

SISTEMA DE LEITURA DE SUPERFÍCIE DE OBJETOS TRIDIMENSIONAIS

Jorge Eliécer Rangel Díaz

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus Santa Mônica, Bloco 1M, Uberlândia.
Minas Gerais, Brasil.

Universidad De La Salle, Facultad de Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica, Calle 2 No 10 - 70. Bogotá.
Colombia

jrangel@mecanica.ufu.br

Werley Rocherter Borges Ferreira

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila 2160, Campus Santa Mônica, Bloco 1M, Uberlândia.
Minas Gerais, Brasil.

wrbferreira@mecanica.ufu.br

João Carlos Mendes Carvalho

jcmendes@mecanica.ufu.br

Resumo: *Este trabalho é parte do desenvolvimento de um sistema eletro-mecânico composto por uma cadeia cinemática do tipo RRP+RP, que permite “ler” a superfície de um objeto tridimensional para sua posterior reprodução gráfica, utilizando-se de um sensor laser. Mais especificamente neste trabalho é descrita a metodologia proposta para a leitura das coordenadas dos pontos que compõem a superfície do objeto. Para isto, a estrutura mecânica RRR+RP bem como sua modelagem cinemática são descritas.*

Palavras-chave: *Engenharia reversa, Reconstrução de superfícies, Robótica.*

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as técnicas de digitalização e reconstrução de formas complexas de objetos tridimensionais têm apresentado um grande desenvolvimento. A velocidade e precisão das técnicas de digitalização se devem ao avanço nas áreas de física, engenharia elétrica, o desenvolvimento dos lasers, CCD's e as unidades de aquisição de dados de altas velocidades. Tais tecnologias têm permitido medir perfis com precisão na relação de 1 por 1.000 e taxas acima de 20.000 amostragens por segundo. Dependendo do objeto, milhares ou até milhões de amostragens devem ser adquiridas. O resultado consiste em uma “massa” de dados que requerem algoritmos eficientes e confiáveis que possam gerar modelos computacionais a partir destas amostragens. Estes dados formam, na realidade, uma nuvem de pontos, nem sempre organizados [Curless, 1997].

A reconstrução de superfícies precisas a partir desta nuvem de pontos desorganizados é um problema difícil, não completamente solucionado e muito problemático nos casos em que os dados estão incompletos, com ruídos e/ou esparsos. O objetivo da reconstrução consiste sempre em obter um modelo computacional de um objeto que se assemelhe o mais fielmente possível ao objeto real.

Apesar dos grandes avanços nesta área, a correta modelagem de superfícies fechadas ou de objetos de formas complexas não está completamente solucionada e ainda constitui uma área de muitas atividades de pesquisa [Romandino, 2003]. A aplicação de Splines e NURBS têm sido muito úteis na modelagem das superfícies.

A grande variedade da origem do objeto das quais os dados podem ser obtidos (fabricação, arquitetura, etc.) implica que os dados possuem tantas propriedades diferentes que todas devem ser consideradas na solução do modelo. Vários métodos têm sido desenvolvidos para criar uma representação regular e contínua de malha a partir da nuvem de pontos [MencI, 2001]. Sendo conhecida a superfície poligonal, várias outras técnicas podem ser usadas para o pós-processamento (suavização, texturização) e para a visualização do modelo 3D [Patias, 2001].

A digitalização de perfis tridimensionais de objetos e sua reconstrução podem ser aplicadas em diversas áreas tais como na fabricação (fundição, estereolitografia, etc.), na engenharia reversa (reconstrução de componentes de máquinas que não possuem desenhos), no projeto colaborativo (permitindo a interação entre o modelo real e o modelo virtual), na inspeção (permitindo verificar se o objeto está conforme o projetado), simulação virtual (efeitos especiais no cinema, jogos), na cópia de peças disponíveis em museus, na medicina (reconstrução de partes do corpo humano), na exploração científica e no mercado de consumo.

