

# Construção de robôs móveis

Este tutorial tem por objetivo auxiliar as equipes para construção dos robôs de sumô, enfatizando o planejamento e organização técnica da equipe e alguns conceitos básicos de construção.

[www.sumoderobos.org](http://www.sumoderobos.org)

Compilado por Laércio Villa Paes

Agosto de 2007

Cascavel - Paraná

## 1. Organização

### 1. Programa de qualidade total

Para construir um bom robô competidor, faz-se necessário, além de um bom projeto técnico, uma boa organização em todos os aspectos que envolvem desde a concepção, planejamento, desenvolvimento e execução. Estudaremos o programa de qualidade total **5S**, que gerencia de maneira eficaz através de cinco conceitos administrativos, que maximizarão as ações tomadas pela equipe.

O programa de qualidade total é composto por cinco sentidos:

- SEIRI - Senso de utilização, organização, arrumação e seleção;
- SEITON - Senso de ordenação, Arrumação, Sistematização;
- SEISOU - Senso de Saúde, limpeza;
- SEIKETSU - Senso de saúde, asseio e Padronização;
- SHITSUKE - Senso de autodisciplina, Educação e Comprometimento.

Com a aplicação destes sentidos a equipe trabalhará de forma prática e eficiente, tornando as ações mais eficazes, econômicas e minimizando o tempo de execução das tarefas propostas. Outro fator muito importante é que todos os integrantes trabalhem sempre para si e para os demais integrantes da equipe, de modo que novas soluções possam ser agregadas ao projeto, evitando que uma determinada tarefa seja interrompida em função de uma dificuldade encontrada.

Estudaremos a seguir as características de cada senso:

#### 1.1.1. Senso de utilização

O senso de utilização define o que pode ser descartado de um processo ou tarefa, o que inclui peças, equipamentos, assim como atividades, burocracias, excessos e desperdícios. Através deste senso, ganha-se mais tempo, eficiência e maior economia na área de trabalho e no sucesso da execução do projeto

#### 1.1.2. Senso de Ordenação

Ordem é o significado mais adequado para este senso. Através da organização de todos os elementos envolvidos, otimiza-se o tempo e a qualidade da execução da tarefa. O senso de ordenação também possui quanto característica facilitar a circulação de pessoas, adequando o ambiente para uma melhor convivência

#### 1.1.3. Senso de Limpeza

Este senso estabelece a limpeza do ambiente de trabalho para todas as pessoas envolvidas na execução do projeto. Este senso garante também a qualidade do produto final.

#### 1.1.4. Senso de Saúde

Condições inadequadas do ambiente de trabalho comprometem a saúde física e mental das pessoas, comprometendo assim a execução do projeto, qualidade e tempo. Diferente do senso da limpeza, o senso da saúde ataca as fontes danosas às pessoas, tais como ruídos, substâncias, radiações, etc.

### 1.1.5. Senso da Auto-disciplina

As habilidades de uma pessoa podem tornar-se inúteis na ausência de auto-disciplina. Este senso estabelece um caráter ético, profissional, social e moral, para que todos possam trabalhar de forma harmoniosa e eficaz através de decisões para si e para a equipe. Os atributos humanos (humildade, confiança, respeito, espírito de equipe e humor) tornam o convívio mais agradável, refletindo na auto-estima e ânimo de todos

A ausência do programa de qualidade total resultam nos principais problemas:

- Desorganização;
- Desperdício de tempo;
- Extravios de ferramentas, componentes e materiais;
- Tarefas não concluídas;
- Estouro de cronograma;
- Problemas por ausência de projeto;
- Ineficiência.

### 1.2. Planejamento estratégico

Agora que já conhecemos os sentidos administrativos de organização, faz-se necessário o planejamento técnico da equipe, para que as etapas sejam vencidas de forma rápida e hábil. Para isto, os seguintes passos são fundamentais para definir o robô:

- Definir cargos e funções;
- Desenvolvimento do projeto;
- Pesquisas e análises;
- Execução;
- Testes;
- Preparação para o evento.

Estudaremos a importância de cada passo a seguir:

#### 1.2.1. Definir cargos e funções

Nesta etapa é definida quais as responsabilidades de cada integrante, por razões de habilidade ou disponibilidade de recursos. A somatória dos talentos resultará na qualidade final do robô.

#### 1.2.2. Desenvolvimento do projeto

O projeto é a alma da equipe, pois é neste momento que é definido todos os detalhes e funcionalidades do projeto. A participação de todos é fundamental para que as melhores idéias unam-se para definir as melhores soluções.

