



MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINEMÁTICA DIRETA DO ROBÔ FANUC LR MATE 200iC COM SIMULAÇÃO NO MATLAB

Sérgio Ricardo Xavier da Silva, M.Sc. – srxsilva@uneb.br

Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Departamento de Ciências Exatas e da Terra
Rua Silveira Martins, 2555, Cabula
41150-000 – Salvador – Bahia

Rafael Gonçalves Bezerra de Araújo, M.Sc. – rafael.araujo@unifacs.br

Francisco Henriques de Lemos – francisco.lemos@pro.unifacs.br

Fabien Lisias Alcântara Delebosse – fabiendelebosse@gmail.com

Universidade Salvador (UNIFACS)

Rua Vieira Lopes, 2, Rio Vermelho

41940-560 – Salvador – Bahia

Resumo: *O crescimento acelerado da tecnologia permitiu o desenvolvimento de estruturas eletromecânicas mais complexas e específicas para a demanda da indústria. Os robôs surgiram para suprir esta demanda. Para o desenvolvimento de robôs industriais foi necessário o estudo da cinemática com o objetivo de analisar o comportamento da posição e orientação do robô no espaço em relação a um sistema de coordenadas. O robô em estudo é o Fanuc LR Mate 200iC, do Laboratório de Sistemas Mecatrônicos e Robótica da Universidade Salvador. Após a determinação das equações da cinemática direta do robô, foi implementado um código capaz de comprovar o modelo desenvolvido. Por fim, o trabalho traz como contribuição uma análise e comprovação da notação de Denavit-Hartenberg.*

Palavras-chave: *Robótica Industrial, Cinemática Direta, Denavit-Hartenberg, Ensino de Robótica, Simulação.*

1. INTRODUÇÃO

Nos tempos modernos, a palavra *robot* foi utilizada pela primeira vez em 1921, quando o escritor tcheco Karel Capek (1890-1938) estreou no teatro nacional de Praga sua obra *Rossum's Universal Robot (R.U.R.)*. Sua derivação é da palavra *robot*, que é de origem sérvia, mas que em russo significa “trabalho forçado”.

Para (ULLRICH, 1987), robô é um equipamento multifuncional e reprogramável, projetado para movimentar materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados através de movimentos variáveis e programados, para a execução de diversas tarefas. Destacam-se, nesta definição, os termos multifuncional e reprogramável, pelo fato de os robôs serem projetados para executarem, dentro de determinados limites, diversas tarefas.

Ainda, segundo o mesmo autor, os robôs podem ser equipados com sensores para sentir ou perceber calor, pressão, impulsos elétricos e objetos; e podem ser usados com sistemas de

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**O ENGENHEIRO
PROFESSOR E O
DESAFIO DE EDUCAR**



visão computacional, podendo monitorar as suas tarefas. Podem também aprender e se lembrar das tarefas, reagir ao seu ambiente de trabalho, operar outras máquinas e se comunicar quando ocorrem problemas em seu funcionamento. É uma tecnologia que já está levando a uma reformulação da maneira de pensar e trabalhar.

O presente trabalho está organizado da seguinte maneira. A seção 2 traça uma breve descrição sobre a cinemática direta de um manipulador e da notação de Denavit-Hartenberg (D-H). A seção 3 apresenta com detalhes o robô *Fanuc LR Mate 200iC*, objeto de estudo desta pesquisa, apresentando as etapas do processo de modelagem da cinemática direta do mesmo, com o máximo de detalhes. A seção 4 apresenta a simulação desenvolvida no *Matlab*. Por fim, a seção 5 conclui o artigo apresentando as considerações finais e perspectivas futuras.

2. CINEMÁTICA DIRETA

Robôs industriais possuem, geralmente, seis graus de liberdade. De acordo com (CRAIG, 2004), a localização de seu efetuador final é especificado através do controle de maneira adequada das suas variáveis articulares, por consequência os valores do conjunto de variáveis de junta de um robô, determinam o posicionamento de seu elemento terminal no sistema de coordenadas de trabalho. De maneira geral, os três graus de liberdade iniciais de um robô tem o papel de posicionar o efetuador final, e os outros três são responsáveis por orientar o mesmo. Para solucionar o problema da cinemática direta, existem diversos métodos, o escopo deste trabalho contempla a notação de Denavit-Hartenberg.

2.1. Notação de Denavit-Hartenberg (D-H)

Denavit e Hartenberg propuseram uma notação sistemática para atribuir um sistema de coordenadas ortonormal com a regra da mão direita, um para cada elo numa cadeia cinemática aberta de elos. Uma vez que estes sistemas de coordenadas fixados ao elo são atribuídos, transformações entre sistemas de coordenadas adjacentes podem ser representadas por uma matriz de transformação de coordenadas homogêneas (DENAVID, 1955).

