

## **IDENTIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DA NÃO LINEARIDADE DE FOLGA NO ACIONAMENTO DE UM ROBÔ TIPO GANTRY**

**Odair Menuzzi, [odair.menuzzi@ibest.com.br](mailto:odair.menuzzi@ibest.com.br)<sup>1</sup>**  
**Eduardo Padoin, [eduardopadoin@bol.com.br](mailto:eduardopadoin@bol.com.br)<sup>1</sup>**  
**Antonio Carlos Valdiero, [valdiero@unijui.edu.br](mailto:valdiero@unijui.edu.br)<sup>1</sup>**  
**Antonio Luis Rasia, [rasia@unijui.edu.br](mailto:rasia@unijui.edu.br)<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>UNIJUÍ Campus Panambi, Laboratório de Robótica, Caixa Postal 121, Av. Rudi Franke, 540, CEP 98280-000, Panambi - RS, Brasil.

**Resumo:** *Trata-se do problema da modelagem matemática da não linearidade de folga no acionamento de um robô Gantry e a sua identificação experimental. Um robô industrial é um dispositivo mecânico programável para realizar movimentos em tarefas de repetição, muitas das quais insalubres, perigosas e/ou que exigem grande esforço. Os robôs do tipo Gantry têm grande potencial de aplicações nas indústrias do setor metal mecânico, principalmente devido à sua estrutura rígida, seu amplo espaço de trabalho em mesas e a facilidade de programação proveniente do desacoplamento dinâmico entre o movimento de seus elos. Um dos problemas que dificultam o controle preciso dos movimentos de um robô Gantry é a não linearidade de folga no acionamento, principalmente nas transmissões mais simples e baratas do tipo fuso roscado. A modelagem matemática dessa não linearidade de folga e a identificação experimental de seus parâmetros podem contribuir para resolver este problema, sendo a base para estratégias de compensação de tais imperfeições. Foi montada uma bancada experimental do acionamento do manipulador robótico tipo Gantry e desenvolvida uma metodologia para identificação experimental dos parâmetros da não-linearidade de folga. A partir destes resultados, validou-se um modelo matemático para as folgas do acionamento do robô Gantry em simulações computacionais, levando-se em conta os valores identificados para os principais parâmetros da não linearidade. Pretende-se assim contribuir para melhoria do desempenho e precisão de robôs de baixo custo.*

**Palavras-chave:** *modelagem matemática, não linearidade de folga, identificação experimental.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Este trabalho trata do problema de modelagem matemática e identificação experimental da não linearidade de folga (*backlash*) em transmissões mecânicas do tipo fuso (parafuso de potência), comuns no acionamento das juntas prismáticas de robôs Gantry (Hunt, 1983; Sciavicco e Siciliano, 1996; Cupido et al., 1996; Paatz, 2008). Tais robôs têm grande potencial de aplicação nas indústrias do setor metal mecânico, principalmente devido à sua estrutura rígida, seu amplo espaço de trabalho em mesas e a facilidade de programação proveniente do desacoplamento dinâmico entre o movimento de seus elos. Um dos problemas que dificultam o controle preciso dos movimentos de um robô Gantry é a não linearidade de folga no acionamento, principalmente nas transmissões mais simples e baratas do tipo fuso roscado.

Atualmente há duas formas de acionamento das juntas de robôs industriais. Uma é o acionamento direto (*direct-drive*), onde o motor é montado diretamente no eixo da junta e que de acordo com Turner et al. (2001) não é o ideal para motores elétricos, pois a ausência de uma relação de redução do movimento leva à necessidade de motores elétricos especiais com menor rotação e maior torque, além de sujeitá-lo aos efeitos dinâmicos do acoplamento. A outra forma de acionamento, que é a mais tradicional e simples, é a utilização de transmissões por engrenagens entre os motores e as juntas, as quais possuem como vantagens a menor carga no motor, maiores rotações no motor e a facilidade de seu posicionamento no braço do robô. A desvantagem deste tipo de acionamento é a presença de atrito e a folga nas transmissões de engrenagens.

De acordo com Ross et al. (2006), na seleção ótima de uma transmissão por engrenagens para aplicações em mecatrônica, a escolha do tipo depende de muitos fatores, onde os mais importantes são velocidade de entrada, folga, eficiência e custo. Em geral a transmissão de custo menor tem a maior folga, então ou se aumenta o custo ou se compensa a não linearidade de folga no esquema de controle. O importante é se chegar a uma solução de compromisso (*trade-off*), equilibrando os custos de fabricação e os custos de implementação de controle com compensação das não linearidades.

