

ANÁLISE CINEMÁTICA E DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE TRABALHO DE UMA ESTRUTURA RRP+RP

Werley Rocherter Borges Ferreira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus Santa Mônica, Uberlândia - MG
wrbferreira@mecanica.ufu.br

Jorge Eliécer Rangel Díaz

jrangel@mecanica.ufu.br

João Carlos Mendes Carvalho

jcmendes@mecanica.ufu.br

Resumo: As técnicas de digitalização e reconstrução de objetos tridimensionais podem ser aplicadas a diversas áreas do cotidiano, não só na área de engenharia como também na medicina e artes. Uma das etapas do processo consiste na “leitura” das coordenadas da superfície do objeto. Para isto são utilizados sistemas eletromecânicos associados a programas de controle e de tratamento dos sinais adquiridos da superfície. Nesse trabalho são apresentados a análise cinemática e o volume de trabalho da estrutura RRP+RP projetada para a execução de movimentos que permitem posicionar um sensor na direção do vetor normal à superfície do objeto no ponto de leitura.

Palavras-chave: Estrutura RRP+RP, Volume de trabalho, Modelagem cinemática.

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. Por exemplo, a empresa 3Dscanners possui equipamentos que adquirem 23.000 pontos por segundo (3Dscanners, 2007). 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 problemático nos casos em que os dados estão incompletos, com ruídos e esparsos.

O objetivo 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). 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 (Mencl, 2001). Sendo, conhecida a superfície na forma poligonal, várias 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.

O scanner, dependendo de sua capacidade e dimensões podem variar de US\$20000 a US\$450000 e o software entre US\$4000 e US\$30000 dependendo do objetivo, capacidade de análise e qualidade do objeto reconstruído.

Nesse trabalho é apresentado o modelo cinemático da estrutura RRP+RP que está em desenvolvimento para a leitura de superfícies de objetos tridimensionais. A partir do modelo cinemático pode-se estudar o seu volume de trabalho permitindo a análise de capacidade de leitura da estrutura.

2. ANÁLISE CINEMÁTICA DA ESTRUTURA RRP+RP

A estrutura RRP+RP é composta por uma mesa (C) possuindo um movimento de translação e um de rotação, e uma cadeia cinemática RRP onde é instalado um sensor laser na extremidade da guia linear (K). O sistema possui então, 5gld, Figs. 1 e 2.

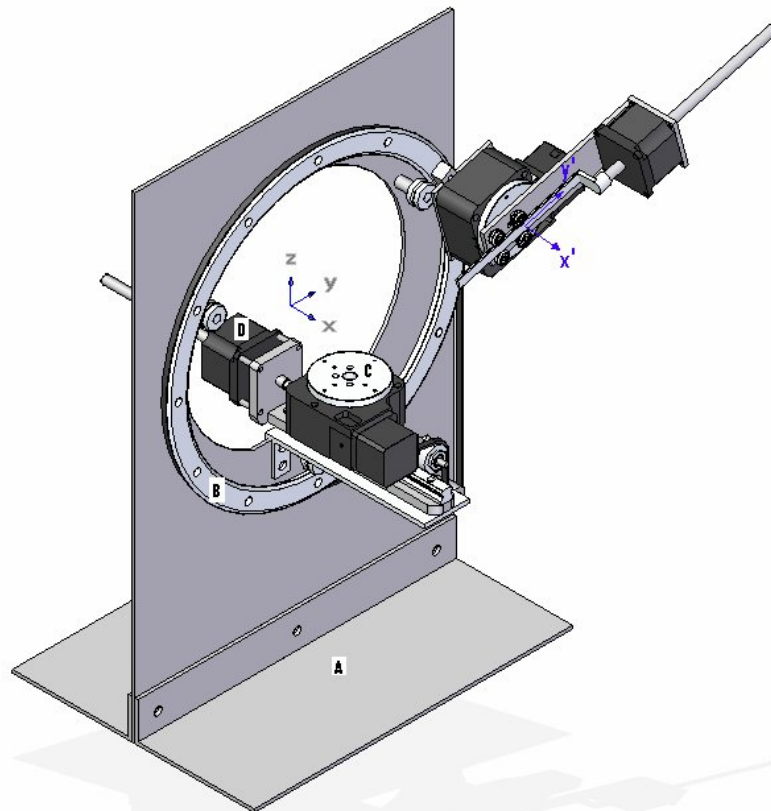


Figura 1: Representação tridimensional da configuração da estrutura RRP+RP.