De acordo com (TSAI, 1999), na representação D-H original, associa-se o eixo de junta ao eixo z e cada matriz é representada pelo produto de quatro transformações básicas envolvendo rotações e translações como podemos observar na Equação (1).

$${}^{k-1}T_k = R_{z,\theta} \cdot Transl_{z,d} \cdot Transl_{x,a} \cdot R_{x,\alpha} \quad (1)$$

O termo $R_{z,\theta}$ representa a rotação θ em torno do eixo z ; $Transl_{z,d}$, a translação d ao longo do eixo z ; $Transl_{x,a}$, a translação a ao longo do eixo x ; e por fim, $R_{x,\alpha}$, representa a rotação α em torno do eixo x .

Esta operação resulta numa matriz representada pela Equação (2), sendo que através desta, é realizado o mapeamento de coordenadas entre os elos do robô manipulador.

$${}^{k-1}T_k = \begin{bmatrix} c_{\theta_k} & -s_{\theta_k}c_{\alpha_k} & s_{\theta_k}s_{\alpha_k} & a_kc_{\theta_k} \\ s_{\theta_k} & c_{\theta_k}c_{\alpha_k} & -c_{\theta_k}s_{\alpha_k} & a_k s_{\theta_k} \\ 0 & s_{\alpha_k} & c_{\alpha_k} & d_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$



Os quatro parâmetros a_k , d_k , α_k , θ_k ilustrados na Figura 1 representam: a_k , a distância ao longo de x_k , da origem O_k à interseção dos eixos x_k e z_{k-1} ; d_k , a distância ao longo de z_{k-1} , de O_{k-1} à interseção dos eixos x_k e z_{k-1} ; α_k , o ângulo do eixo z_{k-1} para o eixo z_k , medido em torno de x_k ; e θ_k , o ângulo do eixo x_{k-1} para o eixo x_k , medido em torno de z_{k-1} , (sinal obtido pela regra da mão direita).

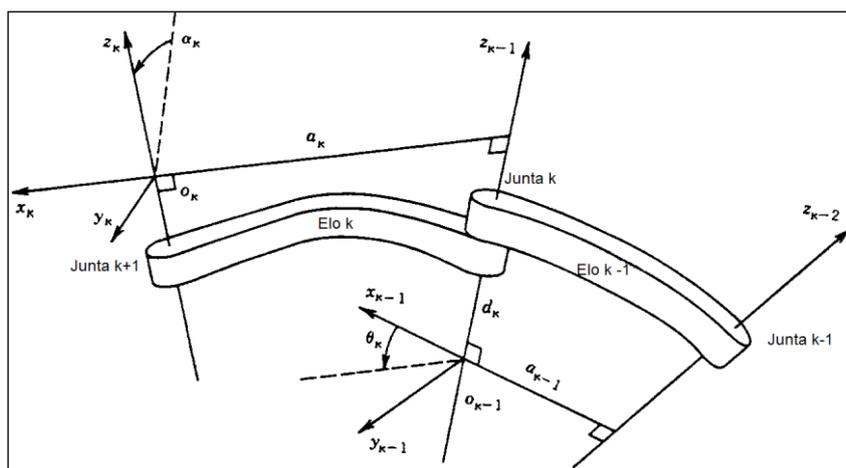


Figura 1 - Representação dos parâmetros da notação Denavit-Hartenberg.

Fonte: Adaptado de (SPONG, 1989).

Caso os parâmetros cinemáticos fossem estáticos, ou constantes, a transformação homogênea também seria constante, fazendo com que o robô ficasse inerte. Dois dos quatro parâmetros utilizados como referência possuem relação direta com a componente das variáveis das juntas. Para juntas rotacionais, a variável de junta é o ângulo θ_k , caso seja prismática, a variável de junta é a distancia entre os elos d_k . Estes parâmetros estão organizados numa tabela com referência a cada junta e são obtidos a partir do algoritmo proposto por Denavit-Hartenberg. A Tabela 1 sintetiza os conceitos referentes aos parâmetros cinemáticos.

Tabela 1 - Relação entre os parâmetros para juntas rotacionais e prismáticas.

