

DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ GANTRY COM ACIONAMENTO PNEUMÁTICO

Leonardo Bortolon Maraschin, leonardo.maraschin@unijui.edu.br¹
Angelo Fernando Fiori, an@unochapeco.edu.br¹
Antonio Carlos Valdiero, valdiero@unijui.edu.br¹
Luiz Antonio Rasia, rasia@unijui.edu.br¹

¹Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), Rua Prefeito Rudi Franke – 540, 98280000, Panambi/RS, Brasil.

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento do projeto e da construção do protótipo de um robô Gantry com acionamento pneumático. O objetivo deste trabalho é descrever as etapas de desenvolvimento do protótipo do robô construído e apresentar a modelagem cinemática. Este tipo de robô é muito empregado em diversas áreas da indústria, sendo bastante usado na manipulação de cargas, nas máquinas de corte a laser e na usinagem CNC. Existem várias vantagens de utilizar este tipo de robô, entre elas estão o aumento da produtividade, a maior qualidade do produto final, a segurança das pessoas, além de serem facilmente adaptáveis para grandes dimensões. Este robô está sendo desenvolvido em uma bancada experimental na Unijuí Campus Panambi, servirá como plataforma de teste para verificação de modelos matemáticos e de estratégias de controle de posição. Essa bancada é composta por uma estrutura fixa, três cilindros pneumáticos controlados cada um por uma servoválvula. Os movimentos horizontais e verticais desse robô citado serão capturados por uma placa eletrônica (dSPACE) de aquisição de sinais e controle, montada em um microcomputador do Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS). Utilizou-se a convenção de Denavit–Hartenberg para a determinação das relações cinemáticas do robô. Pretende-se contribuir para a robotização de baixo custo em tarefas insalubres e perigosas, tal como o manuseio de cargas pesadas. Como perspectivas futuras pretende-se validar o modelo matemático do robô e as estratégias de controle de posição.

Palavras-chave: Robô Gantry, Acionamento Pneumático, Modelagem Cinemática

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda o desenvolvimento do projeto e a construção do protótipo de um robô Gantry acionado por atuadores pneumáticos. Também trata da modelagem cinemática direta e inversa.

Um robô é um dispositivo autônomo ou semi-autônomo que realiza trabalhos de acordo com um controle humano, controle parcial com supervisão, ou de forma autônoma (Alfaro, 2006). Ele foi criado de princípio para desempenhar funções perigosas e danosas para as pessoas, mas com o avanço da ciência, atualmente realiza atividades mais complexas com maior precisão e rapidez. Os robôs podem ser classificados em: móveis, manipuladores e a combinação destes últimos dois.

Sendo que um robô industrial é um manipulador, com propósito geral, constituído estruturalmente de vários segmentos mecânicos rígidos ligados em série por juntas e tendo na extremidade uma garra ou ferramenta (Valdiero, 2005). Com ele as industriais puderam automatizar algumas linhas de produção, com isso aumentaram a produção e a qualidade dos produtos. As cinco classes principais de um robô industrial são: cartesiana, cilíndrica, polar (ou esférica), de revolução (ou articulada) e SCARA (Selective Compliant Articulated Robot for Assembly) (Bastos Filho, 1999).

Existem várias vantagens de utilizar este tipo de robô, entre elas estão o aumento da produtividade, a maior qualidade do produto final, a segurança das pessoas, além de serem facilmente adaptáveis para grandes dimensões. Este tipo de robô é muito empregado em diversas áreas da indústria, sendo bastante usado na manipulação de cargas, nas máquinas de corte a laser e na usinagem CNC.

Os atuadores ou acionadores podem ser distribuídos em: pneumáticos, óleo-hidráulicos, hidro-hidráulicos, elétricos rotativos (DC e DA), elétricos lineares (Bavaresco, 2007). As vantagens de sistema pneumático são: facilidade para transporte em tubulações, facilidade de armazenamento por serem compressíveis em reservatórios, além de matéria prima não poluente (Vale, 2011).

O robô Gantry tratado neste trabalho está sendo desenvolvido em uma bancada experimental na Unijuí Campus Panambi, servirá como plataforma de teste para verificação de modelos matemáticos e de estratégias de controle de posição. Os movimentos horizontais e verticais serão capturados por uma placa eletrônica de aquisição de sinais e

controle (dSPACE), montada em um microcomputador do Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS). Para determinar as relações cinemáticas do robô foi utilizada a convenção de Denavit–Hartenberg.

