

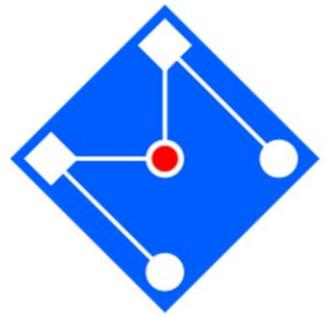
# ROBÔS MÓVEIS: LOCOMOÇÃO PMR3502

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

Arturo Forner-Cordero [aforner@usp.br]

Thiago de Castro Martins

# PROGRAMA DA DISCIPLINA



Introdução;

Tipos de robôs móveis, locomoção;

Cinemática de robôs móveis;

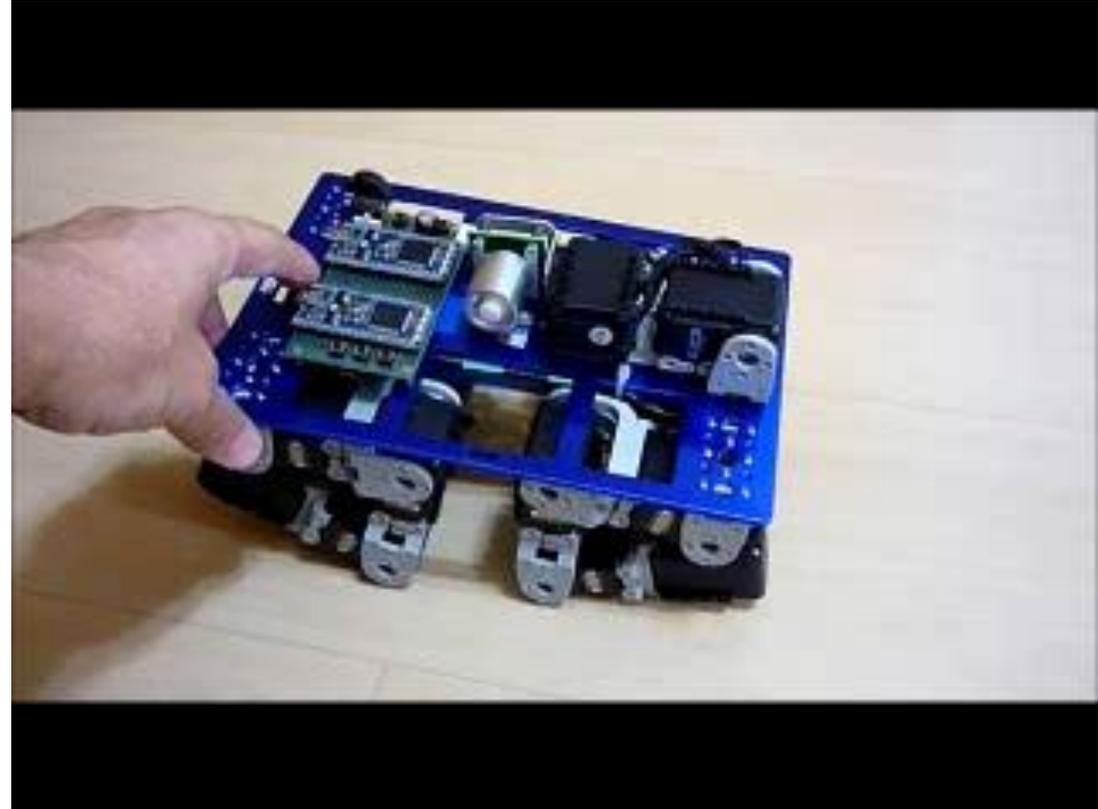
Sensores e atuadores;

Visão computacional;

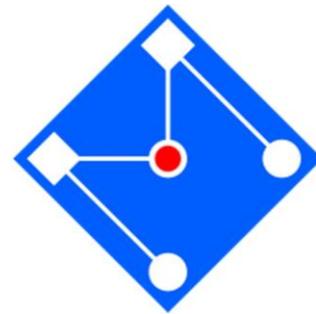
Navegação:

Arquiteturas de controle:

Estudo de casos.

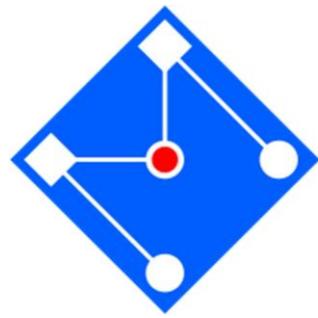


# PERGUNTAS



- ~~1) Usaríamos um motor de passo em malha aberta para controlar um robô em ambiente não estruturados? Vantagens e desvantagens.~~
- 2) Temos um robô com patas. Considerando que o robô tem (pelo menos) uma pata no chão. Teria alguma ideia para calcular os possíveis pontos de contato no chão? Descreva.
- 3) Sistemas dinâmicos: Dois motores DC estão controlando as duas rodas de um robô. Qual seria o modelo dinâmico do mesmo? Isto é, tenho que controlar o deslocamento, quais tensões/correntes teria que dar aos motores para ir onde eu quero.
- 4) Tenho um robô bípede antropomórfico (humanoide). Como faço para ele não cair? Posso aplicar algum critério sobre onde deve a projeção no chão do seu centro de massas? Fiquem em pé... Tem que realizar algum tipo de atividade muscular com as pernas para não cair?

# OBJETIVOS



## Locomoção;

- Conceitos;
- Graus de liberdade;
- Robôs com pernas;
- Robôs com rodas;
- Qual a melhor opção?

### Numero de patas:

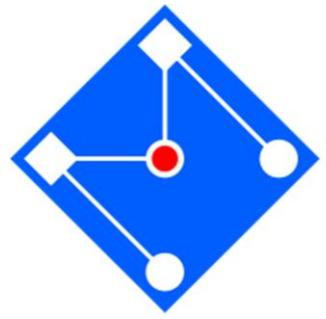
- 1 pata: robô “saltitante” (pogo stick robot)
- 2 patas: humanos, aves
- 3 patas
- 4 patas: mamíferos, reptis
- 6 ou mais patas: insetos

### Tipos de rodas

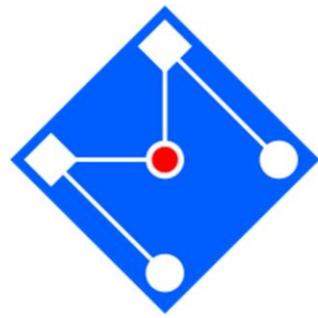
- Configuração do veículo com rodas
- Cinemática dos robôs com rodas

# SUMÁRIO

1. Locomoção
2. Locomoção com rodas
3. Tipos de rodas
4. Arranjos das rodas



# LOCOMOÇÃO



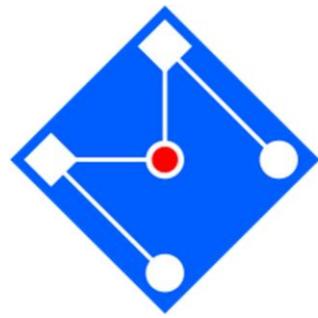
Locomoção é o ato de se mover de um lugar para o outro.

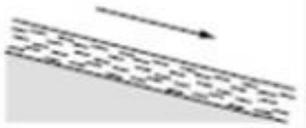
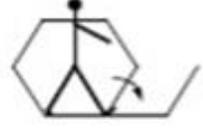
A locomoção exige interação física entre o robô e o ambiente.

Muitas formas de locomoção usadas na robótica são inspiradas na natureza.

A maioria das formas de locomoção naturais são muito difíceis de se imitar tecnicamente.

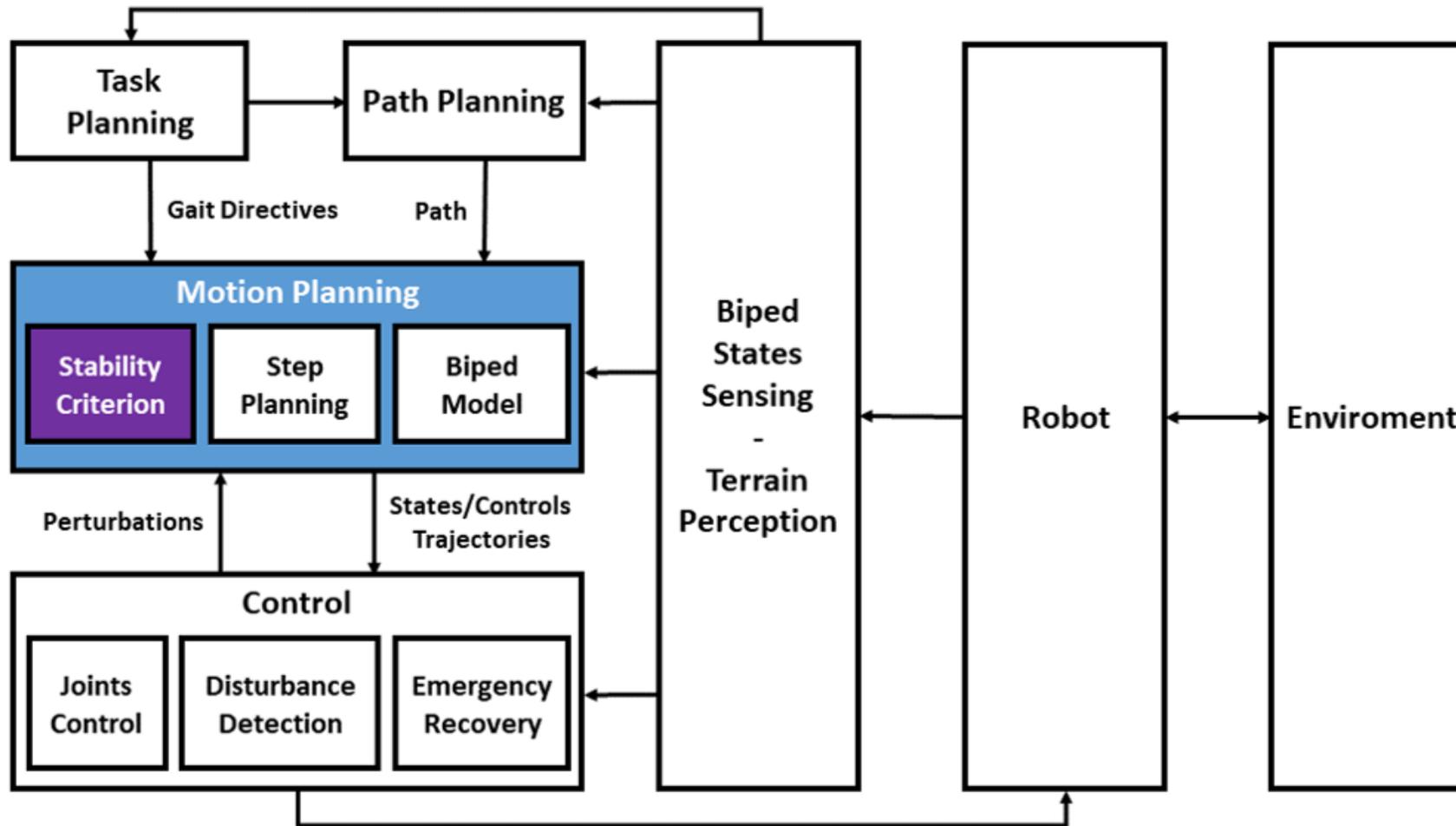
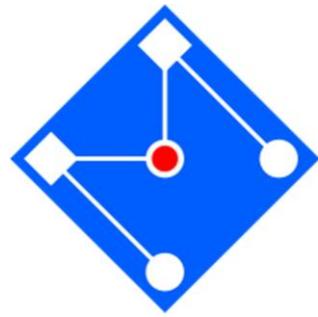
# MECANISMOS BIOLÓGICOS DE LOCOMOÇÃO



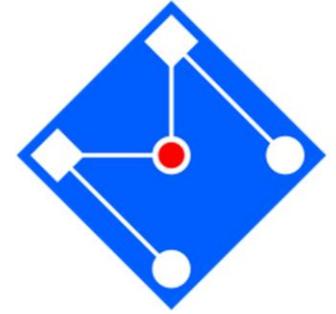
Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel 	Hydrodynamic forces	Eddies 
Crawl 	Friction forces	Longitudinal vibration 
Sliding 	Friction forces	Transverse vibration 
Running 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Jumping 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Walking 	Gravitational forces	Rolling of a polygon (see figure 2.2) 

Introduction to Autonomous Mobile Robots. Siegwarts & Nourbarkhsh. MIT Press.

# ARQUITETURA DE CONTROLE

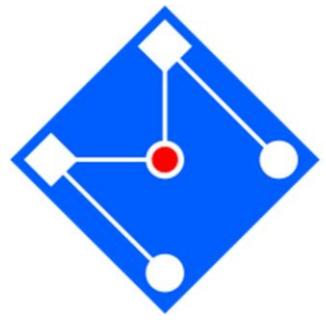


# PROBLEMAS ENVOLVIDOS NA LOCOMOÇÃO:



- Caminho do robô
- Características do contato;
- Trajetórias das articulações
- Tipo de ambiente;
  - Tipo de terreno;
  - Estrutura do ambiente;
  - Inclinação do terreno;
  - Meio (água, ar, chão duro ou macio).
- Movimento das rodas
- Estabilidade

# LOCOMOÇÃO



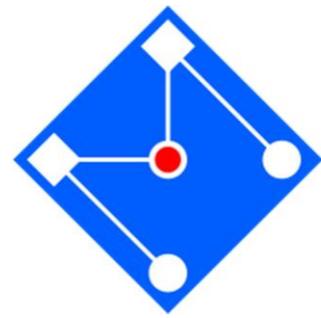
## Estabilidade:

- Número de pontos de contato;
- Centro de gravidade;
- Estabilidade estática versus estabilidade dinâmica:
- Estabilidade dinâmica  $\Rightarrow$  problema de controle.
- Inclinação do terreno.

