



MODELAGEM CINEMÁTICA DE ROBÔ ESFÉRICO A PARTIR DA EXPLORAÇÃO DE UMA MAQUETE TRIDIMENSIONAL

Primeiro Autor – e-mail*

Segundo Autor – e-mail*

Terceiro Autor – e-mail*

Quarto Autor – e-mail*

Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento*

Endereço*

CEP – Cidade – Estado*

Resumo: *Este trabalho apresenta uma atividade prática desenvolvida junto ao curso de pós-graduação em Modelagem Matemática da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), e tem como objetivo proporcionar o entendimento simplificado da álgebra linear utilizada no estudo da cadeia cinemática que descreve o movimento de braços robóticos em relação à posição, orientação e velocidade do efetuador final. Para viabilizar o entendimento, foi proposta a utilização de uma maquete construída em madeira, a qual possibilita a exploração tridimensional dos elos e juntas, visando definir o sistema de coordenadas a serem utilizadas segundo a notação de Denavit-Hartenberg (D-H). A partir das coordenadas, foi desenvolvida a modelagem cinemática que descreve o movimento de um robô do tipo esférico. O que se pode destacar como consideração final deste trabalho é que através da utilização de objetos manipulativos durante a explanação deste conteúdo, possibilita maior entendimento quanto ao que se deseja construir como conhecimento. Desta forma, sempre que o professor considerar pedagogicamente viável este material pode ser explorado, pois trata-se de um material didático simplificado, mas com um grande potencial para fugir do abstrato com que geralmente este conteúdo é abordado.*

Palavras-chave: *Cinemática, Robô esférico, Convenção Denavit-Hartenberg*

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho trata do problema de modelagem cinemática de um robô industrial, cujo volume de trabalho descreve uma trajetória esférica, e tem como principal objetivo simplificar o entendimento da cadeia cinemática que descreve o controle de posicionamento deste tipo de robô.

A base norteadora deste trabalho vai ao encontro da concepção de que os moldes do processo fabril atual transitam por uma constante busca por melhores desempenhos quantitativo e qualitativo de sua produção, visando maior lucratividade e acima de tudo a significativa redução da mão de obra humana em atividades insalubres que ofereçam algum tipo de risco a integridade de seus colaboradores. Focados neste pensamento, Rocha (2016) descreve que os robôs são equipamentos ideais para trabalharem em ambientes caracterizados por tarefas repetitivas, pesadas ou de risco para humanos, pois possibilita que o controle seja efetuado remotamente, assegurando a segurança do operador evitando a sua presença em ambientes hostis, tóxicos ou mesmo perigoso.

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção





Todavia, para que haja a viabilidade quanto à implementação de robôs nos processos fabris, torna-se necessário o desenvolvimento de robôs com baixo investimento financeiro e com a mesma eficácia dos modelos com custo elevado. Neste pensar, os relatos que serão apresentados resultam de uma atividade prática desenvolvida junto ao curso de pós-graduação em Modelagem Matemática da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), na qual utilizou-se uma maquete confeccionada em madeira, visando apresentar de forma simplificada o desenvolvimento das equações resultantes da modelagem cinemática direta, inversa e de transformação de velocidades a partir da sistemática sugerida notação de Denavit-Hartenberg (D-H).

2. ROBÔ INDUSTRIAL A SER MODELADO

O modelo de robô a ser explorado no decorrer deste trabalho consiste em um robô com três graus de liberdade, sendo os dois primeiros descrevendo movimentos de rotação (R), seguidos por um terceiro movimento que corresponde a um movimento prismático (P), cujo volume de trabalho gerado é aproximadamente uma esfera. Tal modelo recebe o nome de Robô Esférico (RRP) (“FIGURA 1”).

Figura 1 – Fotografia da maquete robô esférico.



