

1. Introdução

Atualmente, com a necessidade do aumento de produtividade, do baixo custo de fabricação, do aumento de produção seriada, a tendência que vem sendo adotada pela indústria é a de automatizar seus processos. Nesse contexto, a Robótica tem assumido um papel primordial em diversas áreas.

A Robótica Industrial é o estudo, desenvolvimento e uso de sistemas robóticos para a fabricação, teste, simulação e inspeção. As aplicações típicas de robôs industriais incluem fundição, pintura, soldagem, montagem, movimentação de cargas, inspeção, e realização de testes, combinando precisão, velocidade, e robustez. Outra característica importante está relacionada à insalubridade em determinados trabalhos, onde se faz necessária a utilização de sistemas e ferramentas especiais para a realização de tarefas. Alguns exemplos desses sistemas se destacam: veículos robóticos para medição e inspeção de falhas em equipamentos, manipuladores para áreas inóspitas e de difícil acesso, e ROVs (Remoted Operated Vehicles) submarinos para altas profundidades marítimas e piscinas radioativas.

1.1. Motivação

As técnicas de inspeções não destrutivas (também conhecidas como END) são utilizadas na verificação de materiais, equipamentos e suprimentos sem lhes causar avarias. São muito utilizados nos setores energéticos (petróleo, petroquímico, nuclear), siderúrgico, naval, aeronáutico, entre outros, podendo fazer parte das etapas de fabricação, construção, montagem e/ou manutenção. Os ENDS têm como finalidade verificar a qualidade dos bens e serviços, redução de custos, aumento da vida útil do equipamento e sua preservação. Porém, devido à

periculosidade e à impossibilidade de determinados locais, se faz necessária a utilização de maquinário especial.

Para aplicações em Ensaios Não Destrutivos (END), ainda existem diversos problemas a serem resolvidos, bem como inúmeras opções de pesquisas. Na área de petróleo, gás e energia, existem diversos métodos qualificados para se realizar uma inspeção. De maneira geral, a primeira inspeção a ser realizada é a visual, que necessita de um local apropriado para que esta ocorra com eficácia. Porém, em muitos casos, este local é de difícil acesso e o pessoal que executa a inspeção acaba não realizando uma inspeção adequada.

A inspeção em grandes tanques de armazenamentos, contendo combustíveis, coque e outros, é um ponto problemático, uma vez que se requer, para tal, a utilização de materiais especiais para que ocorra o trabalho, como andaimes e pessoal técnico qualificado, por exemplo. Outro ponto que também pode ser observado em tanques de armazenamento são as inspeções em seu interior, onde o local é confinado e apresenta maior risco à saúde do inspetor, o que dificulta a realização do trabalho e torna o custo mais elevado para a empresa. Um dos motivos para a necessidade de inspeções no interior dos tanques é devido a fungos e bactérias. A formação de fungos e bactérias surge dentro destes pela umidade relativa do ar e pela má vedação e manuseio. A borra, que é constituída pela aglomeração dos fungos, é transferida dos reservatórios para os caminhões e dutos de transporte e conseqüentemente se instalam em reservatórios de postos de distribuição de combustíveis e, posteriormente nos tanques dos veículos. A borra afeta diretamente o rendimento e vida de peças de veículos abastecidos com este combustível, além de causar corrosão nos reservatórios.

A inspeção em reservatórios deve ser realizada com eles vazios, além de uma logística especial, o que resulta em um procedimento dispendioso e complexo. Desta forma, um manipulador pode solucionar esta questão de forma a realizar uma inspeção visual com o tanque em funcionamento, reduzindo assim custos, otimizando tempo para inspeções, e evitando procedimentos desnecessários. Existe a viabilidade de o manipulador realizar, além da inspeção visual, a coleta de materiais para análises. De forma que, após estudos, possam ser

inseridas substâncias que ataquem diretamente a borra e conseqüentemente reduzam significativamente a possibilidade de ocorrer corrosão nos reservatórios.

No setor nuclear, ocorrem altos índices de radiação em áreas restritas, impossibilitando o trabalho contínuo de funcionários. As penetrações dos elementos combustíveis apresentam espaços reduzidos para realização de inspeções, bem como a impossibilidade de aproximação de seres humanos por motivos de radiação. As inspeções dentro de tubulações de equipamentos também são necessárias. O robô *Snake-Arm* (Figura 1) é capaz de realizar tal tarefa. Desta forma, um manipulador pode solucionar algumas das questões para este setor de forma a realizar a inspeção sem colocar em risco a vida de seres humanos. O manipulador pode ser operado remotamente e, também, possuir estrutura diminuta, conforme a necessidade. Outro aspecto importante, por se tratar de setor nuclear, é a geração de rejeitos. O equipamento pode ter que permanecer em área controlada aguardando um novo serviço, evitando, assim, a formação de novos rejeitos com a entrada e saída de equipamentos e acessórios, o que pode gerar dificuldades em novos testes e manutenção.



