

EMULAÇÃO DE UM SISTEMA ROBÓTICO PARA ASSISTIR CIRURGIAS LAPAROSCÓPICAS

Ronaldo Marcondes de Oliveira

Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica
12228-900 São José dos Campos - SP
E-mail: engmarc@terra.com.br

Alberto Adade Filho

Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica
12228-900 São José dos Campos - SP
E-mail: adade@mec.ita.br

Resumo. *Este trabalho trata a emulação de um sistema robótico para dar assistência a cirurgias laparoscópicas, no que concerne à manipulação da câmera de vídeo por um robô. O equipamento robótico utilizado é um equipamento industrial típico e face à proposta e aos resultados obtidos, são discutidas as questões relativas a uma possível adaptação para tal aplicação. São feitas considerações sobre a segurança, é apresentada a modelagem cinemática do conjunto robô-efetuador-cavidade, bem como a interface em software de comunicação com o usuário, desenvolvida para tal aplicação. Alguns experimentos e resultados da emulação são ilustrados.*

Palavras-chave: *laparoscopia robótica, robô cirúrgico, robô PUMA, modelagem cinemática.*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Robôs e Cirurgias Minimamente Invasivas

Uma relativamente nova aplicação da robótica é na medicina, mais precisamente em aplicações cirúrgicas, tendo robôs como ferramenta de auxílio em cirurgias denominadas “minimamente invasivas”, cirurgias endoscópicas ou laparoscópicas. As cirurgias convencionais em estruturas internas do corpo requerem a abertura de incisões que permitam a exposição da anatomia necessária à execução de procedimentos específicos. Essas incisões devem ser suficientemente grandes de forma a proporcionar ao cirurgião o uso eficiente das mãos, bem como possibilitar exames tácteis e observação visual direta das estruturas operadas. Em contraste, as cirurgias minimamente invasivas são realizadas a partir de pequenas incisões através das quais os instrumentos cirúrgicos são introduzidos por meio de hastes especiais, associados à câmera de vídeo que permite a visualização da anatomia interna do paciente em um monitor de vídeo. Geralmente, este tipo de cirurgia, por exigir incisões menores que as convencionais, reduz o tempo de internação do paciente e o risco de infecção. Por outro lado, a utilização de instrumentos de difícil manuseio e movimentos restritos, somados à ausência de informações tácteis, pode levar a complicações durante os procedimentos. Uma destas é o posicionamento do endoscópio: um assistente, ao manter a mesma posição durante longo tempo tem essa atividade prejudicada pelo cansaço. Com o avanço de braços robóticos aplicados em cirurgias, como auxiliares cirúrgicos, tem-se algumas vantagens em relação aos operadores humanos tais como: o trabalho através de incisões menores; ausência de fadiga ou

tremor; manipulação delicada de instrumentos cirúrgicos com maior exatidão e precisão espacial.

Para o paciente, o benefício é grande nesse tipo de cirurgia: pequenas incisões significam menos dor, menos sangramento, menor trauma cirúrgico e recuperação mais rápida.

1.2 Robôs Dedicados e Não Dedicados

Os robôs assistentes para cirurgias minimamente invasivas podem ser dedicados ou não. Um robô dedicado é aquele que desde a sua concepção foi projetado a exercer uma ou mais tarefas cirúrgicas, e robôs não dedicados basicamente robôs industriais adaptados para essas mesmas tarefas, por meio de modificações de projeto ou com o incremento de equipamentos auxiliares.

Autores como Çavusoglu et al (1999), Funda et al (1996) e Moscato et al (2002) projetaram robôs dedicados para cirurgias minimamente invasivas adotando diferentes configurações. Há também os robôs dedicados como AESOP, ZEUS e DaVinci. Autores como Casals et al (1996), Muñoz et al (2000) e Hurteau et al (1994), contrariamente, buscaram utilizar para esse fim robôs industriais com algumas modificações, inclusive com testes bem sucedidos efetuados em animais e seres humanos. Há concordância geral no que concerne à segurança, porém se acredita que parte dos robôs industriais pode ser usada na área médica desde que satisfaçam as condições exigidas.

