



PROJETO DE UM ROBÔ PARA AUXÍLIO EM CIRURGIAS MINIMAMENTE INVASIVAS

Walter de Britto Vidal Filho

Dep. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos- Escola Politécnica -Universidade de São Paulo
E-mail; wbritto@usp.br

Lucas Antonio Moscato.

Dep. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos- Escola Politécnica -Universidade de São Paulo
E-mail; lamoscat@usp.br

Raúl Gonzales Lima.

Dep. Eng. Mecânica- Escola Politécnica -Universidade de São Paulo
E-mail: rauglima@usp.br

Resumo. *O presente trabalho aborda o estudo e desenvolvimento de um manipulador robótico para posicionamento de um laparoscópio em procedimentos cirúrgicos minimamente invasivos. Serão abordados os diversos componentes do manipulador, realçando as características fundamentais de cada um para sua implementação prática no ambiente cirúrgico*

Palavras-chave: *Mecatrônica, Robótica, Robô cirúrgico, Projeto Mecânico*

1. INTRODUÇÃO

Os manipuladores robóticos são há muito utilizados nas linhas de produção industrial. Em meados da década de 80 estes manipuladores foram introduzidos no ambiente cirúrgico como ferramentas de auxílio a cirurgias denominadas “cirurgias minimamente invasivas” ou também cirurgias endoscópicas e cirurgias laparoscópicas. Dentre as aplicações pioneiras estão o uso de um robô Puma 200 para a realização de uma biópsia no Memorial Medical Center (1985, EUA) seguidas de aplicações em 1987 no Imperial College, Reino Unido, e na Universidade de Tóquio, onde foram respectivamente empregados em uma cirurgia de próstata e em uma neurocirurgia (Gray et al , 1996).

As cirurgias convencionais em estruturas internas do corpo requerem a abertura de incisões que permitam a exposição da anatomia relevante, necessária à execução de procedimentos específicos. Durante uma cirurgia convencional, estas incisões devem ser suficientemente grandes de forma a proporcionar ao cirurgião o eficiente uso 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, associadas a câmeras de vídeo que permitem a visualização da anatomia interna do paciente em um monitor de vídeo. Geralmente, este tipo de cirurgia, por exigir incisões menores que as cirurgias convencionais, reduz o tempo de internação do paciente e os riscos de infecção. Por outro lado, a utilização de instrumentos de difícil manuseio e movimentos restritos, somados à ausência de informações tácteis, pode conduzir a complicações durante os procedimentos.

A grande vantagem do robô para posicionar ferramentas médicas está na sua grande precisão espacial e acurácia. Um médico que posiciona um laparoscópio durante uma cirurgia, não

conseguirá manter a mesma posição por muito tempo. O seres humanos tem sua precisão de posicionamento prejudicada pelo cansaço. Os manipuladores robóticos possuem restrições de segurança ao trabalharem tão próximo a seres humanos. As normas técnicas atuais não contemplam o emprego de robôs nos mesmos ambientes de trabalho que os humanos (Gaskil et al, 1996). Pelo contrário, proibem que operários e robôs compartilhem a mesma área de atuação. A adaptação de robôs industriais em aplicações médicas incorre em elevados riscos, pois o projeto destes manipuladores parte do princípio que homens e máquinas não compartilharão o mesmo espaço.

No presente trabalho um projeto de um robô para posicionamento de um endoscópio é descrito. Serão abordados os sistemas : mecânico, de acionamento e de controle

2. SISTEMA MECÂNICO

No projeto de um manipulador para posicionamento de um endoscópio, o sistema mecânico é um dos sistemas que devem incorporar aspectos de segurança inerentes ao projeto. Por exemplo, limitações de movimentos é uma propriedade que pode ser conseguida através do sistema de controle, mas alguns autores como Kobayashi et al(1999) e Taylor et al (1995) consideram que se incorporadas ao projeto mecânico acrescentam confiabilidade ao sistema.

São bem conhecidas as vantagens e desvantagens das configurações estruturais clássicas dos robôs cartesianos, polares, cilíndricos e articulados. Para mover um laparoscópio durante um procedimento cirúrgico, o robô tem que realizar movimentos centrados no ponto de incisão Fig.(1). Estas configurações podem descrever quaisquer trajetórias no espaço, com seus efetadores terminais. Isto é um fator que aumenta o risco para o emprego deles no posicionamento de laparoscópios, pois esta capacidade de fazer movimentos quaisquer, permite a probabilidade não nula de ocorrer um movimento indesejado. Qualquer falha de controle dos atuadores ou de cálculos de interpolação resulta em um acidente que poderá causar prejuízo ao paciente. Portanto o projeto mecânico com restrições de movimento reduz a praticamente zero a probabilidade de movimentos fora dos limites, durante uma falha do equipamento.