É conveniente salientar que a exploração da cadeia cinemática ocorreu com a utilização de uma maquete rudimentar construída com madeira proveniente da reciclagem de pallets de embalagens, mas que possibilita uma visão tridimensional do tipo de robô a ser analisado. Vale destacar que a necessidade em utilizar este material surgiu durante as aulas da disciplina de Modelagem Cinemática de Robôs Industriais do curso de Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI, pois tal maquete vai ao encontro da concepção de que, para que ocorra uma real construção do conhecimento

Organização



Promoção





quanto ao estudo da modelagem cinemática, torna-se necessário a utilização de materiais manipulativos que possuam um potencial pedagógico e venham a ser um facilitador didático durante a abordagem de conteúdo tão complexo.

O que deve ser destacado em relação a maquete utilizada é que com a sua utilização o indivíduo que se dispôr a buscar a compreensão deste conteúdo tem a possibilidade de sair do abstrato que geralmente é utilizado durante a explanação deste tipo de conteúdo, possibilitando a simplificação que do processo de modelagem cinemática. Mais relevância ainda merece o fato de tratar-se de um material descartável, onde se esta atribuindo ao “lixo” um potencial pedagógico, isto é, o investimento financeiro nesta construção é relativamente baixo e possibilita o enriquecimento das dinâmicas adotadas para favorecer o conhecimento.

Visando a simplificação do processo de modelagem cinemática, a representação do robô a ser estudado trata-se de um esboço quanto a forma construtiva que representa a arquitetura estrutural do modelo de robô esférico, porém sem apresentar a representação da ferramenta a ser utilizada no efetuador final do processo, pois o que se pretende apresentar vai ao encontro de uma exposição didática de fácil compreensão por parte de quem se destina a buscar o conhecimento quanto a modelagem de robôs industriais.

2.1. Modelagem Cinemática do robô

Nesta sessão é abordado o processo que descreve a análise cinemática do manipulador que é utilizada para calcular a posição e a orientação do efetuador final do manipulador em relação à base do manipulador (ZHAI et al, 2012). 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.

Para melhor entendimento, a base norteadora para descrever a modelagem cinemática do robô esférico sugere-se definir um sistema de coordenadas de referência em cada elo de acordo com a convenção Denavit e Hartenberg (1955) que propuseram um método de matriz para estabelecer coordenadas para cada elo, para descrever a relação entre tradução e rotação da haste adjacente. O método D-H foi criado para cada membro alavanca no sistema de coordenadas de juntas da matriz de transformação homogênea de 4×4 , que representa a relação entre o sistema de coordenadas e um membro de alavanca anterior (ZHAI et al, 2012). Nesta notação, quatro parâmetros, popularmente conhecidos como parâmetros D-H, são definidos para fornecer a posição e orientação geométrica do efetuador final. Dois destes parâmetros são conhecidos como parâmetros de link - comprimento do elo (a_i) e torção do elo (α_i), que descrevem a localização relativa de dois eixos anexados no espaço, enquanto os dois restantes são descritos como parâmetros de junção - offset de junção (d_i) e ângulo de junção (θ_i), que descrevem a conexão de qualquer elo ao seu elo vizinho (SINGH et al, 2014).

Neste pensar, o primeiro passo a ser sugerido para facilitar este processo explicita a necessidade em entendermos o robô analisado quanto a identificação de seus elos e juntas, bem como o movimento que é descrito ara cada tipo de junta. Desta forma, a “Figura 2” traz a representação tridimensional da forma construtiva de um robô do tipo esférico.

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA

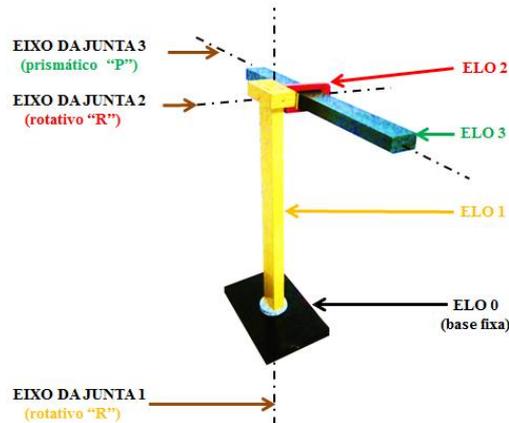


Promoção





Figura 2 – Vista tridimensional da maquete do robô esférico e seus respectivos elos e juntas.