Valdiero (2005) aponta a importância do estudo das não linearidades dos sistemas mecânicos, os quais causam limitações no desempenho do controle preciso, destacando-se a zona morta, o atrito, histerese e a folga (backlash). Dentro deste contexto, vários trabalhos (Nordin e Gutman, 2002; Dong e Tan, 2009; Vorös, 2009; Hägglund, 2007) têm tratado da modelagem, identificação e compensação da não linearidade de folga. Nordin e Gutman (2002) comentam que a folga é uma das mais importantes não linearidades que limitam o desempenho do controle de posição e velocidade em aplicações industriais e de robótica. A revisão bibliográfica realizada por estes autores indica ainda há muita pesquisa a ser feita para síntese e análise da compensação de folga no controle de sistemas mecânicos.

Vörös (2009) apresenta uma nova forma analítica de descrição do modelo matemático da não linearidade de folga que utiliza funções de chaveamento e mostra resultados de simulação computacional da identificação dos parâmetros.

Hägglund (2007) descreve um novo método para detecção e estimativa da não linearidade de folga em válvulas de controle que sofreram desgaste. Ele utiliza como modelo a função descritiva da folga e comenta que a facilidade de compensação desta não linearidade depende de sua inversa.

Selmic e Lewis (2001) apresentam um esquema de compensação para folgas com inversão da dinâmica utilizando a técnica do backstepping com redes neurais. Um modelo geral da folga é usado e permite assimetria.

Cazarez-Castro et al. (2009) apresenta uma combinação de lógica fuzzy e algoritmos genéticos na busca de resolver o problema de regulação da saída de servomecanismos com não linearidade de folga. Os dados para simulação foram obtidos a partir de uma bancada experimental de testes que envolve um motor DC ligado a uma carga mecânica por meio de uma transmissão por trem de engrenagens com folga.

Giri et al. (2008) apresenta proposições para a identificação de sistemas lineares com a presença da não linearidade de folga a partir da parametrização apropriada do sistema, a estimativa dos parâmetros pela técnica dos mínimos quadrados e a especificação de padrões de sinais de entrada.

Shahnazi et al. (2009) propõe um controlador adaptativo combinado com lógica fuzzy para melhorar a robustez do controle feedback de sistemas com a presença de não linearidades tais como sistemas mecânicos com folga no acionamento.

Da mesma forma que Morales-Velazquez et al. (2009) propõe melhorias do controle de máquinas ferramenta com controle numérico computadorizado (CNC) utilizando plataformas de baixo custo e a identificação dos parâmetros do modelo do servo sistema, o propósito deste trabalho é apresentar uma proposta prática de modelagem e identificação dos parâmetros de folga em transmissões mecânicas do tipo fuso (parafuso de potência) para futura aplicação no controle e compensação de robôs Gantry.

Na seção 2 apresenta-se a descrição do robô Gantry, bem como suas juntas e elos. A seção 3 contém a modelagem matemática da não linearidade da folga, conforme descrita por Tao e Kokotovic (1996), na seção 4 é descrita a bancada experimental utilizada na identificação da folga no acionamento tipo fuso de uma junta robótica prismática. A seção 5 apresenta os resultados obtidos e por fim apresentam-se as conclusões na seção 6.

## 2. DESCRIÇÃO DO ROBÔ GANTRY E DO ACIONAMENTO DE UMA JUNTA

Este trabalho trata do problema da modelagem matemática e do controle de manipuladores robóticos de estrutura tipo Gantry, conforme mostrado na Fig. (1). O robô Gantry é considerado o tipo de manipulador mais robusto. Tem a cinemática mais simples entre os tipos comuns de robôs industriais por utilizar três juntas prismáticas (J1, J2 e J3) e, em alguns casos, uma junta rotativa (J4) para a orientação do efetuador final (garra robótica ou ferramenta).

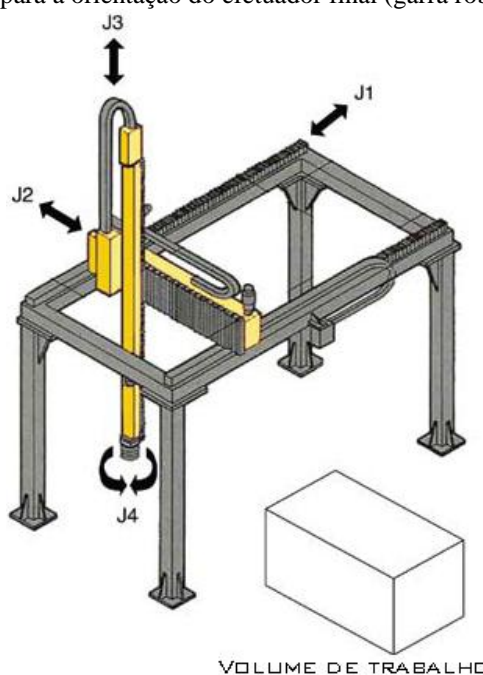


Figura 1. Manipulador robótico Gantry (PAATZ, 2008).

Um tipo de transmissão muito utilizada em juntas prismáticas é o conjunto de fuso (ou parafuso) e porca. Este tipo de transmissão apresenta alta precisão e boa capacidade de carga, sendo comum em manipuladores do tipo Gantry.