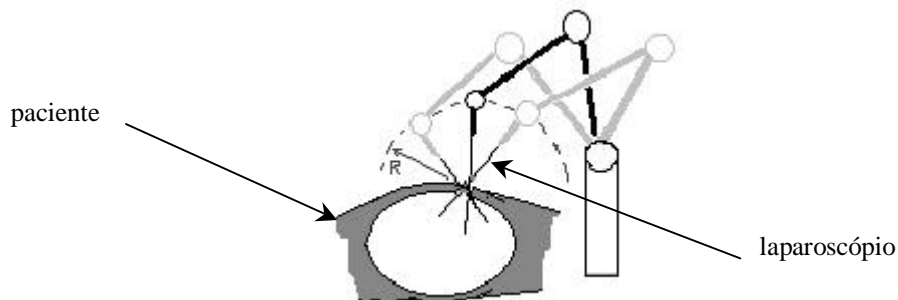


Figura 1. : Robô articulado com trajetória centrada no ponto de incisão

Para conseguir movimentos centrados no ponto de incisão, algumas configurações não convencionais em robótica, podem ser aplicadas. Uma destas estruturas que permitem só movimentos centrados no ponto de incisão é vista na Fig.(2a). A estrutura de elos curvos com articulações, cujas linhas de eixo passam pelo ponto de incisão, cria um centro remoto para os movimentos esféricos que são gerados quando os elos se movem em torno das articulações. Segundo Faraz et al (1997) este tipo de mecanismo tem a tendência a desalinhar as linhas de eixo, quando sob carga. O dispositivo mais simples que pode gerar movimentos com centro remoto é a guia linear curva Fig.(2b). Observe que o dispositivo da Fig.(2b) pode ter dois giros perpendiculares centrados no ponto de incisão: um através da guia e outro ao redor do eixo da base. Este tipo de configuração é de difícil construção, quando se deseja baixo coeficiente de atrito e ausência de folgas. A aquisição comercial de guias curvas retificadas também é difícil. A configuração da Fig.(2c) é conhecida como mecanismo de 5 barras e permite movimentos centrados no ponto de incisão. A vantagem deste dispositivo é boa rigidez da estrutura e a facilidade de colocar os

atuadores na base, reduzindo assim as inércias. A desvantagem é a quantidade de componentes que devem ser fabricados e alinhados.

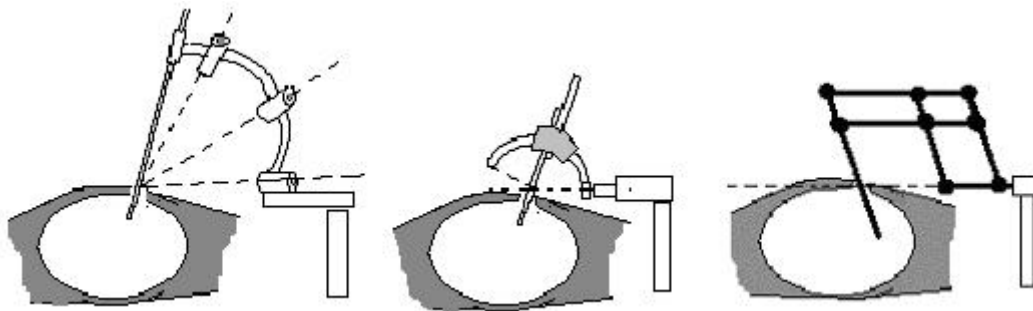


Figura 2. Sistema a) elos curvos b) guias curvas c) mecanismos de 5 barras

A estrutura adotada para o posicionador foi a de guias curvas, pois além de ser a mais simples, os movimentos são desacoplados, facilitando o controle. Contudo a fabricação das guias é complexa. Para garantir alta precisão na guia, depois de uma usinagem de precisão, deve ser feita uma retificação. Além disso, para diminuir o atrito, necessita-se de um carrinho que deslize sobre esferas. A solução encontrada foi o projeto de um carrinho sobre roletes com rolamentos de esferas embutidos, que são facilmente encontrados no mercado. Como as guias desenvolvidas não foram retificadas, variações na espessura poderiam travar o movimento do carrinho, caso não houvesse folgas entre os roletes e a guia. Para evitar o travamento e minimizar as folgas foram empregados roletes de polímeros no dispositivo Fig.(3), como a guia é mais dura que o polímero, este se molda as imperfeições da guia. Uma outra forma de reduzir as folgas é usar um sistema de molas para comprimir os roletes contra as guias.