Um sistema industrial que permite a reconstrução de objetos tridimensionais pode ser dividido em um equipamento eletro-mecânico (normalmente scanners associados a um dispositivo mecânico de movimentação), que permite a leitura dos dados do objeto, e o software que permite o controle do scanner e a reconstrução do objeto a partir dos dados lidos.

Para que a representação tridimensional da superfície represente fielmente o objeto real é necessário que a estrutura mecânica que manipula o sensor de leitura seja suficientemente rígida, não influenciando o resultado da leitura; tenha mobilidade suficiente para posicionar e orientar o sensor de leitura de forma adequada para captação de todos os pontos da superfície a ser reconstruída e tenha um modelo cinemático que possa ser aplicado na reconstrução das coordenadas da superfície lida.

Este trabalho está relacionado com o desenvolvimento de um sistema eletro-mecânico para a leitura das coordenadas da superfície de um objeto tridimensional. Mais especificamente é apresentada uma proposição de leitura de superfície de objetos tridimensionais utilizando-se de um sensor laser. A metodologia tem como objetivo prever o posicionamento e a orientação do laser para efetuar a leitura de um ponto sendo conhecidas as coordenadas do anterior. Esta metodologia tem como objetivo reproduzir o tempo de leitura de superfície do objeto.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A estrutura mecânica que sustenta o sensor laser possui duas articulações de rotações e uma prismática (tipo RRP) e está associada a uma mesa que possui um movimento de rotação e outro de translação (tipo RP), Fig. 1. Na realidade, o sistema funcionará como a mão esquerda e mão direita operando simultaneamente. Assim, deve-se utilizar um modelo de comando adequado para o perfeito sincronismo do movimento e transformação de coordenadas. Para isto, todos os elementos da estrutura possuirão sensores que estarão conectados ao computador para monitorar e armazenar os dados, bem como controlar os motores por meio de uma programação apropriada.

A estrutura tem que ser robusta e com mobilidade suficiente para a leitura de objetos tridimensionais, utilizando um sensor laser para captar as coordenadas da superfície do objeto. Para isto é necessário que a estrutura apresente boa repetibilidade, e cujo modelo matemático seja relativamente simples, permitindo a transformação das suas coordenadas articulares, associadas à leitura do sensor laser, em coordenadas da superfície do objeto.

Depois de realizadas as leituras de todos os pontos do objeto (nuvem de pontos), os dados obtidos do objeto são processados utilizando-se um algoritmo para a reconstrução da superfície.

3. MODELO CINEMÁTICO DA ESTRUTURA

O método de reconstrução de superfície utiliza seções transversais do objeto. A partir do contorno dessas seções transversais pode-se, utilizando NURBS (Non Uniform Rational B-Splines) ou splines, reconstruir a superfície do objeto [Carvalho, 2004].

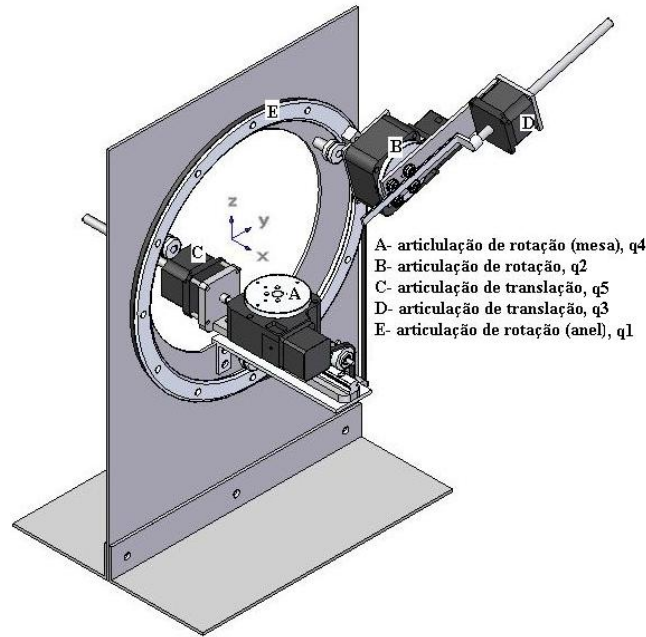


Figura 1: Esquema da estrutura RRP+RP.