1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho é implementar a aplicação de um robô industrial em manipular a câmera laparoscópica sob a supervisão de um cirurgião, eliminando assim a necessidade de um médico assistente cirúrgico. Uma condição colocada para o sistema é que as ações do robô, no que concerne a sua movimentação e aspectos de segurança, devem estar constantemente monitoradas.

2 ASPECTOS GERAIS SOBRE SEGURANÇA

Em comparação a robôs usados na indústria, os robôs assistentes em procedimentos cirúrgicos devem estar bem mais dotados de características de segurança. Na indústria, os robôs usualmente não compartilham os mesmos locais com os humanos. Os movimentos feitos pelo robô são rápidos e precisos de forma a aumentar a produção e operam sem a interação humana. Isto basicamente simplifica as condições para obter segurança. No ambiente cirúrgico os robôs trabalham muito próximos a pessoas; assim, qualquer movimentação do robô deve ser feita de forma suave e harmoniosa. Mesmo que ocorra um choque, isso não deveria causar lesões ao cirurgião ou a membros da sua equipe. A ocorrência de falha do sistema robótico no ambiente industrial pode redundar em prejuízo material; em um ambiente cirúrgico, as complicações levam risco de morte.

Embora havendo investimentos nesta área, não há normalização e assim não há produção em escala de robôs para aplicações médicas, resultando em altos custos para essa tecnologia. O problema principal é a falta de um padrão de segurança aceito pela área médica com respeito ao uso de robôs, isto porque a definição de segurança depende em grande parte da aplicação e em parte porque um controle muito rígido nas especificações impediria o avanço necessário na área. Além disso, não há um limite claro à extensão da responsabilidade do cirurgião e a do fabricante do robô no caso de uma falha, impedindo assim que fabricantes tenham um quadro claro da situação.

Para aplicações em que as atribuições do robô não ultrapassem a do cirurgião, as quais o cirurgião ainda tem o total domínio da situação e o robô seja um auxiliar, como no caso do posicionamento de câmeras laparoscópicas, as questões de segurança são menos demandantes. Em situações complexas, em que as atribuições do robô igualam ou superam as do cirurgião, em que há maior probabilidade de erros tornando o procedimento mais complicado e que envolve risco de morte, os requisitos de segurança tornam-se muito críticos.

Muitas estratégias de segurança estão sendo testadas e ou complementadas para situações previamente estabelecidas. Em qualquer caso, deve ser dada a possibilidade ao cirurgião de prosseguir uma cirurgia sem o auxílio do robô, simplesmente abandonando o seu uso.

A localização do robô em relação à mesa operatória e ao quadro operacional é fundamental. Verificação é feita através de vários testes de posicionamento do cenário em geral. Um bom estudo do espaço de trabalho do robô incluindo uma faixa de segurança de trabalho é importante para limitar o deslocamento de pessoas e para evitar também que o robô se movimente para regiões onde possam ocorrer danos às pessoas. Uma das formas de instalação do robô que propicia o atendimento deste quesito é a sua colocação do lado oposto ao cirurgião.

Se o robô é supervisionado por um cirurgião, o que quase sempre é verdade em robôs cirúrgicos, a velocidade de operação pode ser reduzida até um ponto onde o cirurgião pode seguir o procedimento e pode sustá-lo antes que qualquer dano aconteça quando algo der errado.

Aspectos adicionais de segurança nesse tipo de aplicação são abordados em (Oliveira, 2004).

3 MODELAGEM MATEMÁTICA

Aqui é focalizada a modelagem matemática da movimentação da câmera laparoscópica dentro da cavidade abdominal de um paciente, movimento este efetuado por um manipulador robótico Unimation PUMA 560. O estudo refere-se à cinemática do manipulador robótico PUMA 560 movimentando o endoscópio, segundo as posições e orientações desejadas no espaço, dadas pela cinemática direta e inversa da combinação robô-endoscópio.

3.1 Cinemática Direta do Manipulador Robótico PUMA 560

Afixando-se *frames* (sistemas de coordenadas) em cada elo conforme a Fig.(1) e usando a notação de Denavit-Hartenberg (Fu et al., 1987), constrói-se a Tabela (1), com os parâmetros dos elos baseados na geometria do braço.