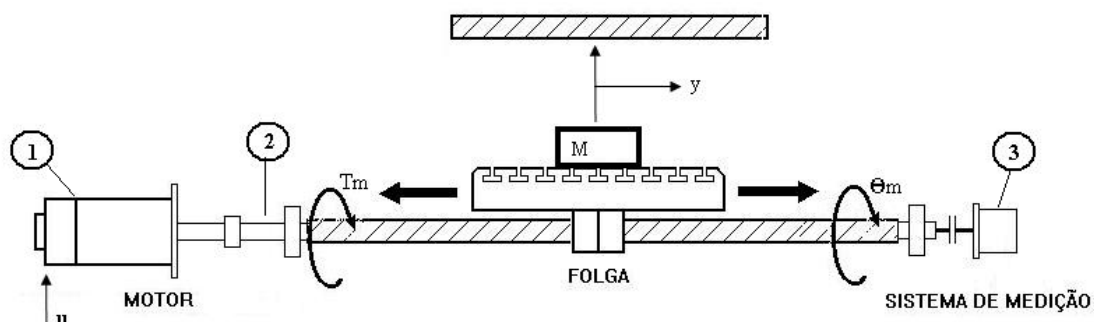
Fuso e  
porca

**Figura 2. Transmissão tipo fuso utilizada no acionamento de juntas prismáticas em manipuladores robóticos.**

As transmissões de um robô têm papel muito importante na precisão de posicionamento do manipulador, muitas vezes é preciso reduzir ou amplificar o movimento dos atuadores, visando-se obter velocidades adequadas.

Existem diversas características não lineares na dinâmica desses sistemas mecânicos que dificultam o controle preciso e prejudicam seu desempenho, entre as quais destacam-se o atrito dinâmico e as folgas nas transmissões mecânicas.

A Figura (3) mostra um desenho esquemático do acionamento de uma junta prismática. O motor elétrico (1) aplica um torque  $T_m$  no fuso (2) resultando num deslocamento angular  $\theta_m$ , medido por um encoder (3). Ao girar o fuso o movimento de rotação do mesmo se converte no deslocamento linear  $y$  de uma massa  $M$ .



**Figura 3. Desenho esquemático do acionamento de uma junta prismática por meio de uma transmissão tipo fuso.**

Esta não linearidade de folga acarreta fortes variações das parcelas dinâmicas e resultam em efeitos de degradação do desempenho do segmento de trajetória.

### 3. MODELAGEM MATEMÁTICA DA NÃO LINEARIDADE DA FOLGA

Uma das não linearidades que limitam o desempenho dos sistemas de controle em diversas aplicações mecânicas é a folga. Alguns modelos e métodos matemáticos já vêm sendo descritos com relação a essa não linearidade que, conforme Nordin (2002), está presente em cada sistema mecânico em que um membro de condução (motor) não está diretamente ligado com o membro acionado (carga).

A formulação do modelo matemático de uma junta prismática do robô Gantry pode ser obtida pelo método Newton-Euler a partir do equilíbrio dinâmico nos diagramas de corpo livre do eixo-fuso e da porca-massa deslocada. A Fig. (4) mostra o diagrama de corpo livre do eixo-fuso.

Se não ocorre a presença da não linearidade de folga no sistema, o modelo matemático a ser utilizado é representado por uma equação ordinária de segunda ordem, descrita através da combinação das equações (3), (7) e (8), resultando na Eq. (10). As forças atuantes no fuso estão representadas na Fig. (4).

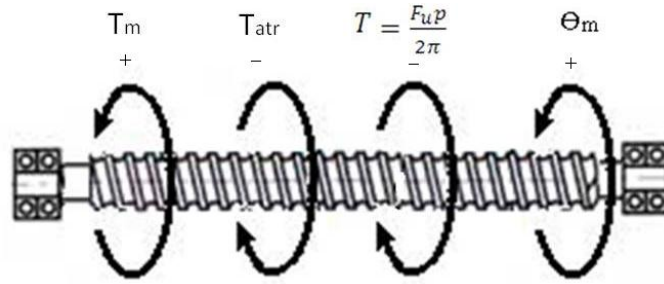


Figura 4. Forças atuantes no fuso

Pela aplicação das leis do equilíbrio dinâmico, obtêm-se as seguintes relações matemáticas:

$$\sum T = J\ddot{\theta}_m \quad (1)$$

$$T_m - B_\theta \dot{\theta}_m - T = J\ddot{\theta}_m \quad (2)$$

$$T_m = J\ddot{\theta}_m + B_\theta \dot{\theta}_m + \frac{F_u p}{2\pi} \quad (3)$$

onde  $T_m$  é o torque motor,  $J$  é o momento de inércia de todo conjunto em rotação (fuso e eixo motor),  $B_\theta$  é o coeficiente do atrito viscoso do eixo,  $p$  é o passo do fuso,  $F_u$  é a força de reação da massa deslocada sobre o fuso,  $\theta_m$  é o ângulo de giro do fuso. O torque devido à força de reação da massa deslocada sobre o fuso é dado por:

$$T = \frac{F_u p}{2\pi} \quad (4)$$

Da mesma forma, pode-se deduzir as equações da dinâmica do movimento linear da massa:

$$\sum F = M\dot{y} \quad (5)$$

$$F_u - B_y \dot{y} = M\dot{y} \quad (6)$$

$$F_u = M\dot{y} + B_y \dot{y} \quad (7)$$

onde  $B_y$  é o coeficiente do atrito viscoso da massa,  $M$  é a massa e  $y$  é o deslocamento linear da junta prismática.