O segundo passo da metodologia para determinação da cinemática de um robô industrial consiste em definir o sistema de coordenadas de referência em cada elo, de acordo com a convenção de Denavit-Hartenberg (D-H) no qual descreve o seguinte:

- O eixo Z_{i-1} deve ser no eixo da junta “ i ”, que no caso específico do robô analisado pode ser descrito que Z_0 é no eixo da junta 1, Z_1 é no eixo da junta 2, Z_2 é no eixo da junta 3 e por fim Z_3 é livre, mas deve ser escolhido com a origem no efetuador final e de preferência paralelo ao anterior.
 - O eixo X_i deve ser na normal comum entre Z_{i-1} e Z_i , no sentido de Z_{i-1} para Z_i ;
 - ✓ No caso específico do robô analisado pode ser descrito que X_0 é livre;
 - ✓ X_1 deve ser no ponto de intersecção formado pelos eixos Z_0 e Z_1 , que são perpendiculares e coplanares, ou seja, se cruzam em um ponto;
 - ✓ X_2 deve ser no ponto de intersecção formado pelos eixos Z_1 e Z_2 , que são perpendiculares e coplanares, ou seja, se cruzam em um ponto;
 - ✓ X_3 deve ser posicionado na mesma direção que o anterior, visando a simplificação dos cálculos.
 - O eixo Y_i é definido pela regra da mão direita.

O modelo Denavit-Hartenberg (D-H) é uma forma muito simples de modelagem de elos e articulações robóticas que pode ser usada para qualquer configuração de robô, independentemente de sua sequência ou complexidade (NIKU, 2013). A parametrização de Denavit-Hartenberg é adequada para a descrição de vetores cinemáticos abertos, uma vez que utiliza quatro parâmetros a ele associados, os quais descrevem completamente o comportamento cinemático de uma junta prismática ou revoluta (HOCK et al, 2014). Estes parâmetros especificam a posição e orientação do sistema de referência “ i ” em relação ao sistema de referência “ $i-1$ ”, no qual relaciona os valores de a_i , θ_i , α_i e d_i que possuem as seguintes definições:

Organização

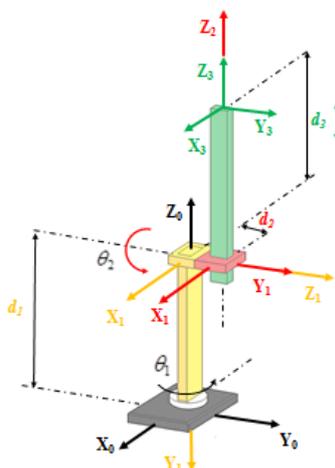
Promoção



- a_i : é a distância entre os eixos Z_{i-1} e Z_i ;
- θ_i : é o ângulo entre os eixos X_{i-1} e X_i em torno do eixo Z_{i-1} . Quando se tem junta rotativa, θ_i será variável, e quando tem-se junta prismática, θ_i será constante;
- α_i : é o ângulo entre os eixos Z_{i-1} e Z_i em torno do eixo X_i ;
- d_i : é a coordenada ao longo do eixo Z_{i-1} , no qual representa a posição de X_i em relação à X_{i-1} .

Na “Figura 3”, indicam-se os parâmetros de D-H para o robô esférico de acordo com os valores e especificações técnicas apresentados na Tabela 1.

Figura 3 – Vista tridimensional do robô esférico e suas coordenadas.



A “Tabela 1” representa os valores de a_i , θ_i , α_i e d_i para o robô esférico de acordo com a “Figura 3”.

Tabela 1 – Principais característica do robô industrial utilizado.