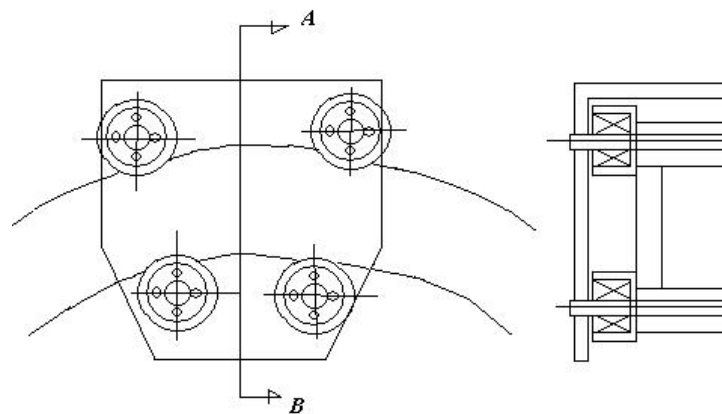


Figura.3 Guia curva com carrinho e roletes

Os manipuladores robóticos empregados no posicionamento de endoscópios são geralmente colocados sobre uma base móvel (Taylor et al, 1995), contudo a fixação na mesa cirúrgica também é empregada (Kobayashi et al, 1999). No presente projeto o manipulador foi colocado sobre uma base móvel, o que confere maior mobilidade e raio de ação em volta do paciente. As geometrias adotadas foram estabelecidas com base nas mesas de cirurgia. As mesas cirúrgicas possuem regulagem vertical com curso médio de 450mm e altura mínima média de 750mm. Desta forma o manipulador possui altura mínima $H = 750\text{mm}$ e comprimento do braço $C = 650\text{mm}$. Uma vez que a base é móvel e a largura média de uma mesa cirúrgica é 600mm, o manipulador pode atingir qualquer ponto sobre a mesa Fig.(4)

Os graus de liberdade controlados (ϕ , θ , z') podem possuir amplitudes que, segundo Kobayashi et al (1999), ficam entre $\pm 25^\circ$ e 50mm. E segundo Taylor et al (1995) pode ficar entre $\pm 60^\circ$ e 80mm. Foi adotada uma variação para θ de $\pm 45^\circ$ e para ϕ de $\pm 90^\circ$. Para z' foi adotado 100mm de curso