## Contato:

- Ponto ou área de contato;
- Ângulo de contato;
- Atrito.

# LOCOMOÇÃO: PRINCÍPIOS DA NATUREZA



## Caminhar:

- 2 pernas  $\Rightarrow$  homem e algumas aves;
- 4 pernas  $\Rightarrow$  maioria dos mamíferos;
- 6 pernas  $\Rightarrow$  insetos.

## Rastejar:

- Cobra, vermes.

## Voar:

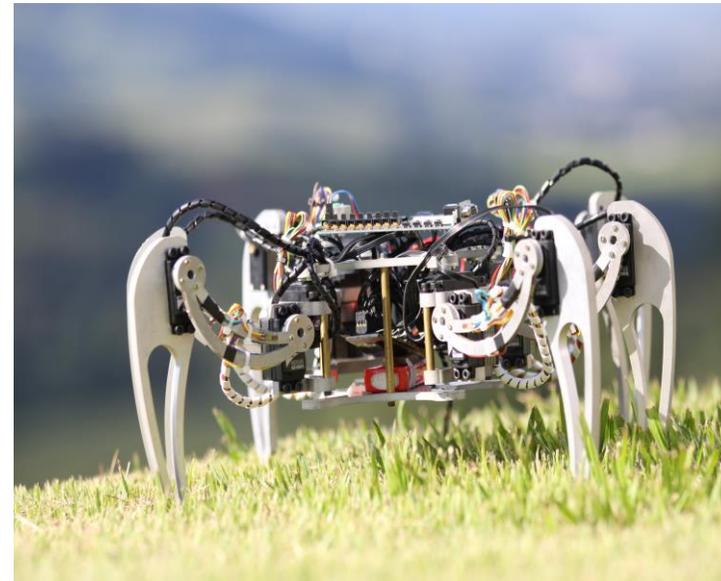
- Pássaros;

## Nadar:

- Peixes.

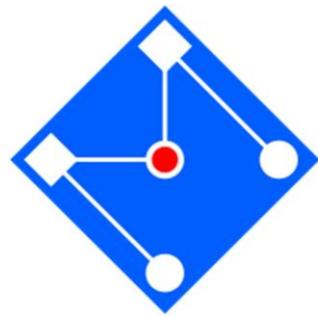
## Pular:

- Sapos, rãs, lebre.



Myrmex. R. Bachega.

# LOCOMOÇÃO: TIPOS NA ROBÓTICA



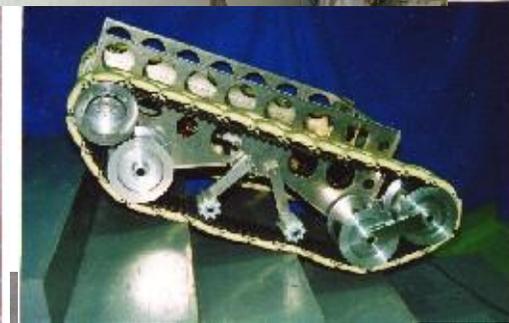
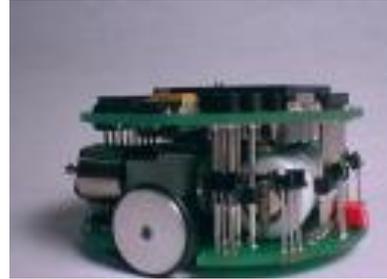
Pernas;

Flutuação livre;

Rastejar;

Rodas;

Esteiras.



# RODAS OU PERNAS?

Rodas  $\Rightarrow$  menor número de atuadores.

Pernas  $\Rightarrow$  maior complexidade estrutural.

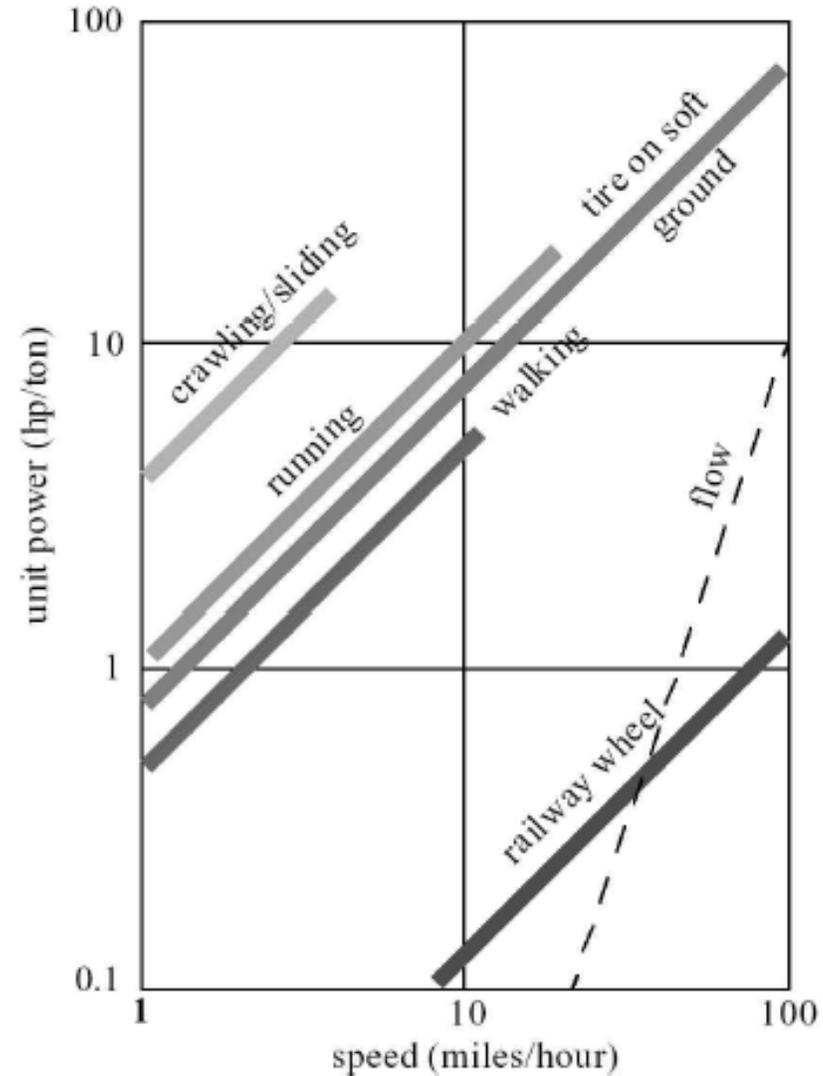
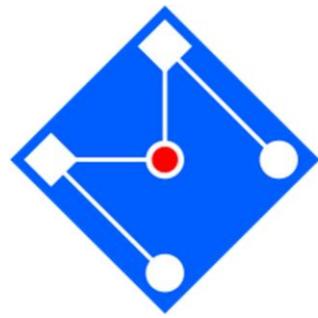
Pernas  $\Rightarrow$  maior dificuldade de controle.

Rodas  $\Rightarrow$  maior eficiência energética.

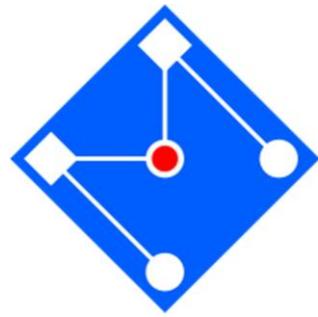
Pernas  $\Rightarrow$  qualquer terreno (plano, subida etc).

Pernas  $\Rightarrow$  movimento das massas envolvidas:

- Andar e correr Inclui movimento do CG subindo e descendo;
- Algumas perdas extras.



# LOCOMOÇÃO COM RODAS



Forma mais popular em robôs móveis.

Não existe na natureza.

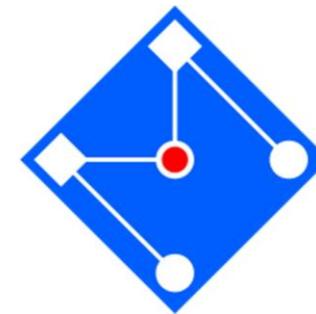
Rodas são em geral a solução mais apropriada para a maioria das aplicações atuais.

Rodas são eficientes em superfícies planas.

Rodas não são muito eficientes em terrenos naturais (irregulares ou brandos).

Implementação mecânica simples.

# LOCOMOÇÃO COM RODAS



Principais aspectos e problemas:

- Estabilidade, tração, manobrabilidade e controle.

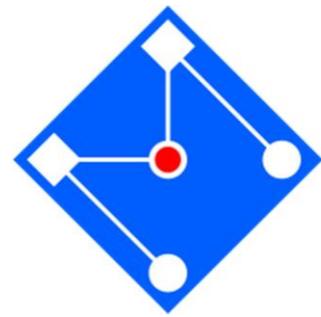
Estabilidade em geral não é problema para locomoção com rodas  $\Rightarrow$  3 rodas são suficientes para garantir estabilidade.

- Centro de gravidade fica dentro do triangulo formado pelos pontos de contato das rodas com o chão.

Estabilidade é melhorada com 4 ou mais rodas:

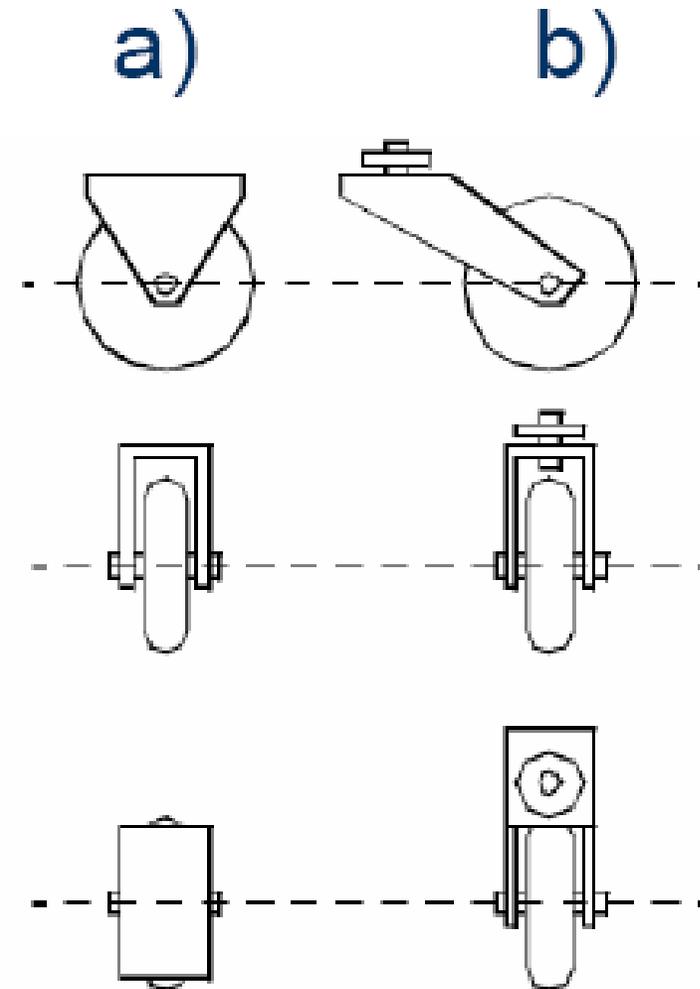
- Robôs com mais do que 3 rodas forma um arranjo hiper-estático  $\Rightarrow$  requer suspensão flexível.

# TIPOS DE RODAS

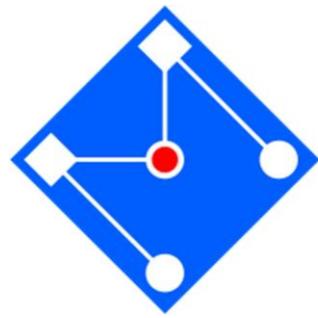


a) Roda padrão:  
1 G. de L.

b) Roda castor:  
2 G. de L.