ELO_i	θ_i	d_i	a_i	α_i
ELO_1	θ_1 (variável)	d_1 (fixo)	a_1 (fixo)	$\alpha_1 = -\pi/2$
ELO_2	θ_2 (variável)	d_2 (fixo)	a_2 (fixo)	$\alpha_2 = \pi/2$
ELO_3	$\theta_3 = 0$ (fixo)	d_3 (variável)	a_2 (fixo)	$\alpha_2 = 0$

O passo seguinte consiste em realizar o cálculo das matrizes de transformação homogênea que relacionam o movimento de um elo_i em relação ao elo_{i-1} . Para elaborar as equações cinemáticas, utilizamos a matriz de transformação homogênea para descrever o sistema de coordenadas em relação à primeira posição e orientação do



sistema de coordenadas, denotado pela “Equação 1” (WEN, 2014):

$$A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i C\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\theta_i C\alpha_i & -C\theta_i S\alpha_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dessa forma, utilizando os parâmetros D-H para o robô esférico representados na “Tabela 1” e a matriz de transformação homogênea “Equação 1”, que relaciona o sistema de referência do efetuador final ao sistema da base, pode-se representar a matriz de transformação homogênea para o robô esférico pela equação:

$$T_3^0 = \begin{bmatrix} C\theta_1 C\theta_2 & -S\theta_1 & C\theta_1 S\theta_2 & C\theta_1 S\theta_2 d_3 - S\theta_1 d_2 \\ S\theta_1 C\theta_2 & C\theta_1 & S\theta_1 S\theta_2 & S\theta_1 S\theta_2 d_3 + C\theta_1 d_2 \\ -S\theta_2 & 0 & C\theta_2 & C\theta_2 d_3 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Assim os vetores representados pelas “Equações (3), (4) e (5)” indicam a orientação do efetuador final em relação a base fixa, ou seja ao elo zero, já o vetor representado pela “Equação (6)” indica a orientação do efetuador final em relação a base fixa.

$$X_3^0 = \begin{bmatrix} C\theta_1 C\theta_2 \\ S\theta_1 C\theta_2 \\ -S\theta_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Y_3^0 = \begin{bmatrix} -S\theta_1 \\ C\theta_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$Z_3^0 = \begin{bmatrix} C\theta_1 S\theta_2 \\ S\theta_1 S\theta_2 \\ C\theta_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$P_3^0 = \begin{bmatrix} C\theta_1 S\theta_2 d_3 - S\theta_1 d_2 \\ S\theta_1 S\theta_2 d_3 + C\theta_1 d_2 \\ C\theta_2 d_3 + d_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

A cinemática inversa é a solução do modelo matemático para determinar valores necessários de juntas para mover o efetuador final para um alvo desejado no espaço. Assim, a partir do vetor da “Equação (6)”, estabelece-se as relações representadas pelas “Equações (7), (8) e (9)”.



$$\left. \begin{aligned} C\theta_1 &= \frac{KP_x + d_2P_y}{P_x^2 + P_y^2} \\ S\theta_1 &= \pm\sqrt{1 + C^2\theta_1} \end{aligned} \right\} \theta_1 = A \tan 2(S\theta_1, C\theta_1) \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} C\theta_2 &= \frac{P_z - d_1}{d_3} \\ S\theta_2 &= \frac{d_3}{K} \end{aligned} \right\} \theta_2 = A \tan 2(S\theta_2, C\theta_2) \quad (8)$$

$$d_3 = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2 + d_1^2 - d_2^2 - 2P_zd_1} \quad (9)$$

Quanto a questão que trata das velocidades linear e angular do efetuador final, Niku (2013) cita que o Jacobiano é uma representação da geometria dos elementos de um mecanismo no tempo, ou seja, assim como os valores dos ângulos das articulações do robô variam no tempo, a magnitude dos elementos do Jacobiano também variam em função do tempo. Sendo assim, a matriz jacobiana é usada na análise de velocidade do manipulador, que especifica um mapeamento de velocidades no espaço articular para velocidades no espaço cartesiano (ZHAI et al, 2012). Na “Equação 10”, tem-se a expressão geral e literal do jacobiano geométrico para o robô industrial em estudo.

$$V = \begin{bmatrix} \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \\ \dot{P}_z \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = J \cdot \dot{q} = \begin{bmatrix} Jp_1 & Jp_2 & Jp_3 \\ Jo_1 & Jo_2 & Jo_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{d}_3 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Neste pensar, as expressões que seguem apresentam os cálculos para cada um dos vetores utilizados no jacobiano geométrico representado anteriormente. Primeiramente, calcula-se o Jp_i e o Jo_i de cada uma das juntas, no qual Jp_i é a matriz $3 \times n$ relativa às contribuições das velocidades de juntas (q) para a velocidade linear (p) do efetuador final e Jo_i é a matriz $3 \times n$ relativa às contribuições das velocidades de juntas (q) para a velocidade angular (ω) do efetuador final.