#### 1.2.3. Pesquisas e análises

Após definido os parâmetros do robô (formato, sistemas, circuitos, materiais, estratégias, etc), inicia-se a pesquisa dos componentes a serem aplicados, levando em consideração a confiabilidade, eficiência, possibilidade de reposição e custos.

#### 1.2.4. Execução

A execução é o momento onde o projeto ganha vida saindo do papel e transformando-se no objetivo específico da equipe: um robô de sumô para vencer os demais. A execução deve ser feita cuidadosamente para evitar que o robô fique desalinhado ou com qualidade final insatisfatória, prejudicando a sua funcionalidade.

### 1.2.5. Testes

Todo projeto necessita de ajustes para corrigir a eficácia dos componentes ou sistemas e ensaios para comprovar fisicamente o projeto desenvolvido. Caso não seja atingido o resultado ou constatado alterações que favorecem a funcionalidade, permite-se projetar novamente o robô para otimização do resultado final. É fundamental que haja um período de tempo entre os testes e o dia da competição, para que alterações possam ser feitas de forma segura. Um erro freqüente em muitas equipes (inclusive no dia a dia) é a ganância de ver o projeto funcionando logo, e no desespero para que o robô comece a andar ocorrem as ações precipitadas, tais como ligações erradas de fios e circuitos, ligação errada da bateria ou com maior tensão, fios "jumper" para ligar diretamente os motores com o circuito de controle ligado, etc, podem danificar seriamente todo o trabalho realizado correndo o risco de acontecer o pior: falta de tempo para reparar os danos e a equipe não poderá participar. Realize os testes quando estiver tudo apto para ser ligado.

### 1.2.6. Preparação para o evento

A preparação do evento é tão importante quanto todo o desenvolvimento do projeto, nesta hora é normal a empolgação de ver o robô funcionando fazer-lhe acreditar que basta apenas levá-lo para o local da disputa e que funcionará perfeitamente em todos os *rounds*. Entretanto, por mais absurdo que pareça, acontecem casos misteriosos em que o robô sai funcionando da sua oficina e na hora de entrar para competir ele apresenta problemas e precisa de manutenção imediata. Nestas situações é indispensável que se tenha ferramentas, componentes e peças sobressalentes para substituições rápidas durante os intervalos. A maior parte dos problemas ocorridos durante as disputas que impossibilita a equipe para participar, depois dos *bugs* no *software*, é a queima de componentes vitais para o funcionamento, tais como microcontroladores, transistores, optoacopladores, reguladores de tensão, entre outros. A preparação para o evento consiste em reunir os componentes, peças e ferramentas necessárias para reparação dos

robôs de forma prática e organizada:

- Prepare um estojo com vários componentes sobressalentes usados no robô;
- Prepare as peças que podem apresentar defeito, ou que se substituídas podem ser favoráveis para a estratégia de ataque (suportes com diferentes alturas/medidas de sensores, rodas emborrachadas, lisas ou rugosas, etc);
- Material usado na construção (ferro, alumínio, madeira, parafusos, rebites, etc.)
- Leve consigo somente as principais ferramentas e consumíveis necessários para manutenções (ferro, sugador e pasta de solda, perfurador de placa, chave de fenda, philips, alen, estrela, alicates, limas, arco de serra, lubrificantes, furadeira, retífica, etc.)

É importante também ter em mãos o diagrama elétrico e mecânico do robô para que facilite a identificação de defeitos e reparos, sendo executados pelo integrante responsável pela função na equipe. Entretanto, todos devem conhecer o robô para que, na ausência do integrante, a equipe possa efetuar os reparos.

## 2. Materiais

A escolha dos materiais é um ponto que merece muita atenção durante o projeto do robô, em função da regra estabelecer o peso máximo de três quilogramas. Materiais muito densos (ferro:  $7.8 \text{ g/cm}^3$ ) devem ser usados quando constata-se a melhor opção, assim como materiais mais leves (alumínio:  $2.7 \text{ g/cm}^3$ ) não deve ser usado demasiadamente sem um cálculo prévio, a ponto de ultrapassar o limite de dimensão e peso. O robô é composto por quatro principais itens que devem compartilhar parcelas do peso total:

- Estrutura;
- Tração;
- Baterias;
- Eletrônica.

Projetos feitos sem análises de pesos podem resultar em decisões drásticas para aliviar peso, tais como alteração de baterias, motores e estrutura, muitas vezes prejudicando a funcionalidade do robô. Os tópicos referentes à baterias e eletrônica serão estudados em um próximo tutorial, sendo este focado para mecânica.