Parâmetro	Símbolo	Junta Rotacional	Junta Prismática
Ângulo de junta	θ_k	Variável	Fixo
Deslocamento de junta	d_k	Fixo	Variável
Comprimento do elo	a_k	Fixo	Fixo
Ângulo de torção do elo	α_k	Fixo	Fixo

Multiplicando todas as matrizes de transformação obtidas pelo algoritmo de D-H, obtém-se a matriz de transformação homogênea que vai da base à extremidade do efetuador final, ou seja, variando de 0 a n. Esta matriz resultante pode ser considerada como a solução do problema da cinemática direta, mostrada na Equação (4).

$${}^0T_n = {}^0T_1 \cdot {}^1T_2 \cdot \dots \cdot {}^{n-1}T_n \quad (3)$$



$${}^{base}T(q)_{ferramenta} = \begin{bmatrix} R(q) & p(q) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Sendo q o deslocamento de cada junta representado por θ para juntas rotativas ou d para juntas prismáticas.

3. O ROBÔ FANUC LR MATE 200iC

O robô utilizado para estudo faz parte da série 200iC da *FANUC Robotics*. A *FANUC* (*Fujitsu Automated Numerical Control*) é uma empresa japonesa que atua principalmente na construção de robôs industriais desde a década de 70. O robô encontra-se disponível para estudos no Laboratório de Sistemas Mecatrônicos e Robótica (LSMR) da Universidade Salvador – UNIFACS, e é utilizado pelos alunos da disciplina Robótica do 9º semestre do curso de Engenharia Mecatrônica. A Figura 2 ilustra o robô real.



Figura 2 - Fanuc LR Mate 200iC.

Fonte: <http://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/index.html>

Esta versão do robô foi desenvolvida para diversas aplicações, entre elas: manutenção de máquinas, manuseamento de materiais, montagem, embalagem, remoção de materiais, testes, amostragem, Educação e entretenimento.

O robô Fanuc LR Mate 200iC tem como características: 6 eixos rotativos, carga máxima de trabalho de 5kg, alcance de 704mm com repetibilidade de $\pm 0,02$ mm, massa total de 72kg e freio mecânico em todas as seis juntas¹.

3.1. Cinemática Direta do Fanuc LR Mate 200iC

Inicialmente para determinação da cinemática direta deste robô é preciso realizar uma análise de posição, ou seja, verificar a relação entre os eixos de cada junta. A Figura 3 mostra as dimensões do *Fanuc LR Mate 200iC*. Neste manipulador, a primeira junta $\{O\}$ está

¹ Maiores informações sobre o Fanuc LR Mate 200iC, podem ser obtidas no endereço: <http://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/index.html>



verticalmente alinhada com o eixo z , a segunda junta $\{A\}$ é perpendicular à primeira junta com pequena distância de a_1 , a terceira junta $\{B\}$ é paralela à segunda com um deslocamento de a_2 , e a quarta junta $\{C\}$ é perpendicular à terceira junta com uma distancia a_3 . Pode-se observar que os eixos das últimas três juntas se interceptam uns aos outros perpendicularmente no ponto P . Este robô pertence a uma classe especial de manipuladores que possuem as ultimas três juntas no centro do punho. A solução para o problema da cinemática deste robô pode ser resolvida em duas etapas: uma associada às três primeiras juntas de posicionamento e outra com as três ultimas juntas referente à orientação.

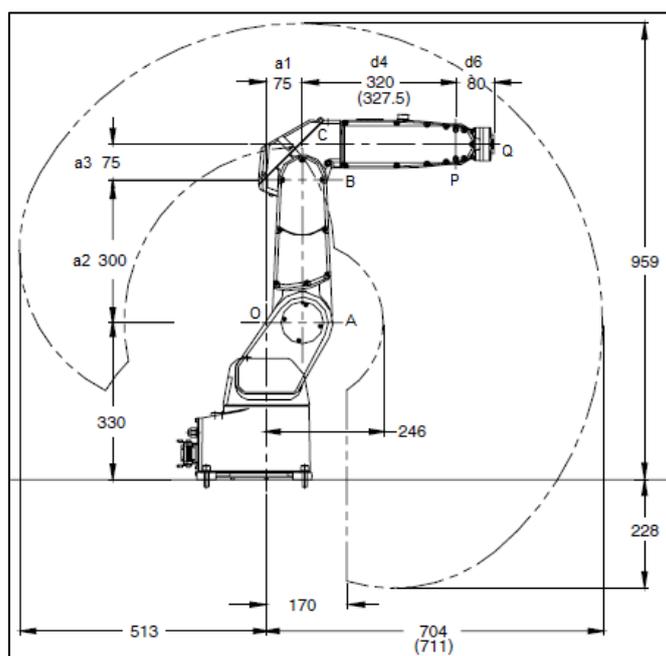


Figura 3 - Dimensões em milímetros do Fanuc LR Mate 200iC.
 Fonte: Fanuc.com

De acordo com a análise de posicionamento e seguindo o algoritmo proposto por Denavit-Hartenberg obtêm-se os parâmetros cinemáticos para cada uma das juntas, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros D-H do Fanuc LR Mate 200iC.