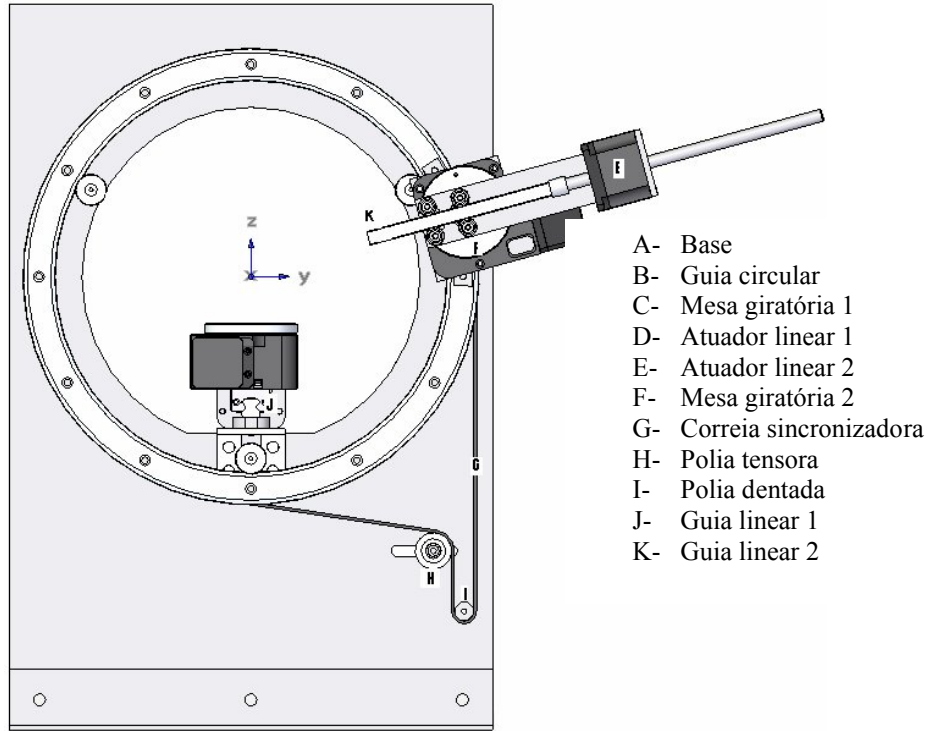


Figura 2: Vista frontal da estrutura RRP+RP.

Definição dos movimentos:

Rotação do anel: q_1

Rotação do sensor em relação ao referencial móvel: q_2

Translação do sensor em relação ao referencial móvel: q_3

Translação da mesa no eixo x: q_4

Rotação da mesa (C): q_5

2.1. Posicionamento da Normal à Superfície

Para que o sensor laser consiga ‘ler’ os pontos da superfície de um objeto que está situado na mesa giratória 1 (mesa), a estrutura deve realizar uma determinada sequência de movimentos. Esses movimentos têm por finalidade posicionar a normal correspondente a cada ponto no plano de leitura do sensor (plano yz). Utilizando um modelo genérico, Fig. 3, os passos são definidos da seguinte forma:

- Rotacionar o vetor $\vec{r}$ de θ em Z. Assim, a projeção de $\vec{n}'$ fica paralela à Y.

$$\begin{Bmatrix} Q_{1x} \\ Q_{1y} \\ Q_{1z} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} Q_x \\ Q_y \\ Q_z \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{Bmatrix} Q_{1x} \\ Q_{1y} \\ Q_{1z} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_x \cdot \cos \theta - Q_y \cdot \sin \theta \\ Q_x \cdot \sin \theta + Q_y \cdot \cos \theta \\ Q_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

- Transladar o vetor $\vec{n}'$ de $-Q_{1x}$, obtendo $\vec{n}''$.

$$Q_{2x} = 0 \quad (3)$$

$$Q_{2y} = Q_{1y} = Q_x \cdot \sin \theta + Q_y \cdot \cos \theta \quad (4)$$

$$Q_{2z} = Q_{1z} = Q_z \quad (5)$$

Depois desses passos o vetor $\vec{n}''$ fica posicionado no plano de leitura do sensor.