### 2.1. Estrutura

Como os robôs de sumô não são aplicados em combates (guerra de robôs) e o peso é relativamente baixo (três quilogramas cada robô), fica dispensado o projeto de uma estrutura altamente resistente, porém, é importante que seja forte para evitar deformações, prejudicando a tração e locomoção. Os principais materiais utilizados são:



## Alumínio

É um metal muito leve (aproximadamente  $2.7 \text{ g/cm}^3$ ), quase três vezes mais leve e menos resistente que o aço. É facilmente encontrado no mercado na forma de perfis, chapas, cantoneiras, barras e cilindros (tarugos). Sua usinagem é fácil, tanto para cortar, dobrar ou furar, qualificando-o como o material mais indicado para construção de estruturas, hastes, suportes, paredes, tampas e bordas. Não é recomendável usar alumínio para confeccionar engrenagens em função do alto coeficiente de atrito, mesmo estando bem lubrificado. Alguns projetistas usam a estrutura metálica como negativo de todo o circuito, por isto deve-se cuidar com isolações nos fios e placas eletrônicas.

## Aços

Aços são materiais compostos basicamente de ferro e alguns elementos de ligas. Apesar da sua grande resistência mecânica ( $E = 200\text{GPa}$ ), a densidade é aproximadamente  $7.8 \text{ g/cm}^3$ , o que inviabilizaria uma estrutura composta somente de aço. Entretanto, para os robôs de sumô podem ser confeccionadas peças que exigem mais resistência, tais como suportes de motores, reforços internos, etc. O aço destaca-se como a melhor opção para confecção de engrenagens por apresentar, além de alta resistência mecânica, um excelente coeficiente de atrito, permitindo trabalhar em altas rotações. Existe um processo químico chamado de cementação, que consiste em aquecer o metal a uma temperatura elevada (da ordem de  $900^\circ\text{C}$  aproximadamente) para que receba mais carbono, tornando o metal ainda mais duro.

## Madeira

Algumas espécies apresentam excelentes níveis de resistência mecânica, podendo ser usadas para bases, chassís e reforços de estrutura. Chapas de madeira também são boas opções para serem usadas como bases de robôs, como por exemplo MDF: composta por fibras de pinus, apresenta

excelente resistência mecânica e a densidade varia entre 600 e 800 kg/m<sup>3</sup>. É importante garantir a isolação dos circuitos para evitar curto-circuitos.

### Policarbonato

É um termoplástico leve, de alta resistência mecânica, praticamente inquebrável e auto-extingüível (evita propagação de fogo). Pode ser utilizado para fuselagem do robô para proteção contra impactos, e por ser transparente, pode ser uma opção interessante para acabamento visual do robô. É encontrado em empresas que produzem janelas, esquadrias e coberturas.

### Nylon

É um polímero termoplástico de alta resistência, leve e isolante. São encontrados em placas e em cilindros, usados para confecção de peças como espaçadores, calços, suportes, entre outros, inclusive engrenagens. Pode ser utilizado também para conexões de eixos com motores e também para construção de rodas e polias.

### Teflon

É visualmente semelhante ao nylon, porém apresenta um baixo coeficiente de atrito, podendo ser utilizado como apoio para o robô deslizar na arena, buchas e outras partes móveis.

### Bronze

É uma liga de cobre com estanho, encontrado em cilindros, pode ser torneado, fresado e rosqueado para junções entre eixos, espaçadores, polias, engrenagens e diversas aplicações.

## Acrílico

Apesar da sua baixa densidade, é um material frágil, não indicado para robôs por trincar facilmente. Pode ser usado apenas em áreas onde não está sujeito a forças mecânicas para acabamento ou para deixar amostra os circuitos e o interior do robô.

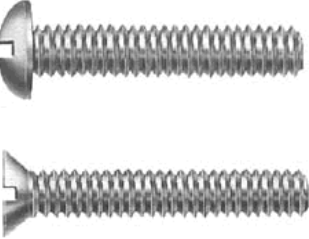
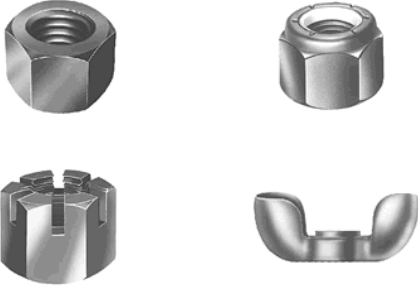

## Borracha, Neopreme, Vinil, etc

São excelentes materiais para absorção de impactos e para isolamento das partes eletrônicas do robô. Também podem ser usados como amortecedores para os motores (coxins) para absorver as vibrações.