Tabela (1). Parâmetros de Denavit-Hartenberg do Robô PUMA 560 conforme a Fig.(1)

b ₂ = 431.8 mm; b ₃ =20.32; d ₂ =149.09 mm; d ₄ =433.07 mm; d ₆ =56.25 mm.					
Elo i	θ _i	α _i	a _i	d _i	Faixa atuação
1	90°	-90°	0	0	-160° a 160°
2	0°	0°	b ₂	d ₂	-225° a 45°
3	90°	90°	-b ₃	0	-45° a 225
4	0°	-90°	0	d ₄	-110° a 170
5	0°	90°	0	0	-100° a 100°
6	0°	0°	0	d ₆	-266° a 266°

Utilizando as matrizes de transformação homogênea entre os *frames* dos elos consecutivos, é obtida a cinemática direta do manipulador, dada pela Eq.(1),

$${}^0T_6 = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 {}^3A_4 {}^4A_5 {}^5A_6 = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

onde,

$$n_x = C_1 [C_{23} (C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6) - S_{23} S_5 C_6] - S_1 (S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6) \quad (2)$$

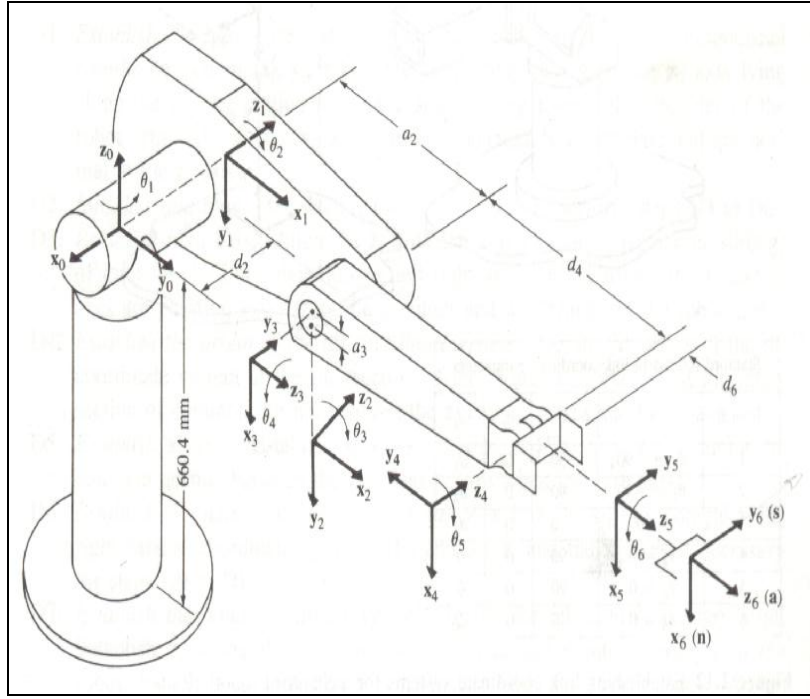


Figura 1. Parâmetros Cinemáticos e *Frames* Fixados nas Juntas (Fu et al., 1987).

$$n_z = -S_{23} [C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6] - C_{23} S_5 C_6 \quad (3)$$

$$n_y = S_1 [C_{23} (C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6) - S_{23} S_5 C_6] + C_1 (S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6) \quad (4)$$

$$s_x = C_1 [-C_{23} (C_4 C_5 S_6 + S_4 C_6) + S_{23} S_5 S_6] - S_1 (-S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6) \quad (5)$$

$$s_y = S_1 [-C_{23} (C_4 C_5 S_6 + S_4 C_6) + S_{23} S_5 S_6] + C_1 (-S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6) \quad (6)$$

$$s_z = S_{23} (C_4 C_5 S_6 + S_4 C_6) + C_{23} S_5 S_6 \quad (7)$$

$$a_x = C_1 (C_{23} C_4 S_5 + S_{23} C_5) - S_1 S_4 S_5 \quad (8)$$

$$a_y = S_1 (C_{23} C_4 S_5 + S_{23} C_5) + C_1 S_4 S_5 \quad (9)$$

$$a_z = -S_{23} C_4 S_5 + C_{23} C_5 \quad (10)$$

$$p_x = C_1 [d_6 (C_{23} C_4 S_5 + S_{23} C_5) + d_4 S_{23} + a_3 C_{23} + a_2 C_2] - S_1 (d_6 S_4 S_5 + d_2) \quad (11)$$