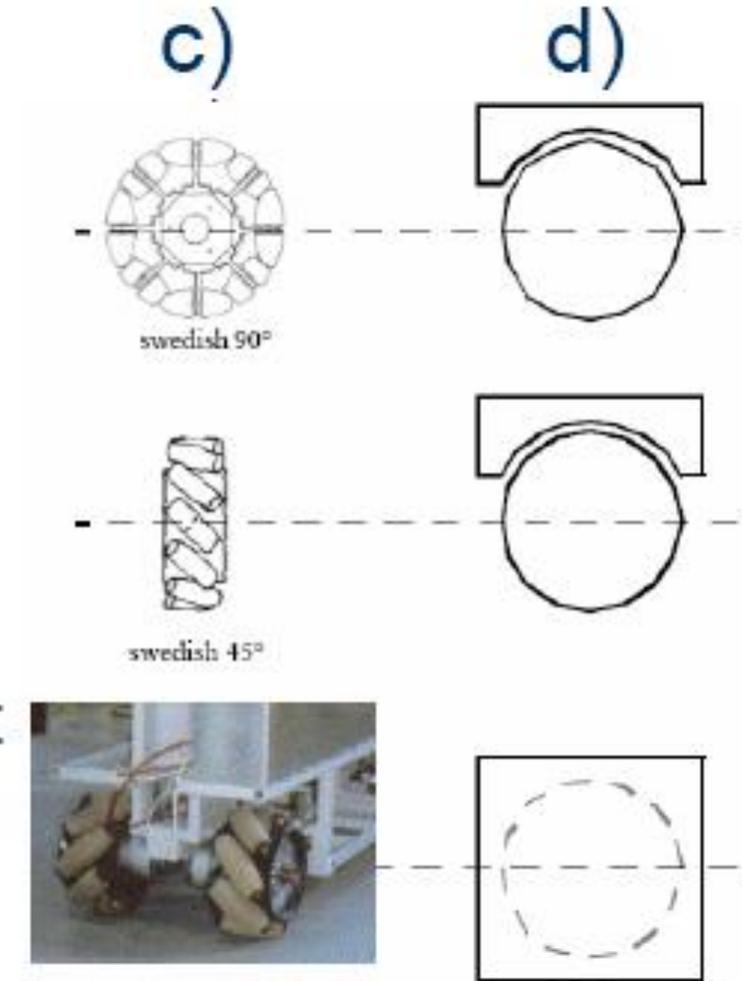


# TIPOS DE RODAS



c) Roda suíça  
(omnidirecional):  
2 G. de L.

d) Roda esférica:  
2 G. de L.  
⇒ Apresenta  
dificuldades técnicas



# RODA OMNIDIRECIONAL

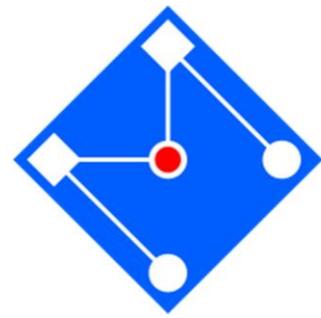
Permite o movimento em qualquer direção sem necessidade de direcionar as rodas.

Constituídas de roletes colocados na periferia da roda.

Com 3 ou mais rodas omnidirecionais motorizadas  $\Rightarrow$  robô se move em qualquer direção sem fazer curvas (robô holomônico).

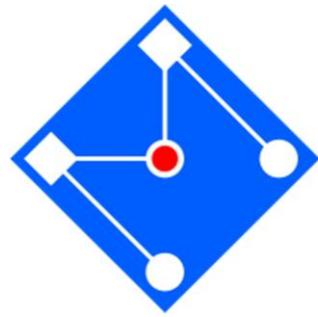
Mais sobre rodas omnidirecionais:

<http://www.omniwheel.com>



URANUS. (CC by 3.0)

# MOVIMENTO NO PLANO



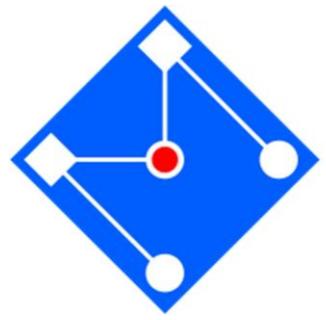
Um objeto no plano tem 3 graus de liberdade:

- 2 de translação;
- 1 de rotação.

Com 3 motores adequadamente posicionados o robô pode se mover instantaneamente em qualquer direção do seu espaço de configuração.

Robô holomônico  $\Rightarrow$  se move instantaneamente em qualquer direção sem necessidade de fazer curvas.

# ARRANJO DAS RODAS



Existem muitas opções para combinar os diversos tipos de rodas em diferentes configurações.

Tipo e arranjo de rodas determina a cinemática do movimento.

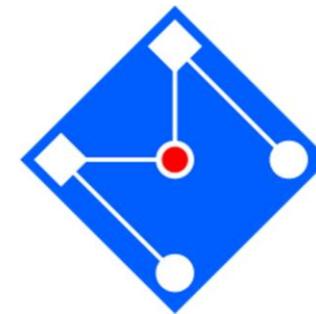
A seleção e o arranjo das rodas depende da aplicação.

Rodas grandes permitem passar obstáculos maiores  $\Rightarrow$  porém exigem torques maiores.

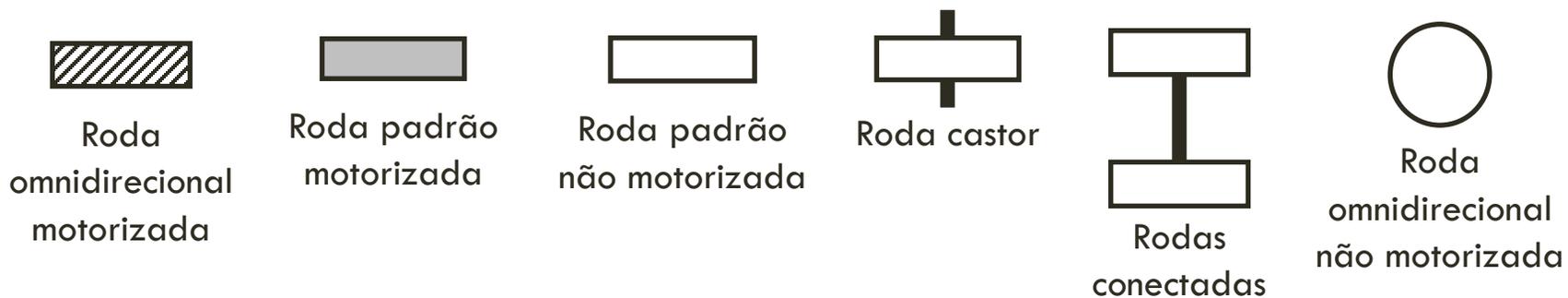
A maioria dos arranjos são não holonômicos  $\Rightarrow$  exigem controle mais complexo.

Combinar motorização e direção em uma roda aumenta a complexidade e causa erros de posicionamento.

# ARRANJO DAS RODAS

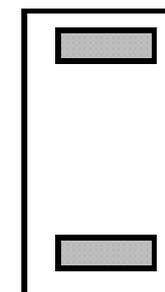


Legenda:

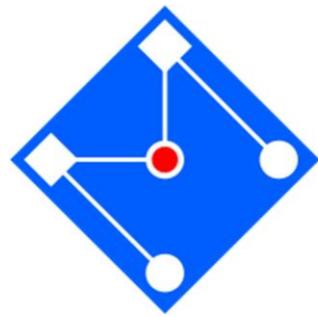


Arranjos de 2 rodas:

- Uma roda de direção e uma de tração;
- Rodas com movimento diferencial.

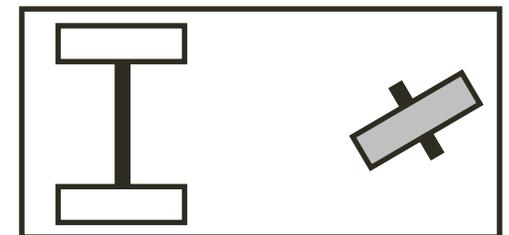
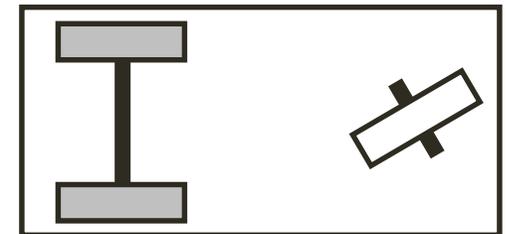
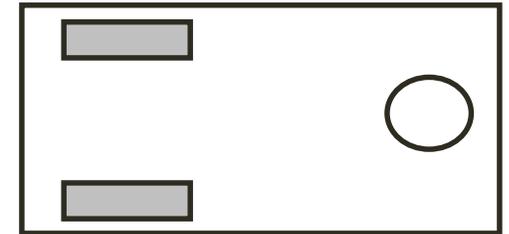
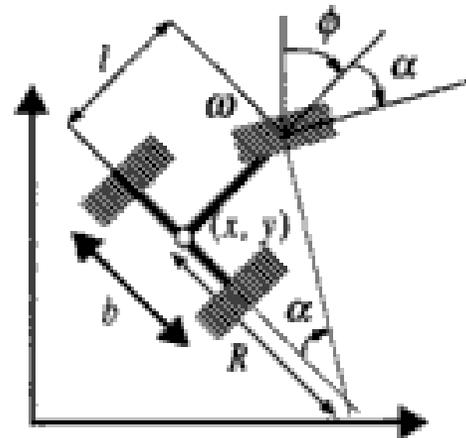
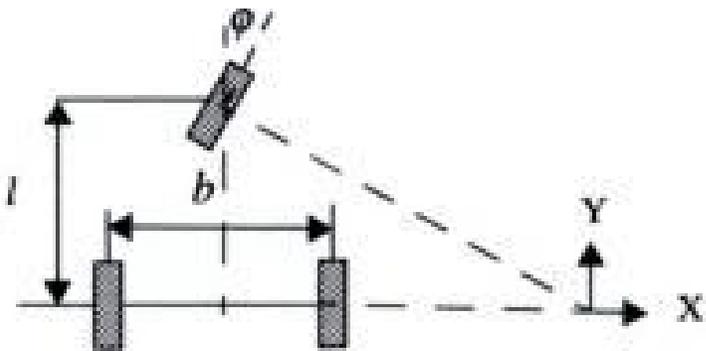


# ARRANJO DAS RODAS

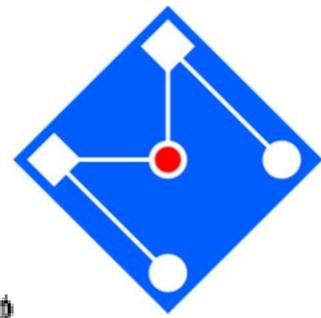
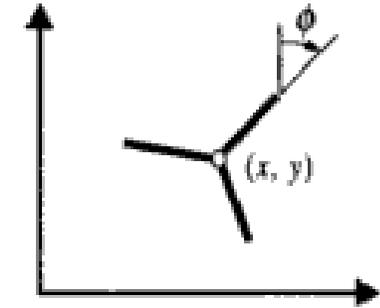
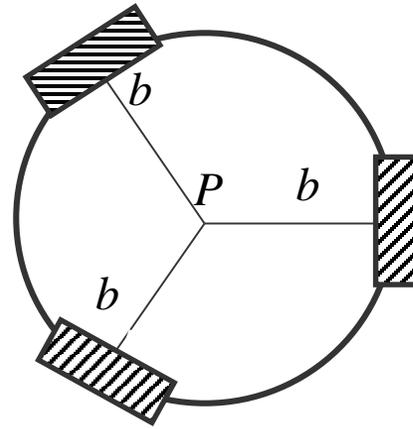


Arranjos de 3 rodas (Triciclo):

- Rodas diferenciais com um terceiro ponto de contato;
- Duas rodas motorizadas conectados por um eixo e uma roda de direção;
- Duas rodas livres e uma roda de direção motorizada.

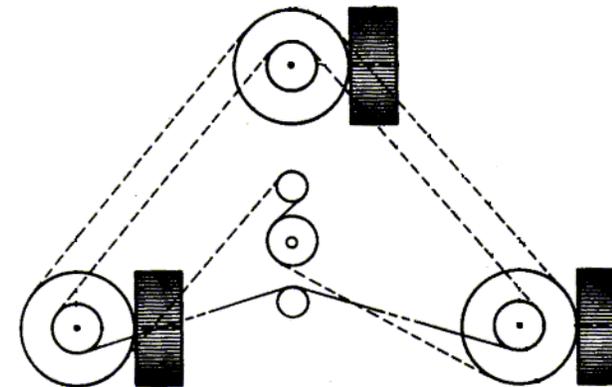


# ARRANJO DAS RODAS

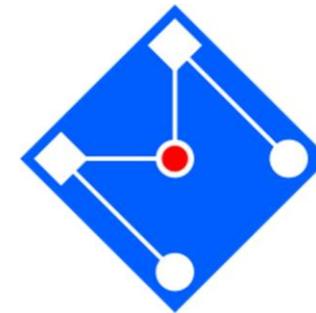


Arranjos de 3 rodas:

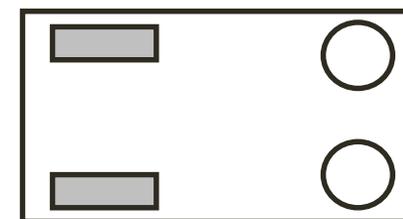
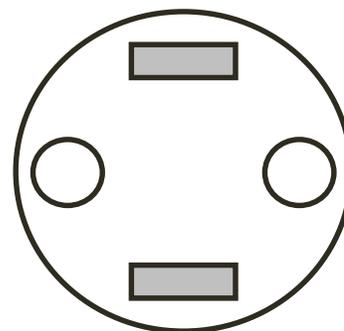
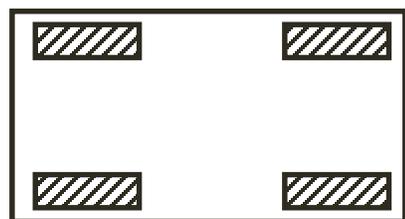
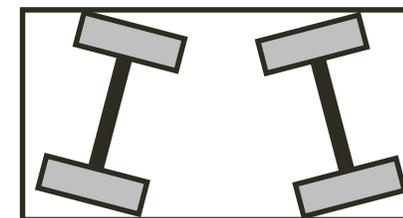
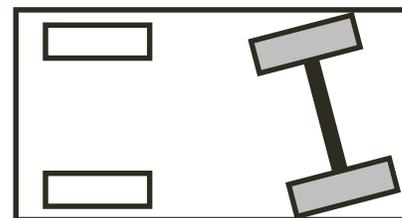
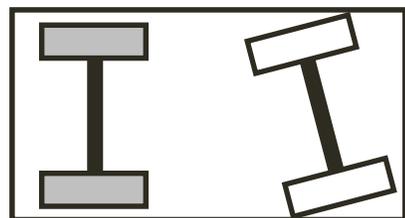
- Três rodas omnidirecionais (motorizadas)  $\Rightarrow$  robô holomônico;
- Três rodas sincronizadas com motorização e direção  $\Rightarrow$  dificulta o controle de orientação.