No artigo está à descrição o robô Gantry com acionamento pneumático na seção 2. A próxima seção trata da modelagem cinemática do robô com a intenção de mostrar uma proposta de controle de posição. A seção 4 apresenta as perspectivas futuras.

2. DESCRIÇÃO DO ROBÔ GANTRY COM ACIONAMENTO PNEUMÁTICO

Este robô Gantry, conforme Fig. 1, será construído em uma estrutura do tipo pórtico, terá três graus de liberdade, sendo que as juntas serão prismáticas e ainda terá uma servoválvula de controle direcional para cada cilindro pneumático de dupla ação. Para manter o ar comprimido limpo e lubrificado na bancada experimental será utilizado uma unidade de conservação. Os movimentos horizontais e verticais do robô serão capturados pelos sistemas transdutores lineares e enviados para uma placa eletrônica de aquisição de sinais e controle (dSPACE), montada em um microcomputador do Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS), que esta integrado ao software Matlab. As partes chamadas de guia (1) e patins (9) formam juntas a Guia Linear TRH do fabricante Kalatec, que servem para aplicações de exigem precisão e têm baixíssima manutenção.

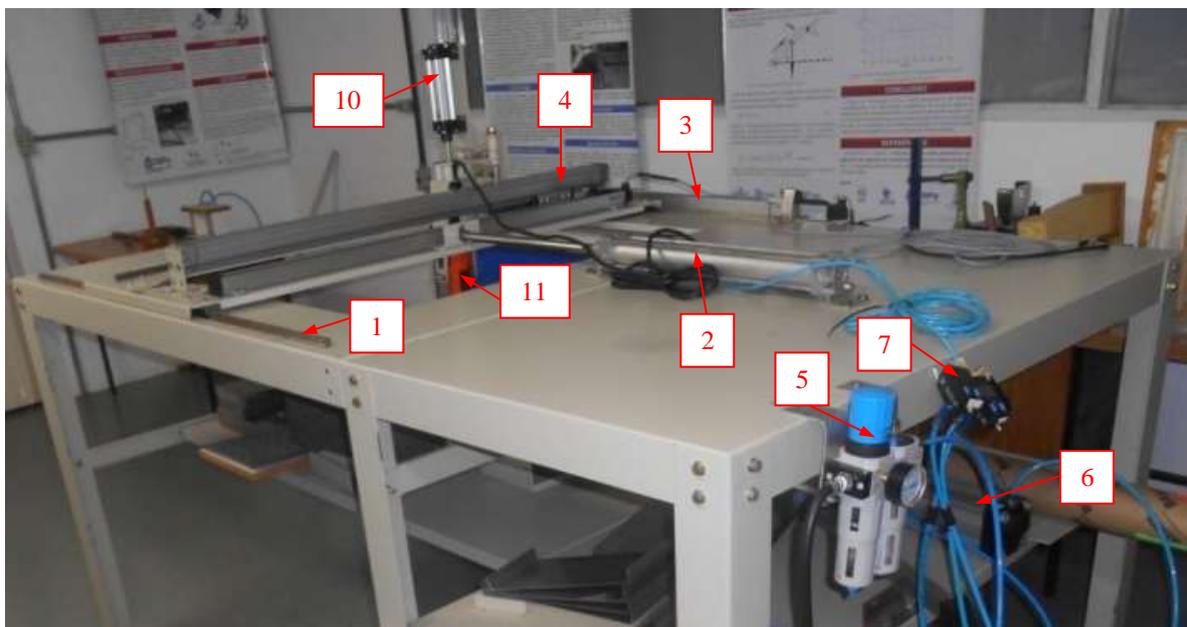


Figura 1. Robô Gantry com descrição de suas partes.

Os componentes apresentados acima e alguns outros que serão montados no protótipo têm as suas especificações descritas na Tab. 1.