$$p_y = S_1 [d_6 (C_{23} C_4 S_5 + S_{23} C_5) + d_4 S_{23} + a_3 C_{23} + a_2 C_2] + C_1 (d_6 S_4 S_5 + d_2) \quad (12)$$

$$p_z = d_6 (C_{23} C_5 - S_{23} C_4 S_5) + d_4 C_{23} - a_3 S_{23} - a_2 S_2 \quad (13)$$

$$T = \tan^{-1} \left(\frac{-s_z}{n_z} \right) = a \tan 2(-s_z, n_z) \quad (14)$$

$$A = \tan^{-1} \left(\frac{-a_z}{-n_z CT + s_z ST} \right) = a \tan 2(-a_z, -n_z CT + s_z ST) \quad (15)$$

$$O = \tan^{-1} \left(\frac{n_y ST + s_y CT}{n_x ST + s_x CT} \right) = a \tan 2(n_y ST + s_y CT, n_x ST + s_x CT) \quad (16)$$

Os ângulos O, A, T dados por (14)-(16), são os ângulos de Euler para orientação da garra do robô.

3.2 Cinemática Inversa do Manipulador Robótico PUMA 560

A cinemática inversa foi obtida via método algébrico. Do diagrama do robô PUMA na Fig.(1), seja o vetor posição p com relação à origem do *frame* (x_0, y_0, z_0) , do ponto de interseção das três últimas juntas. Então, da Fig.(2) tem-se $p = p_6 - d_6 a = (p_x, p_y, p_z)^T$, que corresponde à última coluna da matriz 0T_4 . As equações mostradas abaixo se referem a esta configuração.

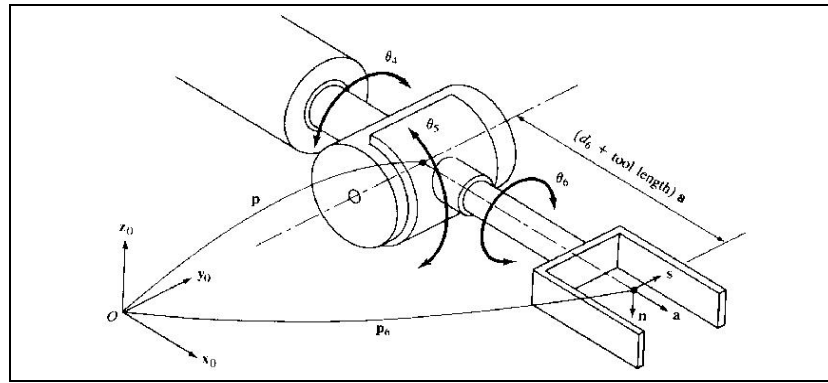


Figura 2. Interseção dos Eixos das Três Últimas Juntas.

$$\theta_1 = a \tan 2 \left(\pm p_y \sqrt{p_x^2 + p_y^2 - d_2^2} - d_2 p_x, \pm p_x \sqrt{p_x^2 + p_y^2 - d_2^2} + d_2 p_y \right), \quad -\pi \leq \theta_1 \leq \pi \quad (14)$$

$$\theta_2 = -a \tan 2 \left(\frac{p_z}{\sqrt{(d_4 C_3 - a_3 S_3)^2 + (-d_4 S_3 - a_3 C_3 - a_2)^2}}, \sqrt{1 - \left(\frac{p_z}{\sqrt{(d_4 C_3 - a_3 S_3)^2 + (-d_4 S_3 - a_3 C_3 - a_2)^2}} \right)^2} \right) \quad (15)$$

$$\begin{aligned} & -a \tan 2(d_4 C_3 - a_3 S_3, -d_4 S_3 - a_3 C_3 - a_2) \\ \theta_3 = a \tan 2 & \left(\frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - a_2^2 - a_3^2 - d_2^2 - d_4^2}{2a_2}, \sqrt{1 - \left(\frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - a_2^2 - a_3^2 - d_2^2 - d_4^2}{2a_2} \right)^2} \right) \dots \\ & -a \tan 2(a_3, d_4) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\theta_4 = a \tan 2(-a_x S_1 + a_y C_1, a_x C_1 C_{23} + a_y S_1 C_{23} - a_z S_{23}) \quad -\pi \leq \theta_4 \leq \pi \quad (20)$$