Se não houvesse a imperfeição de folga no sistema dinâmico, a relação entre o deslocamento linear da junta prismática e o giro do eixo motor poderia ser escrita como:

$$y = \frac{p}{2\pi} \theta_m \quad (8)$$

Considerando o caso de não haver folga, poder-se-ia substituir as derivadas da Eq. (8) em (7) e combinar este resultado com a Eq. (3), resultando numa única equação diferencial ordinária de segunda dada por:

$$T_m = J\ddot{\theta}_m + B_\theta \dot{\theta}_m + \frac{p}{2\pi(M\frac{p}{2\pi}\dot{\theta}_m + B_y\frac{p}{2\pi}\dot{\theta}_m)} \quad (9)$$

$$T_m = \ddot{\theta}_m (J + M(\frac{p}{2\pi})^2) + \dot{\theta}_m (B_\theta + B_y(\frac{p}{2\pi})^2) \quad (10)$$

Entretanto devido à existência da não linearidade de folga, cada uma das equações diferenciais de segunda ordem, Eq.s (3) e (7), não podem ser combinadas e necessita-se de uma relação matemática que represente a relação entre o deslocamento linear da junta,  $y$ , em função do deslocamento angular do motor,  $\theta_m$ , na presença da folga. A partir de uma revisão bibliográfica na literatura recente que trata da não linearidade de folga, permitiu a formulação desta relação matemática para a transmissão tipo fuso. Adaptando-se o modelo proposto por Tao e Kokotovic, descreve-se a folga a partir das seguintes equações:

$$y(t) = \begin{cases} m(\theta_m(t) - c_l) & \text{se } \theta_m(t) \leq v_l \\ m(\theta_m(t) - c_r) & \text{se } \theta_m(t) \geq v_r \\ y(t-1) & \text{se } v_l < \theta_m(t) < v_r \end{cases} \quad (11)$$

onde  $m$  é a relação de transmissão,  $c_l$  e  $c_r$  são constantes, e  $v_l$  e  $v_r$  são funções de projeções dadas pela equação (12).

$$v_l = \frac{y(t-1)}{m} + c_l, \quad v_r = \frac{y(t-1)}{m} c_r \quad (12)$$

A Figura 5 mostra um desenho esquemático da não linearidade de folga e a representação gráfica do modelo matemático dado pela Eq. (11).

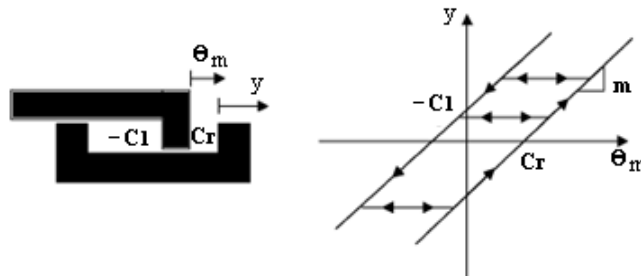


Figura 5. Não linearidade da folga: desenho esquemático e representação gráfica do modelo proposto.

#### 4. BANCADA EXPERIMENTAL

Uma bancada de testes foi construída para indentificação experimentalmente da não linearidade de folga em transmissões do tipo fuso utilizadas em robôs Gantry de baixo custo e é descrita nesta seção. Os resultados obtidos nesta bancada também são utilizados na validação do modelo matemático.

A tabela (1) apresenta os principais componentes da bancada experimental mostrados na Fig. (6)

Tabela 1. Principais componentes da bancada experimental

Componente	Fabricante	Código	Principais Especificações
Transdutor de deslocamento linear	BALLUFF	BTL6-A110-M0500-A1-5115	Faixa de medição de 200 mm, saída analógica de 0 a 10 V
Fuso Roscado	Rosca Quadrada	Material Alumínio	Diâmetro maior 24mm, passo 5mm, diâmetro interno de 20mm.
Encoder incremental	Hohner	7510-0622-1000	1000 pulsos por rotação

A figura (6) mostra a bancada de teste do acionamento de uma junta do manipulador robótico tipo Gantry. O mecanismo é composto por um fuso construído numa estrutura fixa (mesa). O motor elétrico é montado em uma das extremidades (1) do fuso e aplica um torque  $T_m$  no fuso (2) resultando num deslocamento angular  $\theta_m$ , medido por um encoder (3), e provocando um deslocamento linear de uma carga (6) que é medido pelo transdutor de deslocamento linear (4) com o deslocamento do magneto (5) fixo na carga.