Tabela 1. Principais componentes do protótipo

Item	Componente	Fabricante	Código Catálogo	Especificações
1	Guia	Kalatec	TR15	Espessura: 13 mm Largura: 15 mm Comprimento: 1200 mm Capacidade carga dinâmica: 897 kgf Capacidade de carga estática: 1863 kgf
2	Cilindro pneumático com haste	Norgren	RA/8050/M/400	Diâmetro da haste: 20 mm Diâmetro do cilindro: 50 mm Curso: 400 mm Força teórica: 1178 N
3	Sistema transdutor linear	Festo	MLO-POT-1000-TLF (152632)	Resolução do trajeto: 0,01 mm Curso: 1000 mm
4	Cilindro pneumático sem haste	Rexroth	5206020400	Diâmetro: 25 mm Curso: 1000 mm Força teórica: 500 N
5	Unidade de conservação	Festo	162773	Grau de filtração: 5 µm Vazão nominal padrão: 1.700 l/min
6	Reservatório de ar comprimido	Proar	RA 080.500.1	Volume: $2,51 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
7	Sensor de pressão	Festo	SDE1-D10-G2-R18-C-PU-M8 (529958)	Faixa de medição de pressão: 0 – 10 bar
8	Transmissor de pressão	Gefran	TKG E 1M 1DM	Faixa de medição de pressão: 0 – 10 bar
9	Patins	Kalatec	TRH15FL	Espessura: 21 mm Largura: 47 mm Comprimento: 1200 mm Capacidade carga dinâmica: 897 kgf Capacidade de carga estática: 1863 kgf
10	Cilindro pneumático com haste	Proar	MM 032.249.101 x100 (ISO 6431)	Diâmetro da haste: 12 mm Diâmetro do cilindro: 32 mm Curso: 100 mm
11	Lixadeira LINE-MATE III	Walter	6268 (30A-308)	RPM: 1000 - 3800 Motor: 220 V AC Potência: 1520 W
12	Válvula direcional proporcional	Festo	MPYE-5-1/8-HF-010-B (151693)	Função de válvula: 5/3 vias, fechada Vazão nominal padrão: 700 l/min

3. MODELAGEM CINEMÁTICA DO ROBÔ

Para realizar a modelagem cinemática direta e inversa do robô utilizou-se a convenção de Denavit–Hartenberg (Sciavicco, 1996). Os sistemas de coordenadas (X_i, Y_i, Z_i) de referência em cada elo e os eixos das juntas estão na Fig. 2 e os parâmetros de Denavit-Hatenberg estão indicados na Fig. 3. O cálculo da posição e orientação das coordenadas ligadas com a ponta de atuação em relação às coordenadas ligadas à base é cinemática direta (Valdiero, 2005). Os parâmetros D-H estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de Denavit-Hartenberg.

l_{o_i}	a_i (m)	θ_i (rad)	α_i (rad)	d_i (m)
l_{o_1}	a_1	0	$\pi/2$	d_1
l_{o_2}	a_2	$-\pi/2$	$\pi/2$	d_2
l_{o_3}	0	0	0	d_3

Sendo que a_i é a distância entre Z_{i-1} e Z_i , θ_i é o ângulo entre X_{i-1} e X_i em torno de Z_{i-1} , α_i é o ângulo entre Z_{i-1} e Z_i medido em X_i , d_i é a ordenada medida ao longo de Z_{i-1} que localiza o eixo X_i em relação ao X_{i-1} . Neste robô cartesiano o parâmetro d_i é variável.