O procedimento em estudo parte da leitura do contorno de seções transversais do objeto, conforme esquematizado na Fig. 2a, e do modelo cinemático da estrutura RRR+RP.

Para apresentação da metodologia é então considerada uma seção transversal, com um ponto Q e a normal à superfície neste ponto. O plano é dividido em quatro regiões conforme representado na Fig. 2b.

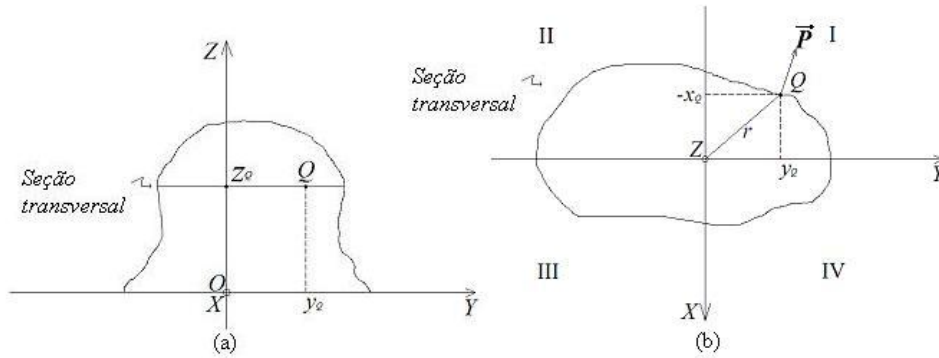


Figura 2: a) Vista do objeto no plano YZ; b) seção transversal do objeto, um ponto genérico e o vetor normal à superfície $\vec{P}$ no ponto Q .

Para que o sensor laser “enxergue” o ponto Q e a normal $\vec{P}$ é necessário que tanto o ponto como a normal sejam colocados no plano de leitura do laser. De forma a apresentar a metodologia proposta será considerada uma seção transversal posicionada no plano XY, Fig. 2b, onde o sensor laser fará a leitura das coordenadas do ponto Q . Considerando o ponto Q na região I tem-se três casos:

- Caso 1: $\alpha = \theta$ (Figura 3a)
 Girar a mesa de $q_4 = -\theta = \alpha$
 $q_5 = 0$ (a mesa não se desloca)
- Caso 2: $\alpha < \theta$ (Figura 3b)
 Girar a mesa de $q_4 = -\theta$

- Deslocar a mesa de $q_5 = -Q'_x$
- Caso 3: $\alpha > \theta$ (Figura 3c)
Girar a mesa de $q_4 = \theta$
Deslocar a mesa de $q_5 = Q'_x$

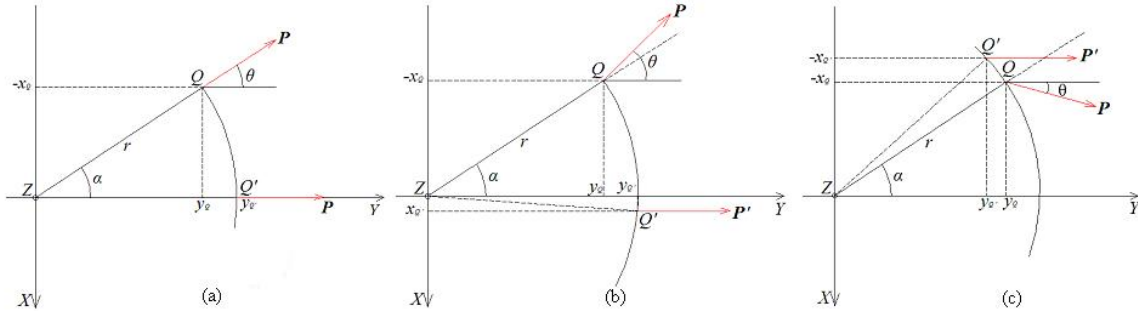


Figura 3: Reposicionamento de um ponto e seus normais contidos na região I; a) $\alpha = \theta$; b) $\alpha < \theta$; c) $\alpha > \theta$

A cinemática direta consiste em determinar a posição e orientação do sistema de leitura em função das variáveis das articulações e parâmetros geométricos da estrutura mecânica e, a cinemática inversa consiste em encontrar as configurações possíveis da estrutura para os diferentes valores nas variáveis que correspondem a posições e orientações do laser [Bai, 1999].