Figura 6. Bancada experimental para testes do acionamento tipo fuso

Os sinais obtidos pelo encoder e pelo transdutor de deslocamento linear são lidos por uma placa de aquisição e controle de sinais digitais (dSPACE, modelo DS1104) montada num microcomputador conforme mostrado na Fig. (7).



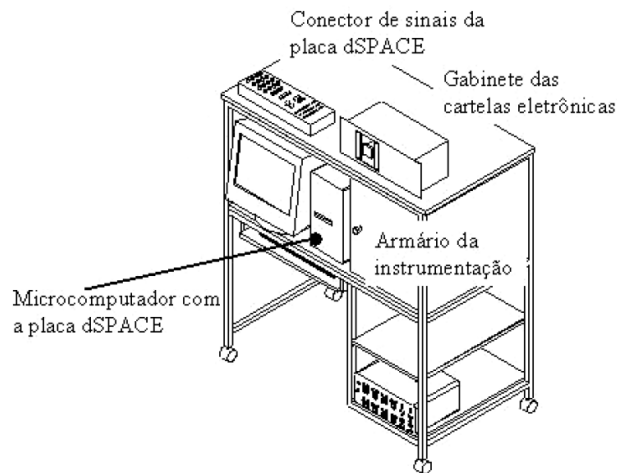


Figura 7. Microcomputador com placa de aquisição de sinais dSPACE

## 5. METODOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DA NÃO LINEARIDADE DE FOLGA

A metodologia proposta consiste da utilização dos resultados experimentais obtidos na bancada descrita na seção 4 e de procedimentos para ajuste dos parâmetros da não linearidade de folga cujo modelo foi apresentado na seção 3.

O primeiro passo foi realizar o deslocamento angular do fuso (entrada da não linearidade) de tal forma a se ter uma inversão de movimento e produzir os efeitos característicos no posicionamento da carga (saída da não linearidade), conforme mostrado na Fig. (8) que inclui o gráfico da aquisição de sinais.

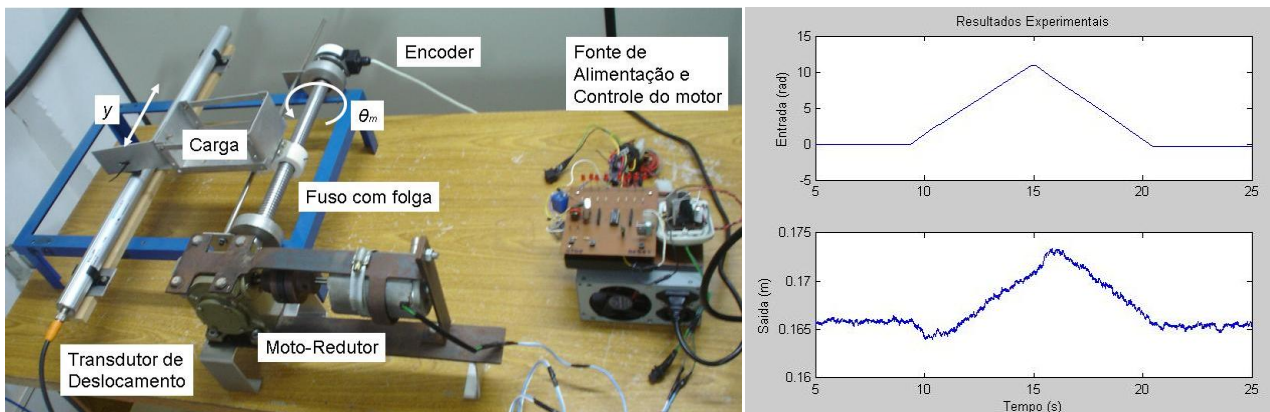


Figura 8. Foto da bancada mostrando o teste realizado e a aquisição de sinais

O segundo passo é realizar o cálculo da saída para o caso ideal em que não há a não linearidade de folga. Para isto utiliza-se a Eq. (8) e faz-se o cálculo para o mesmo sinal de entrada dos resultados experimentais da Fig. (8). A Figura (9) mostra os gráficos comparativos das saídas com folga e sem folga no fuso em relação à entrada e em relação ao tempo.