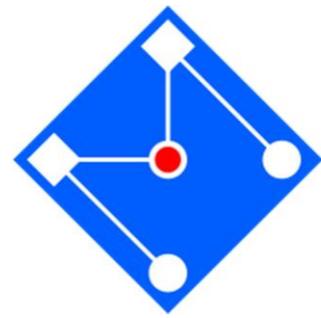
# ARRANJO DAS RODAS



Arranjos de 4 rodas:

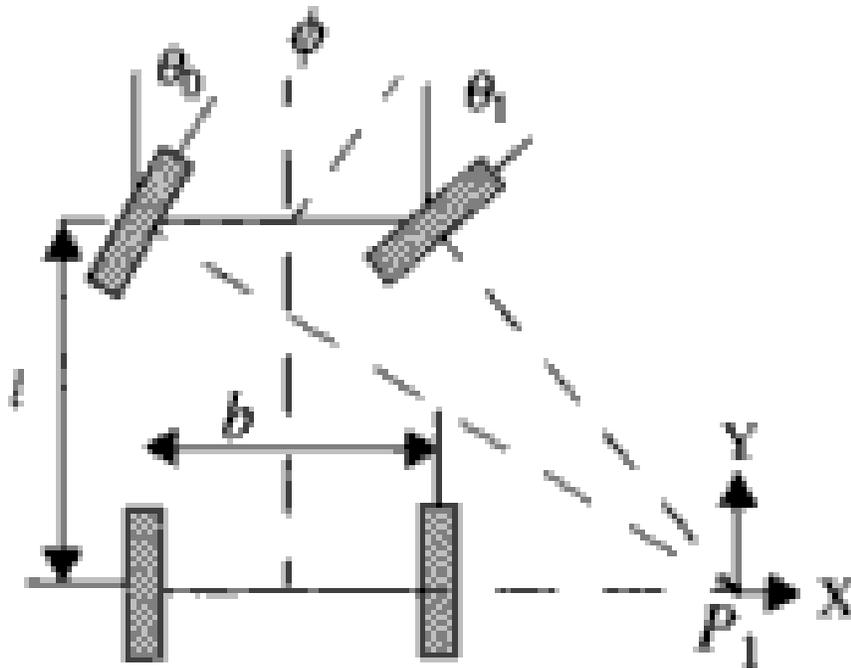


# SISTEMA ACKERMAN



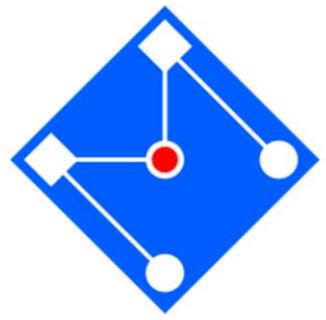
Veículos 4 rodas convencionais

$$\theta_1 > \theta_0$$



Fonte: Ollero A. Robótica. 2005.

# RODAS DIFERENCIAIS

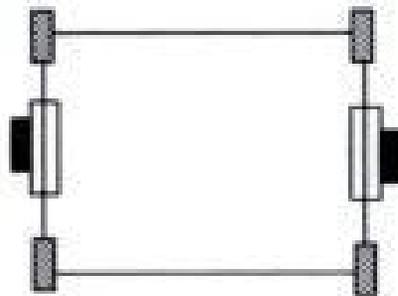


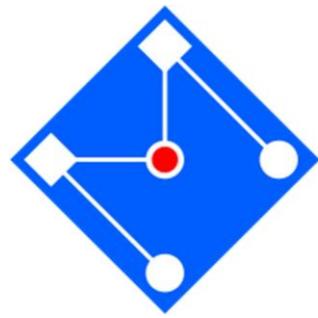
As rodas podem ser controladas independentemente e de formas diferentes:

- Motorização diferencial  $\Rightarrow$  duas ou mais rodas podem ser controladas de forma independente;
- Direção diferencial  $\Rightarrow$  duas ou mais rodas podem ser direcionadas de forma independente.

Porque rodas diferenciais é útil?

- Direcionar as rodas em qualquer direção  $\Rightarrow$  permitindo, por ex., girar parado;
- Permite seguir trajetórias arbitrárias.

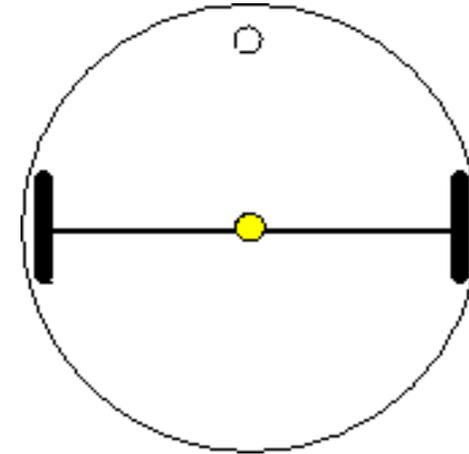
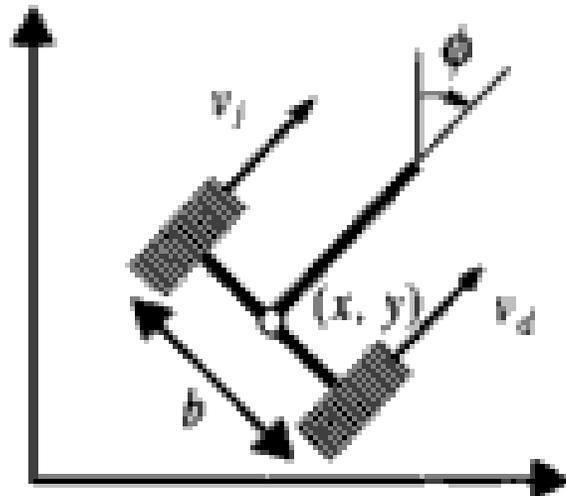




# DUAS RODAS DIFERENCIAIS

Uma forma:

- Duas rodas motorizadas e uma roda castor passiva;
- $b$  é a distância entre as rodas motorizadas.



$$\Delta U_i = (\Delta U_R + \Delta U_L)/2.$$

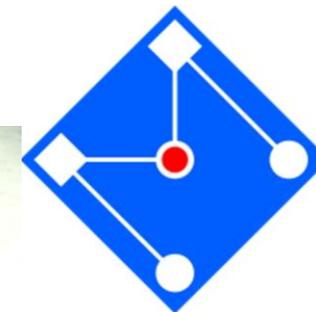
$$\Delta \theta_i = (\Delta U_R - \Delta U_L)/b$$

# DUAS RODAS DIFERENCIAIS

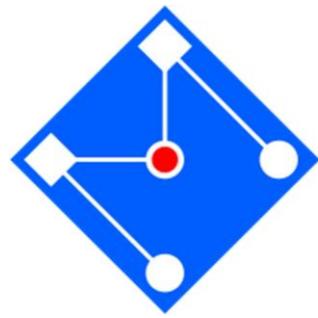
## Robô Pioneer P3DX:

- Robô de uso geral;
- Muito utilizado em pesquisa e ensino na área de robótica;
- Mais informações:

<http://robots.mobilerobots.com/>



# DUAS RODAS DIFERENCIAIS

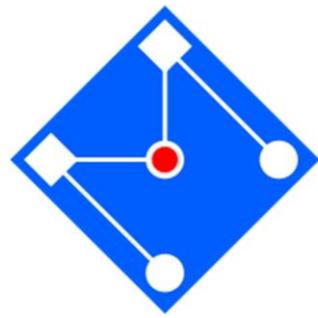


## Robô Cyé:

- Robô doméstico que pode aspirar pó e fazer entregas dentro de casa;
- Fabricado pela Probotics, Inc;
- Mais informações:  
<http://www.personalrobots.com>



# TRÊS RODAS SINCRONIZADAS



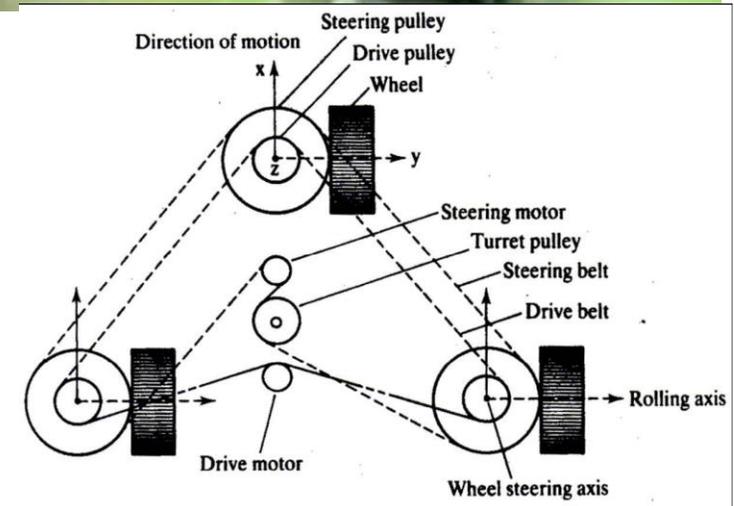
Todas as rodas são atuadas em conjunto por um único motor que define a velocidade do robô.

Todas as rodas são direcionadas em conjunto por um segundo motor que define a direção do robô.

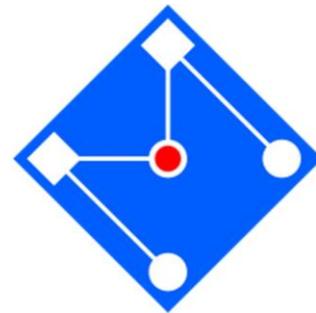
A orientação do robô no espaço permanece sempre a mesma  $\Rightarrow$  não é possível alterar a orientação do robô.

Robô *sincro-drive* de [Borenstein](http://www-personal.umich.edu/~johannb/):

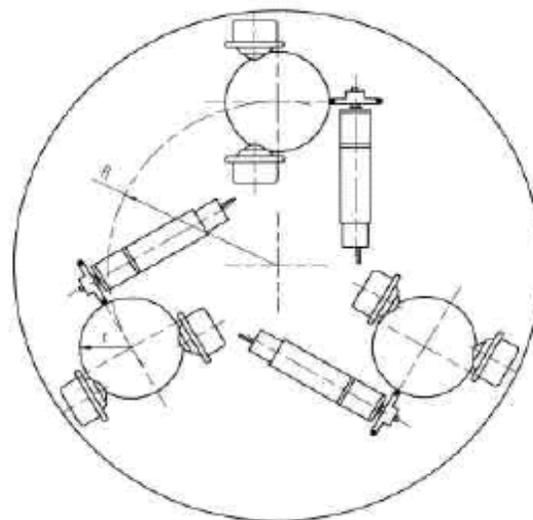
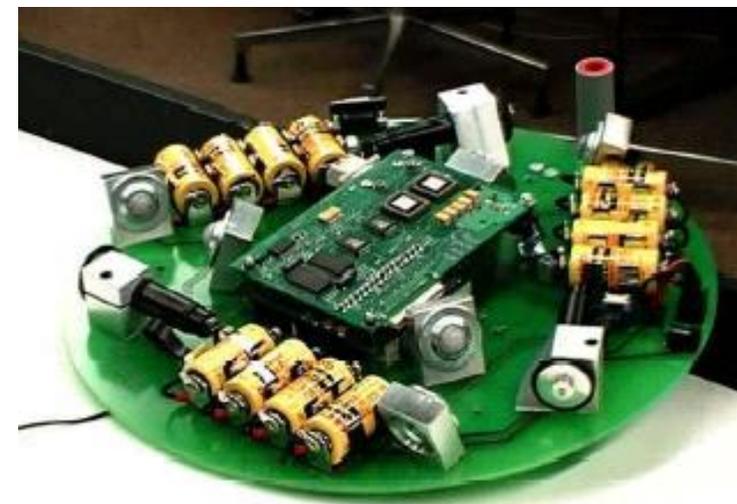
<http://www-personal.umich.edu/~johannb/>



# TRÊS RODAS ESFÉRICAS

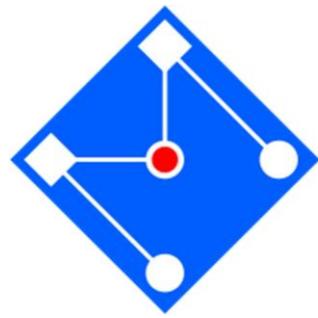


Robô holomônico Tribolo.