Outros materiais também podem ser utilizados, devendo avaliar a viabilidade de aquisição (custo, disponibilidade no mercado) e densidade. É interessante o uso de materiais auto-extingüíveis para o caso de faíscas oriundas de curto-circuitos ou explosão das baterias.

## 2.2. Fixação

Para a fixação das peças e componentes do robô de sumô, não existem muitos segredos, pois conforme dito anteriormente, os robôs não serão submetidos à grandes cargas mecânicas. Entretanto, é importante que não haja folgas ou que se soltem durante os rounds. Os elementos de fixação mais usados são descritos na próxima página:

	<p>Parafuso sextavado com rosca inteira e parcial</p> <p>Usados para fixar elementos estruturais, motores, suportes, bases, entre outros.</p>
	<p>Parafuso máquina com fenda simples de cabeça oval ou chata</p> <p>Podem ser aplicados em peças pequenas, fixação de placas, sensores, dispositivos, etc.</p>
	<p>Arruela lisa e pressão</p> <p>A arruela lisa é usada para aumentar a área de contato entre a cabeça do parafuso e a superfície. A arruela de pressão é aplicada entre a arruela lisa e o parafuso, afim de garantir que o conjunto não se solte com vibrações.</p>
	<p>Porca sextavada simples, auto-travante, castelo e borboleta</p> <p>São aplicadas aos parafusos quando as peças a serem unidas não tem rosca interna. Recomenda-se o uso da porta auto-travante por garantir maior firmeza ao parafuso, em função do anel de nylon em sua extremidade.</p>
	<p>Rebite de repuxo</p> <p>É aplicado em chapas e peças, porém não se desmonta em caso de substituição, devendo ser removido com punção ou furadeira.</p>

	<p><b>Anel elástico para eixo</b></p> <p>É usado para segurar elementos em eixos, tais como rolamentos, mancais, etc.</p>
	<p><b>Anel elástico externo</b></p> <p>É usado em eixos de maior porte, necessitando de um alicate específico para aumentar o diâmetro do anel, sendo suficiente para passar no eixo até ser colocado no canal.</p>
	<p><b>Anel elástico interno</b></p> <p>É aplicado em cavidades para segurar rolamentos e outros dispositivos, também necessitando de um alicate específico para fixação.</p>
	<p><b>Pino elástico</b></p> <p>é usado para fixar elementos no eixo através de um furo radial passante com diâmetro inferior à bitola do pino, de modo que a contração o prenda somente por pressão.</p>

O anel elástico é colocado em um pequeno canal feito no torno, com profundidade de até um milímetro. Apesar de parecer frágil, a resistência mecânica é elevada, apontando-o como uma ótima solução para prender o eixo entre rolamentos e buchas.

## 2.3 Tração

A tração de um robô de sumô é basicamente o que define o melhor competidor na arena, afinal, vence o mais forte. Por se tratar de um robô com até três quilogramas, a ampla gama de aplicações como motores de pequeno porte nos favorece muito, por serem facilmente encontrados em equipamentos usados ou em ferro-velho (aquele ferro-velho do tiozinho aí em Porto Alegre é o melhor que já visitei!!). Motores de corrente alternada de pequeno porte (liquidificadores, batedeiras, extratores de suco, etc,) não são recomendados pois necessitam de conversores CC-CA e o controle de rotação e direção são bastante complexos. Vejamos alguns exemplos de motores mais indicados:

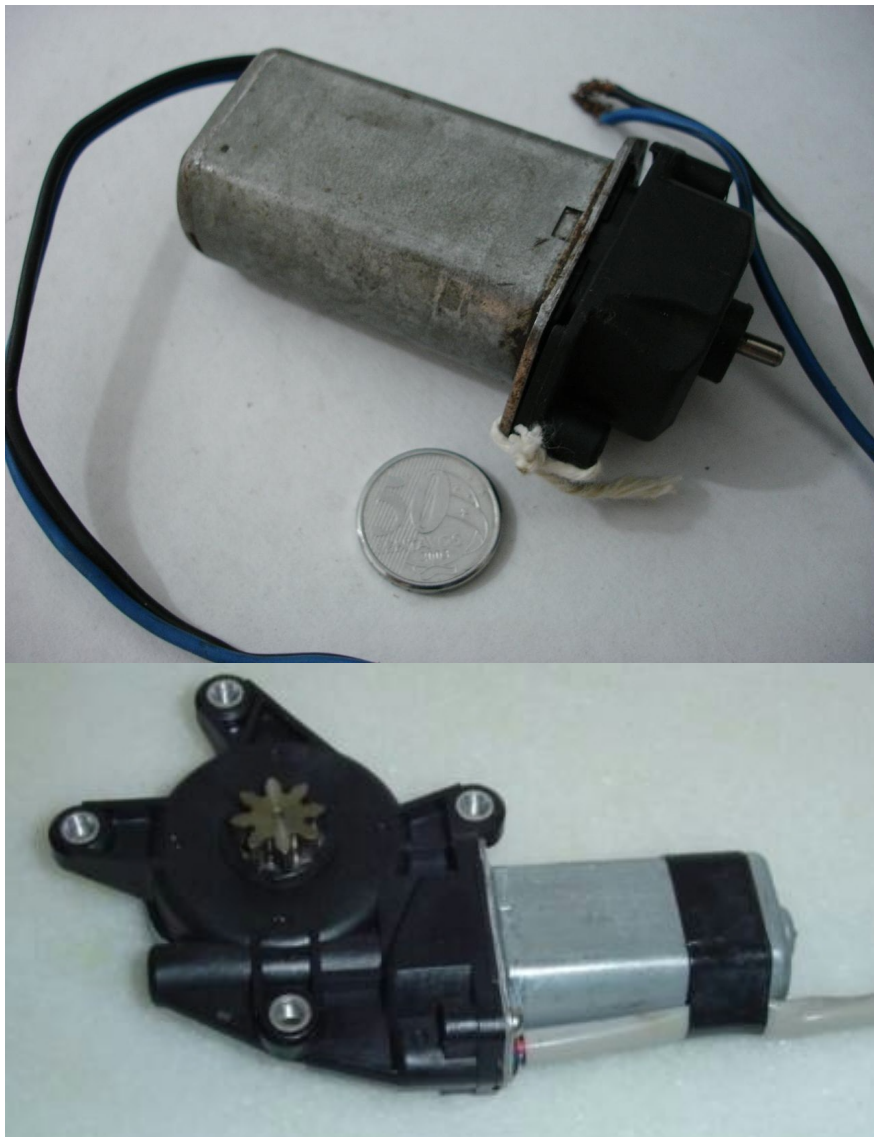
### 2.3.1. Motores de equipamentos eletrônicos

São abundantes no mercado em função da ampla gama de utilização, conseqüentemente, existem em várias dimensões, tensões, pesos, características e são fáceis de encontrar em sucatas como video-cassete, brinquedos, impressoras, furadeira à bateria, micro-ventiladores, etc.



### 2.3.2. Motores automotivos

Os motores usados em automóveis são todos com tensão nominal a 12 volts, são robustos e normalmente projetados para condições extremas, tais como poeira, calor, variações de tensão e corrente, entre outros. Algumas opções são ideais para aplicação no robô por serem compactos, fortes, alta rotação e leves, além de serem muito fáceis de conseguir em oficinas e empresas do ramo. Os motores mais usados em projetos são de trava-elétrica das portas, bomba do limpador de para-brisa e de gasolina, bomba de combustível, motor do vidro-elétrico, motor da ventoinha, motor do ventilador interno, limpador de para-brisa dianteiro e traseiro, bomba hidráulica do freio ABS.