Para que possamos obter os valores de Jp_1 e Jo_1 referente a junta 1, que descreve um movimento rotativo, basta seguir a resolução das “Equação 11”.



$$J_{p1} = \begin{bmatrix} S\theta_1 S\theta_2 d_3 + C\theta_1 d_2 \\ -C\theta_1 S\theta_2 d_3 + S\theta_1 d_2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$J_{o1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$
(11)

Da mesma forma, para que possamos obter os valores de J_{p2} e J_{o2} referente a junta 2, que descreve um movimento rotativo, basta seguir a resolução da “Equação 12”.

$$J_{p2} = \begin{bmatrix} S\theta_1 S\theta_2 d_3 + C\theta_1 d_2 \\ -C\theta_1 S\theta_2 d_3 + S\theta_1 d_2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$J_{o2} = \begin{bmatrix} -S\theta_1 \\ C\theta_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$
(12)

Já para obtermos os valores de J_{p3} e J_{o3} referente a junta 3, que descreve um movimento prismático, basta seguir a resolução da “Equação 13”.

$$J_{p3} = \begin{bmatrix} S\theta_1 \\ -C\theta_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$J_{o3} = \begin{bmatrix} S\theta_1 \\ -C\theta_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$
(1)

A partir da “Equação 14”, realiza-se o cálculo final do jacobiano geométrico através da equação matricial da cinemática diferencial.

$$V = \begin{bmatrix} \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \\ \dot{P}_z \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{p1} & J_{p2} & J_{p3} \\ J_{o1} & J_{o2} & J_{o3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{d}_3 \end{bmatrix}$$
(14)



$$V = \begin{bmatrix} \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \\ \dot{P}_z \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S\theta_1 S\theta_2 d_3 + C\theta_1 d_2 & S\theta_1 S\theta_2 d_3 + C\theta_1 d_2 & S\theta_1 \\ -C\theta_1 S\theta_2 d_3 + S\theta_1 d_2 & -C\theta_1 S\theta_2 d_3 + S\theta_1 d_2 & -C\theta_1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -S\theta_1 & S\theta_1 \\ 0 & C\theta_1 & -C\theta_1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{d}_3 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \\ \dot{P}_z \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (S\theta_1 S\theta_2 d_3 + C\theta_1 d_2) \cdot \dot{\theta}_1 & (S\theta_1 S\theta_2 d_3 + C\theta_1 d_2) \cdot \dot{\theta}_2 & (S\theta_1) \cdot \dot{d}_3 \\ (-C\theta_1 S\theta_2 d_3 - S\theta_1 d_2) \cdot \dot{\theta}_1 & (-C\theta_1 S\theta_2 d_3 - S\theta_1 d_2) \cdot \dot{\theta}_2 & (-C\theta_1) \cdot \dot{d}_3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & (-S\theta_1) \cdot \dot{\theta}_2 & (S\theta_1) \cdot \dot{d}_3 \\ 0 & (C\theta_1) \cdot \dot{\theta}_2 & (-C\theta_1) \cdot \dot{d}_3 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Com os resultados expressos na “Equação (15)” pode-se calcular a velocidade linear do efetuador final do robô esférico no sistema da base em função das variáveis e das velocidades das juntas.