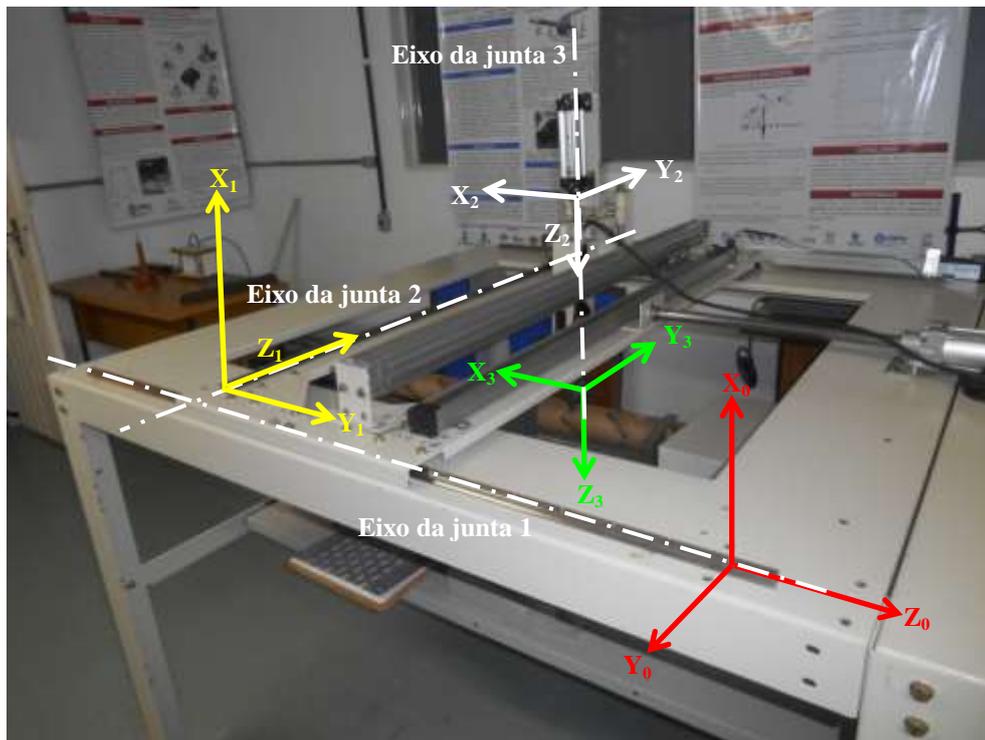


Figura 2. Representação dos sistemas de coordenadas de referência em cada elo de acordo com a convenção de Denavit-Hartenberg (D-H) indicadas no robô Gantry com acionamento pneumático.

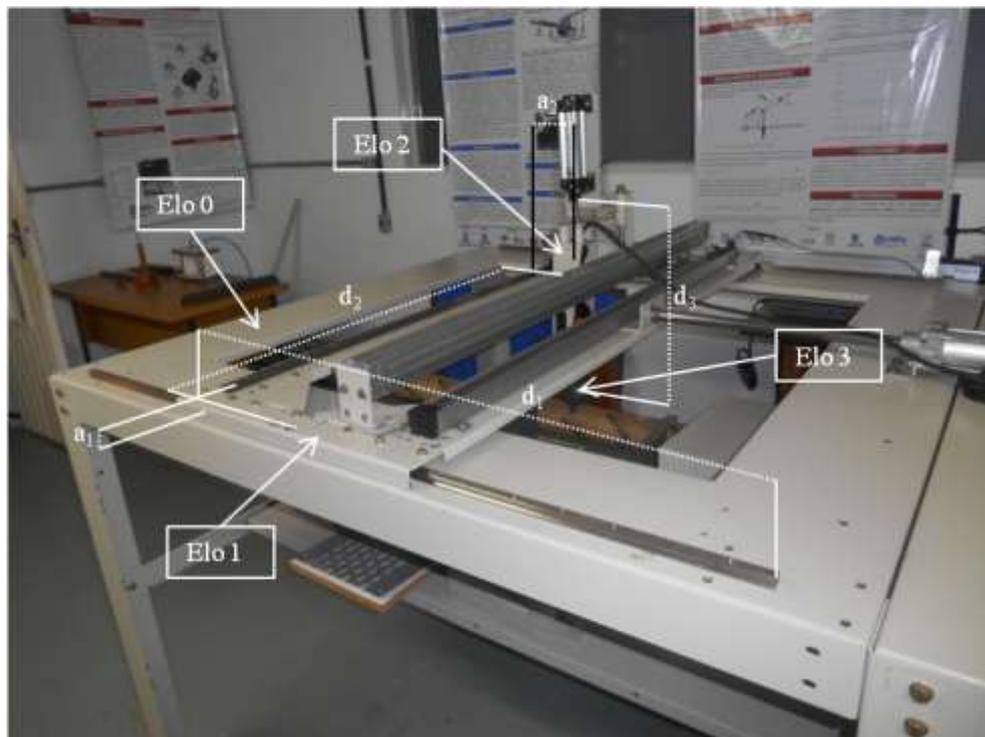


Figura 3. Representação dos parâmetros de Denavit-Hartenberg (D-H), indicadas no robô Gantry com acionamento pneumático.