$$\theta_5 = a \tan 2((C_1 C_4 C_{23} - S_1 S_4) a_x + (S_1 C_4 C_{23} + C_1 S_4) a_y + (-C_4 S_{23}) a_z, -(C_1 S_{23}) a_x - (-S_1 S_{23}) a_y - (-C_{23}) a_z) \quad (21)$$

$$\theta_6 = \arctan 2 \left(\frac{(-C_1 S_4 C_{23} - S_1 C_4) n_x + (-S_1 S_4 C_{23} + C_1 C_4) n_y + (S_4 S_{23}) n_z, \dots}{(-C_1 S_4 C_{23} - S_1 C_4) s_x + (-S_1 S_4 C_{23} + C_1 C_4) s_y + (S_4 S_{23}) s_z} \right) \quad (22)$$

Nessas expressões, $S_i := \sin \theta_i$, $C_i := \cos \theta_i$, $S_{ij} := \sin (\theta_i + \theta_j)$, $C_{ij} := \cos (\theta_i + \theta_j)$.

Os ângulos das juntas obtidos acima são usados pelo programa de controle dos movimentos.

3.3 Cinemática do Ponto de Incisão

Aqui será apresentada a modelagem cinemática referente ao ponto de incisão na parede abdominal do paciente. O objetivo é a movimentação pelo robô PUMA 560 do endoscópio, que é usado para captar as imagens dentro do abdômen do paciente e repassá-las para o monitor de vídeo, através do qual o cirurgião irá acompanhar o manuseio do instrumental que utiliza. A movimentação do endoscópio acontece dentro do trocar, o qual fica em contato direto com o ponto virtual da parede abdominal do paciente. Este ponto, como ilustrado na Fig.(3), funciona como uma junta universal. Movimentos incorretos neste ponto acarretam forças laterais sobre o trocar e conseqüentemente na parede abdominal, podendo causar danos ao paciente e danificar a câmera.

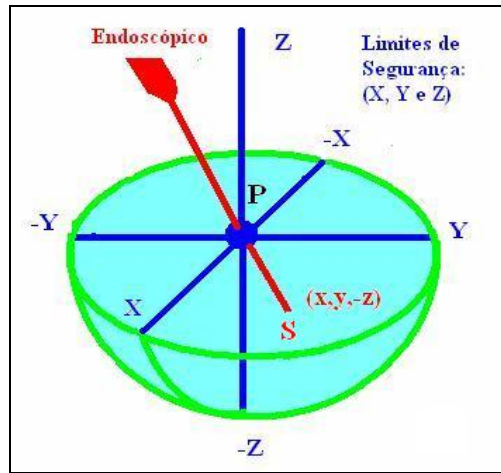


Figura 3. Ponto de incisão e respectivo sistema coordenado

Para atender as necessidades de destreza dentro do abdômen, são colocados quatro graus de liberdade, dois para movimentos de azimute e elevação φ e ψ , um para ajuste rotacional θ do endoscópio em torno do eixo longitudinal para obter uma orientação vertical e um para transladar de P o endoscópio para dentro e para fora do abdômen, com o propósito de ampliar (“zoom”) a imagem. Estes graus de liberdade estão representados na Fig.(4).

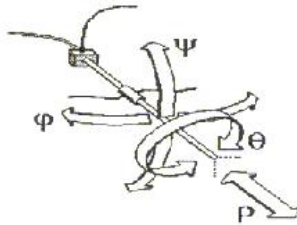


Figura 4. Graus de Liberdade do Endoscópio no Ponto de Incisão

3.4 Cinemática Direta do Ponto de Incisão

Para simplificação notacional vai-se substituir φ por θ_1 , ψ por θ_2 , θ por θ_3 e P por L . Focalizando esses movimentos no ponto de incisão, segundo a formulação de Denavit-Hartenberg tem-se os parâmetros e ângulos das juntas conforme a Tab.(2).

