

Ao mentalizarmos robôs automaticamente imaginamos objetos semelhantes a nós seres humanos, seja na fisionomia física e/ou comportamental. Para Robôs que apresentam tais características o chamamos de humanoides (Figura 1.1). Isto ocorre comumente devido as ideias transmitidas pelos filmes de ficção científica, séries e animes. Mas afinal, o que é robótica? De maneira mais simples podemos definir a robótica como área da ciência responsável pela construção e desenvolvimento de robôs, que por sua vez são dispositivos capazes de operar e realizar ações e tarefas.

Um robô pode deslocar-se no espaço de um ponto a outro (ou pelo menos algumas de suas partes como são os casos dos manipuladores robóticos) e realizar tarefas (soldagem, limpeza, transportar cargas entre outros). Para isso se faz necessário a união de várias áreas distintas que juntas proporcionam a navegação no ambiente, a detecção de obstáculos e as execuções dos objetivos. Algumas delas são mostradas a seguir.

Mecânica: Presente na parte estrutural do robô (corpo, rodas, braços e etc.).

Eletrônica: Sensores e atuadores. Componentes utilizados para detecção dos obstáculos, objetos, e o posicionamento do robô no ambiente.

Controle: Parte responsável pelo alcance da posição desejada ou busca de determinada referência de forma previamente programada.

Informática: Área encarregada da programação e desenvolvimento do controle.

Robôs ao redor do mundo

A utilização de robôs vem aumentando exponencialmente nos últimos anos. Suas principais características que justificam suas utilizações são: alta precisão e repetibilidade nas suas ações, e substituição de seres humanos em atividades de alta periculosidade.

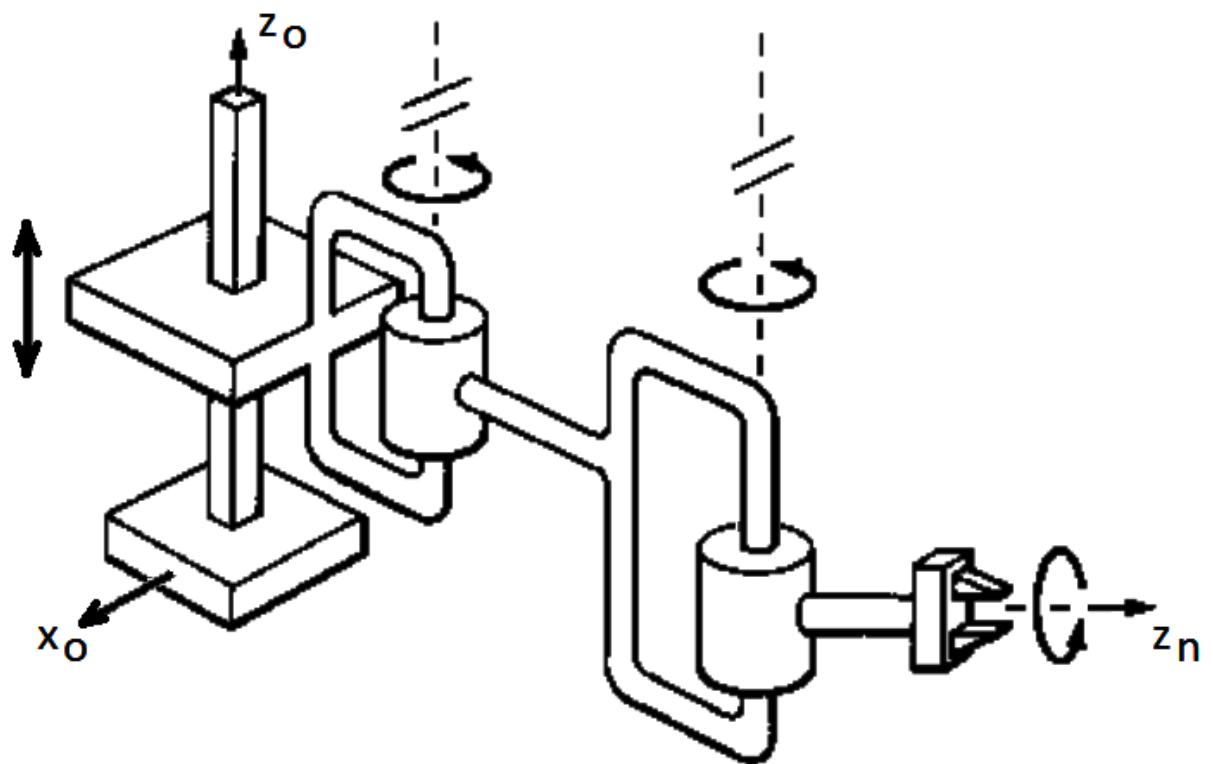


Figura 1.1: Humanoides em Filmes de Ficção.
 Fonte: <http://www.robotpark.com/academy/10-favourite-robot-movies-time/>