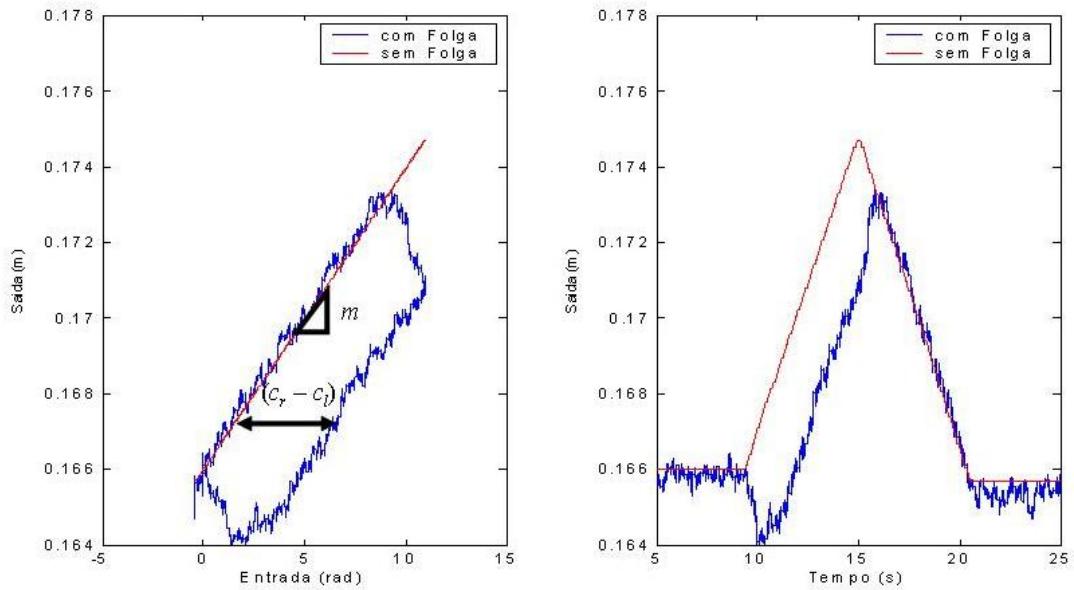


Figura 9. Gráficos comparativos das saídas com folga e sem folga (caso ideal) no fuso

O terceiro passo é estimar os parâmetros da não linearidade de folga, dados no modelo da Eq. (11), a partir destes resultados experimentais. Note no gráfico da Fig. (9) que a relação de transmissão  $m$  é facilmente estimada obtendo-se a inclinação da reta entre as saídas e a entrada. O vão de contato  $(c_r - c_l)$  também é facilmente estimado e está representado na Fig. (9).

Como quarto passo, os intervalos de folga à direita e à esquerda são ajustados através da simulação computacional do modelo matemático, dado pelas Eq.s (3), (7) e (11), e implementado por meio do diagrama de blocos mostrado na Fig. (10).

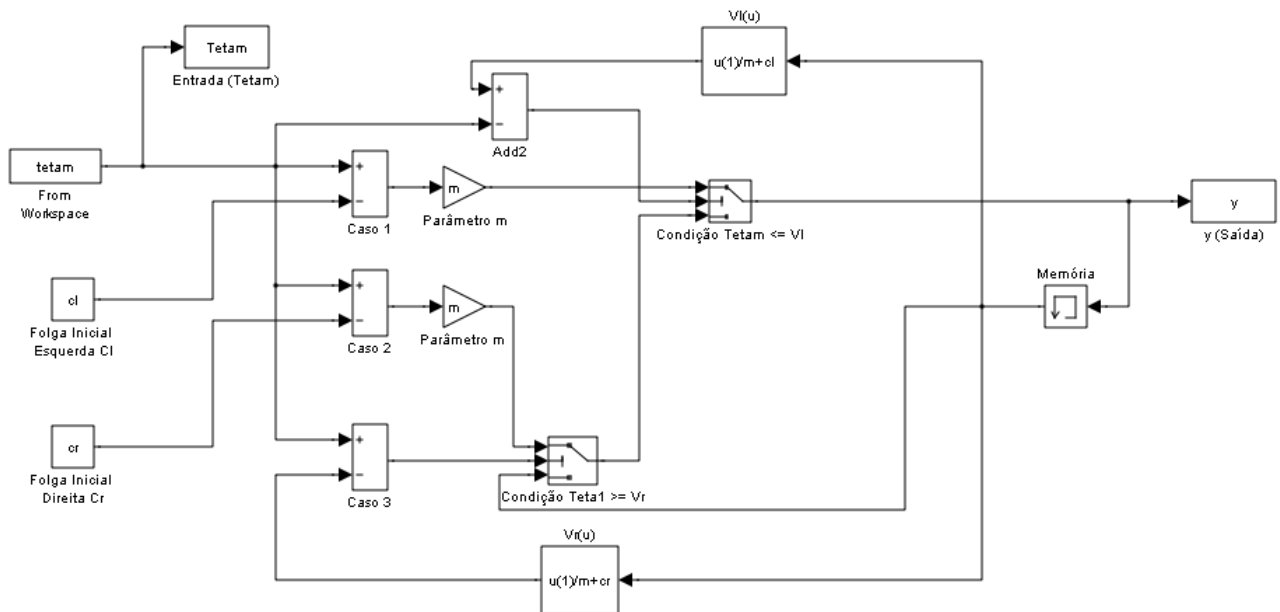


Figura 10. Diagrama de blocos utilizado na simulação computacional do modelo matemática da folga

A simulação foi feita com o auxílio da ferramenta Matlab/Simulink, utilizando o método ODE4(Runge kutta). Os parâmetros do sistema ajustados nas simulações computacionais estão apresentados na Tab. (2). a partir das características mecânicas do acionamento da junta robótica e dos resultados experimentais.