Figura 1 – Robô Snake-Arm

1.2. Objetivos do Trabalho

O presente trabalho tem por objetivo o projeto teórico, modelagem, simulação, controle e desenvolvimento de um protótipo de um manipulador contínuo atuado por tendões para realização de inspeções em geral. Por apresentar estrutura modular, pode ser montado com comprimentos diversos. Ferramentas e equipamentos, tais como câmeras ou garras robóticas podem ser acoplados em sua extremidade a fim de realizar tarefas diversas. O sistema pode ser utilizado em áreas inóspitas para seres humanos.

1.3. Revisão Bibliográfica

Os robôs podem ser classificados por vários critérios, segundo o número de graus de liberdade (DoF) – de propósito geral ou redundante; estrutura cinemática – serial, paralelo ou híbrido; tecnologia de atuação – as mais utilizadas são elétrica, pneumática e hidráulica; geometria espacial – robôs cartesianos, cilíndricos, esféricos, articulados e SCARA; e características de movimentação – planar, esférico e espacial (Tsai, 1999). Dentro destas classificações, ainda existem outras formas classificatórias, como robôs analógicos (utilizam circuitos analógicos no lugar de micro-controladores), artrópodes (baseados em seres com exoesqueleto), autônomos (podem tomar decisões), humanóides (possuem características estruturais humanas), hiper-redundantes (podem alcançar o mesmo ponto com infinitas configurações), móveis (conseguem mover sua base), nano robôs (possuem tamanhos na ordem de 10^{-9} m), robôs industriais (sistemas com pelo menos 3 DoF), entre diversos outros tipos.

A utilização de manipuladores na indústria energética é pouco explorada, comparando-se com suas possibilidades. O projeto Amadeus (Davies et al., 1998) que possui como objetivo principal a melhoria da capacidade de amostragem e manipulação de sistemas submarinos, utiliza pinças atuadas através

de deformações elásticas. Este manipulador pode ser comparado a uma mão com três dedos controlados através da deformação elástica dos atuadores o que permite segurar superfícies irregulares. Em inspeções de dutos, (Wakimoto et al., 2003) apresenta um manipulador que se locomove similarmente a uma cobra dentro de tubulações de diversos tamanhos, fazendo a inspeção visual dos dutos. Outro manipulador que pode ser utilizado em diversos fins de inspeção visual é o apresentado pela Carnegie Mellon University (Wolf et al., 2003) que foi desenvolvido com o intuito de procurar itens e, também, poder ser utilizado em locais estreitos em instalações navais e de refinaria.

Com o crescente estudo de manipuladores, surgem diversas possibilidades de novos desenvolvimentos em áreas de risco aos seres humanos. Alguns exemplos clássicos que podem ser apresentados na utilização no setor espacial são o robô Charlotte (Figura 2), manipulador paralelo atuado por tendões, desenvolvido pela Mc-Donnell Douglas com o objetivo de automatizar tarefas da tripulação, voando em 1995 na missão STS-63 (Thompson e Campbell, 1996) ou o manipulador paralelo desenvolvido pela Universidade de Canterbury para posicionamento inteligente de antenas (Dunlop e Jones, 1999), ou ainda manipuladores contínuos para inspeção, furação e vedação (Buckingham et al., 2007; Wakimoto et al., 2003; Wolf et al., 2003). Na área médica, os manipuladores também estão se fixando como o CRIGOS, utilizado para intervenções em cirurgias ortopédicas, levando em consideração os fatores humanos, tornando mais preciso o procedimento cirúrgico (Brandt et al., 1999), e o robô MARS (Figura 3), sendo projetado para fazer um posicionamento preciso para utilização de brocas e agulhas em cirurgias cervicais e outras (Shoham et al., 2003). Os manipuladores paralelos também vêm sendo utilizados como ferramentas simuladoras para o setor aeronáutico – aviões; e militar – tanques (*US Army Center for Tanks Research*, 2008). No setor nuclear, onde existe o perigo iminente em áreas restritas, os manipuladores entram fazendo substituições de tubulações e inspeções visuais (Anscombe et al., 2006).