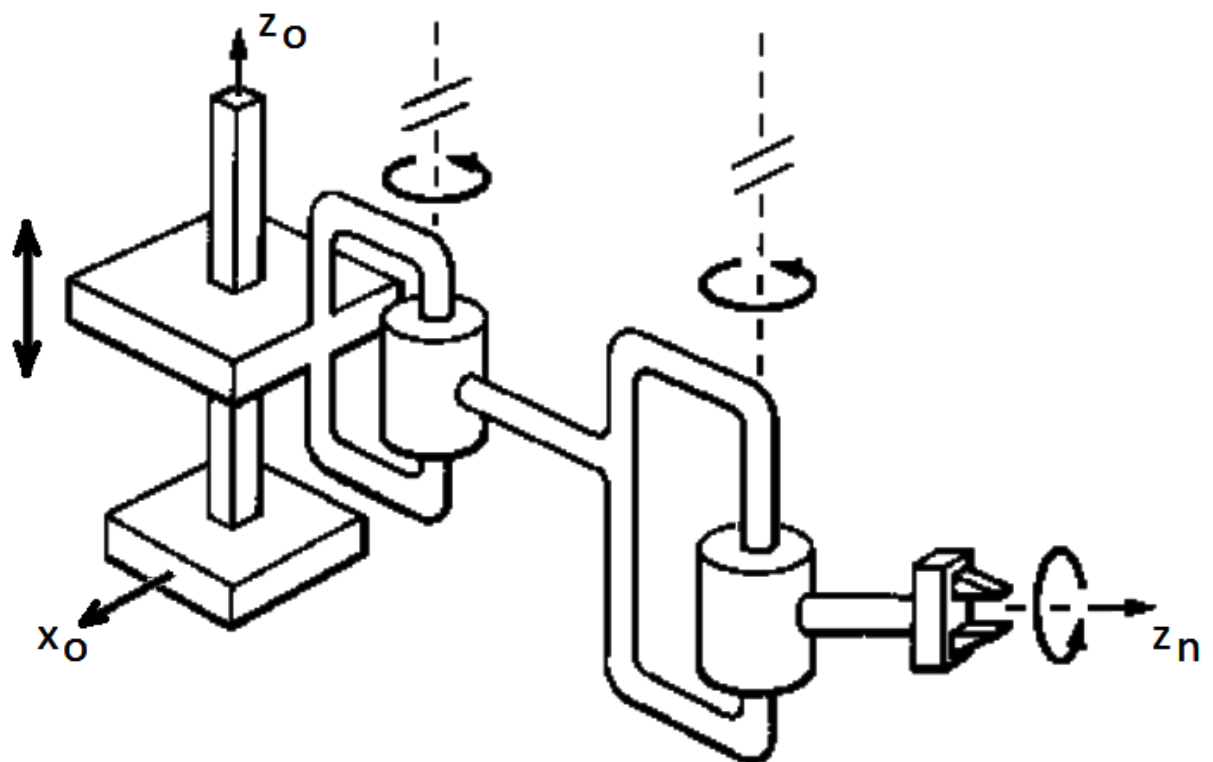


Figura 1.2: Áreas do conhecimento que constituem a robótica.

Exercícios

1.1: Defina grau de liberdade e espaço de trabalho de um manipulador robótico.

1.2: O que se entende por postura do efetuador de um manipulador robótico?

1.3: Defina cinemática direta e inversa de um manipulador robótico.

1.4: Calcule o determinante da matriz Jacobiano para o manipulador planar de dois graus de liberdade sabendo que seu Jacobiano é descrito por

$$J = \begin{bmatrix} -a_1 \sin \theta_1 - a_2 \sin (\theta_1 + \theta_2) & -a_2 \sin (\theta_1 + \theta_2) \\ a_1 \cos \theta_1 + a_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) & a_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix}$$

1.5: Defina manipulador redundante. Exemplifique para o espaço cartesiano tridimensional.

1.6: O que se entende por precisão e repetibilidade? Indique qual das duas é a mais importante em um manipulador robótico e explique.

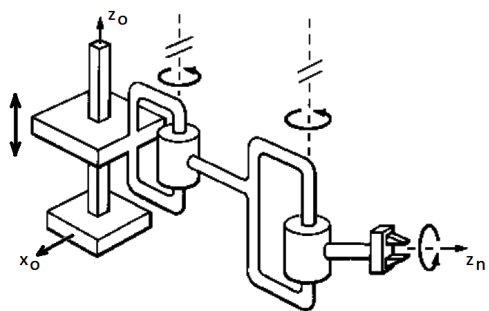
1.7: O que define as configurações de cotovelo para cima e cotovelo para baixo em um manipulador planar? Explique utilizando desenhos e equações se desejar.

1.8: O robô SCARA e o Esférico são classificados pela geometria como RRP. Diferem-se pelo arranjo cinemático. Explique qual a característica do arranjo cinemático dos robôs Cartesiano e SCARA que os classificam como robôs montadores em relação aos demais.

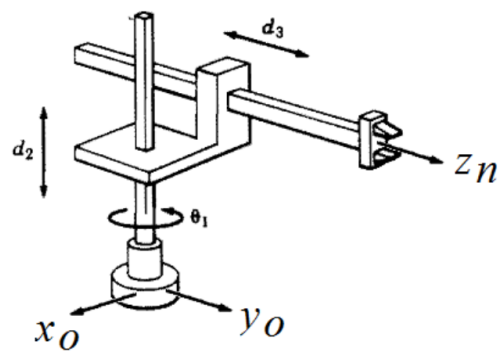
1.9: Um manipulador de três graus de liberdade é utilizado nas tarefas de traçado de trilhas e de perfuração de placas de circuito impresso. Seu efetuador possui um cabeçote, onde são acopladas as brocas de corte e de perfuração.

- a) Ilustre as possíveis configurações para realização dessa tarefa.
- b) Considerando que as juntas rotacionais são 25% mais rápidas que as prismáticas, indique a configuração ótima para a realização dessa tarefa. Justifique sua resposta.

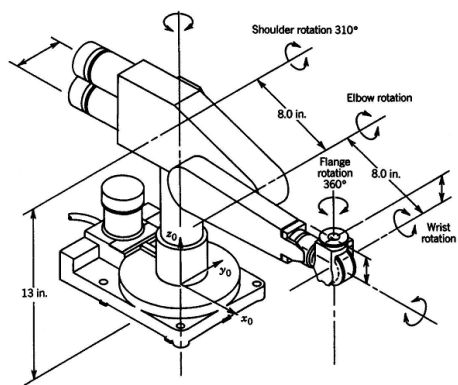
1.10: Para os manipuladores a seguir, faça sua representação em esqueleto (prismas e cilindros).