Tabela (2) - Parâmetros de Denavit-Hartenberg para o ponto de incisão

Junta i	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	θ_1	-90°	0	0
2	$\theta_2 - 90^\circ$	90°	0	0
3	θ_3	0°	0	0
4	0	-90°	0	L

Fazendo os cálculos das matrizes de transformação homogênea, obtém-se:

$${}^0A_4 = \begin{bmatrix} C_1S_2C_3 - S_1S_3 & C_1C_2 & -C_1S_2S_3 - S_1C_3 & -L C_1C_2 \\ S_1S_2C_3 + C_1S_3 & S_1C_2 & -S_1S_2S_3 + C_1C_3 & -L S_1C_2 \\ C_2C_3 & -S_2 & -C_2S_3 & L S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

3.5 Cinemática Inversa do Ponto de Incisão

A cinemática inversa relativa ao ponto de incisão, determinada através do método das matrizes de transformação inversa, é dada por:

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{Py}{Px}\right) - \arctan\left(\frac{\pm\sqrt{Px^2 + Py^2 - K^2}}{K}\right)^{-1} \quad (18)$$

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{p_z}{L}\right) \quad (19)$$

$$\theta_3 = \arcsin(-S_1Nx + C_1Ny) \quad (20)$$

3.6 Modelagem Global

Combinando a cinemática do ponto de incisão à do robô PUMA se obtém a modelagem cinemática global. Conforme ilustrado na Fig. (5) tem-se:

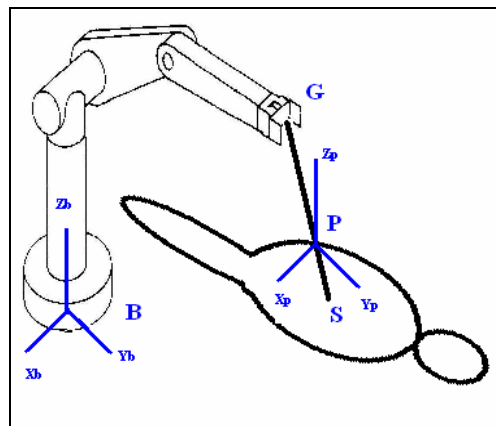


Figura 5. Configuração Geral.

- B_GT : descreve o sistema coordenado {G} fixado na garra do robô PUMA 560, com referência ao sistema coordenado da base {B}.
- B_PT : descreve o sistema coordenado {P} fixado no ponto de incisão e coincidente com o trocar, com referência ao sistema coordenado da base {B}.
- P_ST : descreve o sistema coordenado {S} fixado na ponta do endoscópio, com referência ao sistema coordenado do ponto de incisão {P}.
- G_PT : descreve o sistema coordenado {P} fixado no ponto de incisão e coincidente com o trocar, com referência ao sistema coordenado da garra do robô PUMA {G}.

Da Fig. (5), pode-se notar que da base ao ponto de interesse, ou à ponta do endoscópio tem-se a seguinte configuração: ${}^B_ST = {}^B_PT \cdot {}^G_PT \cdot {}^P_ST$. Observe-se que da base ao ponto de incisão, B_PT representa apenas uma translação já que os sistemas de coordenadas da base e do ponto de incisão são fixados com a mesma orientação; este valor é fixo e é cadastrado no programa computacional. Então, de ${}^B_ST = {}^B_PT \cdot {}^P_ST$, obtém-se B_PT , faltando desta forma somente G_PT , a qual é obtida da seguinte maneira: ${}^G_PT = {}^G_BT \cdot {}^B_PT \cdot {}^P_ST$, ou expandindo, ${}^G_PT = {}^G_BT \cdot {}^B_PT \cdot {}^P_ST \cdot {}^S_PT$. Com isso, pode-se ter controle posicional da ponta do endoscópio, respeitados os limites de segurança. Os movimentos são feitos em relação ao ponto {P} ou à junta virtual, não acarretando forças laterais.

Toda essa modelagem matemática é traduzida na forma de programas computacionais para controle do movimento do robô.

4 PROGRAMA COMPUTACIONAL

Quatro programas computacionais foram implementados, que têm como características: fixar os parâmetros usados pelo programa de posicionamento e orientação do robô PUMA 560, executar a movimentação e gerar os gráficos necessários para análise da cinemática de movimento do robô. A Fig.(6) ilustra uma das interfaces gráficas com o usuário, a do programa que aciona a movimentação do robô PUMA 560, desenvolvida no ambiente MATLAB® 6.