Motor do vidro elétrico



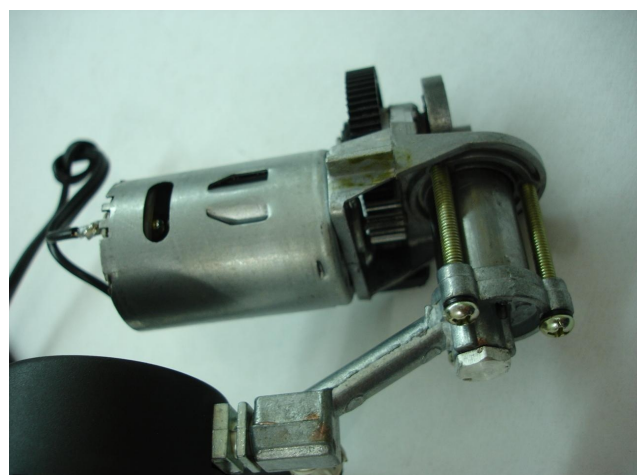
Limpador de para-brisa



Motores de bomba hidráulica do freio ABS



Porém, alguns modelos são incorporados com a caixa de redução (a maioria de rosca-sem-fim), como é o caso do motor do vidro elétrico e limpador de para-brisa, em função disto a rotação final no eixo é baixa (não mais que 150 RPM), tornando o robô mais lento, porém com maior torque. Os motores sem redução apresentam elevados valores de RPM ( $>3000$  RPM), impossibilitando a conexão direta com a roda, sendo indispensável o uso de reduções através de engrenagens (serão estudadas mais a diante). Outro fator que deve ser considerado é o peso dos motores. Por exemplo, o motor de vidro elétrico ilustrado acima (sem a redução acoplada) pesa aproximadamente 300 gramas, com alta rotação e excelente nível de torque, sendo ideal ao robô de sumô, enquanto os motores do freio ABS de cor cinza à esquerda pesa cerca de 900 gramas e o dourado à direita pesa 1350 gramas, com menos rotação comparado ao motor de vidro elétrico mas com um torque muito superior, ambos inviáveis ao projeto. Outra alternativa interessante é um compressor de 12 volts "usado" para encher pneus conectado ao acendedor de cigarro (o compressor não presta para nada, leva uns 5 minutos para encher um balão por causa do baixo volume de deslocamento do cilindro...), entretanto, o motor é pequeno mas muito forte, pesando pouco mais de 200 gramas, destaca-se como uma excelente opção para tração do robô.



### 2.3.3. Motores de passo

São indicados para aplicações que necessitam de precisão nos movimentos e com baixa rotação. O acionamento do motor de passo necessita de um controlador eletrônico para energizar seqüencialmente cada bobina, fazendo-o andar um passo a cada energização. São indicados para robôs da categoria Inteligentes, que dispensam velocidade mas é importante a precisão nos movimentos. São muito usados em impressoras, para movimentar o carro dos cartuchos e para avançar o papel, mas as impressoras atuais usam motores comuns, associados a *Encoders*.



#### 2.3.4. Servomotores

Da mesma forma que os motores de passo, os servomotores são aplicados em equipamentos que necessitam de movimentos precisos, tais como receptores de antena parabólica e principalmente usados em aeromodelos. Entretanto, eles são fabricados para girar numa determinada faixa de ângulos (geralmente 0° a 270°) e também necessitam de um controlador eletrônico para operá-los, sendo através de largura de pulso. São muito indicados aos robôs de sumô para movimentação de sensores, onde o microcontrolador define a posição do giro do motor e coleta a leitura dos elementos sensores, obtendo assim a localização do oponente em função da posição atual do robô.



## 2.4. Engrenagens

São fundamentais na funcionalidade do robô, ajustando a rotação e o torque do motor transmitido as rodas. É sempre bom lembrar que engrenagens não “fabricam” nem “produzem” energia mecânica, elas apenas convertem a força através do princípio da conservação de energia, da seguinte forma:

$$\text{Torque} = \text{Torque}$$

$$\text{Força} \times \text{Distância} = \text{Força} \times \text{Distância}$$

Basicamente, são três as principais engrenagens utilizadas nos projetos:

- Engrenagem reta com dentes planos ou helicoidais;
- Engrenagem cônica com dentes planos e helicoidais;
- Engrenagem de rosca-sem-fim.

Cada tipo de engrenagem possui características que podem ser favoráveis ao robô, devendo ser analisada qual a melhor opção. Porém, é relativamente complicado encontrar engrenagens prontas na exata dimensão que precisamos aos nossos robôs, e infelizmente devemos na maioria das vezes, adaptar o robô em função das peças que encontramos. Mesmo assim, existem várias opções que podem ser utilizadas e com fácil aquisição no mercado.

Analisaremos a seguir as principais engrenagens utilizadas:

### 2.4.1. Engrenagem reta com dentes planos e helicoidais

São aplicadas em eixos paralelos e não convergentes (que não se cruzam), apresentam baixo volume e ampla variação de relação. A relação é calculada de maneira simples:  $\text{Relação} = \frac{\text{Número de dentes da engrenagem motora (conectada ao motor)}}{\text{Número de dentes da engrenagem movida (conectada ao eixo da roda)}}$ . As engrenagens com dentes retos são mais fáceis de confeccioná-las, porém apresentam maior nível de ruído durante a operação, enquanto que as engrenagens com dentes helicoidais apresentam menor nível de ruído, mas geram cargas axiais, forçando o seu próprio eixo.