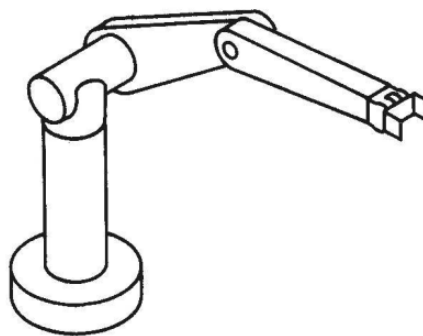
(a)



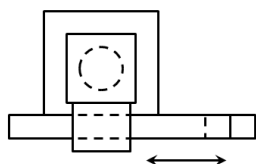
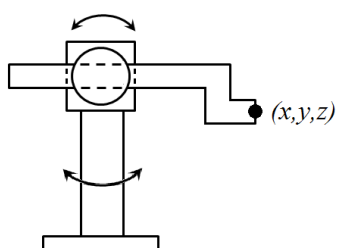
(b)



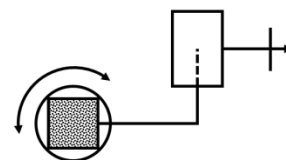
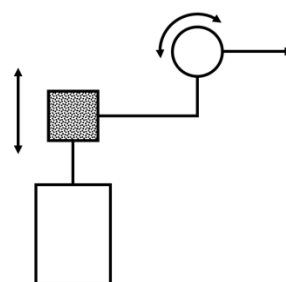
(c)



(d)



(e)



(f)

Exercícios

2.1: Um sistema de visão computacional pode ser classificado como sensores internos, externos ou ambos? Justifique.

2.2: Para determinar o movimento de um manipulador robótico durante a execução de uma tarefa, faz necessária a utilização de sensores internos de posição, velocidade, aceleração e, em certos casos, de força. No contexto de interação entre o robô e o ambiente, cite e explique brevemente o princípio de funcionamento de um sensor utilizado para medir cada uma destas variáveis internas.

2.3: Em visão computacional, um sistema de visão estéreo é composto por no mínimo duas câmeras observando uma mesma cena de pontos de vista distintos. Desta forma, é possível a determinação da profundidade dos objetos na cena observada através de uma análise de características de imagem que seja similares em cada par ou grupo de imagens capturadas.

Quando um sistema de visão mono-ocular é aplicado em robótica, alguns artefatos devem ser aplicados para determinar a profundidade de uma cena observada. Explique esta afirmação.

2.4: Quando um manipulador robótico é inserido em um ambiente não estruturado, é essencial que ele conheça o seu ponto de partida e sua relação com o meio no qual opera, para que ele se possa localizar e, por sua vez, interagir. Neste contexto, descreva o que vem a ser um ambiente não estruturado e cite ao menos dois exemplos de sensores internos e externos úteis neste cenário.

Modelagem e Representação Espacial

3

3.1 Matrizes de rotação e suas composições

3.1 Matrizes de rotação e suas composições	6
3.2 Movimento de um corpo rígido e Transformação Homogênea . . .	8

Exercícios

3.1: Explique fisicamente o efeito de um erro de sinal no cálculo da matriz de rotação e da matriz de translação de um manipulador, durante a execução de uma tarefa pelo efetuador.

3.2: (Spong, 2005) Considere a seguinte sequência de rotações:

- a) Rotacionar de ϕ o eixo x global.
- b) Rotacionar de θ o eixo z atual.
- c) Rotacionar de ψ o eixo y global.

Escreva o produto de matrizes que resultará na matriz de rotação final.

Nota: Expressar a resposta sem efetuar a multiplicação matricial.

3.3: (Spong, 2005) Considere a seguinte sequência de rotações:

- a) Rotacionar de ϕ o eixo x global.
- b) Rotacionar de θ o eixo z global.
- c) Rotacionar de ψ o eixo y atual.

Escreva o produto de matrizes que resultará na matriz de rotação final.

Nota: não faça a multiplicação da matriz.

3.4: (Spong, 2005) Considere a seguinte sequência de rotações:

- a) Rotação de ϕ sobre o eixo x global.
- b) Rotação de θ sobre o eixo z atual.
- c) Rotação de ψ sobre o eixo x atual.
- d) Rotação de α sobre o eixo global z .

Escreva o produto de matrizes que resultará na matriz de rotação final.

Nota: não faça a multiplicação da matriz.

3.5: (Spong, 2005) Considere a seguinte sequência de rotações:

- a) Rotação de ϕ sobre o eixo x global.
- b) Rotação de θ sobre o eixo z global.
- c) Rotação de ψ sobre o eixo x atual.
- d) Rotação de α sobre o eixo global z .

Escreva o produto de matrizes que resultará na matriz de rotação final.

Nota: não faça a multiplicação da matriz.

3.6: (Spong, 2005) Encontre a matriz de rotação representando uma rotação (*Roll angle*) de $\frac{\pi}{4}$, seguida de uma guinada (*Yaw angle*) de $\frac{\pi}{2}$, seguida por uma inclinação (*Pitch angle*) de $\frac{\pi}{2}$.

3.7: (Spong, 2005) Se o eixo de coordenadas $o_1x_1y_1z_1$ é obtido a partir do referencial $o_0x_0y_0z_0$ pela rotação de $\frac{\pi}{2}$ sobre o eixo x seguido por uma rotação de $\frac{\pi}{2}$ sobre o eixo fixo y , encontre a matriz de rotação R representando a transformação composta. Esboçar os quadros inicial e final.

3.8: Determine a matriz de rotação resultante de uma rotação de 60° em y , de 90° no eixo fixo z , de -90° no eixo corrente x e de 90° no eixo fixo y . Na sequência, determine $R_{z,-90^\circ}$ em função das demais matrizes de rotação. **Nota:** Expressar a resposta numericamente.

3.9: Considere as matrizes de rotação a seguir:

$$R_2^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \text{ e } R_3^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \text{ Determine } R_3^2.$$

3.10: Considere a sequência de rotação a seguir:

ϕ sobre o eixo fixo x ; θ sobre o eixo corrente z ; ψ sobre o eixo corrente y ; α sobre o eixo fixo z .

- Escreva o produto matricial que descreve a matriz de rotação resultante R .
- Determine $R_{x,\phi}$ dado que as demais matrizes de rotação são conhecidas.

3.11: (Spong, 2005) Calcular a matriz de rotação dada pelo produto

$$R_{x,\theta} R_{y,\phi} R_{z,\pi} R_{y,-\phi} R_{x,-\theta}$$

3.12: No contexto de robótica, um manipulador móvel consiste em um braço robótico montado sobre uma plataforma móvel. Este sistema consistiu um dos recentes desafios tecnológicos em termos de controle de postura e de interação com o ambiente. Para o seu efetuador, considera-se que uma rotação na base implica em uma rotação no eixo fixo da estrutura do braço robótico e que rotações das articulações são equivalentes a rotações nas articulações do braço.