<http://www.innowebtive.com/kteam/boards/kameleon/tribolo.html>

# ROBÔ HOLOMÔNICO COM 3 RODAS



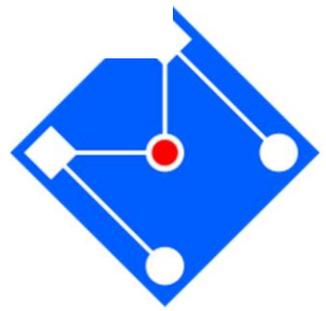
Robotino da Festo.

Mais informações: <http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/new-robotino/>

Cinemática de um robô holonômico com 3 rodas omnidirecionais?



# ROBÔ HOLOMÔNICO COM 4 RODAS

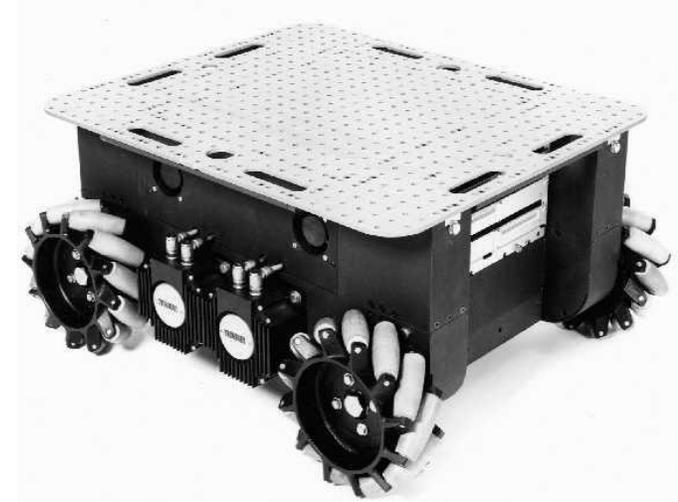


Movimento no plano tem 3 graus de liberdade:

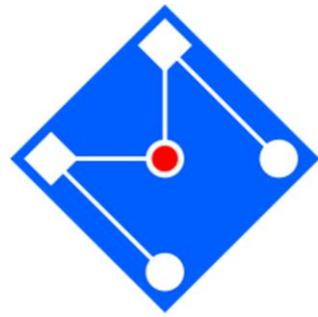
- Portanto somente 3 rodas podem ser controladas de forma independente;
- Seria melhor usar 3 rodas omnidirecionais em uma arranjo de triângulo.
- 4 rodas tem vantagens de estabilidade e capacidade de carga

Empilhadeira da [Airtrax](http://www.airtrax.ca):

<http://www.airtrax.ca/sidewinder.htm>



# RODAS PARA VENCER OBSTÁCULOS



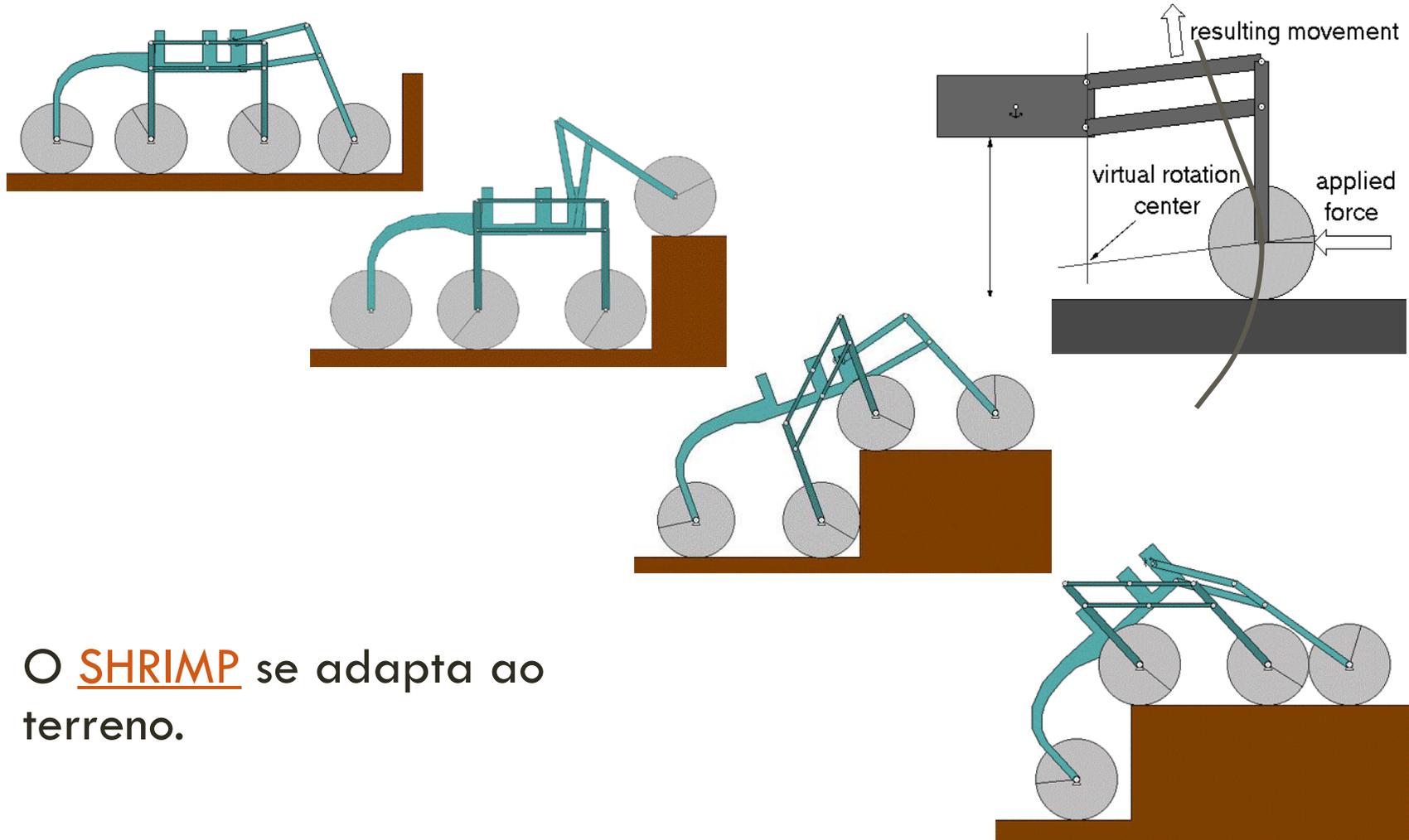
SHRIMP  $\Rightarrow$  robô móvel com capacidade vencer obstáculos:

- Possui 6 rodas:
  - 1 roda fixa na traseira;
  - 2 conjuntos de 2 rodas conectadas em cada lado;
  - 1 roda na frente com suspensão com molas.
- Tamanho: cerca de 60cm de comprimento por 20cm de altura.
- Bastante estável em terrenos acidentados.
- Ultrapassa obstáculos de até 2 vezes o diâmetros das suas rodas.



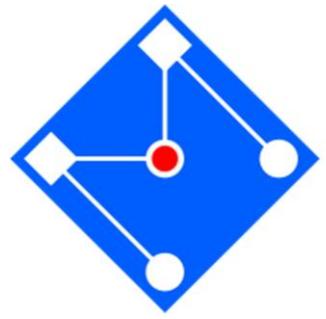
Mais informações: <http://www.bluebotics.com/solutions/Shrimp>

# RODAS PARA VENCER OBSTÁCULOS



○ SHRIMP se adapta ao terreno.

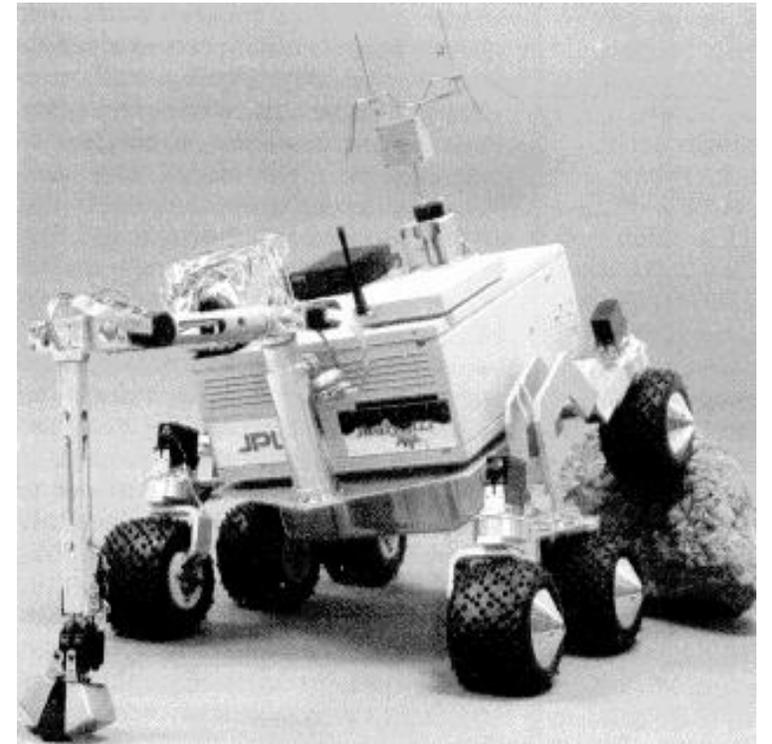
# RODAS PARA VENCER OBSTÁCULOS



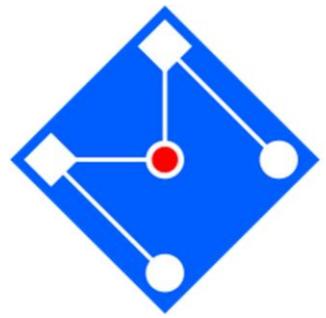
O SHRIMP é somente um exemplo de robôs com múltiplas rodas e com suspensão complexa capazes de vencer obstáculos.

Outros robôs tipos “rovers”:

- [Pernosal rover](#);
- [K9 rover](#);
- [Mars rover](#).



# LOCOMOÇÃO COM ESTEIRAS



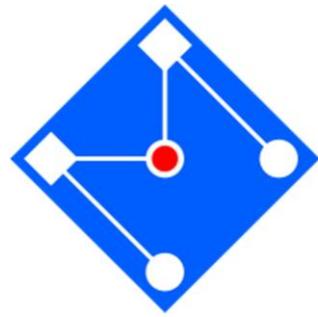
Esteiras representam outra solução atrativa para robôs móveis. Porque?

Exemplos:

- [Wayfare robot.](#)
- [Neomover.](#)



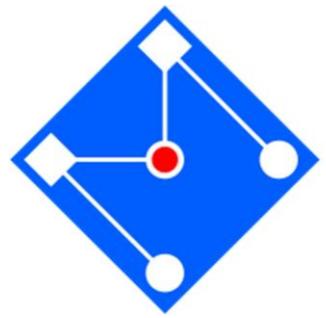
# LOCOMOÇÃO COM PERNAS



## Características:

- Adaptabilidade e manobrabilidade em terreno acidentado.
- Mecanicamente complexo.
- Pouco eficiente em termos de energia.
- Controle complexo.
- Comum na natureza.
- Estabilidade é um problema.

# LOCOMOÇÃO COM PERNAS



Robôs precisam ser estáveis para realizarem as suas tarefas.

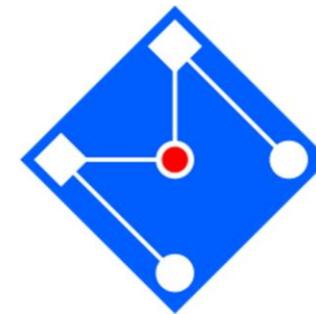
Estabilidade pode ser:

- Estática: o robô pode ficar em pé sem cair;
- Dinâmica: o robô deve balançar ou se mover para ficar estável.

Estabilidade estática é obtida por meio do projeto mecânico do robô.

Estabilidade dinâmica é alcançada por meio de controle com realimentação.

# LOCOMOÇÃO COM PERNAS



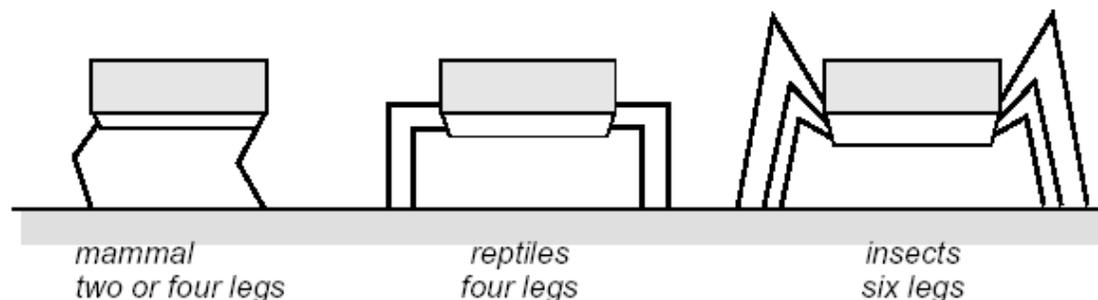
Quanto menor o número de pernas mais complicada se torna a locomoção:

- Pelo menos 3 pernas são necessárias para estabilidade estática em repouso.