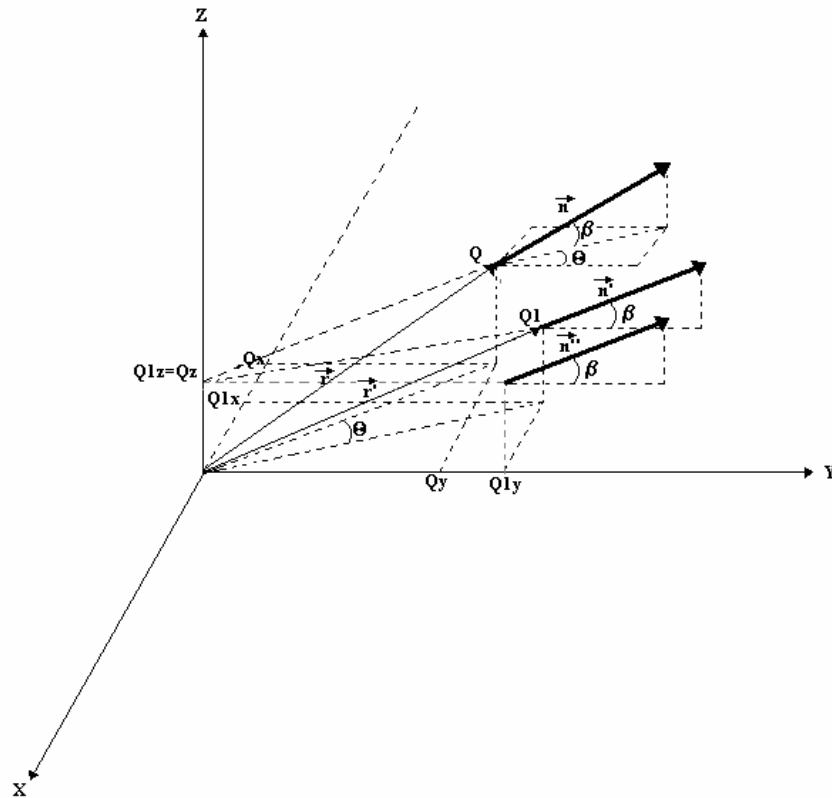


Figura 3: Posicionamento da normal no plano de leitura do sensor.

2.2. Modelo Cinemático

Com a normal no plano de leitura é possível obter o modelo cinemático desta nova configuração, Fig. 4.