Assim sendo, considerando um manipulador SCARA montado sobre uma base móvel, determine a sequência de rotação final R , quando a primeira articulação do braço rotaciona R_{z,θ_1} , na sequência a plataforma rotaciona $R_{z,\psi}$ e $R_{x,\phi}$, e, por fim, a segunda articulação rotaciona R_{z_2,θ_2} . Escreva o produto matricial que descreve a matriz de rotação resultantes. Caso a rotação final já esteja estabelecida, assim como a configuração articular do braço robótico, determine a matriz de rotação que estabelece a orientação da plataforma.

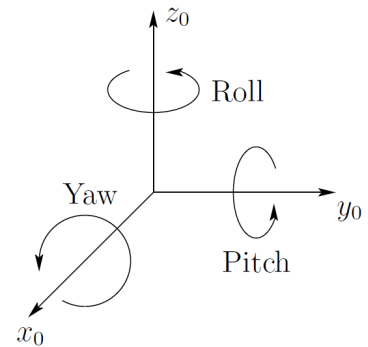


Figura 3.1: Exercício 3.6.

3.13: Em robótica aérea, a determinação da postura de uma aeronave pode ser dada de forma relativa a uma base de comando. Em outras palavras, o centro de gravidade da aeronave, com sistema de referência $o_a x_a y_a z_a$, pode ser expresso em relação ao sistema de referência da base de comando, dado por $o_b x_b y_b z_b$. Assumindo que a aeronave é destinada a missões de vigilância, essa possui um sistema de visão artificial, cujo sistema de referência é dado por $o_c x_c y_c z_c$.

Neste contexto, faça um esboço da situação apresentada, destacando os sistemas de referência e apresente relação de transformação homogênea existente entre o sistema de referência da câmera e a base de comando.

Nota: Considere que existe translação e rotação entre os sistemas de referência, entretanto não é necessário efetuar o produto das matrizes resultantes.

3.14: Em sistemas de fotografia aérea realizada através de um veículo aéreo não tripulado (VANT), comumente faz-se o uso de um sistema de *pan-tilt* da câmera para que seja possível fazer a sua orientação com relação à superfície. No presente caso, o VANT possui seis graus de liberdade e o sistema de pan-tilt, dois.

Considerando que o movimento da câmera é dado em relação ao VANT e ele se move em relação a um referencial inercial, represente a seguinte sequência de rotação: Arfagem da aeronave para translação longitudinal R_{y_a, θ_a} , seguida de uma compensação de elevação R_{y_c, θ_c} e uma rotação de observação R_{x_c, ϕ_c} da câmera, e, finalizada, com uma guinada R_{z_a, ψ_a} da aeronave para observação do ambiente.

Por fim, em função da matriz de rotação final, determina a matriz de rotação referente ao orientação da câmera.

3.2 Movimento de um corpo rígido e Transformação Homogênea

Exercícios

3.15: Na cinemática de braços manipuladores, é importante falar de transformações homogêneas, as quais servem para mapear translações e rotações de eixos referenciais. Em braços manipuladores, cada elo é associado a um eixo referencial. Um mapeamento p_B^A caracteriza-se por determinar a postura de um ponto p , localizado no referencial B , no referencial inercial A . Onde A e B , normalmente, não possuem origens coincidentes.

Suponha que a posição de p no referencial B é $(2, 0, -2)$ e a posição de B no referencial A é $(4, -3, 5)$, e que a orientação entre os sistemas de

referência é dada por $R_B^A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$.

Determine graficamente e numericamente a posição e orientação do ponto p no referencial A .

Na sequência, agregue um novo referencial C em uma posição e orientação qualquer com relação ao referencial B , insira um ponto q_C localizado na posição $(1, -1, 1)$ e o represente nas coordenadas do referencial inercial, i.e., p_C^A .

3.16: Suponha que a posição de um ponto p no referencial B é $(0, 1, 1)$ e a posição de A no referencial B é $(2, 4, 3)$, e que a orientação entre os sistemas de referência é dada por $R_B^A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$. Determine graficamente e numericamente a posição do ponto p no referencial A .

3.17: Determine as transformações homogêneas H_1^0, H_2^0, H_2^1 representando as transformações em torno dos três eixos referenciais indicados. Mostre que $H_2^0 = H_1^0 H_2^1$.

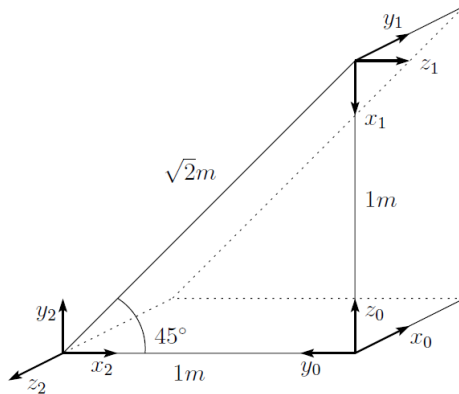


Figura 3.2: Exercício 3.17.

3.18: Dada a figura abaixo, encontre a transformação homogênea que relacionem o referencial do objeto sobre a mesa ($o_2 x_2 y_2 z_2$) e o referencial inercial do manipulador ($o_0 x_0 y_0 z_0$), i.e., H_2^0 . Na sequência, encontre H_3^0 e explique o seu contexto físico no problema em questão. Por fim, obtenha H_3^2 a partir das matrizes homogêneas já encontradas e explique o seu contexto físico no problema em questão.

3.19: Suponha que a posição de um ponto p no referencial B é $(-1, 1, 2)$ e a posição de A no referencial B é $(1, -1, 1)$, e que a orientação entre os sistemas de referência é dada por $R_B^A = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$. Determine graficamente e numericamente a posição do ponto p no referencial A .

3.20: Na cinemática de braços manipuladores, é importante falar de transformações homogêneas, as quais servem para mapear translações e rotações de eixos referenciais. Em braços manipuladores, cada elo é associado a um eixo referencial. Um mapeamento p_B^A caracteriza-se por determinar a postura de um ponto p , localizado no referencial B , no

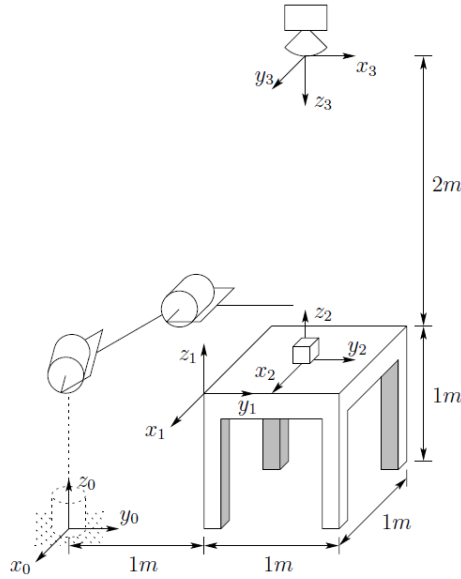


Figura 3.3: Exercício 3.18.

referencial inercial A . Onde A e B , normalmente, não possuem origens coincidentes.

Suponha que a posição de p no referencial B é $(1, 1, 0)$ e a posição de A no referencial B é $(4, 3, 2)$, e que a orientação entre os sistemas de referência

é dada por $R_B^A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$.

Determine graficamente e numericamente a posição do ponto p no referencial A .

3.21: Em sistema de monitoramento por câmeras, uma das câmeras está localizada no referencial C a uma distância de $(3, 4, 3)$ m da base de controle localizada no referencial B . A orientação entre esses sistemas de

referência é dada por $R_B^C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$. Uma pessoa p é observada

na posição $(-1, 2, 5)$ m em relação a C . Determine graficamente e numericamente a posição do ponto p no referencial B . Por fim, determine a posição da base de controle B em relação à câmera C .

3.22: Um dos desafios da robótica móvel na atualidade é o transporte de cargas utilizando veículos aéreos não tripulador (VANT), conhecidos como Drones. Comumente, a execução desse tipo de tarefa é realizada de forma centralizada, onde uma estação em terra é responsável por capturar a informação de posição e orientação das aeronaves e calcular os sinais de controle necessários para a realização da tarefa. Supondo que três VANTs sejam utilizados para erguer uma carga em forma triangular através de cabos flexíveis, esboce tal configuração em voo considerando os sistemas de referência de cada aeronave, da estação em terra e da carga. Apresente a transformação homogênea entre a carga e a estação em terra, levando em consideração o sistema de referência centroide da formação aérea. Por fim, discuta como a orientação da carga pode ser alterada durante voo.

Nota: Indique a nomenclatura dos sistemas de referências adotados.

3.23: Duas pessoas estão sendo monitoradas por uma câmera de vídeo em um auditório, enquanto executam a tarefa de carregar uma mesa retangular. Esboce os sistemas de referências necessários para descrever tal cena, informe as relações entre os sistemas de referências e descreva seu sentido físico.

Nota: Indique a nomenclatura dos sistemas de referências adotados.

3.24: Os primas da figura a seguir são idênticos e possuem dimensões: comprimento = 10, altura = 5 e largura = 2. Para tal, determine:

- A posição do referencial ($o_2x_2y_2z_2$) em relação ao referencial inercial ($o_0x_0y_0z_0$).
- A posição do referencial ($o_2x_2y_2z_2$) em relação ao referencial inercial ($o_0x_0y_0z_0$), após uma rotação em x_1 de 90° e uma rotação em z_0 de -90° .

Nota: A solução de cada item deverá ser apresentada na forma de matriz Homogênea.

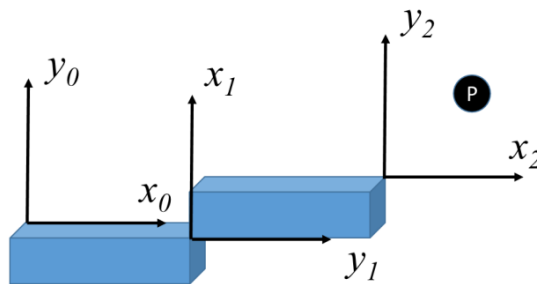


Figura 3.4: Exercício 3.24

3.25: Em uma partida de futebol de robôs da categoria *Very Small Size*, o sistema de referência inercial é o centro do campo, com o eixo x apontando na direção das balizas.

Uma câmera é montada sobre o campo, a fim de informar a postura dos

jogadores e a posição da bola. Sua posição é $\begin{bmatrix} 0 \\ -0.3 \\ 2 \end{bmatrix}$ m, com orientação

$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$, em relação ao referencial inercial.

Se o atacante de uma das equipes está na sua posição $\begin{bmatrix} 1 & 0,5 & 0,1 \end{bmatrix}^T$ m, em relação ao referencial inercial, rotacionado de -90° no eixo z desse referencial, e a bola de jogo está posicionada nas coordenadas $\begin{bmatrix} -0,7 & -0,8 & 1,95 \end{bmatrix}^T$ m, em relação ao referencial da câmera, determine numericamente a posição da bola em relação ao atacante. Esboce o problema dado, sem precisão de escala, porém indicando as dimensões.

Exercícios

4.1: Para os manipuladores a seguir, indique os sistemas de referência adotados, aponte os parâmetros, monte a tabela de Denavit-Hartenberg.

4.2: Para os manipuladores a seguir, indique os sistemas de referência adotados, aponte os parâmetros, monte a tabela e determine sua cinemática direta pelo método de Denavit-Hartenberg.

4.3: Para as vistas dos manipuladores a seguir, indique os sistemas de referência adotados, aponte os parâmetros, monte a tabela e determine sua cinemática direta pelo método de Denavit-Hartenberg.