5 EMULAÇÃO

Os parâmetros de emulação são baseados na Tab.(3). Foto do sistema utilizado está na Fig.(7).

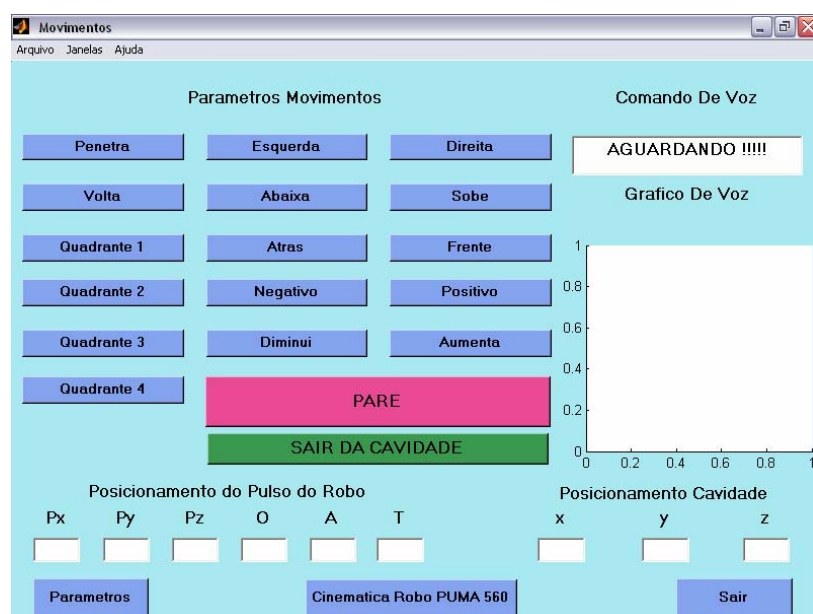


Figura 6. Interface Gráfica do Programa de Movimentação do Robô PUMA 560.

Tabela (3) – Parâmetros de Movimentação

Comando	Posicionamento Na Cavidade (mm)			Posicionamento do Pulso Robô (mm)		
	X	Y	Z	P_X	P_Y	P_Z
Inicial Trocar	0	0	0	-200.1	615.1	85.9
Penetra	0	0	-130	-200.1	615.1	-43.1
Esquerda	-37	0	-130	-109.26	615.1	-60.94
Atrás	-37	-17	-130	-110.26	656.38	-64.45
Diminui	-30	-14	-106	-103.74	659.37	-41.55
1º Quadrante	20	37	-106	-262	500.58	-52.02
Direita	39	37	-106	-314.34	506.72	-69.6
Sobe	39	37	-99	-323.24	501.43	-67.52
3º Quadrante	20	17	-99	-271.29	554.59	-27.7
Frente	20	40	-99	-266.08	483.14	-53.51
Aumenta	29	58	-143	-257.24	500.82	-97.25
Diminui	25	49	-122	-262.34	493.11	.-76.38
Sair Cavidade	0	0	100	-200.1	615.1	186.9

6 CONCLUSÃO

No presente trabalho estão focalizados: (i) modelagem cinemática de um robô PUMA 560 para posicionar e orientar um endoscópio dentro de uma cavidade abdominal; (ii) aspectos da implementação do sistema; e (iii) considerações sobre alguns dos quesitos de segurança envolvidos.

A emulação de sistema robótico auxiliar cirúrgico foi realizada através de ensaios em laboratório, tendo sido criadas condições especiais para simular as condições de um sistema real. As implementações mecânicas para se efetuar a emulação incluem modificações no suporte de agarre do endoscópio, e a sua construção, assim como a do próprio endoscópio e do dispositivo de simulação da cavidade abdominal, foram realizadas seguindo as medidas e especificações técnicas para tornar a forma do endoscópio e a da cavidade abdominal as mais ergonômicas possíveis.

Com relação à capacidade de posicionamento e movimentação da câmera dentro da cavidade abdominal, constatou-se que o sistema efetua os movimentos de forma suficientemente rápida mas harmoniosa; todos os movimentos foram feitos em torno do ponto virtual. Quanto maior a exatidão no cadastramento deste ponto pelo sistema computacional, melhores os resultados e menores as forças laterais na parede abdominal.