Das Figuras 4 e 5, e utilizando-se de relações geométricas pode-se obter o modelo cinemático direto como:

$$x_Q = -r \cdot \sin(\theta - \gamma) \quad (1)$$

$$y_Q = r \cdot \cos(\theta - \gamma) \quad (2)$$

$$z_Q = R \cdot \sin q_1 \quad (3)$$

Sendo

$$r = \sqrt{y_{Q'}^2 + q_5^2}$$

$$\gamma = \arccos\left(\frac{y_{Q'}}{r}\right)$$

$$y_{Q'} = y_{Q''} = R \cdot \cos q_1 - q_3 - a - b \quad (4)$$

Para o modelo cinemático inverso obtém-se

$$q_1 = \arcsen\left(\frac{z_Q}{R}\right) \quad (5)$$

$$q_2 = \pi \quad (6)$$

$$q_3 = R \cdot \cos q_1 - y_{Q'} - a - b \quad (7)$$

$$q_4 = -\theta \quad (8)$$

$$q_5 = \pm \sqrt{r^2 - y_Q'^2} \quad (9)$$

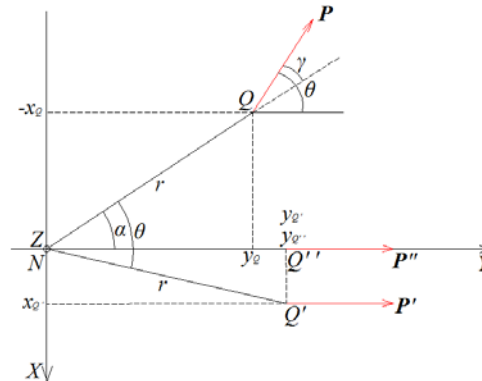


Figura 4: caso 2, ponto Q com suas respectivas componentes.

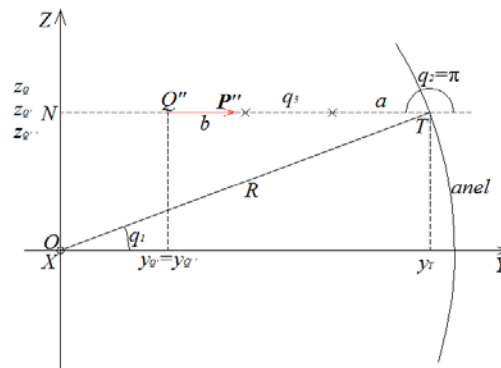


Figura 5: Ponto Q reposicionado no plano YZ .

Da equação 9 observa-se que:

Se $\theta > \alpha \rightarrow q_5$ é – (negativo) e,

Se $\theta < \alpha \rightarrow q_5$ é + (positivo)

4. O MÉTODO PROPOSTO PARA LER OBJETOS TRIDIMENSIONAIS

O método de leitura de superfícies de objetos tridimensionais deve funcionar para objetos desconhecidos e com uma determinada topologia. O procedimento proposto consiste em ler a superfície em seções transversais ou seja, ler-se pontos contidos em um plano.

Para a inicialização do processo de leitura é necessário conhecer o primeiro ponto. Isto é possível de ser feito posicionando-se o sensor laser manualmente. Este ponto sendo conhecido, denominado Q_I , os valores das coordenadas generalizadas de q_1 , q_2 e q_3 são fornecidas pelos sensores da estrutura RRR+RP. Assim, considerando a Fig. 6 podem-se obter os parâmetros associados ao ponto Q_I , ou seja:

$$q_1 = \eta_1; \quad q_2 = \pi + \varphi_1; \quad q_3 = d_1$$

$$r_1^2 = R^2 + d_1^2 - 2 \cdot R \cdot d_1 \cdot \cos \varphi_1$$

$$\gamma_1 = \text{sen}^{-1} \left(\frac{R}{r_1} \cdot \text{sen} \varphi_1 \right)$$