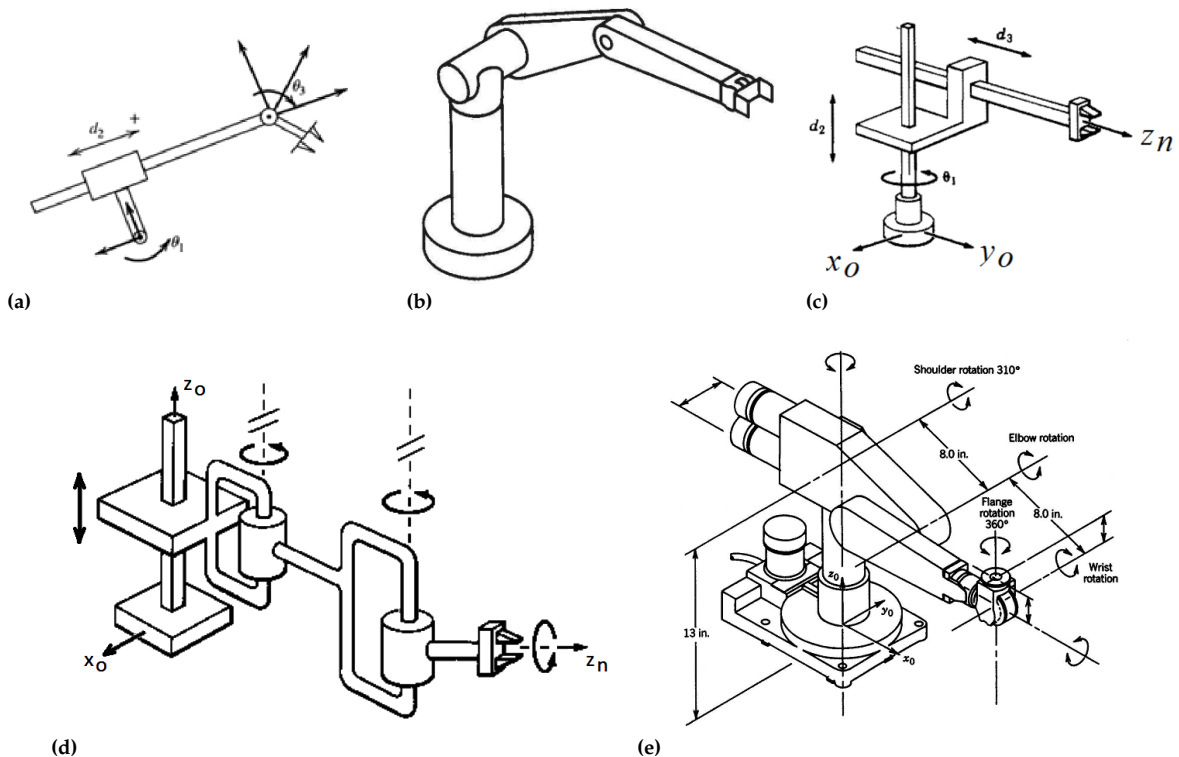


Figura 4.1: Manipuladores Ex. 4.1.

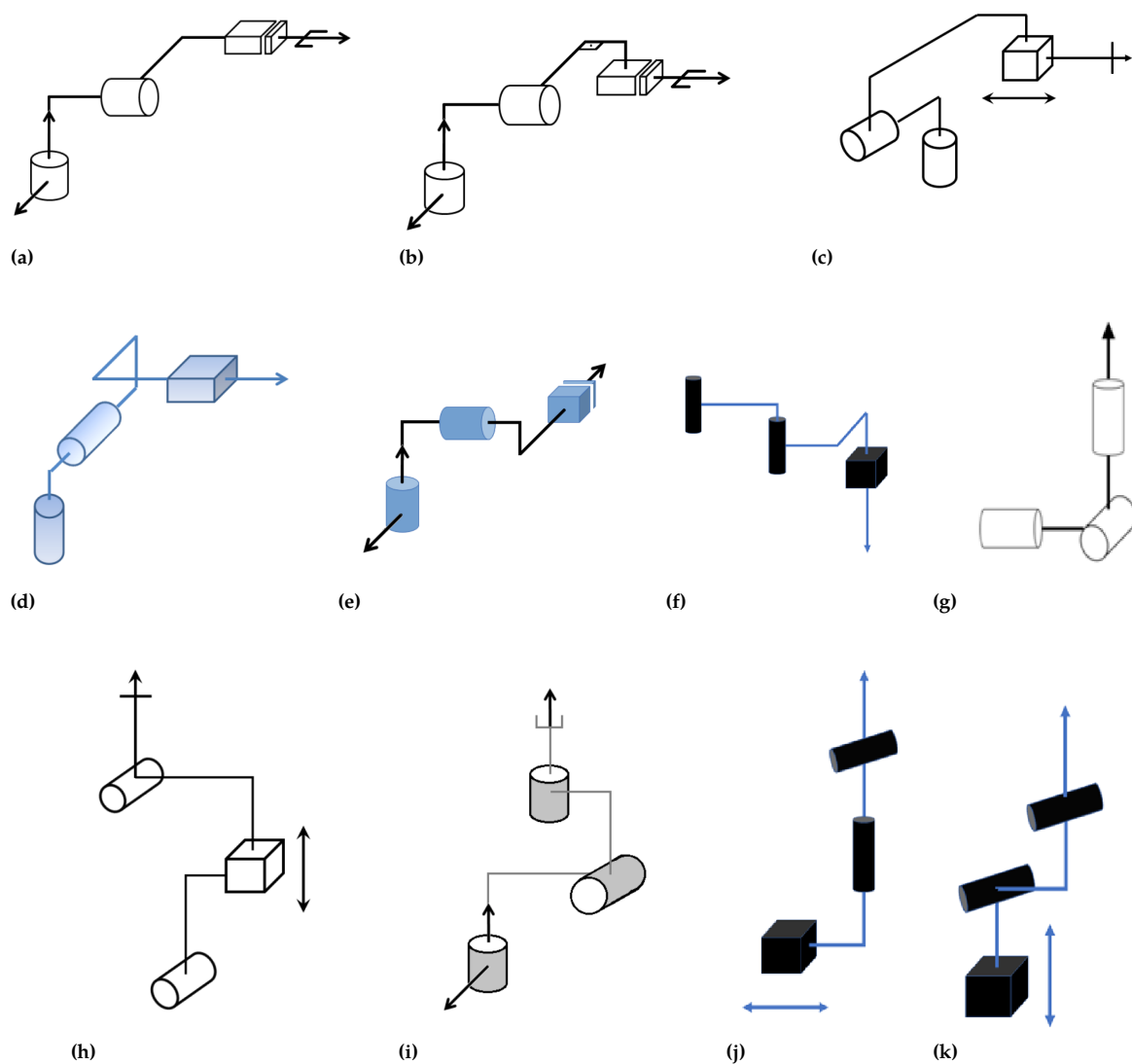


Figura 4.2: Manipuladores Ex. 4.2.