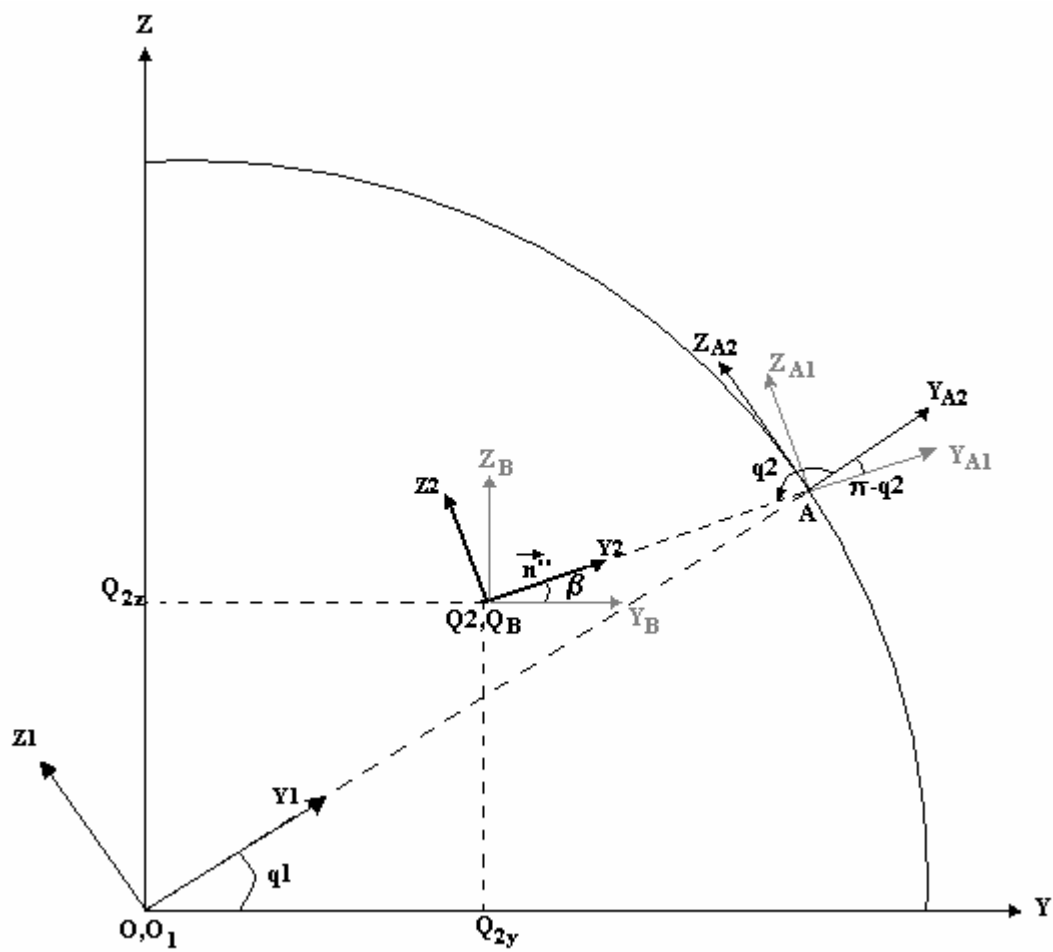


Figura 4: Plano de leitura do sensor.

Utilizando-se de transformações homogêneas, a partir da Fig. 4, pode-se escrever:

$$T_{Q2, A1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & Q2A \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{A1, A2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\pi - q2) & -\text{sen}(\pi - q2) & 0 \\ 0 & \text{sen}(\pi - q2) & \cos(\pi - q2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{A2, O1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -OA \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{O1, O} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-q1) & -\text{sen}(-q1) & 0 \\ 0 & \text{sen}(-q1) & \cos(-q1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{Q2, O1} = T_{Q2, A1} \cdot T_{A1, A2} \cdot T_{A2, O1} \cdot T_{O1, O} \quad (6)$$

$$T_{O1, QB} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & Q_{2y} \\ 0 & 0 & 1 & Q_{2z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_{QB, Q2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{O1, Q2} = T_{O1, QB} \cdot T_{QB, Q2} \quad (7)$$

$$T_{O1, Q2} = T_{Q2, O1}^{-1} \quad (8)$$

Resolvendo a Eq. 8 obtém-se:

$$Q_{2y} = \overline{OA} \cdot \cos(q_1) + \overline{Q_2A} \cos(q_2 + q_1) \quad (9)$$

$$Q_{2z} = \overline{OA} \cdot \sin(q_1) + \overline{Q_2A} \sin(q_2 + q_1) \quad (10)$$

$$\beta = q_1 + q_2 - \pi \quad (11)$$

Sabe-se que q_4 é o movimento da mesa, em x, para o posicionamento da normal no plano de leitura do sensor, pose-se escrever:

$$q_4 = Q_{1x} \quad (12)$$

$$q_4 = Q_x \cdot \cos \theta - Q_y \cdot \sin \theta \quad (13)$$

$$Q_x = \frac{-q_4 + Q_y \cdot \sin \theta}{\cos \theta} \quad (14)$$

Igualando as Eqs. (4) e (9) obtém-se:

$$Q_x \cdot \sin \theta + Q_y \cos \theta = \overline{OA} \cos(q_1) + \overline{Q_2A} \cos(q_2 + q_1) \quad (15)$$

E pela substituição da Eq. (14) na Eq. (15), tem-se:

$$Q_y = [\overline{OA} \cos(q_1) + \overline{Q_2A} \cos(q_2 + q_1) + q_4 \cdot \tan \theta] \cos \theta \quad (16)$$

Bem como a Eq. (16) em (14), obtém-se:

$$Q_x = -q_4 \cdot \cos \theta + [\overline{OA} \cos(q_1) + \overline{Q_2A} \cos(q_2 + q_1)] \sin \theta \quad (17)$$

3. VOLUME DE TRABALHO

Determinar o volume de trabalho dessa estrutura é uma tarefa muito importante porque com ele é possível obter resultados da capacidade de leitura de superfícies.

Para representar o volume de trabalho foram fixadas orientações da normal bem como os limites da operação dos atuadores.