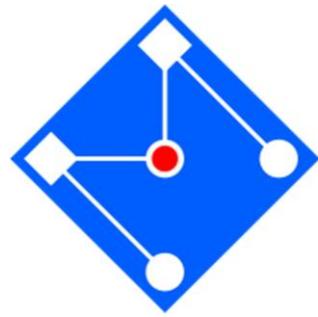
Durante a caminhada as pernas são levantadas:

- Perde-se estabilidade?

Para caminhada com equilíbrio estático pelo menos 4 pernas são necessárias.



# LOCOMOÇÃO COM PERNAS



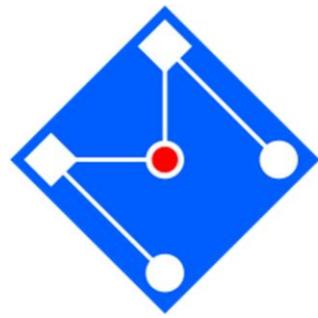
Como é a estabilidade dos seres humanos?

- Seres humanos não são estaticamente estáveis;
- Controle ativo do cérebro é necessário para manter estabilidade, embora isso seja inconsciente.

Estabilidade se torna mais fácil com mais pernas.

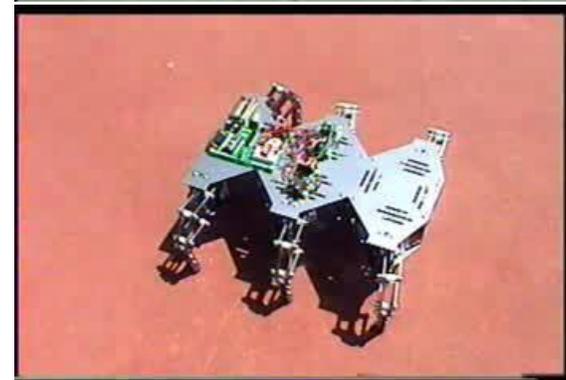
Para estabilidade  $\Rightarrow$  o centro de gravidade (CG) do robô deve estar dentro do polígono de suporte (área coberta pelas pernas em contato com o chão).

# LOCOMOÇÃO COM PERNAS

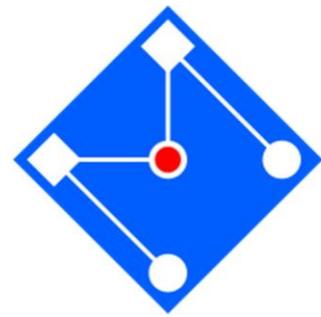


Devem existir pernas suficientes para manter o robô estável durante a caminhada. Qual será o mínimo n° de pernas para manter estabilidade durante a caminhada?

- Robô de 4 pernas só pode levantar uma perna de cada vez para ser estaticamente estável  $\Rightarrow$  caminhada lenta e de baixa eficiência;
- Robô de 6 pernas são muito comuns (tanto na natureza como na robótica)  $\Rightarrow$  permite caminhada estável.



# LOCOMOÇÃO COM PERNAS



Graus de liberdade por perna:

- Compromisso entre complexidade e estabilidade.

Um mínimo de dois graus de liberdade (GL) é necessário para mover uma perna:

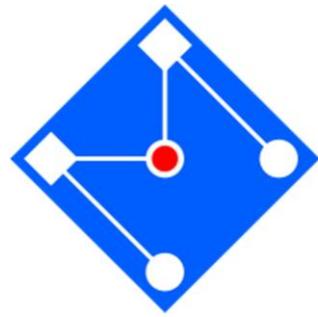
- Um movimento de levantar e outro de girar.

2 a 3 GL para cada perna na maioria dos casos.

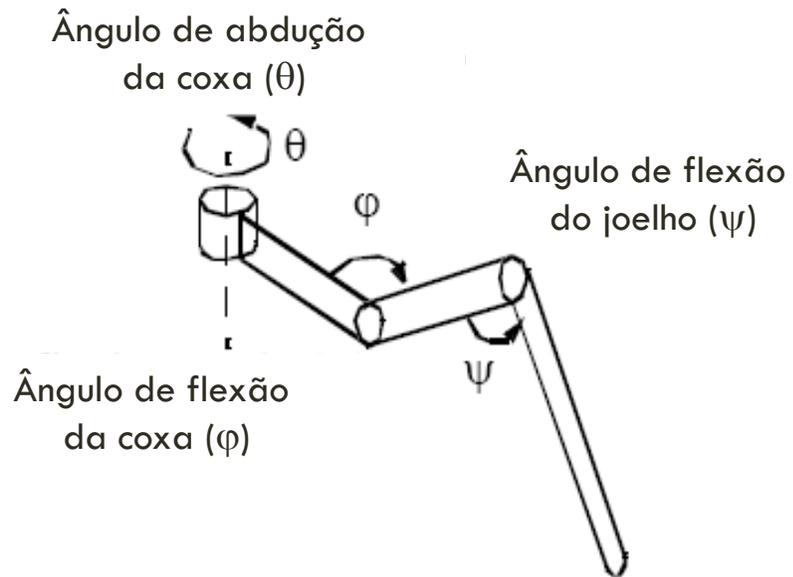
4 GL para o movimento do tornozelo:

- Melhora a eficiência do movimento de andar;
- Um GL adicional aumenta a complexidade do projeto e principalmente do controle.

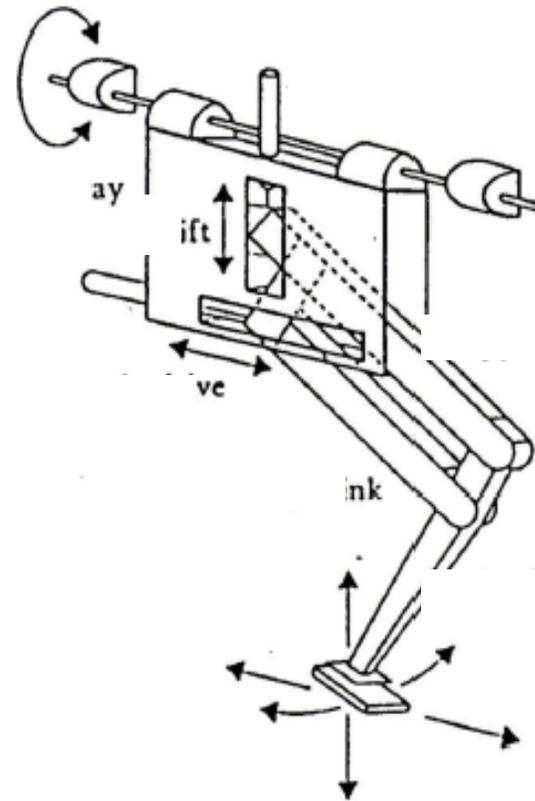
# LOCOMOÇÃO COM PERNAS



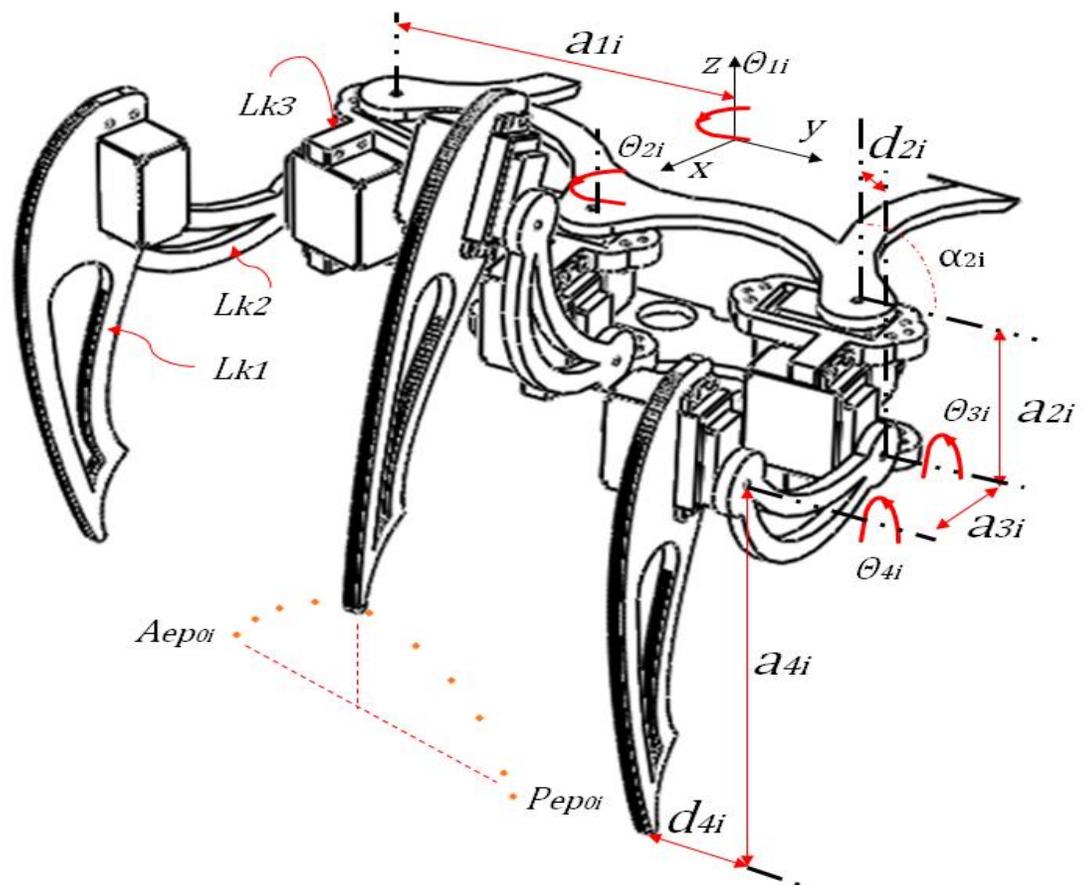
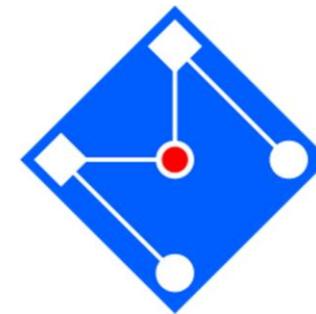
- Exemplos de pernas com 3 GL.



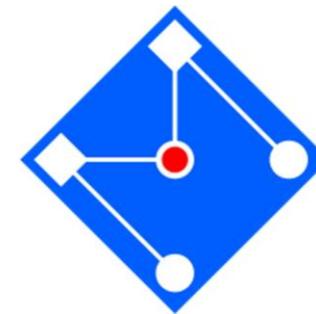
Abdução-adução



# MYRMEX



# LOCOMOÇÃO COM PERNAS



Graus de liberdade no sistema:

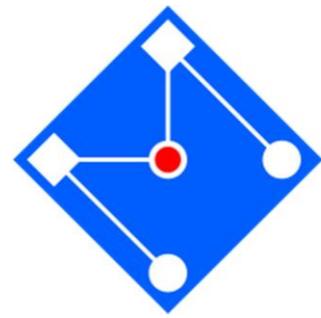
- Se forem muitos é necessário “gait motion”.

“Gait motion”:

- “Gait” é uma seqüência (ordem) repetitiva de movimentos que permitem a locomoção;
- “Gait” é caracterizado por uma seqüência de eventos de levantar e descer cada perna do robô;
- Permite movimentos sincronizados de: trote, caminhada, galope.

Número de eventos possíveis depende do número de pernas do robô.