Tabela 2. Parâmetros do modelo do sistema com folga

Descrição dos Parâmetros	Valores
Passo do fuso $p$	$5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$
Relação de transmissão $m$	$7,957 \times 10^{-4} \text{ m/rad}$
Vão de contato ( $c_r$ - $c_l$ )	4,5 rad
Intervalo de folga à direita $c_r$	2 rad
Intervalo de folga à esquerda $c_l$	-2,5 rad
Entrada posição angular $\theta_m$	variando
Posição inicial da carga $y(t=0)$	$1,6 \times 10^{-3} \text{ m}$

A Figura (11) é resultado da validação experimental do modelo matemático da seção 3 ao qual foram usados os parâmetros detalhados na Tab. (2). Nesta figura estão identificados problemas nos resultados experimentais provenientes da mal fixação do magneto do transdutor de deslocamento linear da carga, o qual oscilava nas partidas e inversões de movimento conforme foi observado experimentalmente.

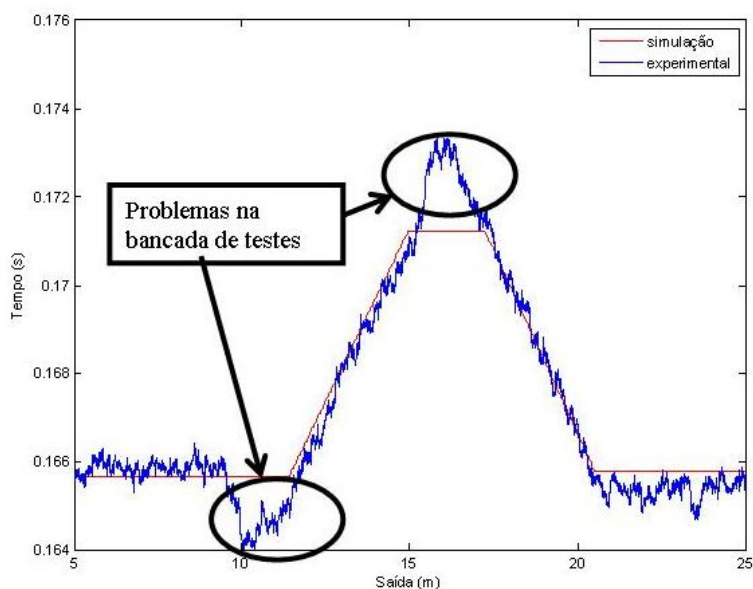


Figura 11. Validação do modelo matemático da não linearidade de folga

Os resultados teóricos e experimentais apresentados nesta seção permitem observar o comportamento da não linearidade da folga. Destaca-se os efeitos de atraso no tempo e perda de movimento observados na Figura 9. Diante disso percebe-se que é importante o controle da não linearidade de folga, pois causam limitações no desempenho do controle preciso.

## 6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado a descrição do robô Gantry com acionamento de suas juntas por transmissões mecânicas do tipo fuso roscado e bancada de testes experimentais para identificação da não linearidade de folga no fuso. Desenvolveu-se o modelo para a não linearidade da folga e foi realizada a identificação experimental de seus parâmetros.

Os testes experimentais do protótipo do acionamento tipo fuso de uma junta robótica prismática ilustraram o comportamento da não linearidade de folga. Os resultados mostraram a importância da compensação da folga, ressaltando os seguintes aspectos: os erros e atrasos são significativos e esta não linearidade tem efeitos que podem comprometer a precisão de posicionamento.

Como perspectivas futuras para continuidade da pesquisa prevê-se melhorias na bancada de testes, determinação da inversa do modelo matemático da folga e sua implementação em esquemas de compensação e controle.



## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UNIJUI pelo apoio e pela infra-estrutura oferecida e também à Capes, ao CNPq, à FAPERGS, ao SEBRAE e ao FINEP pelo apoio financeiro às pesquisas desenvolvidas nos laboratórios da UNIJUI Campus Panambi.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAZARES-CASTRO, NOHE R.; AGUILAR, LUIS; CASTILHO, OSCAR, 2009, **Designing Type-2 Fuzzy Logic System Controllers via Fuzzy Lyapunov Synthesis for the Output Regulator of a Servomechanism with Nonlinear Backlash**, San Antonio.
- CAZARES-CASTRO, NOHE R.; AGUILAR, LUIS; CASTILHO, OSCAR, 2009, **Fuzzy Logic Control with Genetic Membership Function Parameters Optimization for the Output Regulation of a Servomechanism with Nonlinear Backlash**, Elsevier, Expert Systems with Applications.
- CUPIDO, A; SALA, R; MILANESI, S., 1996, **Sistemi Ed Automazione Industriale**, Vol 3, Bologna.
- DONG, RUILI; TAN, YONGHONG, 2009, “**A Gradient Based Recursive Identification of Mechanical Systems with Backlash-like Hysteresis**”; 18th IEEE International Conference on Control Applications Part of 2009 IEEE Multi-conference on Systems and Control Saint Petersburg, Russia.
- GIRI, F.; ROCHDI, Y.; CHAOUI, F.Z.; BROURI, A., 2008, **Identification of Hammerstein systems in presence of hysteresis-backlash and hysteresis-relay nonlinearities**. Automatica.
- HÄGGLUND, TORE, 2007, “**Automatic on-line estimation of backlash in control loops**”, Department of Automatic Control, Lund University, Journal of Process Control.
- HUNT, DANIEL V., 1983, **Industrial Robotics Handbook**, Estados Unidos.
- MORALES-VELAZQUEZ, L.; Romero-Troncoso, R. J.; Osornio-Rios, R. A.; Herrera-Ruiz, G.; Santiago-Perez, J. J., 2009, **Special purpose processor for parameter identification of CNC second order servo systems on a low-cost FPGA platform**, Mechatronics.
- NORDIN, MATTIAS; GUTMAN, PER-OLOF, 2002, “**Controlling mechanical systems with backlash**”, Magazine Automatica.
- PAATZ, Stirling, 2008, **Anatomy of a Robot**. Engineering & Technology, p. 42 – 44.
- ROSS, FREDRIK; JOHANSSON, HANS; WIKANDER, JAN., 2006, **Optimal selection of motor and gearhead in mechatronic applications**. Elsevier Mechatronics, pag. 63–72.
- SCIAVICCO, LORENZO; SICILIANO, BRUNO, 1996, **Modeling And Control of Robot Manipulators**. Naples: McGraw-Hill.
- SELMIC, RASTKO R.; LEWIS, FRANK L., 2001, “**Neural net backlash compensation with Hebbian tuning using dynamic inversion**”, Automatica.
- SHAHNAZI, REZA; PARIZ, NASER; KAMYAD, ALI VAHIDIAN, 2009, **Adaptive fuzzy output feedback control for a class of uncertain nonlinear systems with unknown backlash-like hysteresis**. Commun Nonlinear Sci Numer Simulat.
- TAO, G. & KOKOTOVIC, P. V., 1996 **Adaptive control of systems with actuator and sensor nonlinearities**. New York: Wiley.
- TURNER, P.J.; NIGROWSKY P.; VINES, P., 2001, **A New Approach for the Design of Robot Joint Transmission**. Pergamon, Mechatronics.
- VALDIERO, A. C., 2005, **Controle de robôs hidráulicos com compensação de atrito**. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- VÖRÖS, JOSEF, 2009, **Modeling and identification of systems with backlash**. Journal Automatica.

## 9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.

## EXPERIMENTAL IDENTIFICATION OF NON-LINEARITY OF SLACK IN THE FIRING OF ONE ROBOT TYPE GANTRY

Odair Menuzzi, [odair.menuzzi@ibest.com.br](mailto:odair.menuzzi@ibest.com.br)<sup>1</sup>

Eduardo Padoin, [eduardopadoin@bol.com.br](mailto:eduardopadoin@bol.com.br)<sup>1</sup>

Antonio Carlos Valdiero, [valdiero@unijui.edu.br](mailto:valdiero@unijui.edu.br)<sup>1</sup>

Antonio Luis Rasia, [rasia@unijui.edu.br](mailto:rasia@unijui.edu.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UNIJUÍ Campus Panambi, Caixa Postal 121, CEP 98280-000, Panambi - RS, Brasil,

**Abstract.** *This is the problem of mathematical modeling of the nonlinearity of the touch of a Gantry robot and its experimental identification. An industrial robot is a mechanical device programmable to perform movements on tasks of repetition, many of which are unhealthy, dangerous and or that require great effort. The Gantry-type robots have great potential applications in the metal mechanic sector, mainly due to its rigid structure, its ample work space on desks and ease of programming from the dynamic decoupling between the motion of its links. One of the problems that hinder the precise control of movements of a robot Gantry is the nonlinearity of slack in the drive, especially in broadcasting simplest and cheapest type of screw. Mathematical modeling of nonlinearity of and experimental identification of its parameters may help to resolve this problem, being the basis for strategies to compensate for such imperfections. Was mounted a bench trial of driving the robotic manipulator type Gantry and developed a methodology for identifying experimental parameters of the nonlinearity of. From these results, it validated a mathematical model for the clearance of the drive Gantry robot in computer simulations taking into account the values identified for the main parameters of the nonlinearity. The aim is to contribute to improving the performance and accuracy of robots low cost.*

**Keywords:** *mathematical modeling, nonlinearity of backlash, experimental identification.*