Para construir as matrizes de transformação homogênea que relaciona o movimento de um elo_i em relação ao elo_{i-1}, usa-se as Eq. (1), (2) e (3).

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\text{sen}\theta_1 \cos\alpha_1 & \text{sen}\theta_1 \text{sen}\alpha_1 & a_1 \cos\theta_1 \\ \text{sen}\theta_1 & \cos\theta_1 \cos\alpha_1 & -\cos\theta_1 \text{sen}\alpha_1 & a_1 \text{sen}\theta_1 \\ 0 & \text{sen}\alpha_1 & \cos\alpha_1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\text{sen}\theta_2 \cos\alpha_2 & \text{sen}\theta_2 \text{sen}\alpha_2 & a_2 \cos\theta_2 \\ \text{sen}\theta_2 & \cos\theta_2 \cos\alpha_2 & -\cos\theta_2 \text{sen}\alpha_2 & a_2 \text{sen}\theta_2 \\ 0 & \text{sen}\alpha_2 & \cos\alpha_2 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\text{sen}\theta_3 \cos\alpha_3 & \text{sen}\theta_3 \text{sen}\alpha_3 & a_3 \cos\theta_3 \\ \text{sen}\theta_3 & \cos\theta_3 \cos\alpha_3 & -\cos\theta_3 \text{sen}\alpha_3 & a_3 \text{sen}\theta_3 \\ 0 & \text{sen}\alpha_3 & \cos\alpha_3 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Substituindo os valores da Tab. 2 nas Eq. (1), (2) e (3), obtêm-se as Eq. (4), (5) e (6) logo abaixo:

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -a_2 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Para determinar a matriz de transformação homogênea que relaciona sistema de referência do efetuador final com o da base fixa, usa-se seguinte Eq. (7).

$$T_3^0 = A_1^0 \cdot A_2^1 \cdot A_3^2 \quad (7)$$

Substituindo os valores das Eq. (4), (5) e (6) na Eq. (7), temos a Eq. (8).

$$T_3^0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & -d_3 + a_1 \\ 0 & -1 & 0 & -d_2 \\ -1 & 0 & 0 & -a_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Seguem abaixo as relações de posição e orientação final do robô nas Eq. (9), (10), (11) e (12).

$$X_3^0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$Y_3^0 = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$Z_3^0 = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$P_3^0 = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -d_3 + a_1 \\ -d_2 \\ -a_2 + d_1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Na Figura 4 pode-se observar a orientação do efetuador final do robô Gantry.

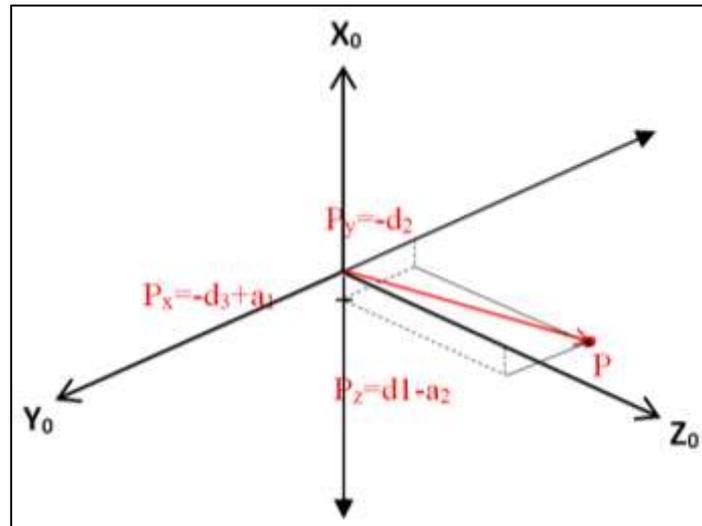


Figura 4. Orientação do efetuador final do robô Gantry.