# LOCOMOÇÃO COM PERNAS



Número de eventos possíveis,  $N$ , para um robô de  $k$  pernas:

$$N = (2k - 1)!$$

Para um robô bípede ( $k = 2$ ) o número de eventos possíveis:

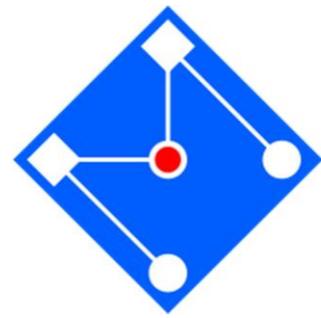
$$N = (2k - 1)! = 3! = 6$$

- Os 6 eventos diferentes são: levantar perna direita / levantar perna esquerda / abaixar perna direita / abaixar perna esquerda / levantar as duas pernas juntas / abaixar as duas pernas juntas

Para um robô de 6 pernas (hexapod) o número de eventos possíveis:

$$N = (2 \cdot 6 - 1)! = 11! \Rightarrow 39.916.800 \text{ eventos possíveis.}$$

# LOCOMOÇÃO COM UMA PERNA

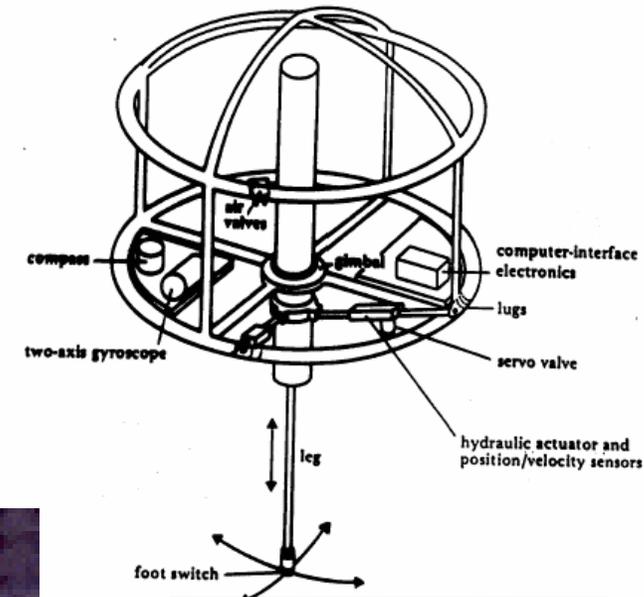
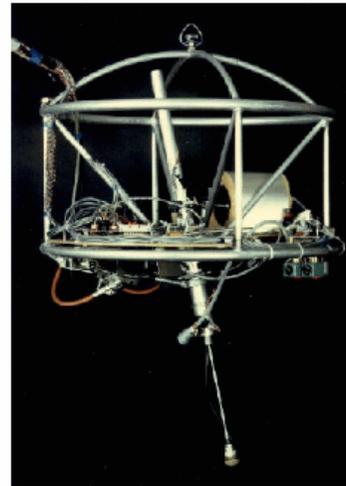


Equilíbrio totalmente dinâmico.

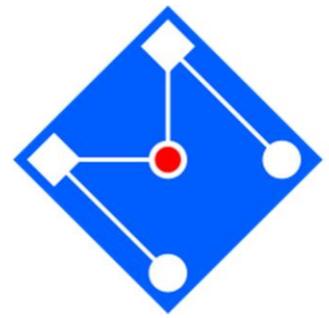
Tem que fazer ajustes contínuos na inclinação da perna para controlar o equilíbrio do corpo e a velocidade.

Sem aplicação industrial até o momento.

Robôs de 1 perna: [Hopper3D](#), [Ringrose](#).

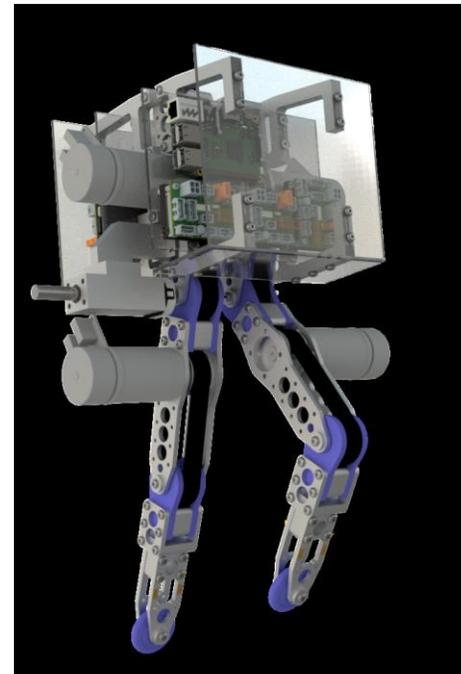


# LOCOMOÇÃO BÍPEDE

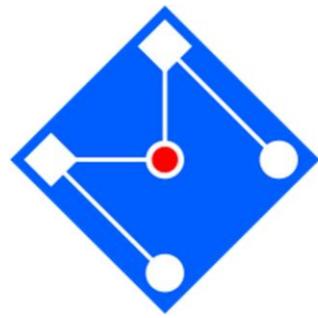


Está se tornando cada vez mais popular  $\Rightarrow$  robôs humanóides.

Estabilidade dinâmica é necessária para movimentar.



# LOCOMOÇÃO BÍPEDE



## Robô Asimo da Honda:

- 36 GL  $\Rightarrow$  3 no pescoço, 6 em cada perna, 7 em cada braço, 1 no torso, 2 em cada mão, 2 para os 5 dedos em cada mão;
- Peso 54kg, altura 1,30m, velocidade máxima correndo 3km/h;
- Giroscópio e acelerômetros no torso para manter equilíbrio;
- Sensor de força de 6 eixos nos pés para caminhar.

## Robô Qrio da Sony:

- 33 GL  $\Rightarrow$  4 no pescoço, 2 no corpo, 5 em cada braço, 6 em cada perna, 2 para os 5 dedos em cada mão;
- Peso 6.5Kg, altura 0,58m, velocidade andando 20m/min.
- Sensores de distância, acelerômetros, 4 sensores de força em cada pé, sensores de tato na cabeça, mãos e ombros.

## Os dois possuem:

- Câmera  $\Rightarrow$  detecção de objetos, reconhecimento de faces e gestos humanos;
- Reconhecimento de voz e som  $\Rightarrow$  reconhece o próprio nome e outras palavras, identifica direção do som.

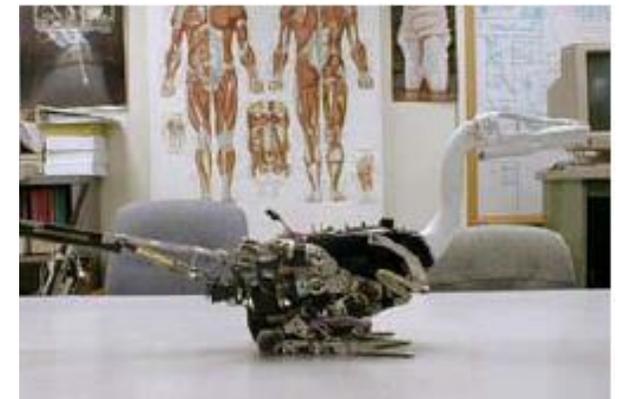
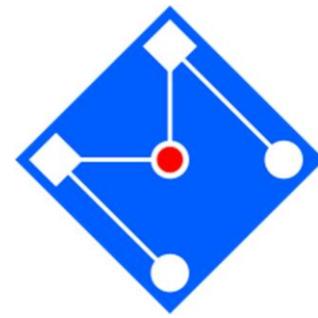
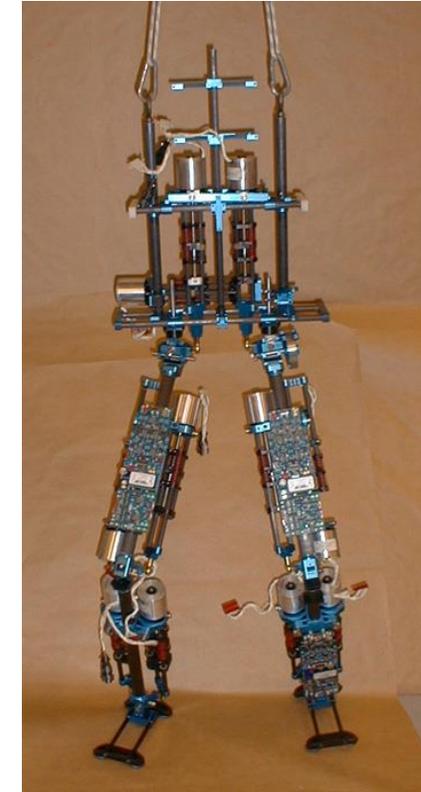
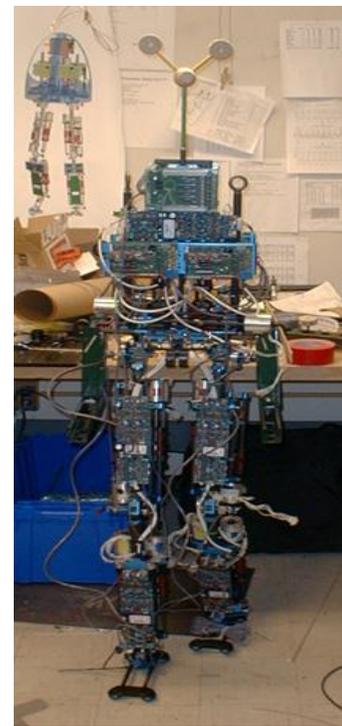
# LOCOMOÇÃO BÍPEDE

## Troody:

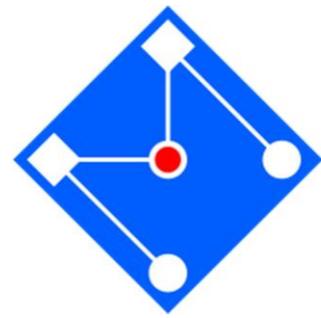
- 10 GL, 0,5m de altura, 1,5m de comprimento, peso 5 kg.

## Robô M2:

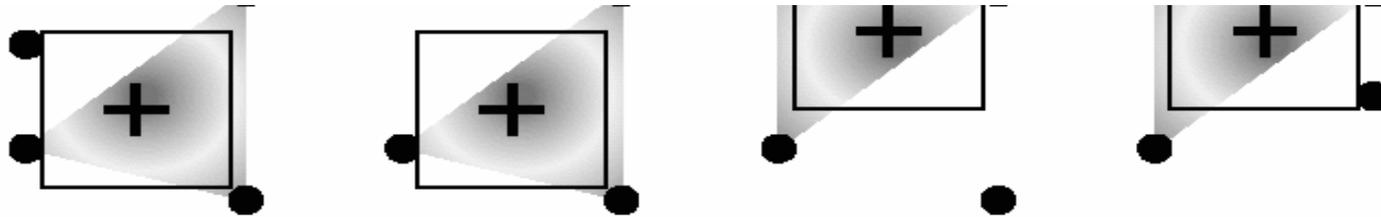
- 12 GL  $\Rightarrow$  3 em cada coxa-bacia, 1 em cada joelho, 2 em cada tornozelo.
- Capaz de andar a 1m/s.



# LOCOMOÇÃO QUADRÚPEDE

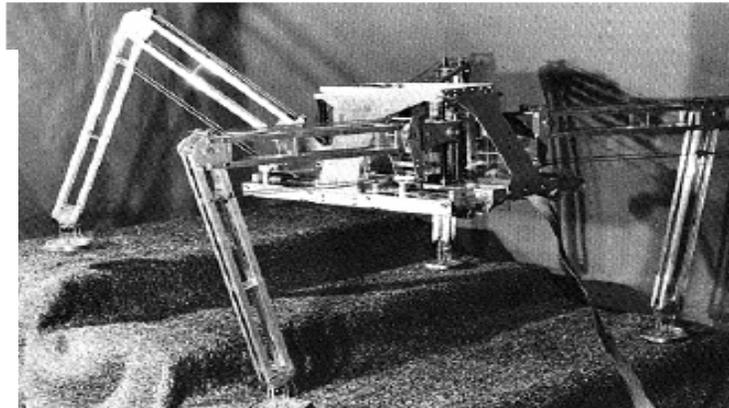


- Manter estabilidade durante movimento é difícil.
- Estabilidade estática é possível para um quadrúpede mesmo em movimento.
- Para manter estabilidade estática durante movimento  $\Rightarrow$  precisa manter o CG dentro da área coberta pelas pernas em contato com o chão.

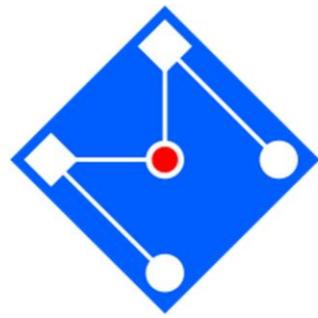


## Necessary to shift center

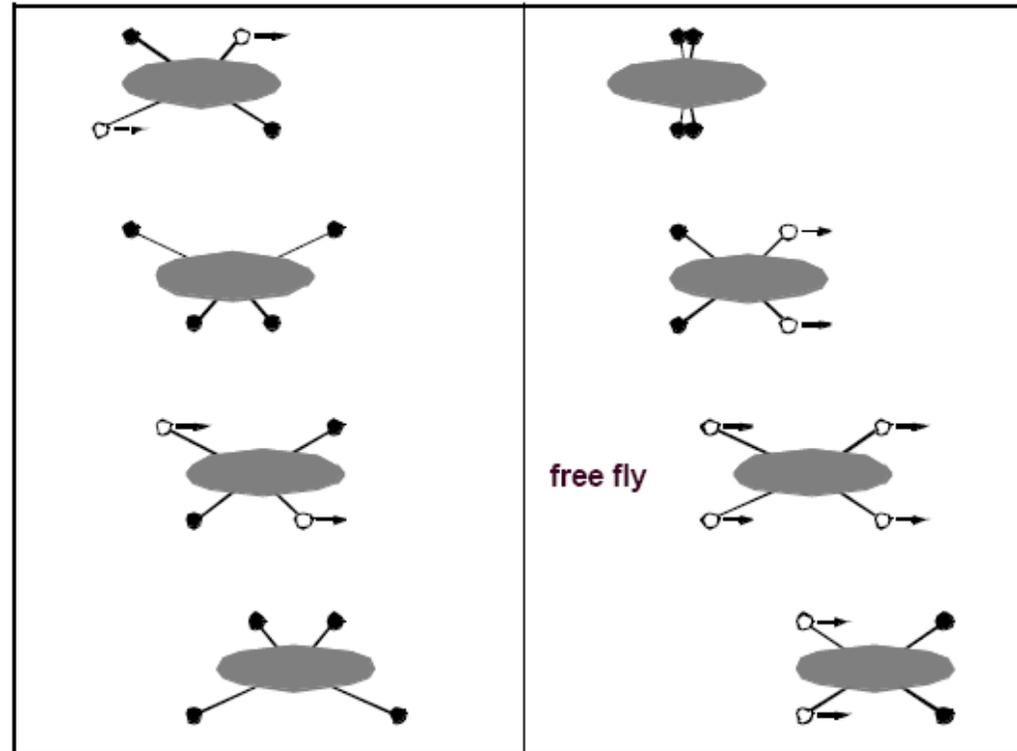
- Necessário deslocar CG enquanto todos os 4 pés estão apoiados no chão.
- Robôs que usam essa tecnologia se movimentam lentamente.



# LOCOMOÇÃO QUADRÚPEDE



“Gaits” mais comuns com 4 pernas.

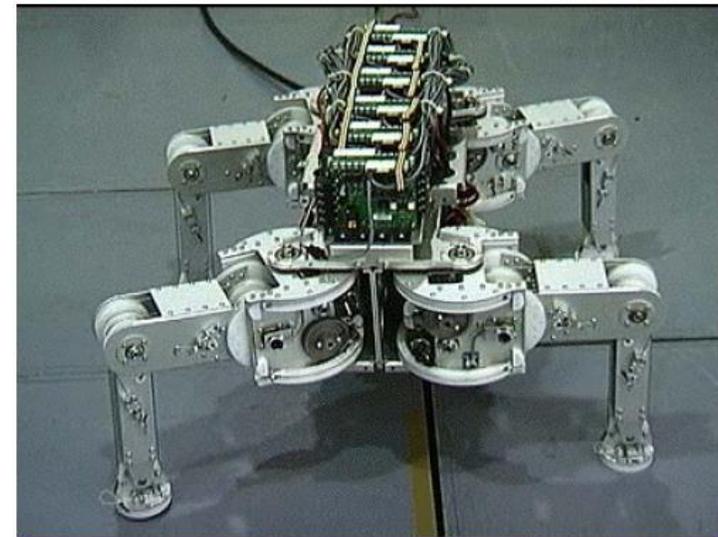
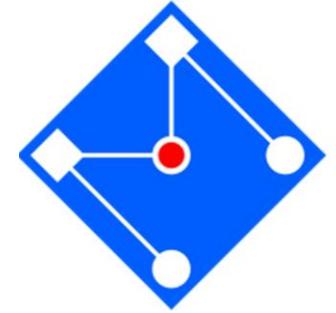


Trote

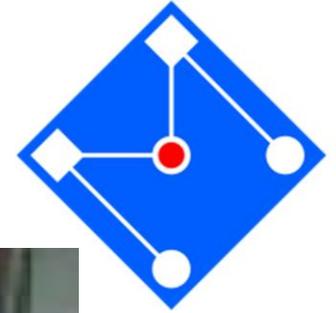
Galope

# Locomoção quadrúpede

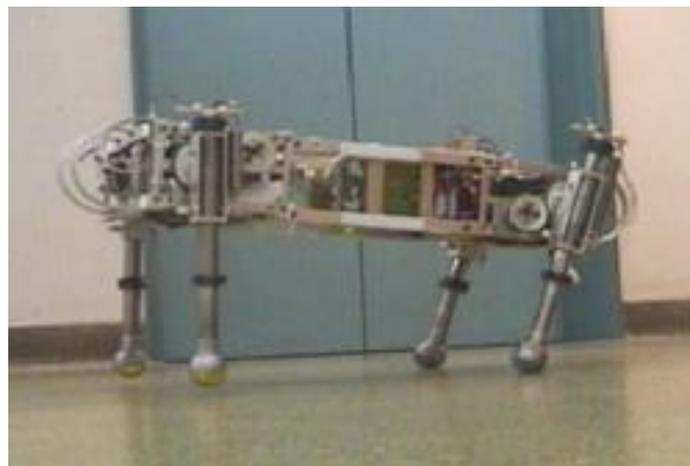
- Robô Aibo:
  - 18 GL  $\Rightarrow$  3 em cada perna, 1 na boca, 2 na cabeça, 3 na cauda;
  - Peso 1,5kg, altura 0,27m, comprimento 0,27m;
  - Sensores de tato, câmera colorida, sensores de distância, sensor de som, acelerômetros, velocidade angular.
- Robô TITAN:
  - 4\*3 GL;
  - Peso 19kg, altura 0,25m.



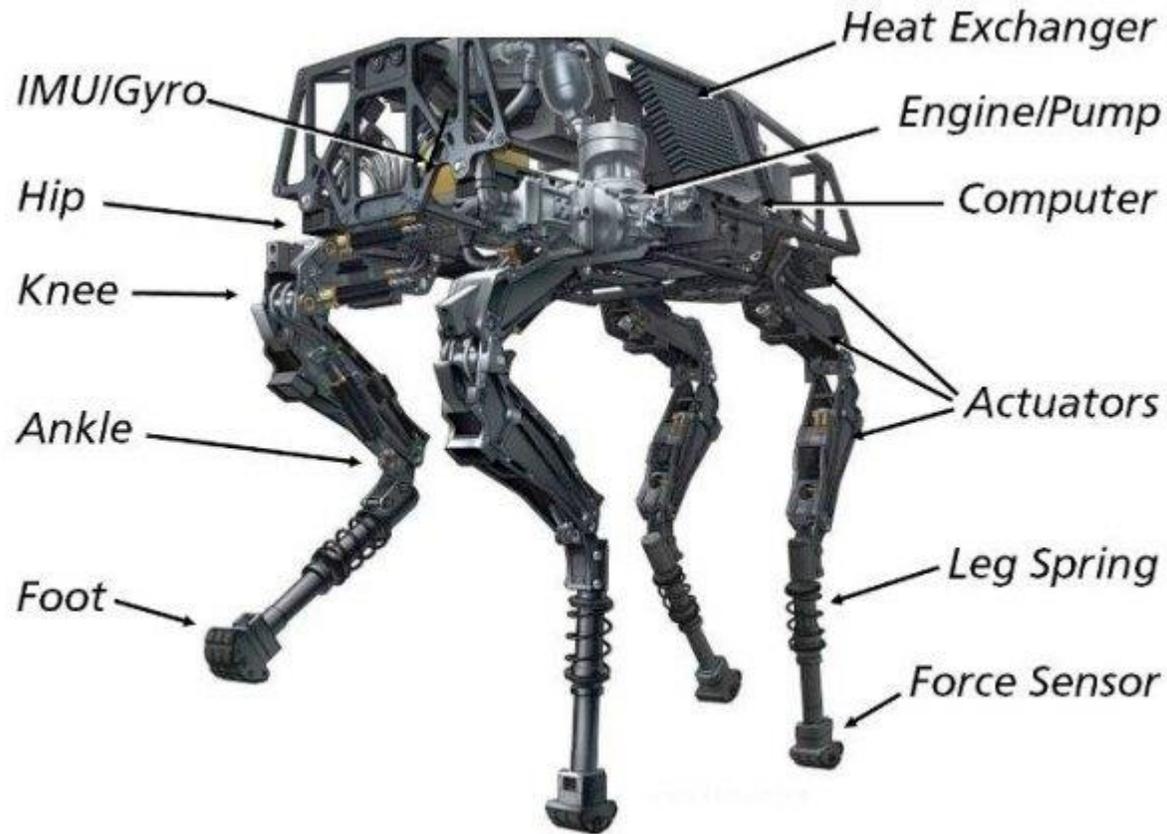
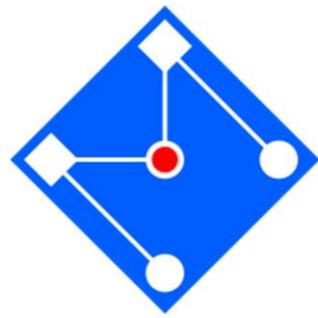
# Locomoção quadrúpede



- Robô Quadrupod.
- Robô Beast.
- Robô Scout.
- Robô Silo4.

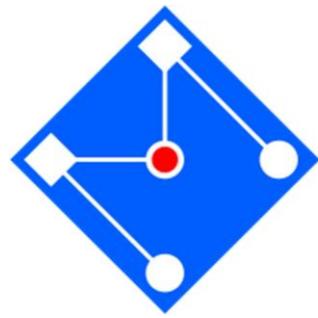


# BIG DOG BOSTON DYNAMICS

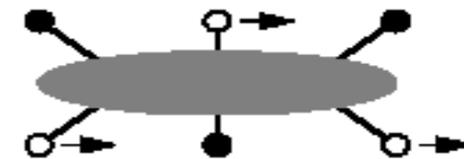
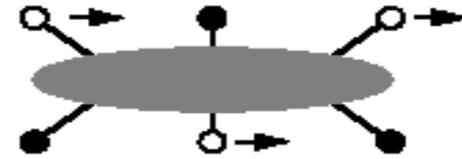


The Evolution Of Boston Dynamics' Robot Dogs

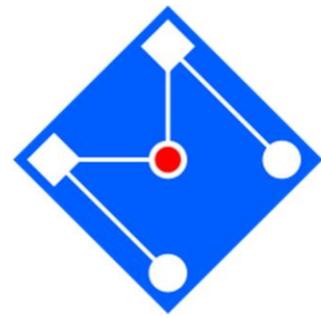
# LOCOMOÇÃO HEXAPODE (SEIS PERNAS)



- Estabilidade pode ser sempre garantida durante o movimento.
- 3 pernas sempre no chão.
- “Gait” mais comum com 6 pernas (movimento estático).



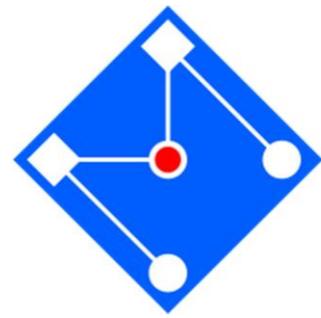
# LOCOMOÇÃO HEXAPODE (SEIS PERNAS)



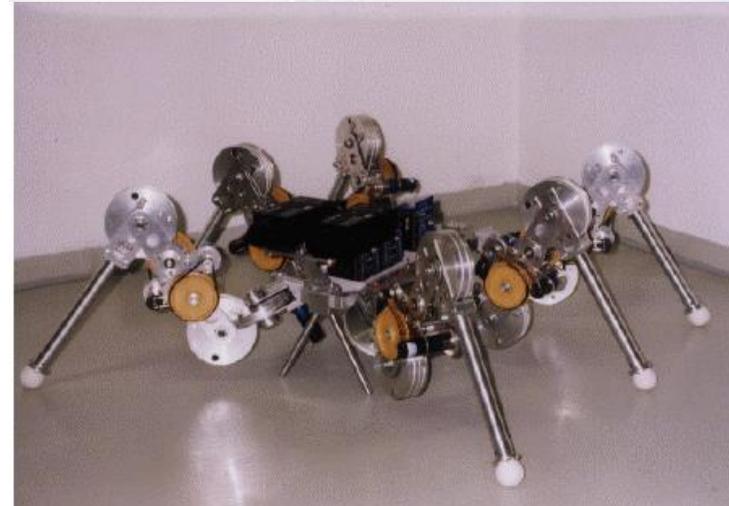
- Projeto mecânico das pernas pode:
  - Diminuir forças de atrito com o chão;
  - Simplificar movimento;
  - Simplificar cálculo do movimento.
- Robô hexapod auto-guiado da Universidade do Estado de Ohio, EUA:
  - Velocidade máxima: 2,3m/s;
  - Altura 3m, comprimento 5,2m;
  - Peso 4,3 ton;
  - GL: 3 por perna.
- Robô EH2:
  - GL: 2 por perna.



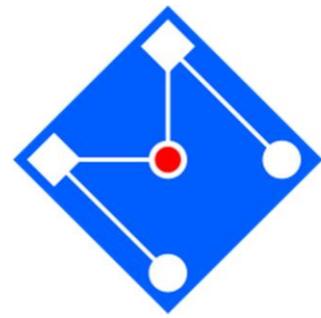
# LOCOMOÇÃO HEXAPODE (SEIS PERNAS)



- Robô Hexcrawler:
  - Dimensões: 49,7cm X 40,0cm;
  - Altura 15.2cm, peso 1,8kg;
  - GL: 2 por perna.
- Robô Lauron2:
  - Velocidade máxima: 0,5m/s;
  - Peso 6kg;
  - Altura 0,3m, comprimento 0,7m;
  - GL: 3 por perna.



# LOCOMOÇÃO - SUMÁRIO



Existem muitas formas possíveis de locomoção para os robôs.

Para os robôs com pernas o principal problema é estabilidade.

Para robôs com rodas, deve-se considerar:

- Estabilidade;
- Manobrabilidade;
- Controlabilidade.

As condições de operação e de uso do robô definem o tipo de locomoção que deve ser adotada.

Muitos exemplos de vídeos de robôs móveis: <http://www.plyojump.com>

<http://robot.vsb.cz/english/cojerobot/galerieSR/2003x1.htm>

FIM