Junta	α_i	a_i	d_i	θ_i
1	90°	a_1	0	θ_1
2	0	a_2	0	θ_2
3	90°	a_3	0	θ_3
4	-90°	0	d_4	θ_4
5	90°	0	0	θ_5
6	0	0	d_6	θ_6

Na Figura 4 foram definidos os sistemas de coordenadas referentes a cada junta de 1 a 6, respectivamente e o ponto Q representando a extremidade da ferramenta.

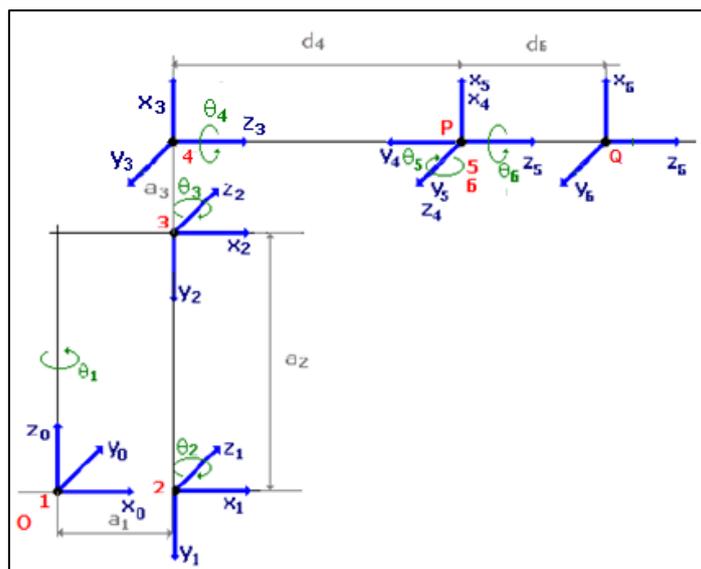


Figura 4 - Esquema gráfico do procedimento de D-H

Considerando estes sistemas de coordenadas associados aos parâmetros dos elos listados na Tabela 3 e substituindo os parâmetros de D-H na Equação (2) obtêm-se as matrizes de transformação homogênea: 0T_1 , 1T_2 , 2T_3 , 3T_4 , 4T_5 e 5T_6 . Multiplicando todas as seis matrizes obtidas de acordo com a Equação (3), de três em três, obtemos 0T_3 e 3T_6 .

$${}^0T_3 = \begin{bmatrix} c_{\theta_1} & 0 & s_{\theta_1} & a_1 c_{\theta_1} \\ s_{\theta_1} & 0 & -c_{\theta_1} & a_1 s_{\theta_1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_{\theta_2} & -s_{\theta_2} & 0 & a_2 c_{\theta_2} \\ s_{\theta_2} & c_{\theta_2} & 0 & a_2 s_{\theta_2} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_{\theta_3} & s_{\theta_3} & 0 & a_3 c_{\theta_3} \\ s_{\theta_3} & -c_{\theta_3} & 0 & a_3 s_{\theta_3} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$${}^3T_6 = \begin{bmatrix} c_{\theta_4} & 0 & -s_{\theta_4} & 0 \\ s_{\theta_4} & 0 & c_{\theta_4} & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_{\theta_5} & 0 & s_{\theta_5} & 0 \\ s_{\theta_5} & 0 & -c_{\theta_5} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_{\theta_6} & -s_{\theta_6} & 0 & 0 \\ s_{\theta_6} & c_{\theta_6} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Multiplicando 0T_3 e 3T_6 , obtemos a cinemática direta da posição do efetuador. Como os termos são muito extensos serão representados pelas variáveis descritas na Equação (7).