$$\lambda_1 = \text{sen}^{-1} \left(\frac{d_1}{R} \cdot \text{sen} \gamma_1 \right)$$

$$\mu_1 = 180^\circ - \lambda_1 - \varphi_1$$

$$x_1 = r_1 \cdot \cos \theta_1$$

$$y_1 = r_1 \cdot \text{sen} \theta_1 \quad (10)$$

O valor de θ depende do valor obtido para q_2 ou seja:

$$\text{Se } q_2 = \pi + \varphi_1 \Rightarrow \theta_1 = \eta_1 - \lambda_1 \quad (11)$$

$$\text{Se } q_2 = \pi - \varphi_1 \Rightarrow \theta_1 = \eta_1 + \lambda_1$$

Então,

$$\alpha = -90^\circ + \gamma_1 + \eta_1 - \lambda_1 = -90^\circ + \gamma_1 + \theta_1 \quad (12)$$

O valor de α depende da inclinação da tangente. Na Tabela 1 estão os valores de α para a região I.

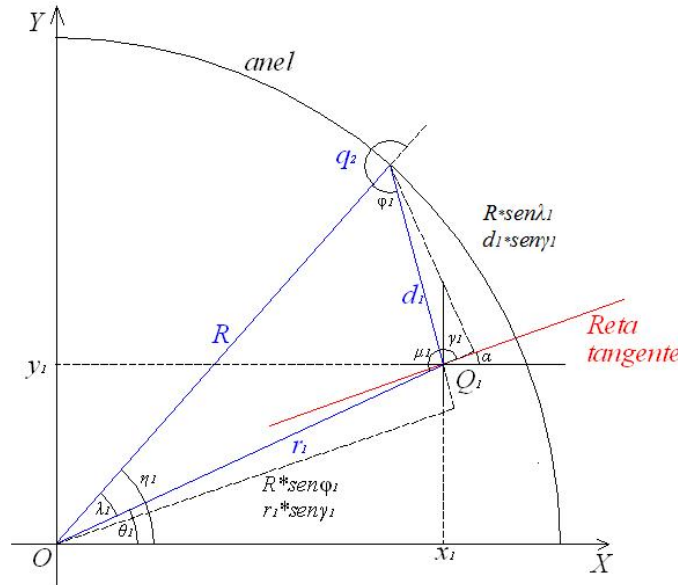


Figura 6: Parâmetros relacionados ao ponto inicial Q_1 .

Para reposicionar a leitura do próximo ponto é necessário prever a posição e a orientação de sua normal. Isto é necessário para que a estrutura não tenha que “adivinhar” o próximo ponto a ser lido, evitando que a superfície lida apresente vazios. Para isto, impõe-se uma variação de q_1 a partir da posição lida de Q_1 . Deve-se salientar que a estrutura permite efetuar esta variação na ordem de centésimos de graus. A variação de q_1 define a variação de θ , permitindo prever a posição de Q_2 , podendo calcular os valores de η_2 , φ_2 e d_2 .

Tabela 1: Comportamento de alpha para o a região I.

Caso	Eta (η) Lamda(λ)	Theta (θ)	Alpha (α) Sinal Alpha	Giro Phi(φ)
1	$\eta_1 \neq \lambda_1$	$\eta_1 - \lambda_1$	$-90 + \gamma_1 + \eta_1 - \lambda_1$ (+) $\alpha < 90$	(+)
2	$\eta_1 \neq \lambda_1$ $\lambda_1 \approx 0$	$\eta_1 \approx \theta$	$90 + \gamma_1 - \eta_1 - \lambda_1$ (-) $\alpha < 90$	(+) ≈ 0
3	$\eta_1 \neq \lambda_1$	$\eta_1 + \lambda_1$	$90 + \gamma_1 - \eta_1 - \lambda_1$ (-) $\alpha \geq 90$	(-)
4	$\eta_1 \neq \lambda_1$	$\eta_1 - \lambda_1$	$90 - \gamma_1 - \eta_1 + \lambda_1$ (-) $\alpha < 90$	(+)