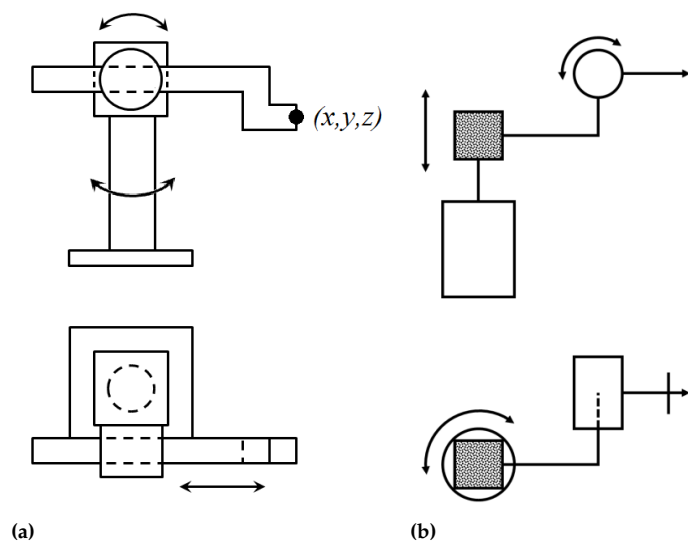


Figura 4.3: Manipuladores Ex. 4.3.

Exercícios

5.1: Explique o significado físico da matriz Jacobiano?

5.2: Indique a importância na identificação das singularidades de um manipulador robótico. Na sequência, descreva sobre a relação entre o Jacobiano e as singularidades.

5.3: Como o volume de trabalho de um manipulador pode ser obtido através de suas condições singulares?

5.4: Faça o que se pede:

- Defina redundância de um manipulador robótico.
- Aponte as vantagens e desvantagens de se utilizar um manipulador redundante.
- Escreva a associação entre a redundância, graus de liberdade e o posto da matriz Jacobiano. Exemplifique no mínimo quatro configurações de manipuladores redundantes ou não.

5.5: Explique a relação existente entre o número de graus de liberdade de um manipulador robótico e a ordem e o posto da matriz Jacobiano. Discuta, em forma comparativa, o caso de manipuladores com J_{11} pertencentes a $\mathbb{R}^{3 \times 2}$, $\mathbb{R}^{3 \times 3}$, $\mathbb{R}^{3 \times 4}$, e $\mathbb{R}^{3 \times 4}$ com posto de J_{11} iguais a 2, 3, 3 e 2, respectivamente. Ilustre tais manipuladores.

5.6: Em uma situação hipotética, dois manipuladores robóticos, sendo um de 8DOF e outro de 4DOF, apresentaram o posto da matriz Jacobiano igual a 4. Qual a conclusão que se pode tirar dessa situação? Qual a vantagem operacional de se utilizar um manipulador de 8DOF ao invés do de 4DOF?

5.7: Em uma situação hipotética, dois manipuladores robóticos apresentam jacobiano translacional pertencentes ao $\mathbb{R}^{3 \times 2}$ e $\mathbb{R}^{3 \times 4}$, faça uma análise qualitativa e exemplifique graficamente tais sistemas sabendo que seus postos são iguais a 2 e 3, respectivamente.

5.8: Explique a relação existente entre a configuração articular de um manipulador robótico de n graus de liberdade e a ordem e o posto de sua matriz Jacobiano. Sugestão: Para ilustrar e facilitar a análise, varie o valor de n ?

5.9: Dadas as propriedades da matriz anti-simétrica a seguir, demonstre que $\omega_{0,2}^2 = \omega_{0,1}^0 + R_1^0 \omega_{1,2}^1$ a partir de $R_2^0(t) = R_1^0(t)R_2^1(t)$.

- (i): $S(\alpha a + \beta b) = \alpha S(a) + \beta S(b)$
- (ii): $S(a)p = a \times p$
- (iii): $R(a \times b) = Ra \times Rb$
- (iv): $RS(a)R^T = S(Ra)$

5.10: A partir da matriz de rotação $R_{y,\theta} \in SO(3)$, demonstre que a matriz anti-simétrica S_y é dada por $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$.

5.11: Para o autorama da figura abaixo, determine a velocidade do carro 2 em relação ao observador (sistema referencial), dado que se conheça a velocidade relativa do carro 2 para o carro 1, assim como a velocidade do carro 1 em relação ao observador. Entenda como sistema referencial o local onde os *joysticks* são conectados para acionamento dos carros.

Nota: Faça uma nova figura destacando os sistemas de referência adotados.

5.12: Considere o manipulador robótico de três graus de liberdade da figura abaixo, determine seu Jacobiano pelo método estudo na cinemática da velocidade. Em seguida, encontre o Jacobiano translacional de forma analítica e compare com o J_{11} obtido anteriormente. Por fim, encontre as condições singulares deste manipulador caso elas existam.

5.13: Para os manipuladores do Exercício 4.2, determine sua cinemática da velocidade pelo método de Denavit-Hartenberg, encontre seu Jacobiano completo pelo método da cinemática da velocidade e compare o resultado com o Jacobiano translacional (J_{11}) encontrado pela forma analítica.

5.14: Para os manipuladores do Exercício 4.3, determine sua cinemática da velocidade pelo método de Denavit-Hartenberg, encontre seu Jacobiano completo pelo método da cinemática da velocidade e compare o resultado com o Jacobiano translacional (J_{11}) encontrado pela forma analítica.



Figura 5.1: Ex. 5.11.

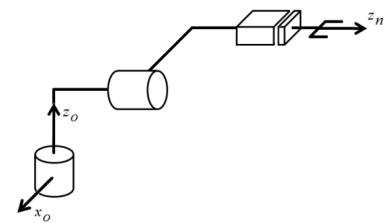


Figura 5.2: Ex. 5.12.

Exercícios

6.1: Explique a diferença entre as estratégias de planejamento de caminho e de trajetória.

6.2: Explique qualitativamente a diferença entre o sistema de planejamento de trajetória de trecho de velocidade constante e o de tempo mínimo.