Engrenagem reta com dentes planos (esquerda) e dentes helicoidais (direita)

## 2.4.2. Engrenagens cônicas com dentes planos e helicoidais

São aplicadas em eixos perpendiculares e convergentes e apresentam boa faixa de redução ( $>15:1$ ). São ideais para montagens onde o eixo do motor fica perpendicular ao eixo da roda, otimizando a distribuição de massa e volume no robô. A engrenagem pequena conectada ao eixo do motor (engrenagem motora) é chamada de Pinhão e a engrenagem conectada ao eixo da roda (engrenagem movida) é chamada de Coroa. Da mesma forma que as engrenagens retas, os dentes da engrenagem cônica podem ser planos ou helicoidais, com as mesmas características de funcionamento. Entretanto, é indicado que seja utilizada desta forma, e não inversamente, fazendo com que a coroa transmita energia mecânica ao pinhão. Funciona, mas não é recomendado. A relação de redução é a razão entre o número de dentes do pinhão pelo número de dentes da coroa.



Engrenagem cônica com dentes helicoidais



Engrenagem cônica com dentes planos

### 2.4.3. Engrenagem de rosca-sem-fim

A rosca-sem-fim é indicada para eixos perpendiculares e não convergentes, mas por razões construtivas, esta apresenta um alto índice de redução ( $>20:1$ ), sendo muitas vezes apontadas como a melhor solução para motores com alta rotação. Similar às cônicas, os componentes tem o mesmo nome: pinhão e coroa, porém, a rosca sem fim não permite o movimento contrário, fazendo com que a coroa gire o pinhão. Esta é uma característica interessante para os robôs, pois apenas desligando o motor, a tração atua como um freio e permanece travada, além do pinhão poder girar normalmente a coroa nos dois sentidos. O ponto crítico do uso destas engrenagens é manter o pinhão alinhado perpendicularmente à coroa em função da força radial que surge entre a inclinação dos dentes. Para isso, é indicado mancais ou peças fresadas com rolamentos para garantir o alinhamento. A relação é igual ao número de dentes da coroa, caso o pinhão tenha dois ou mais canais, a relação assume o número de dentes da coroa dividido pelo número de canais do pinhão.



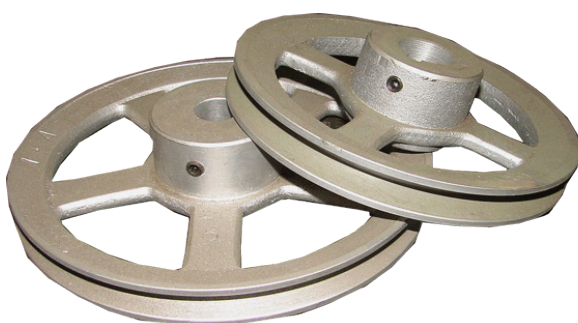
## 2.4.5. Polias

Polias são discos planos com um ou mais canais torneados em sua superfície para acomodar a correia. Basicamente, são duas as polias mais utilizadas em robôs: lisas e sincronizadas.

### Polias lisas

São polias compostas por uma cavidade lisa e uniforme na superfície onde a correia fica assentada. Da mesma forma que nas engrenagens, a força mecânica é transmitida de acordo com a equação do torque, entretanto, a redução é calculada através da razão entre o diâmetro da polia grande pelo diâmetro da polia pequena. Sua grande vantagem que torna-a muito atraente em robôs é a facilidade em ser confeccionada: um bom torneiro consegue produzi-la rapidamente em diversos materiais, como nylon, alumínio, bronze, ferro, entre outros. Mas o ponto crítico é conseguir a correia já pronta no mercado para atender o projeto, geralmente, correias usadas em máquinas de costura são boas opções, bastando assim encontrar uma determinada correia e

projetar as polias em função delas. O único cuidado que deve ser tomado é que não pode haver nenhuma substância lubrificante na correia ou polia, para evitar escorregamento demasiado.





## Polias sincronizadas

São usadas em casos específicos onde não pode haver deslizamento da correia, tais como impressoras, máquinas síncronas e motores automotivos. A polia sincronizada trabalha com a correia dentada, que, como o próprio nome diz, possui dentes que se encaixam nas cavidades dispostas na superfície da polia, impedindo a defasagem por efeitos de atrito e garantindo a maior transmissão de potência em casos que necessitam de força. Da mesma forma que as correias lisas, estas também apresentam uma relativa dificuldade em encontrar no mercado um conjunto que atenda a necessidade. Existem empresas que confeccionam as polias e correias, mas o preço do serviço é compatível com a complexidade de produção das mesmas, podendo ser inviável ao projeto.