Da Figura 7 e, conhecendo-se o ponto Q_I , é possível obter os parâmetros relativos para a previsão de Q_2 , ou seja:

$$(x_2 - x_1) \cdot \tan \alpha = y_2 - y_1$$

$$y_2 = x_2 \cdot \tan \theta_2 \text{ Com } \theta_2 = \theta_1 + 5^\circ$$

$$x_2 = \frac{x_1 \cdot \tan \alpha - y_1}{\tan \alpha - \tan \theta_2}$$

$$r_2^2 = x_2^2 + y_2^2$$

$$\gamma_2 = 90^\circ + \alpha - \eta_2 + \lambda_2 = 90^\circ + \alpha - \theta_2$$

$$\varphi_2 = \text{sen}^{-1} \left(\frac{r_2}{R} \cdot \text{sen} \gamma_2 \right)$$

$$\mu_2 = 180^\circ - \gamma_2$$

$$\lambda_2 = 180^\circ - \varphi_2 - \mu_2$$

$$\eta_2 = \theta_2 + \lambda_2$$

$$d_2^2 = R^2 + r_2^2 - R \cdot r_2 \cdot \cos \lambda_2 \quad (13)$$

Com os valores de η_2 , φ_2 e d_2 , a estrutura pode reposicionar e reorientar o sensor laser.

A partir desta situação a estrutura se auto-reposiciona para a leitura do ponto Q_2 real até a obtenção de todos os pontos da seção transversal.

Foram realizadas simulações com a metodologia proposta obtendo-se resultados satisfatórios até o momento. Como exemplo, na Fig. 8 é apresentado uma seção a ser lida. Considerando a variação de θ de 5° , obtém-se a seção apresentada na Fig. 9. Pode-se notar a semelhança das duas seções.

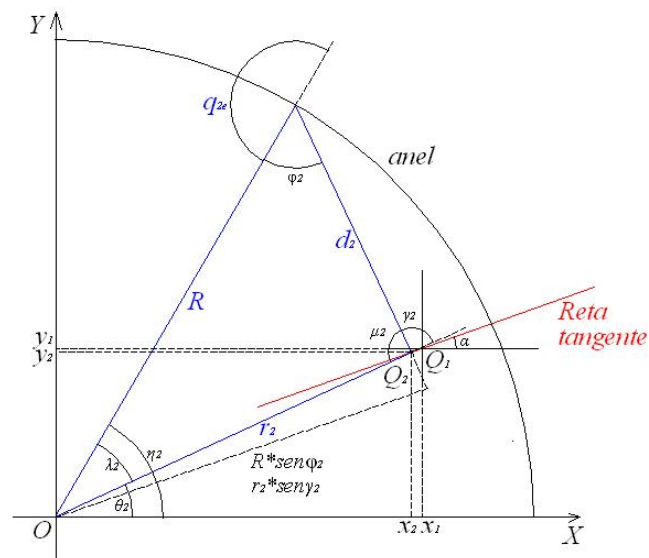


Figura 7: Parâmetros relativos ao ponto Q_2 .

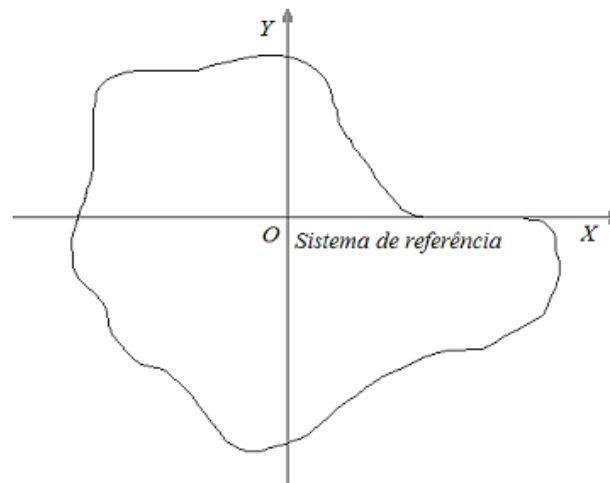


Figura 8: Seção transversal de referencia.