$${}^0T_6 = \begin{bmatrix} u_x & v_x & w_x & q_x \\ u_y & v_y & w_y & q_y \\ u_z & v_z & w_z & q_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$u_x = c_{\theta_1} [c_{\theta_{23}} (c_{\theta_4} c_{\theta_5} c_{\theta_6} - s_{\theta_4} s_{\theta_6}) - s_{\theta_{23}} s_{\theta_5} c_{\theta_6}] + c_{\theta_1} (s_{\theta_4} c_{\theta_5} s_{\theta_6} + c_{\theta_4} s_{\theta_6}) \quad (7.1)$$

$$u_y = s_{\theta_1} [c_{\theta_{23}} (c_{\theta_4} c_{\theta_5} c_{\theta_6} - s_{\theta_4} s_{\theta_6}) - s_{\theta_{23}} s_{\theta_5} c_{\theta_6}] + c_{\theta_1} (s_{\theta_4} c_{\theta_5} s_{\theta_6} + c_{\theta_4} s_{\theta_6}) \quad (7.2)$$

$$u_z = s_{\theta_{23}} (c_{\theta_4} c_{\theta_5} c_{\theta_6} - s_{\theta_4} s_{\theta_6}) + c_{\theta_{23}} s_{\theta_5} c_{\theta_6} \quad (7.3)$$

$$v_x = c_{\theta_1} [-c_{\theta_{23}} (c_{\theta_4} c_{\theta_5} c_{\theta_6} + s_{\theta_4} s_{\theta_6}) + s_{\theta_{23}} s_{\theta_5} c_{\theta_6}] + s_{\theta_1} (-s_{\theta_4} c_{\theta_5} s_{\theta_6} + c_{\theta_4} s_{\theta_6}) \quad (7.4)$$

$$v_y = s_{\theta_1} [-c_{\theta_{23}} (c_{\theta_4} c_{\theta_5} c_{\theta_6} + s_{\theta_4} s_{\theta_6}) + s_{\theta_{23}} s_{\theta_5} c_{\theta_6}] + s_{\theta_1} (-s_{\theta_4} c_{\theta_5} s_{\theta_6} + c_{\theta_4} s_{\theta_6}) \quad (7.5)$$



$$v_z = -s_{\theta_{23}}(c_{\theta_4}c_{\theta_5}c_{\theta_6} + s_{\theta_4}s_{\theta_6}) - c_{\theta_{23}}s_{\theta_5}c_{\theta_6} \quad (7.6)$$

$$w_x = c_{\theta_1}(c_{\theta_{23}}c_{\theta_4}s_{\theta_5} + s_{\theta_{23}}c_{\theta_5}) + s_{\theta_1}s_{\theta_4}s_{\theta_5} \quad (7.7)$$

$$w_y = s_{\theta_1}(c_{\theta_{23}}c_{\theta_4}s_{\theta_5} + s_{\theta_{23}}c_{\theta_5}) + s_{\theta_1}s_{\theta_4}s_{\theta_5} \quad (7.8)$$

$$w_z = s_{\theta_{23}}c_{\theta_4}c_{\theta_5} - c_{\theta_{23}}c_{\theta_5} \quad (7.9)$$

$$q_x = c_{\theta_1}[a_1 + a_2c_{\theta_2} + a_3c_{\theta_{23}} + d_4s_{\theta_{23}} + d_6(c_{\theta_{23}}c_{\theta_4}s_{\theta_5} + s_{\theta_{23}}c_{\theta_5})] + d_6c_{\theta_1}s_{\theta_4}s_{\theta_5} \quad (7.10)$$

$$q_y = s_{\theta_1}[a_1 + a_2c_{\theta_2} + a_3c_{\theta_{23}} + d_4s_{\theta_{23}} + d_6(c_{\theta_{23}}c_{\theta_4}s_{\theta_5} + s_{\theta_{23}}c_{\theta_5})] - d_6c_{\theta_1}s_{\theta_4}s_{\theta_5} \quad (7.11)$$

$$q_z = a_2s_{\theta_2} + a_3s_{\theta_{23}} - d_4c_{\theta_{23}} + d_6(s_{\theta_{23}}c_{\theta_4}s_{\theta_5} - c_{\theta_{23}}c_{\theta_5}) \quad (7.12)$$

Onde abreviamos $\text{sen}(\theta_i)$ para s_{θ_i} , $\text{cos}(\theta_i)$ para c_{θ_i} , e utilizamos a notação $c_{\theta_{ij}}$ como sendo $\text{cos}(\theta_i + \theta_j)$ e $s_{\theta_{ij}}$ como sendo $\text{sen}(\theta_i + \theta_j)$.

4. SIMULAÇÃO NO MATLAB

A fim de demonstrar e comprovar matematicamente o algoritmo de Denavit-Hartenberg elaborou-se uma simulação no *Matlab*® R2010b da empresa *Mathworks*, software frequentemente utilizado por pesquisadores para realização de cálculos e sistemas em geral. Como uma extensão do *Matlab*, existem as caixas de ferramentas (*toolboxes*) específicas para cada área de pesquisa. Para este trabalho foi utilizado a *Robotics Toolbox v8*, criado por Peter Corke em 2008.