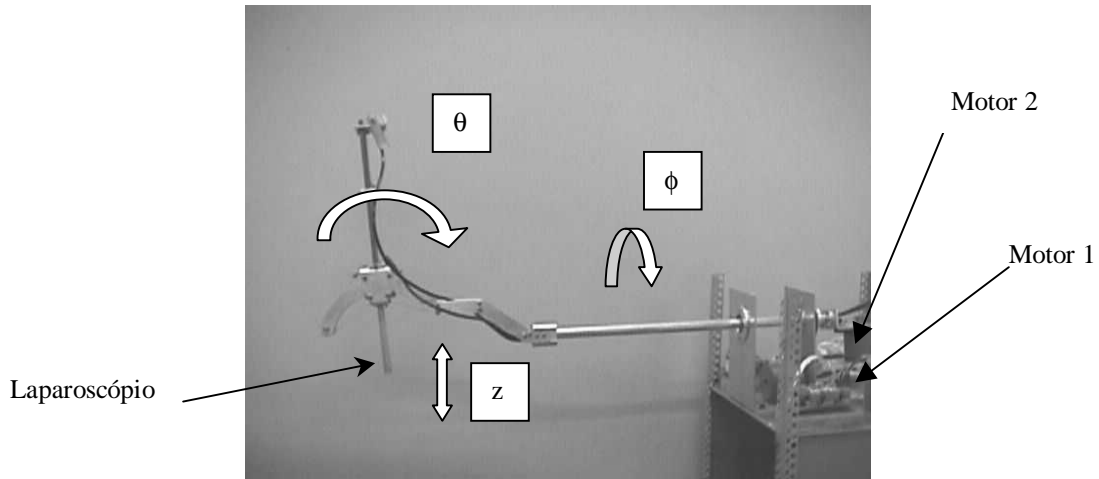


Figura. 4 Foto do Protótipo com atuadores embarcados na base

3. SISTEMA DE ACIONAMENTO

O sistema de acionamento do manipulador é composto de atuadores e elementos de transmissão de movimento. Quando se requer em robótica baixa potência empregam-se atuadores elétricos, entre eles os principais são os motores de passo e os servos motores DC. Os servos motores são usados quando se deseja mais potência e precisão que a fornecida pelos motores de passo. Nesta aplicação de posicionamento de um laparoscópio, as forças envolvidas são: o atrito, o peso próprio do equipamento e a reação de contato com os tecidos. Como o laparoscópio possui um baixo peso e a precisão de posicionamento não necessita ser muito maior que a obtida nos procedimentos convencionais, pode-se empregar motores de passo com sucesso. Em Kobayashi et al (1999) foram empregados motores de passo aliado a sensores de posição. Estes últimos eram usados para corrigir acúmulo de erro angular. A principal vantagem de um robô para posicionamento de um laparoscópio não está na precisão absoluta do posicionamento, mas na precisão em função do tempo.

Uma vantagem dos motores de passo para esta aplicação consiste na sua simplicidade de controle. Como se sabe, os motores de passo não possuem re-alimentação o que reduz o custo e a complexidade do controle. Entretanto o emprego de sensores de posição, monitorados por um sistema supervisor é importante para o aumento da segurança.

O acionamento dos motores de passo foi feito por uma placa de controle projetada e construída no departamento, baseada no CI UCN4202 e transistores de potência. O computador enviava a placa a quantidade de passos, a frequência e a direção que devia girar o eixo do motor. E a placa chaveava as bobinas na seqüência desejada.

A transmissão do movimento do motor 1 ao eixo ϕ é feito por polia e correia dentada Fig.(4). O peso do carrinho e do laparoscópio, em relação ao eixo ϕ , é contra balanceado pelo peso do motor 2 colocado no eixo Fig.(4). O movimento do carrinho sobre a guia que gera o ângulo θ do laparoscópio com a vertical, pode ser conseguido colocando um motor no carrinho ou transmitindo o movimento do motor, na base, para o carrinho. A vantagem de não colocar atuadores no carrinho está na necessidade da esterilização dos componentes próximo ao paciente. O sistema de transmissão do movimento dos atuadores ao carrinho, poderia ser feito por correias ou cabos. Foram empregados cabos para transmitir o movimento dos motores, situados na base, para o carrinho. Como os cabos não percorrem o perímetro da semicircunferência formada pela guia e sim são retas secantes, o comprimento total do cabo varia com a posição do carrinho. Para permitir a variação do

comprimento do cabo, foram empregadas molas para fixar os cabos ao carrinho Fig(5). As molas possuem limitadores, para permitir só o alongamento necessário ao deslizamento suave do carrinho.

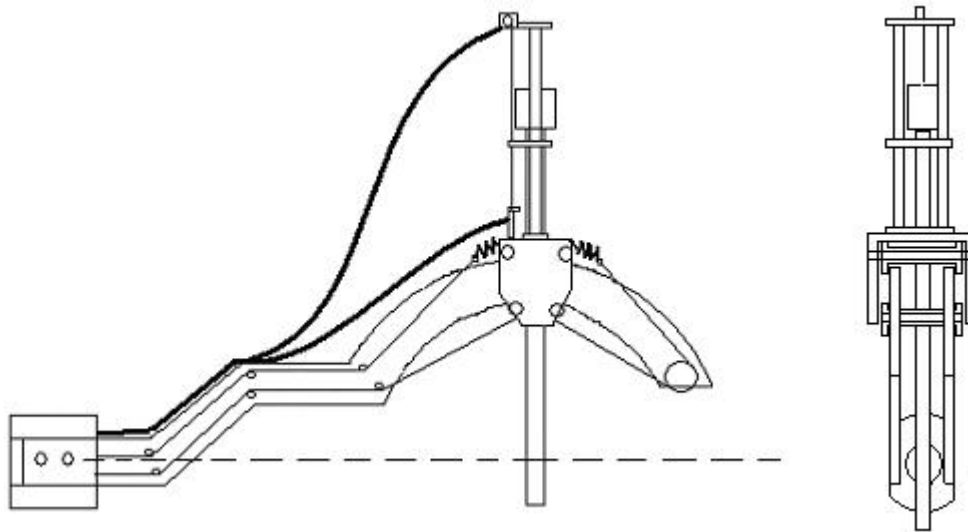


Figura 5. Guia curva com carrinho, laparoscópio e sistemas de transmissão

O sistema de movimentação do laparoscópio em Z' é feito por cabos que deslizam dentro de conduites Fig.(5).

