando LEGO

24-tooth
crown gear

bevel gear



Transmissão

Exemplos utilizando LEGO