Inicialmente definiu-se os parâmetros de Denavit-Hartenberg para cada junta e elo, substituindo os valores reais de relação angular entre uma junta e outra e a translação (em metros) entre juntas do *Fanuc LR Mate 200iC*. Os valores foram obtidos a partir do manual do fabricante mostrado na Figura 3 seção 3.1.

Multiplicando-se estas matrizes obtemos a matriz de transformação homogênea 0T_6 , que fornece o mapeamento das coordenadas desde a base até a extremidade da ferramenta. No *Matlab* define-se cada elo 'L' de 1 a 6 e em seguida o objeto 'Fanuc' que representará o robô com a conexão dos seus elos em série, como podemos observar na Figura 5.

```
%Parâmetros de Denavit-Hartenberg descrevendo os tamanhos e relações
%angulares entre os eixos
L1 = link([pi/2  -0.075  0  0  0  0]);
L2 = link([0  0.3  0  0  0  0]);
L3 = link([pi/2  0.075  0  0  0  0]);
L4 = link([-pi/2  0  0  -0.32  0  0]);
L5 = link([pi/2  0  0  0  0  0]);
L6 = link([0  0  0  -0.08  0  0]);

Fanuc=robot({L1 L2 L3 L4 L5 L6});
Fanuc.name='Fanuc'
```

Figura 5 - Parâmetros de D-H descrevendo os tamanhos e relações angulares entre os eixos.

Dentro do *toolbox* existem diversas funções no campo da robótica que são muito úteis para calcular e visualizar o comportamento das juntas de um robô. Foi criado um código para a simulação, que a partir de uma linha de fluxo de tempo realiza a movimentação do robô no espaço das juntas, sendo que é necessária a utilização da cinemática direta.



Para que o braço robótico possa se mover suavemente, é importante que a sua unidade de controle seja capaz de controlar corretamente os seus acionadores para que não ocorram acelerações bruscas que venham a danificar sua estrutura mecânica. Assim, a unidade de controle do robô deve calcular uma trajetória que seja uma referência segura para os servomotores de cada junta.

O espaço das juntas compreende a movimentação do robô junta a junta, portanto não ocorrem singularidades². No *software*, foi implementada a geração de trajetória no espaço juntas definindo-se uma posição inicial e final das juntas. Neste exemplo foi definido um conjunto de valores de juntas inicial q_0 e um conjunto de valores finais q_f , em seguida foi utilizada a função *jtraj* disponível no *toolbox*, que recebe como parâmetros a posição inicial e final das juntas e uma linha tempo de 10 segundos, isto para gerar uma trajetória no espaço das juntas. A função *fkine* (*forward kinematics*) foi utilizada para computar os valores de juntas ao longo da trajetória (Figura 6).

```
%Trajetoria Espaço das Juntas
tempo = 0:.05:10;
q0 = [0 pi/2 0 0 0 0]; %Valores iniciais das juntas
qf = [2*pi/3 pi/4 pi/4 2*pi/9 pi/6 pi/3]; %Valores finais das juntas
q = jtraj(q0, qf, tempo); %Gera a trajetória
[q, qd, qdd] = jtraj(q0, qf, tempo); %Posição, Velocidade, Aceleração das Juntas
fkine(Fanuc, qf) %Calcula valor das juntas
```

Figura 6 – Código para geração de trajetória.

Para visualizar outras características das juntas como o comportamento da posição, velocidade e aceleração no tempo, foram gerados gráficos que correspondem respectivamente a estas informações e podem ser vistos nas Figuras 7, 8 e 9. Estes foram obtidos criando as variáveis q , qd , qdd , sendo q a posição, qd a derivada da posição (velocidade) e qdd a derivada da velocidade (aceleração).

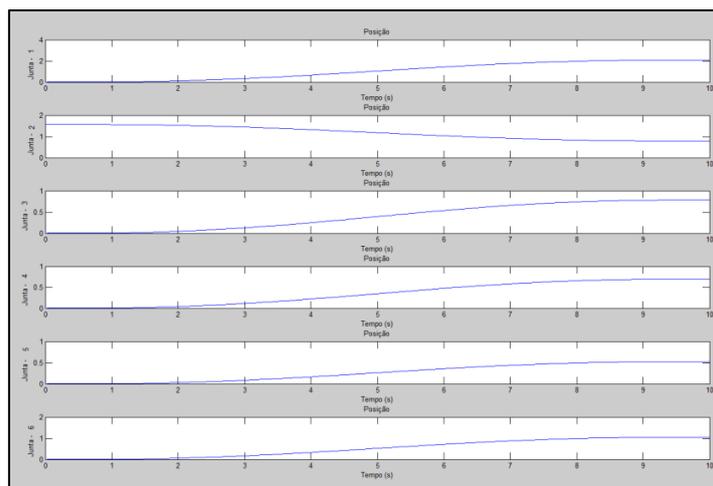


Figura 7 - Variação da posição das juntas 1 a 6 no tempo de 10s.