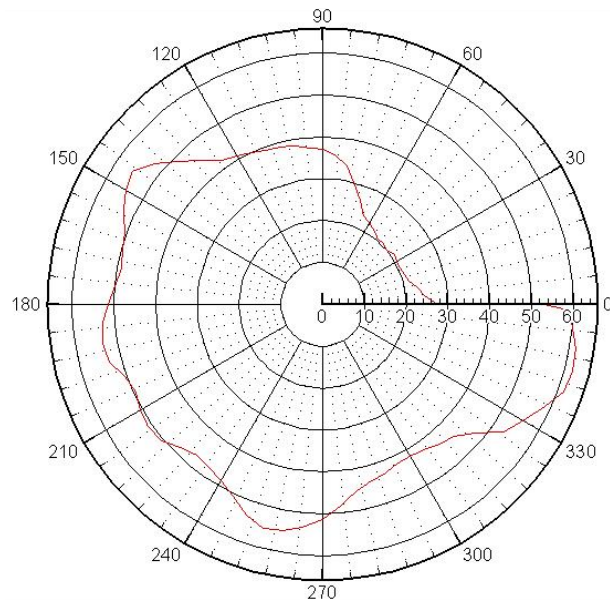


Figura 9: Seção transversal obtida utilizando-se da metodologia proposta.

5. CONCLUSÕES

A metodologia proposta permitiu obter resultados satisfatórios durante as simulações computacionais realizadas.

O procedimento deve ser validado na estrutura RRP+RP que está em fase de projeto.

Outra análise que também deve ser realizada consiste no estudo dos erros de leitura em função dos erros estruturais do sistema eletro-mecânico.

3. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, à Universidade Federal de Uberlândia – UFU, à Universidad De La Salle (Colômbia) e à FAPEMIG pelo apoio financeiro por meio do projeto TEC 712/04.

4. REFERÊNCIAS

- Carvalho, J.C.M., 2004, “Reconstrução Gráfica Tridimensional de Perfis Tridimensionais”, Projeto de Pesquisa, FAPEMIG - TEC 712/04.
- Curless, B.L., 1997, “New Methods for Surface Reconstruction from Range Images”, PhD Thesis, Stanford University, USA.
- Mencl, R., 2001, “Reconstruction of Surfaces from Unorganized 3D Points Clouds” . PhD Thesis, Dortmund University, Germany.
- Patias, P., 2001, “Photogrammetry and Visualization. Technical Reprot, ETH Zurich, Available at: <http://www.photogrammetry.ethz.ch/research/quest.html>.
- Romandino, F., 2003, “From Point Cloud to Surface: The Modeling and Visualization Problem”, The Int. Workshop on Visualization and Animation of Reality-based 3D Models, 24-28 February 2003, Switzerland.
- Tsai, G., L.-W., 1999, “Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators”, John Wiley and Sons, Canada, 505p.

SYSTEM OF READING OF SURFACE OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS

Jorge Eliécer Rangel Díaz

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus Santa Mônica, Bloco 1M, Uberlândia. Minas Gerais. Brasil.

Universidad De La Salle, Facultad de Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica, Calle 2 No 10 - 70. Bogotá. Colombia

jrangel@mecanica.ufu.br

Werley Rocherter Borges Ferreira

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus Santa Mônica, Bloco 1M, Uberlândia. Minas Gerais. Brasil.

wrbferreira@mecanica.ufu.br

João Carlos Mendes Carvalho

jcmendes@mecanica.ufu.br

Abstract: *This work is part of the development of an electromechanical system composed by a RRP+RP kinematics chain, “to read” the surface of a three-dimensional object for its posterior graphical reproduction, using a laser sensor. More specifically in this work the proposed methodology for reading the point coordinates that compose the surface of the object is described for this, both the structure mechanics RRR+RP and its kinematics modeling are depicted.*

Keywords: *Reverse engineering, Surface reconstruction, Robotics.*