Figura 7. Ilustração do sistema utilizado.

Constatou-se que os modelos cinemáticos sintetizados pelos programas computacionais refletem a realidade de forma bastante precisa. Também, os cálculos efetuados, ao corresponderem na prática aos resultados apresentados, demonstram uma validade desses modelos e programas.

A segurança na utilização do robô, tomados os devidos cuidados de seu posicionamento em relação ao ambiente operacional, basicamente está centrada em aspectos de *software*. Devem ser calculados previamente os movimentos extremos em uma dada aplicação e verificados se tais posicionamentos e orientações são executados de forma precisa. O sistema implementado provê botões de ações rápidas para enviar o robô para posições previamente cadastradas, não acarretando qualquer risco à equipe operacional; também há um botão de “sair da cavidade” o qual, quando acionado retira de forma rápida, porém segura, o endoscópio de dentro da cavidade abdominal, não acarretando forças laterais na parede abdominal. Isto foi verificado através de vários ensaios nos quais o endoscópio estava nas mais diferentes configurações internas.

O uso da junta virtual entre a ponta do endoscópio (quando o mesmo estiver dentro da cavidade) e o pulso do robô, foi pensado de forma a simplificar o problema de controle dos movimentos, normalmente observado no campo operacional, eliminando assim forças não desejadas sobre o trocar. O deslocamento esférico do modelo do endoscópio é parametrizado por três variáveis (orientação, atitude e penetração).

Observou-se, assim, inclusive confrontando experiências relatadas por outros autores, que o robô PUMA 560 pode ser capacitado a prestar tal assistência cirúrgica, uma vez dotado de componentes de *software* tal que os algoritmos e programas incorporem a segurança do paciente e a movimentação seja feita em torno do ponto virtual na entrada da cavidade abdominal, e sejam tomados os cuidados quanto ao *hardware* de forma a atender requisitos de segurança que envolve a equipe operacional.

7 REFERÊNCIAS

- Casals, A., Amat, J., Laporte, E., 1996, “Automatic Guidance of an Assistant Robot in Laparoscopic Surgery”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, Minnesota, April, pp. 895-900.
- Çavusoglu, C., Tendick, F., Cohn, M., Sastry, S., 1999, “A laparoscopic telesurgical workstation”, IEEE Transactions On Robotics and Automation, Vol.15, N° 4, August.
- Fu, K.S. et al, 1987, “Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence”, NY, McGraw-Hill.
- Funda, J. et al, 1995, “Control and Evaluation of a 7-Axis Surgical Robot for Laparoscopy”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1479-1484.
- Hurteau, R., DeSantis, S., Begin, E., Gagner, M., 1994, “Laparoscopic Surgery by a Robotic Cameraman: Concept and Experimental Results”, Proceedings of the 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation, May, San Diego, pp. 2286-2289.
- Oliveira, R. M., 2004, “Emulação de um Sistema Robótico Para Aplicação em Cirurgias Laparoscópicas, Utilizando um Robô Puma 560”, Tese de Mestrado, ITA.
- Moscato, L., Vidal Filho, W., Lima, R., 2002, “Projeto de um Robô para Auxílio em Cirurgias Minimamente Invasivas”, CONEM 2002, João Pessoa-PB, Brasil, Agosto.
- Muñoz, V.F. et al, 2000, “A Medical Robotic Assistant For Minimally Invasive Surgery”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco, USA, pp. 2901-2906.

Emulation of a Robotic System for Laparoscopic Surgery

Abstract. This work reports the emulation of a robotic system for assisting laparoscopic surgery, concerning the manipulation of a video camera by a robot. The robotic equipment utilized is a typical industrial equipment, a Unimation PUMA 560 robot system. Through working that implementation, it is seek to point and discuss possible adaptations of the system. It is performed the kinematic modeling of robot-end effector-cavity and it is presented a graphical user interface developed for this application. Some aspects about safety are discussed, and the results of the emulation are commented.

Keywords. *robot-aided laparoscopic surgery, PUMA 560, robot kinematic modeling.*