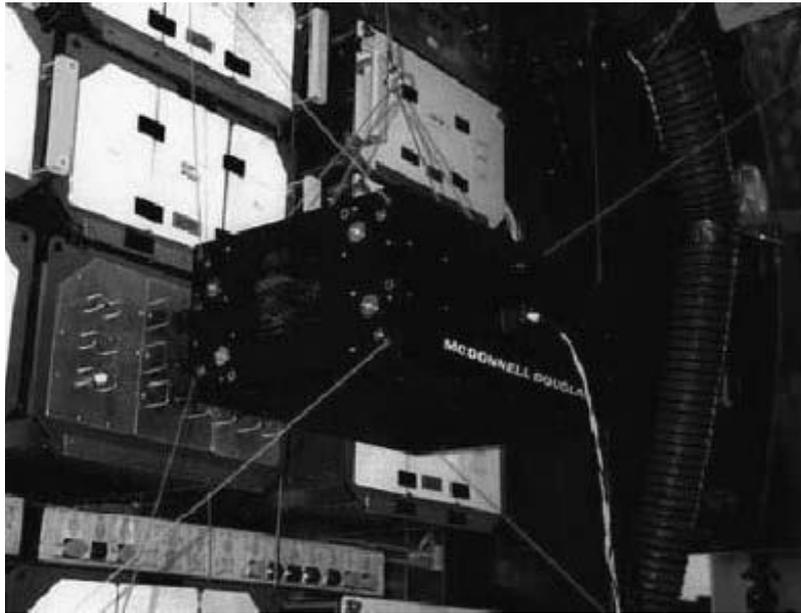


Figura 2 – Robô Charlotte

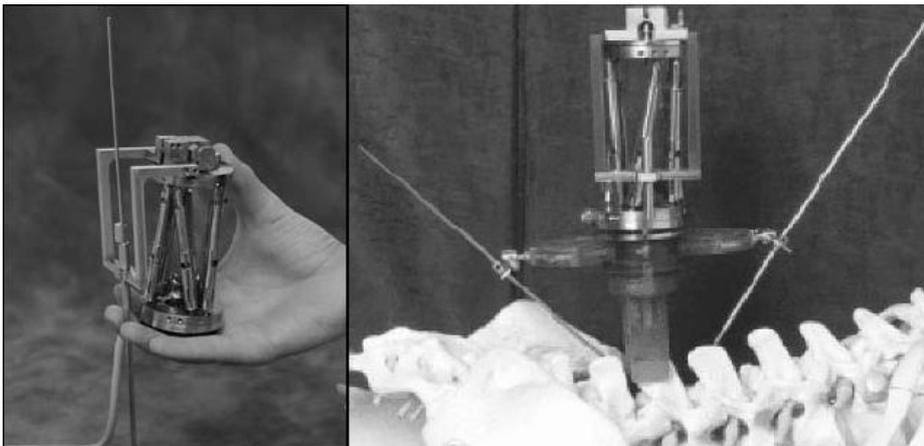


Figura 3 – Robô MARS

Os manipuladores contínuos são caracterizados por sua estrutura segmentada flexível e modular, diferentemente dos manipuladores tradicionais onde sua estrutura é rígida. A Figura 4 ilustra esta diferença, onde o desenho em azul representa o manipulador tradicional e o rosa o manipulador contínuo. Uma analogia pode ser feita onde os manipuladores tradicionais seriam similares aos seres vertebrados, enquanto que os robôs contínuos seriam os seres invertebrados. Os robôs contínuos permitem uma cinemática redundante e hiper-redundante, possuindo diversos graus de liberdade, o que os torna mais manipuláveis que os

robôs convencionais. Os robôs contínuos também apresentam a vantagem de poder se desviar de barreiras em sua trajetória com maior facilidade por serem mais flexíveis, enquanto que os tradicionais poderiam colidir e se danificarem. Este tipo de manipulador apresenta um grande número de trabalhos de pesquisa teórica e alguns trabalhos são aplicados na indústria (Robinson et al., 1999). Apesar das claras vantagens em se utilizarem os manipuladores contínuos, começou-se a verificar que estes possuem certas limitações e singularidades devido à sua curvatura (Jones et al., 2007). Os trabalhos publicados apresentam questões sobre a cinemática destes manipuladores, onde é demonstrado que a cinemática convencional não consegue resolver determinadas situações e requer uma nova modelagem, conforme descrito em (Jones et al., 2006). Já o trabalho apresentado por (Hannan et al., 2003) demonstra algumas vantagens de trajetórias e graus de liberdade de um manipulador contínuo, onde, para se conseguir o mesmo resultado com manipuladores tradicionais, se faz necessário um manipulador específico e com um grande número de DoF. Desta forma, o estudo da cinemática destes tipos de robôs é apresentado, através da transformação de Denavit-Hartenberg (Spong et al., 1989) adaptado para este tipo de manipulador.