Polia síncrona e correia dentada

#### 2.4.6. Correntes

Correntes não são indicadas para transmissão direta de potência entre o motor e o eixo da tração por serem pesadas e são sujeitas a quebrar a união dos elos em casos de impactos muito bruscos, mas podem ser viáveis para transmitir a potência (em rotação já reduzida pelo motor) de uma roda a outra, para robôs com mais de duas rodas motrizes. Correntes de bicicleta não são muito recomendadas para robôs de pequeno porte por serem grandes, pesadas e por haver coroas com diâmetro elevado, mas existem correntes menores aplicadas em altas rotações, como por exemplo, a corrente do comando de válvula da motocicleta Honda Biz, que é projetada para girar na mesma rotação do motor.

#### 2.4.7. Eixos

Pequenos nas dimensões, mas grandes na responsabilidade: pois são eles que devem suportar a maior parte do peso do robô e devem transmitir a potência dos motores para as rodas. Não há muito segredo nos eixos, e infelizmente, não há muito o que se fazer em casa (exceto se você tiver um torno na sua oficina). Muitos projetistas de robôs pequenos usam o próprio eixo da caixa de redução para acoplar diretamente a roda, mas em casos onde serão utilizados motores que trabalharão junto com engrenagens ou polias, faz-se necessária a confecção dos eixos. Apesar de denso, o ferro é o material mais indicado para eixos, dado a sua resistência, facilidade para torneá-lo e para fixar outros dispositivos (engrenagens, anéis e pinos elásticos). Para prender a roda ou a engrenagem no eixo, existem formas simples e eficazes:

- Eixo recartilhado;
- Flange.

## Eixo recartilhado

Através de uma ferramenta específica, é possível a criação de chanfros axiais ou helicoidais em qualquer segmento do eixo com um torno. Imaginemos que você tenha uma roda de plástico cujo eixo mede 8 milímetros de diâmetro e um eixo ligeiramente menor que o diâmetro, ele passará meio apertado, afinal não há quase nada de folga entre o eixo e o orifício passante da roda. Então, o recartilhado no eixo fará com que as ranhuras produzam pequenas saliências, aumentando alguns centésimos de milímetro, suficiente para que entre na roda e o plástico se acomode firmemente, prendendo-a somente com pressão. Em casos onde é garantido que não será necessário substituir a roda, pode-se aplicar colas de alta resistência, garantido que o conjunto ficará bem preso.



Eixo com segmento recartilhado axial

#### 2.4.8. Flange

A flange é uma peça feita sob medida no torno, usando alumínio, bronze, ferro, nylon ou outros materiais. A roda é aparafusada na flange pelos orifícios, e presa ao eixo por um segmento recartilhado, por um parafuso pressionando num eixo do tipo meia-cana (eixo com uma face plana) ou usando um pino elástico, que vaza radialmente pelo eixo. As fotos abaixo ilustram exemplos de flanges:



#### 2.4.9. Mancal

É uma peça construída para fixar um rolamento ou bucha na estrutura, podendo ser utilizadas em várias situações. O grande diferencial dos mancais é a possibilidade de serem fresados de acordo com a necessidade do projeto e com o material mais indicado por razões de peso, como alumínio e nylon. Existem algumas opções em mancais no mercado, mas a maioria são feitos de ferro fundido, tornando-os pesados em função da densidade do material.



#### 2.4.10. Rodas

As rodas devem ser preferencialmente de borracha ou outro polímero macio, para garantir a tração na arena. Existem várias opções a disposição no mercado, entre rodízios, brinquedos, tracionadora de papel em impressora (ilustrada no eixo recartilhado) e outras aplicações. É possível também confeccionar a própria roda em alumínio, nylon ou bronze no torno, devendo ser recoberta com borracha ou outro material de boa aderência. Uma idéia interessante é o uso de anéis de vedação de borracha, aplicados em encanamentos de esgoto, colados na superfície de uma roda feita no torno. Para calcular a velocidade do robô, basta multiplicar a circunferência da roda ( $C = 2 \cdot \pi \cdot \text{raio}$ ) com a velocidade em rotação por segundo do eixo ( $\text{RPS} = \text{RPM} / 60$ ), obtendo assim a velocidade em metros por segundo. Para quilômetros por hora, multiplique a velocidade em metros por segundo por 3.6 ( $\text{km/h} = \text{m/s} * 3.6$ )