O modelo cinemático obtido, representado pelas Equações (18), permite representar o volume de trabalho da estrutura.

$$\begin{aligned} Q_x &= -q_4 \cdot \cos \theta + [\overline{OA} \cdot \cos(q_1) + \overline{Q_2A} \cdot \cos(q_2 + q_1)] \sin \theta \\ Q_y &= [\overline{OA} \cdot \cos(q_1) + \overline{Q_2A} \cdot \cos(q_2 + q_1) + q_4 \cdot \tan \theta] \cos \theta \\ Q_z &= \overline{OA} \cdot \sin(q_1) + \overline{Q_2A} \cdot \sin(q_2 + q_1) \\ \beta &= q_1 + q_2 - \pi \end{aligned} \quad (18)$$

Observa-se da Fig. 4 que:

$$\begin{aligned} \overline{OA} &= R \\ \overline{Q_2A} &= q_3 + m + \lambda \\ \theta &= q_5 \end{aligned}$$

Onde:

m: Distância entre o sensor e a origem do sistema móvel $x'y'z'$.

λ : Distância entre o ponto lido e o sensor laser.

Considerando $q_4 = 0$ e $q_5 = 0$, é possível obter o volume de trabalho em função de β . Os parâmetros utilizados baseados no projeto da estrutura são:

$R = 175,5\text{mm}$;

$M = 27,7\text{mm}$;

$q_1 \in [-30^\circ, 90^\circ]$;

$q_3 \in [0, 110]\text{mm}$;

E supondo que β varie de 0 à 90° .

As Figs. 5, 6 e 7 apresentam exemplos dos resultados obtidos.

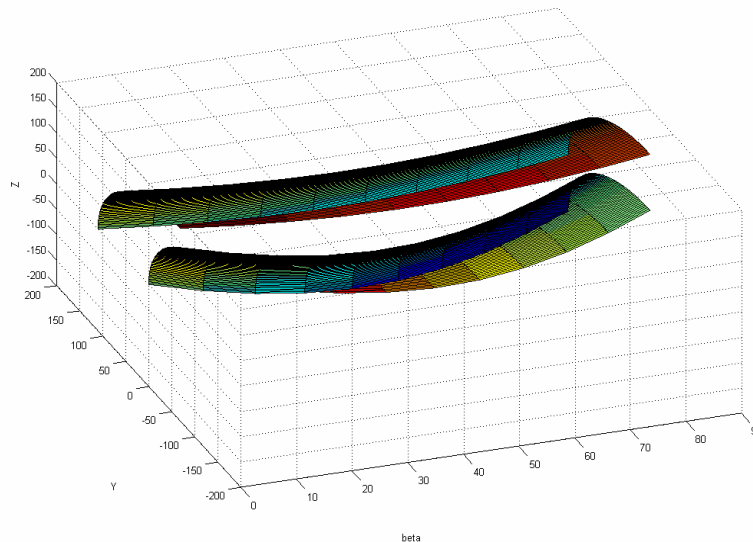


Figura 5: Vista geral do volume de trabalho.

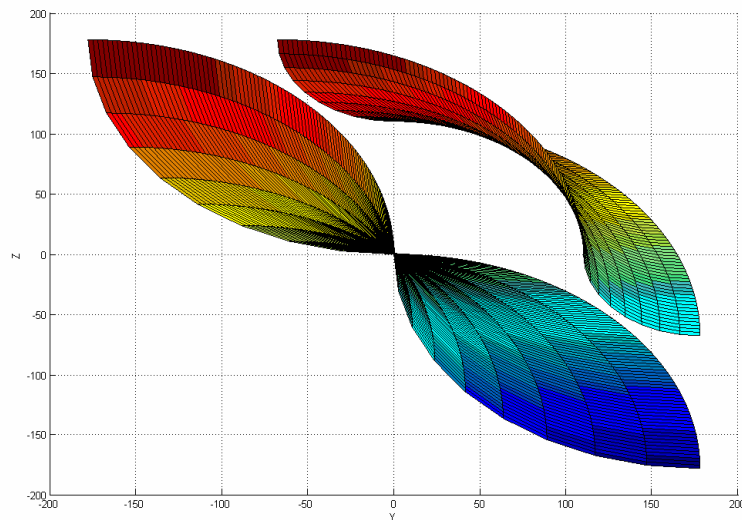


Figura 6: Plano yz do volume de trabalho.