4. SISTEMA DE CONTROLE

No ambiente cirúrgico o médico se posiciona em frente a um monitor de vídeo e ao lado do paciente . O monitor exibe as imagens capturadas dentro do corpo do paciente pelo endoscópio ou laparoscópio. Atualmente, um médico assistente posiciona o laparoscópio sob comando do cirurgião. Quando o cirurgião necessita visualizar uma região acima da região focalizada, o assistente tem que mover para baixo a parte traseira do laparoscópio, pois os movimentos são pivotados no ponto de incisão Fig.(6). Estes movimentos reversos entre o que se ver no monitor e o que se faz , torna lenta a interação cirurgião- assistente.

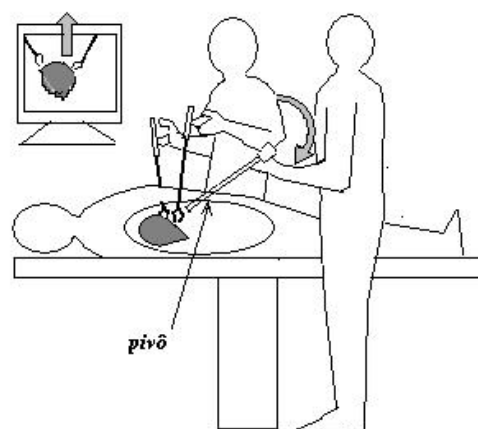


Figura 6: Cirurgia laparoscópica convencional

O sistema de controle do manipulador deve ser capaz de interpretar o comando do cirurgião e convertê-los em movimentos externos do manipulador, de forma a reproduzir o movimento interno desejado. O sistema de controle projetado está dividido em um sistema de alto nível e um sistema

de baixo nível. O sistema de baixo nível controla diretamente os atuadores enviando comandos para os drives de potência que controlam os motores de passo. O sistema de alto nível está dividido em um sistema de interface com o usuário que interpreta os comandos do cirurgião e em um sistema que calcula as coordenadas e trajetória a serem seguidas. Como a base do manipulador pode ser colocada em qualquer posição ao lado da mesa cirúrgica, o sistema de coordenadas do robô deve ser facilmente ajustável Fig.(7). Observa-se na Fig. (7a) que estando o robô devidamente posicionado os sistemas de coordenadas dele e do vídeo estão alinhados. Contudo caso haja a necessidade de colocar o robô em outra posição, o sistema de coordenadas do robô deve poder ser movido para que os movimentos do robô reflitam os movimentos desejados na tela do vídeo Fig. (7b).

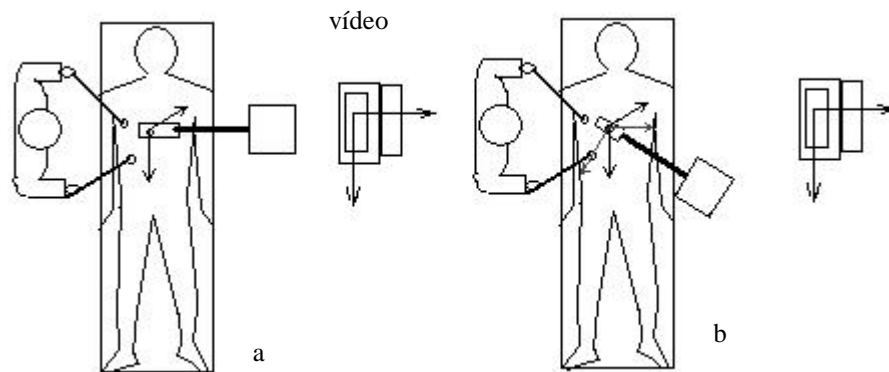


Figura 7. O sistema de coordenadas do robô e do vídeo devem ser similares.

Além disso, o sistema de interface com usuário deve ser capaz de reconhecer os comandos do cirurgião com confiabilidade, reduzindo assim o número de pessoas na sala de operação e o tempo de operação Fig.(8)

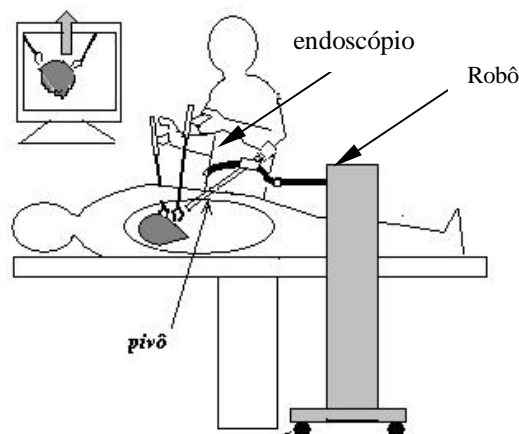


Figura8: Vista do posicionamento do robô na sala de operações

Taylor et al (1995) empregou um mouse para comandar os movimentos do robô. Este mouse foi projetado para ser fixado no forceps. Desta forma o cirurgião não necessitava largar os instrumentos para comandar o robô. A interface empregada por Kobayashi et al (1999), usava um mouse de cabeça, ou seja, um sensor que percebe os movimentos da cabeça do médico e move o foco na direção do movimento. Era baseado em um giroscópio e necessitava de pedais para habilitar o sensor.

Dentre os sistemas de comando analisados, o reconhecimento de voz é o mais intuitivo pois se aproxima mais da interação usual com um assistente humano. Contudo neste projeto foi empregado um sensor de cabeça de baixo custo, um tipo de inclinômetro digital, desenvolvido por

alunos da graduação, baseado no princípio do pêndulo simples. Um pêndulo simples possuía seus dois graus de liberdade monitorados por dois encoders que transferiam as posições angulares pela serial ao computador. Pedais foram usados para confirmar os comandos de cabeça.

5. CONCLUSÕES

Os manipuladores robóticos começaram a ter uma grande difusão na área médica quando suas qualidades começaram a ser comprovadas e as suas limitações de segurança superadas. No presente projeto, procurou-se contemplar alguns requisitos de segurança e incorporá-los ainda na fase de projeto, ao invés de criar sistemas externos de segurança, como ocorre no campo industrial. O sistema mecânico tem seus movimentos centrados no ponto de incisão que permanece imóvel. Esta característica impede que durante uma falha de hardware ou software, o manipulador mova o ponto de incisão. O sistema de controle pode ser programado pelo cirurgião para restringir ainda mais os movimentos, criando um volume de controle. Os atuadores são dimensionados para ter baixa potência o que evita danos a equipe médica e ao paciente, caso ocorra contato entre eles e o manipulador, durante os movimentos do robô. O laparoscópio pode ser retirado do paciente e do manipulador, estando a energia ligada ou desligada. Contudo a posição em que o laparoscópio é fixado não se mostrou cômoda para sua fixação e remoção do protótipo. Devido a necessidade de uma forma de encaixe que preserve a esterilização do laparoscópio, tanto na colocação como na remoção, o um novo encaixe foi projetado. Ele faz com que o laparoscópio passe lateralmente e não entre os trilhos.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio financeiro da Fapesp e CNPq. E a colaboração dos alunos da graduação e técnicos da oficina, na fabricação e montagem do protótipo.

7. REFERÊNCIAS

- Gaskil, S. P. and Went. S. R. G.,1996, "*Safety issues in modern applications of robots*" Reliability Engineering and System Safety 53 ; 301-307 published by Elsevier Science Limited
- Gray, J.O. & Caldwell, D. G, 1996, "*Advanced robotics & Intelligent machine*", IEEE control engineering series,v51, published by Institution of Electrical Engineers, London.
- Kobayashi, E.; Masamune, K.; Sakuma, I.; Dohi, T.; Hashimoto, D.,1999 "*A New Safe Laparoscopic Manipulator Systems with a Five-bar Linkage Mechanism and a Optical Zoom*" Computer Aided surgery 4:182-192.
- Payandeh, S. and Faraz, A., 1997, "A Robotic Case Study: Optimal Design for Laparoscopic Positioning Stands" Proceedings of International Conference on robotics and Automation.
- Taylor, R. H.; Funda, J. ; Elbridge, B.; Gomory, S.; Gruben, K.; LaRose, Talamini, M.; Kavoussi L.; Anderson J. "*A telerobotic Assistant for Laparoscopic Surgery*", IEEE Engineering in medicine and biology, maio/junho 1995.

Project of a Robot for aid in minimally invasive surgery

Abstract. *This work reports the study and development of a robotic manipulator to positioning of a laparoscopic in minimally invasive surgical procedures. Several components will be analyzed, into order to show the fundamental characteristics of each one for its practical implementation in the surgical environment.*

Keywords. *mechatronics, robotic, surgical robot, mechanical project*