Na cinemática inversa usam-se os dados e a orientação do efetuador final, para calcular as variáveis de junta. Nesse robô Gantry calcula-se as ordenadas (d_i) do efetuador final, medidas ao longo de z_0 , conforme está na Eq. (13), (14) e (15).

$$d_3 = -P_x + a_1 \quad (13)$$

$$d_2 = -P_y \quad (14)$$

$$d_1 = P_z + a_2 \quad (15)$$

4. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Este trabalho apresentou as etapas de desenvolvimento de um robô acionado por atuadores pneumáticos que está sendo construído em uma bancada experimental na Unijuí Câmpus Panambi. Utilizou-se a convenção de Denavit-Hartenberg para a determinação das relações cinemáticas do movimento do efetuador do robô a partir das posições de junta. Pretende-se contribuir para a robotização de baixo custo em tarefas insalubres e perigosas, tal como o manuseio de peças numa indústria e tarefas de polimento. Como perspectivas futuras, tem-se a formulação e a validação do modelo matemático da dinâmica do robô e dos testes experimentais de estratégias de controle. O robô será utilizado em testes experimentais para identificação de não-linearidades presentes na dinâmica, tais como o atrito nos atuadores pneumáticos.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil. Os autores são agradecidos a CAPES pelas bolsas de mestrado, a UNIJUI e ao Núcleo de Inovação em Máquina Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS) pelo apoio e incentivo na realização da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Alfaro, S.C.A., 2006, “Robôs em Projetos Tecnológicos”, Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC, Florianópolis, SC. Disponível em: < http://www.sbpnet.org.br/livro/58ra/atividades/TEXTOS/texto_884.html>. Acesso em 01 fev. 2014.
- Bastos Filho, T.F., 1999, “Aplicação de Robôs nas Indústrias”, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. Disponível em: < <http://www2.ele.ufes.br/~tfbastos/RobMov/robosindustriais.pdf>>. Acesso em 07 fev. 2014.
- Bavaresco, D., 2007, “Modelagem Matemática e Controle de um Atuador Pneumático”, Dissertação de Mestrado em Modelagem Matemática, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2 p.

- Locateli, C.C., Zago, F., Endler, L., Schimitt, P.R., Andrighetto, P. e Valdiero, A.C., 2008, “Implementação do controle PID de um manipulador robótico acionado servopneumaticamente com utilização do matlab/simulink”, Congresso Brasileiro de Estudantes de Engenharia Mecânica, XV CREEM, Curitiba.
- Sciavicco, L., Siciliano, B., 1996, “Modeling and Control of Robot Manipulators”, Ed. McGraw-Hill, Singapore.
- Valdiero, A.C., 2005, “Projeto Mecânico de Robôs Industriais”, Ed. Unijuí, Ijuí, RS, Série 09, pp. 5-8.
- Vale, V.A.C., 2011, “Controle de Posição de um Robô Cartesiano por meio de Técnicas Adaptativas”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 6 p. Disponível em: <http://bdtd.biblioteca.ufpb.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1951>. Acesso em 15 fev. 2014.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DEVELOPMENT OF A GANTRY ROBOT WITH PNEUMATIC ACTUATOR

Leonardo Bortolon Maraschin, leonardo.maraschin@unijui.edu.br¹
Angelo Fernando Fiori, an@unochapeco.edu.br¹
Antonio Carlos Valdiero, valdiero@unijui.edu.br¹
Luiz Antonio Rasia, rasia@unijui.edu.br¹

¹Regional Northwest University of Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), Street Prefeito Rudi Franke – 540, 98280000, Panambi/RS

Abstract. *This paper presents the design development and construction of a prototype gantry robot with pneumatic actuation. The objective of this study is to describe the stages of development of the prototype robot built, present the kinematic modeling and a proposal for position control. This type of robot is very used in various areas of the industry, being widely used in cargo handling, in laser cutting machines and CNC machining. There are several advantages of using this type of robot, among them are increased productivity, higher quality of the final product, the safety of people, and are easily adaptable to large. This robot is being developed on a trial bench in Unijuí Campus Panambi, serve as a test platform for verification of mathematical models and control strategies position. This countertop comprises a fixed structure, two pneumatic cylinders controlled each by a servovalve. The horizontal and vertical movements of the robot quoted will be captured by an electronic board (dSPACE) data acquisition and control, mounted in a microcomputer of the Center for Innovation in Automatic Machines and Servo Systems (NIMASS). We used the Denavit-Hartenberg convention for determining kinematic relations Robot. It is intended to contribute to the low cost robotics in unhealthy and dangerous tasks, as the handling of heavy loads. Future prospects as we intend to validate the mathematical model of the robot and the control strategies position.*

Keywords: *Gantry Robot, Pneumatic Actuation, Kinematic Modeling*