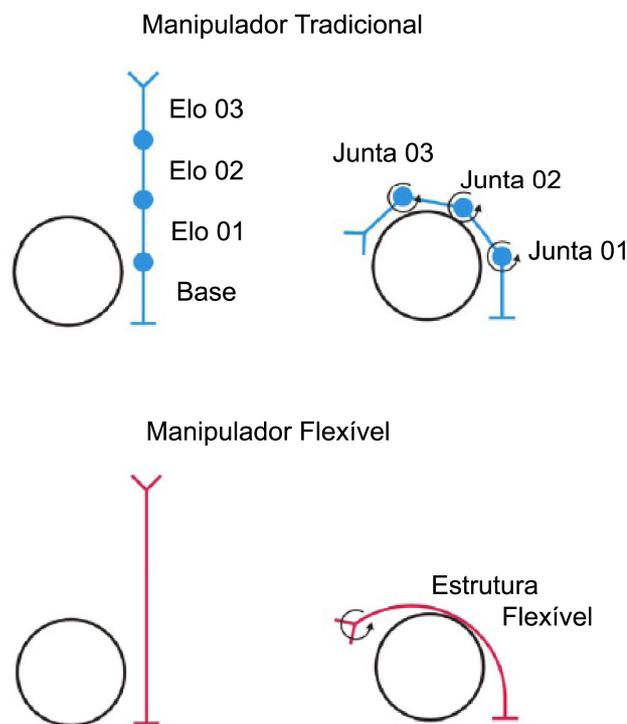


Figura 4 – Manipulador Tradicional x Contínuo

Os primeiros robôs hiper-redundantes datam da década de 60 (Anderson e Horn, 1967). Alguns trabalhos foram e são desenvolvidos há anos, por pesquisadores de diversas universidades (Jones, 2007; Suthakorn, 2004; McMahan et al., 2005). Muitos destes projetos foram desenvolvidos com uma finalidade específica e pré-determinada.

Diversos projetos foram baseados em animais ou características de animais. As cobras foram a base para alguns trabalhos (Hirose, 1993; Migadis e Kyruakopouls, 1997; Liljebäck et al. 2008; Buckingham, 2007). Os três primeiros trabalhos demonstram robôs que realizam tarefas somente no plano, sendo que sua estrutura permite utilização em qualquer terreno. Também apresentam uma característica singular de não suportarem praticamente nenhuma carga em sua extremidade, inviabilizando a utilização de ferramentas para realização de operações. Enquanto que outra linha de pesquisa possui características e aplicações industriais, possuindo bases fixas ou móveis, podendo trabalhar em ambientes diversos. Esta linha de pesquisa segue as características de tentáculos e trombas (Wilson et al., 1993; Walker et al, 1999; Hannan et al, 2000; Hannan et al, 2001). Estes possuem uma característica específica baseada em uma coluna vertebral, possuindo inúmeras vértebras, cada uma com alguns graus de liberdade.

Na robótica, o termo tendão é utilizado para designar cabos, fios, arames, correias e outros meios de transmissão. Desde os primórdios da robótica até os dias atuais, os tendões vêm sendo utilizados para atuar remotamente os manipuladores, onde os motores ficam afastados das juntas atuadas. Uma de suas vantagens é que podem ser pré-tensionados de forma a não gerar folgas na transmissão, adaptando-se muito bem em locais onde não se pode ter muito peso ou volume, pois trabalham remotamente. Existem dois tipos de configurações principais para manipuladores atuados por tendão: $M \leq N$, e $M > N$, onde N é o número de graus de liberdade e M o número de tendões de controle. Se o número de tendões for menor ou igual ao número de DoF, o manipulador é conhecido como manipulador insuficientemente acionado, pois não podem ser controlados de maneira adequada em determinadas situações. Caso o manipulador possua o número de DoF menor que o número de tendões, é classificado como manipulador

suficientemente acionado, permitindo o completo controle de sua movimentação (Tsai, 1999).

1.4. Organização do Trabalho

Visando atingir os objetivos propostos, esta dissertação será apresentada da seguinte forma:

O Capítulo 2 apresenta a concepção do manipulador, suas características e desenhos.

O Capítulo 3 resume toda a teoria necessária para o desenvolvimento do manipulador, os conceitos da modelagem cinemática, as transformações de D-H e os cálculos envolvidos para realização do manipulador.

No Capítulo 4 é apresentado o processo de desenvolvimento físico do manipulador. Este capítulo descreve a construção e montagem do manipulador em si.

Já no Capítulo 5, demonstram-se os experimentos realizados e seus resultados, bem como suas comparações entre a parte teórica e prática.

No Capítulo 6, apresentam-se as conclusões e algumas sugestões para trabalhos futuros.