² A singularidade existe quando ocorre o alinhamento de dois ou mais eixos do sistema de coordenadas do manipulador (SCIAVICCO e SICILIANO, 1996).

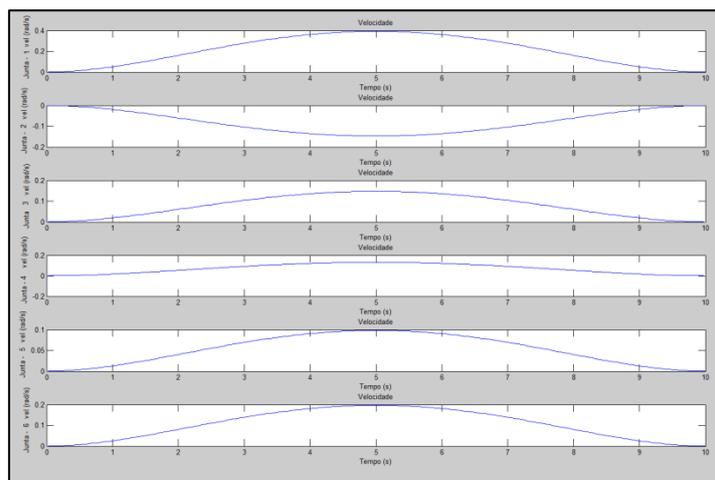


Figura 8 - Variação da velocidade das juntas 1 a 6 no tempo de 10s.

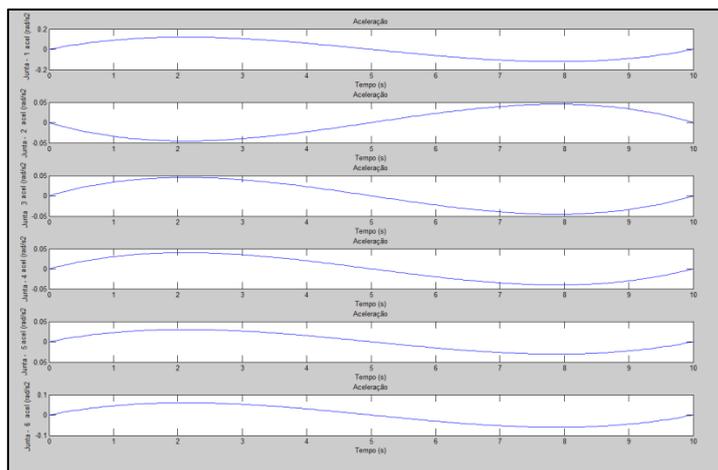


Figura 9 - Variação da aceleração das juntas 1 a 6 no tempo de 10s.

Estes valores correspondem respectivamente, à posição, velocidade e aceleração de cada junta e foram encontrados desconsiderando fatores como atrito ou outros esforços mecânicos.

A partir do comando *drivebot*, foi possível visualizar a movimentação do manipulador no espaço tridimensional. A Figura 10 mostra a posição final e inicial e os seus valores de juntas no controle de movimentação.