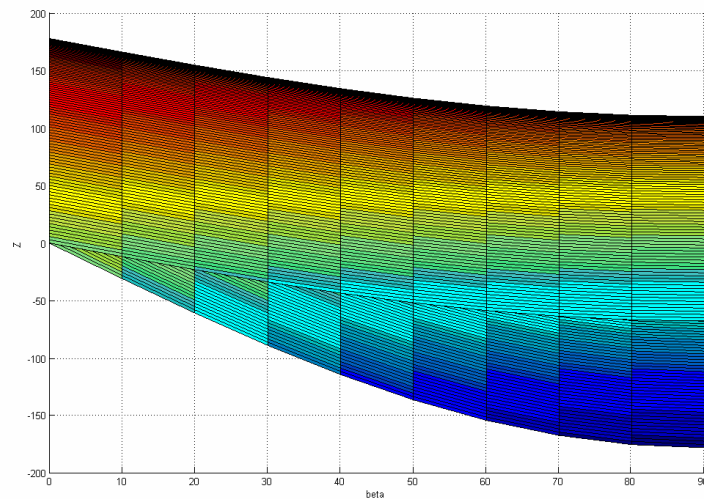


Figura 7: Vista que demonstra a variação de β .

4. CONCLUSÃO

O volume de trabalho da estrutura indica os possíveis pontos que podem ser adquiridos em função da orientação da normal. Portanto, ele define as possíveis geometrias que podem ser lidas, isto é, diz até que ponto essa estrutura é viável para realização de leitura.

De acordo com as equações obtidas, a área de trabalho em função de β está compreendido entre as duas superfícies mostradas nas Figs. 5, 6 e 7. Para cada β obtém-se uma área no plano yz. Assim, o volume de trabalho real é a rotação em z de 360° dessas áreas.

Os resultados obtidos com o volume de trabalho são satisfatórios. Está em estudo o comportamento do erro dos parâmetros articulados e geométricos da estrutura na leitura final de um ponto.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste projeto, por meio do projeto TEC 712/04.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3Dscanners, 2007, Web site www.3dscanners.com.
- Besl, P., 1989, *Advances in Machine Vision*, Springer-Verlag.
- Carvalho, J.C.M.; Duarte, M.A.V.; Ribeiro, C.R., 2001, “Forward and Inverse kinematic Model of a Parallel Cartesian Structure Using Neural Network”, Proc. of IX Symposium on Dynamic Problems of Mechanics –DINAME’2001, Florianópolis, March 5-9, pp: 207-211.
- Carvalho, J.C.M., 2005, “Estação de Trabalho Utilizando-se da Estrutura Cartesiana Paralela.”, Relatório de Pesquisa, FAPEMIG - TEC 759/01.
- 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.
- Deckel, 2007, Deckel Grinders, Inc., Web site: www.deckelgrinders.com.
- Francischone, C.E., Vasconcelos, L.W., 1999, Sistema ProCera, Quintessence Editora Ltda, São Paulo.
- Heckert, 2007, Heckert Werkzeugmaschinen GmbH, Home page www.heckert-maschinen.com.
- Hennes, N., Staimer, D., 2004, “Application of PKM in Aero space Manufacturing – High Performance Machining Centers ECOSPEED, ECOSPEED-F and ECOLI NER”, The 4th Chemnitz Parallel Kinematics Seminar – PKS 2004, Chemnitz, April 20-21, Germany.
- Jacquet, P., Danescu, G., Carvalho, J.C.M., Dahan, M., 1992, “A Spatial Fully Parallel Manipulator”, in Proc. of World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms, Udine, 1-4 Setembro 1992.
- 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: 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.

WORKSPACE OF RRP+RP STRUCTURE

Werley Rocherter Borges Ferreira

Universidade Federal de Uberlândia , Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus Santa Mônica, Uberlândia - MG
 wrbferreira@mecanica.ufu.br

Jorge Eliécer Rangel Díaz

jrrangel@mecanica.ufu.br

João Carlos Mendes Carvalho

jcmendes@mecanica.ufu.br

Abstract: *The digitalization and reconstruction techniques of 3D objects can be used on different areas like in engineering, medicine and arts. One step of the process consists of getting the surface coordinates of the object. To do that, in general, are used an electromechanical system associated to a computational system to control and to analyse the acquired data to reproduce the 3D surface. In this paper is presented the Kinematic analysis and the workspace of a RRP+RP structure projected to orient a laser sensor the surface normal direction at the point to be acquired.*

Keywords: *RRP+RP structure, Workspace volume, Kinematic model.*