6.3: Indique e justifique o tipo de controle de movimento utilizado nas situações a seguir:

- a) Ontem pela manhã fiz uma caminhada ao redor da lagoa principal da universidade e demorei aproximadamente 37 minutos.
- b) A edição de 20165 do rally dos sertões foi realizada entre os dias 01 a 08 de agosto e com partida em Goiânia e chegada em Foz do Iguaçu, passado por Rio Verde, Itumbiara, São Simão, Três Lagoas, Euclides da Cunha e Umuarama.
- c) A prova de revezamento 4x100 metros realizada no último final de semana resultou num novo recorde mundial de 36.84 segundos.

6.4: Indique a(s) possível(is) estratégia(s) de controle de movimento para as situações a seguir. Marque 1 para posicionamento, 2 para rastreamento de trajetória e 3 para seguimento de caminhos.

- a) 1 | 2 | 3 – Ao levantar às 07:00, eu me lembro que antes de chegar à universidade às 10:00, terei que passar na farmácia, na academia e na rodoviária.
- b) 1 | 2 | 3 – O voo entre Viçosa e Belo Horizonte leva apenas 45 minutos.
- c) 1 | 2 | 3 – A maratona de São Silvestre é sempre muito esperada pelos atletas, que treinam para reduzir o tempo para 42 minutos de prova.
- d) 1 | 2 | 3 – O trecho entre a terceira e a quarta cidade do Rally dos sertões é bastante desafiador. A meta é cumprir o trecho em 4 horas.
- e) 1 | 2 | 3 – O manipulador deve realizar uma solda circular sobre uma chapa metálica.

6.5: Dados os eventos a seguir:

- ▶ Entre os dias 02 a 16 de janeiro, ocorreu a edição de 2010 do Rally Dakar Argentina/Chile, passando por 14 cidades de paisagens pitorescas.
- ▶ Bolt arrasa, vence 100 m com 9s58 e quebra recorde mundial em Berlim.

Explique tais eventos em termos de controle de movimento estudados em robótica.

6.6: Em quatro atividades do cotidiano, aplique os conceitos de controle de movimento.

Nota: Englobe todas as estratégias estudadas nos exemplos a serem citados

6.7: Proponha e solucione uma aplicação de estratégia de controle de movimento e apresente sua solução. As restrições de aceleração e de velocidade máximas deverão ser apresentadas.

6.8: Dado um manipulador planar de dois graus de liberdade, com juntas rotacionais, proponha e solucione uma estratégia de controle de movimento para geração de uma linha reta no plano 2D.

Considere que o manipulador deve partir do repouso e alcançar a posição destino com velocidade igual a zero. As restrições de aceleração e de velocidade máximas deverão ser apresentadas.

6.9: Uma junta de um manipulador robótica com restrição máxima de velocidade angular de $\frac{\pi}{6}$ rad/s deve partir da posição inicial $\theta_0 = 0$ rad e alcançar a posição final $\theta_f = \frac{\pi}{2}$ rad num intervalo de 5 s. Verifique a possibilidade de realizar 20% da trajetória com velocidade constante. Caso seja possível, descreva o método.

6.10: A segurança patrimonial da UFV deseja monitorar a Av. PH Rolfs, no trecho entre a Casa da Vigilância (em frente ao prédio da Fitotecnia) e o PVB, usando um veículo aéreo não tripulado (VANT). Como requisito, foi solicitado que o trecho entre a Reitoria e o Bernadão seja monitorado em velocidade de cruzeiro (movimento não acelerado), por um tempo fixo de 20 segundos. Sabendo que este trecho corresponde a 40% da rota total e que a distância entre a Casa da Vigilância e a Reitoria e entre o Bernadão e o PVB é igual. Determine:

- a) O tempo total para realizar a missão de vigilância.
- b) A aceleração máxima do VANT.
- c) Se é possível realizar 15 missões ininterruptas, sabendo que o trajeto de regresso PVB – Casa da Vigilância apresenta as mesmas características da ida, e que o tempo de duração de uma carga de bateria é de 9 minutos.

6.11: O robô humanoide NAO, da empresa francesa Aldebaran, vem sendo utilizado nas competições de robótica ao redor do mundo, nas categorias de futebol, dança e corrida. Especificamente, na categoria de futebol de robôs para humanoide, o NAO se destaca por sua facilidade de chutar a bola. Porém, o desafio está no controle de um sistema de pêndulo invertido com distúrbio de movimento rotacional durante a execução desta ação.

Restringindo a tarefa de chute ao movimento rotacional do joelho direito do robô, enquanto suas demais articulações permanecem estáticas. Determine uma estratégia de controle de trajetória, para que esta junta parta do repouso, com um ângulo de -90° , em relação a sua coxa, e atinja o ângulo de 0° , com velocidade nula. Encontre o tempo necessário para a realização da tarefa de chute em função das restrições da articulação.

Considerações: A velocidade e aceleração angular máxima da articulação é de $60^\circ/\text{s}^2$ e $60^\circ/\text{s}^{-1}$.

6.12: Dentre os jogadores no futebol de robôs destaca-se o goleiro, o qual deve apresentar grande agilidade durante seu deslocamento nas missões de defesa em um lance de ataque. Comumente, sua agilidade está associada a sua capacidade de sair do repouso, percorrer uma dada distância e retomar o estado de repouso em um dado período de tempo, respeitando os limites físicos de seus atuadores eletro-mecânicos (como no caso do deslocamento entre as traves do gol defendido).

Neste contexto, proponha uma estratégia de controle de movimento, para que o robô seja capaz de percorrer a distância de 1 m em um intervalo de 1 s; sabendo que as velocidades de partida e de chegada são iguais a zero. Justifique sua proposta com base nas considerações a seguir.

Considerações: As restrições físicas impõem que a aceleração máxima do robô é igual a $6,25 \text{ m/s}^2$ e a velocidade máxima é de $1,5 \text{ m s}^{-1}$. Em adição, para intervalos de tempo inferiores a 0,2 s, os motores são capazes de responder a picos de velocidade 40% superiores a máxima estabelecida, os quais são diretamente traduzidos em velocidade linear do robô.