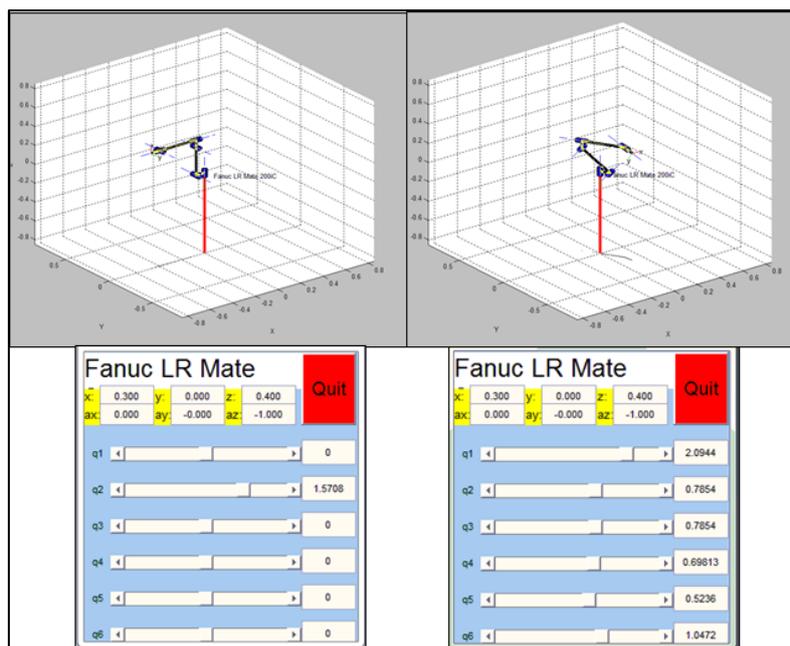


Figura 10 - Posição inicial e final com os seus valores de juntas – Espaço das juntas.

Os resultados da simulação computacional coincidiram com os obtidos da movimentação do robô durante os testes no laboratório de Robótica, comprovando desta forma o modelo desenvolvido.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

A partir deste trabalho é possível perceber que a cinemática é assunto de grande importância no domínio da Robótica. Através de algoritmos como o de Denavit-Hartenberg e a manipulação de equações é possível relacionar o sistema de coordenadas do ponto da extremidade de um efetuador final ao sistema de coordenadas da base, oferecendo total controle da posição e orientação.

Após a aquisição do braço robótico *Fanuc LR Mate 200iC* pela Universidade Salvador, pouco alunos se interessaram em estudá-la pelo fato desta ser bastante incipiente e ainda não ter algum grupo de pesquisa formado. Esta foi a maior motivação pela qual se iniciou este trabalho, que teve por principal objetivo fornecer maior entendimento a respeito do robô, isto porque a documentação disponibilizada continha apenas informações relativas à programação e manuseio do *teach-pendant*. Juntamente com a falta de documentação, não havia nenhuma literatura referente da modelagem matemática da cinemática direta deste robô.

A implementação da simulação pode servir como ferramenta para virtualizar o robô e gerar trajetórias no espaço cartesiano, possibilitando aos alunos visualizar a aplicação dos conhecimentos referentes à cinemática na robótica e com isso obter um maior entendimento sobre estes conceitos.

Este trabalho apresenta uma contribuição para a comunidade acadêmica da Universidade, pois foram estudados diversos conceitos referentes à cinemática dos robôs manipuladores e forneceu uma sólida base para que outros acadêmicos se aprofundem nos estudos desta linha de pesquisa.



Atualmente estão sendo realizados estudos na disciplina Robótica do curso de Engenharia Mecatrônica da Universidade Salvador, para que seja apresentado com o máximo de detalhes o processo de modelagem da cinemática inversa do robô em uma futura publicação, bem como o desenvolvimento de um código capaz de comprovar o modelo desenvolvido, uma vez que a cinemática inversa não é algo tão simples de se encontrar em literaturas, podendo servir de documentação para futuras modelagens que possam vir a ser feitas por outros acadêmicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRAIG, J. J. Introduction to robotics: mechanics and control. 3 ed, Mac Graw Hill, 2004.

DENAVIT, J. Description and displacement analysis of mechanics based on the 2x2 dual matrices, 1 ed, Evanston, University of Northwestern, 1955.

SCIAVICCO, L., SICILIANO, B. Modeling and control of robot manipulators. Ed. McGraw Hill, Naples, 1996.

SPONG, M. W. Vidyasagar, M. Robot dynamics and control. Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1989.

TSAI, Lung-wen. Robot analysis: The mechanics of serial and parallel manipulators. Maryland: Wiley-interscience, 1999. 499 p, il.

ULLRICH, R. Robótica - Uma Introdução. O Porquê dos robôs e seu papel no trabalho. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1987.

MATHEMATICAL MODELING OF FORWARD KINEMATICS OF FANUC LR MATE 200iC ROBOT WITH MATLAB SIMULATION

Abstract: Accelerated growth of technology allowed the development of more complex and specific electromechanical structures to industry demand. The robots emerged to solve this demand. To develop industrial robots was necessary the study of kinematics in order to analyze the behavior of the robot position and orientation in space relative to a coordinate system. The Fanuc LR Mate 200iC model, is the robot under study, into Mechatronic Systems and Robotics Laboratory from Salvador University - UNIFACS. After the determination of the forward kinematic equations, was implemented a algorithm to prove the model developed. Finally, the paper presents an analysis and proof of Denavit-Hartenberg notation, as a contribution.

Key-words: Industrial Robotics, Forward Kinematics, Denavit-Hartenberg, Teaching Robotics, Simulation.