$$V = \begin{bmatrix} \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \\ \dot{P}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (S\theta_1 S\theta_2 d_3 + C\theta_1 d_2) \cdot \dot{\theta}_1 & (S\theta_1 S\theta_2 d_3 + C\theta_1 d_2) \cdot \dot{\theta}_2 & (S\theta_1) \cdot \dot{d}_3 \\ (-C\theta_1 S\theta_2 d_3 - S\theta_1 d_2) \cdot \dot{\theta}_1 & (-C\theta_1 S\theta_2 d_3 - S\theta_1 d_2) \cdot \dot{\theta}_2 & (-C\theta_1) \cdot \dot{d}_3 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Por último, a partir da “Equação 16” é possível calcular as velocidades angulares do efetuador final do robô esférico no sistema da base em função das variáveis e das velocidades das juntas.

$$V = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & (-S\theta_1) \cdot \dot{\theta}_2 & (S\theta_1) \cdot \dot{\theta}_2 \\ 0 & (C\theta_1) \cdot \dot{d}_3 & (-C\theta_1) \cdot \dot{d}_3 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se busca possibilitar a alguém a construção do conhecimento, independente do tipo de conteúdo é de grande valia proporcionar meios que favoreçam esta construção. Neste pensar, durante a explanação do conteúdo que aborda a cinemática de braços robóticos foi utilizado uma maquete que possibilitou a exploração tridimensional de um robô cujo volume de trabalho descreve uma trajetória do tipo esférica visando identificar as coordenadas a serem utilizadas para desenvolvimento da modelagem cinemática.

No que tange a questão da cinemática, foi possível explanar sobre a obtenção dos resultados, explicitando como ocorre a escolha das coordenadas e como são obtidas as equações que descrevem a modelagem cinemática que descreve a posição, orientação e

Organização

Promoção



velocidade de um robô industrial.

O que se pode destacar como consideração final deste trabalho é que através da utilização de objetos manipulativos durante a explanação deste conteúdo, possibilita maior entendimento quanto ao que se deseja construir como conhecimento. Desta forma, sempre que o professor considerar pedagogicamente viável, este material pode ser explorado, pois se trata de um material didático simplificado, mas com um grande potencial para fugir do abstrato com que geralmente este é abordado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRAIG, John J., Introduction to Robotics: Mechanics and Control. 3^{ed.} Pearson Prentice Hall: New Jersey 1955.
- HOCK, O., DRGONA, P., PASKALA, M. Simulation model of adjustable arm using Denavit-Hartenberg parameters. ELEKTRO, 2014. IEEE, 2014.
- NIKU, S. B.. Introdução à Robótica: Análise, Controle, Aplicação. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- ROCHA, C. D. C. "Sistema de bancada laboratorial para tarefas repetitivas." (2016).
- SINGH, A., SINGLA, A., SONI, S. DH parameters augmented with dummy frames for serial manipulators containing spatial links. In Robot and Human Interactive Communication, 2014 RO-MAN: The 23rd IEEE International Symposium on (pp. 975-980). IEEE.
- WEN, S., MA, Z., WEN, S., ZHAO, Y., YAO, J. The study of NAO robot arm based on direct kinematics by using DH method. In Control (CONTROL), 2014 UKACC International Conference on (pp. 515-518). IEEE.
- ZHAI, J., YAN, W., FU, Z., ZHAO, Y. Kinematic analysis of a dual-arm humanoid cooking robot. In Mechatronics and Automation (ICMA), 2012 International Conference on (pp. 249-254). IEEE.

KINETIC ROBOT MODELING FROM THE EXPLORATION OF A THREE-DIMENSIONAL MODEL

Abstract: *This work presents a practical activity developed together with the postgraduate course in Mathematical Modeling of the Regional University of the Northwest of the State of Rio Grande do Sul (UNIJUI), and aims to provide a simplified understanding of the linear algebra used in the study of the kinematic chain that describes the robotic arms movement in relation to the position, orientation and velocity of the final effector. In order to facilitate the understanding, it was proposed the use of a model built in wood, which allows the three-dimensional exploration of the links and joints, in order to define the coordinate system to be used according to the Denavit-Hartenberg (D-H) notation. In this way, whenever the teacher considers pedagogically viable this material can be explored because it is a simplified didactic material.*

Key-words: *Kinematics, Spherical Robot, Denavit-Hartenberg Convention.*

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção

