

1 Introdução

Em muitas aplicações em engenharia se faz necessário o uso de sistemas de inspeção e manutenção operados remotamente. Exemplos de tais operações são o reparo de torres de alta tensão de linhas de transmissão, inspeção de tanques de armazenamento subterrâneos, reparo de pontes e manutenção de sistemas espaciais. Devido a problemas relacionados ao acesso e a periculosidade destes locais, são necessárias máquinas que possam carregar sensores, sistemas de medição, ferramentas ou até mesmo pequenos manipuladores até as proximidades das posições onde determinada tarefa deve ser realizada. Uma classe promissora de sistemas capazes de serem inseridos nestas aplicações são os manipuladores de longo alcance.

Um manipulador de longo alcance consiste em uma estrutura de posicionamento de grande volume de trabalho, capaz de carregar uma ferramenta ou um pequeno manipulador. A estrutura de longo alcance levaria o acessório (acoplado à sua extremidade) até as proximidades do local de realização da tarefa e manteria as suas juntas imóveis para que a mesma fosse executada. No entanto, por serem estruturas tão grandes e rígidas, estes dispositivos acabam apresentando algumas desvantagens: são extremamente pesados, tanto a sua fabricação como a sua manutenção envolvem equipamentos e materiais dispendiosos, e qualquer tarefa que englobe esses sistemas acaba sendo difícil de ser realizada devido às suas características físicas. Transformar a estrutura rígida dos manipuladores de longo alcance em estruturas flexíveis poderia acrescentar ao sistema inúmeras vantagens.

Recentemente, muito interesse tem se voltado na robótica para o novo conceito de “manipuladores contínuos” (Robinson & Davids, 1999). Estes dispositivos “invertebrados” apresentam uma coluna vertebral deformável continuamente, em oposição aos tradicionais manipuladores robóticos elo/junta/elo com estrutura “vertebrada”, apresentando elos rígidos. Arquiteturas contínuas oferecem um aumento em potencial no que diz respeito à interação com o ambiente, estando apto a se ajustar às limitações do meio através de sua

deformação. Robôs flexíveis contínuos (Davies, 1996) oferecem possibilidades atrativas para o uso em diversas aplicações. Esses dispositivos oferecem naturalmente uma segurança passiva durante imprecisões em movimentos realizados, dispondo de um mínimo de partes móveis. Algumas outras áreas com potencial aplicação desses dispositivos são, por exemplo, em defesa civil, posicionamento em volumes de trabalho com obstáculos como construções desmoronadas, manuseamento de materiais frágeis, medicina (endoscópios ativos), pesquisa espacial, inspeção de ambientes perigosos e/ou de difícil acesso, dentre outras.

O estudo do material utilizado se faz necessário durante o desenvolvimento de estruturas flexíveis e contínuas. Materiais de baixa rigidez como elastômeros começam a ser amplamente estudados com a finalidade de implantá-los no projeto do robô. A vantagem principal seria a simplicidade do mecanismo, resultando em segurança e em menor custo. Elastômeros também proporcionam uma deformação contínua, por exemplo, dedos obedientes que podem se deformar para se ajustarem às formas de diferentes objetos. Uma mão de borracha pneumática com dedos de borracha flexíveis seria um exemplo de um sistema flexível, possuindo muitas vantagens (Suzumori et al, 1992). Uma delas é poder segurar objetos com diferentes formas e rigidez com estabilidade. Outra vantagem é possibilitar que uma força excessiva não seja aplicada ao objeto seguro devido à flexibilidade do sistema: o objeto pode ser gentilmente seguro. Dessa forma, essa maneira “suave” de mover-se é útil para o desenvolvimento de um robô mais amigável com os humanos, podendo prover diversos serviços (Kazerooni, 1995). Além disso, se as deformações sofridas pelos dedos puderem ser medidas facilmente, seria possível reconhecer o tamanho do objeto. Um sensor tátil poderia detectar a posição e a força de contato para reconhecer a sua dureza e o seu formato. Portanto, uma mão pneumática feita de elastômeros poderia ser usada para classificar diversos tipos de peças sem necessitar de sistemas visuais caros. A partir dessas idéias, não somente os materiais começam a se tornar alvo de estudos mais aprofundados que visam à eficiência desses novos sistemas propostos, como também a forma com que esses sistemas serão atuados.

Atuadores pneumáticos, normalmente cilindros, são amplamente utilizados na indústria automatizada. Ultimamente, a robótica também se utiliza da pneumática como a principal fonte de potência para gerar movimento. Uma das

atrações principais com relação à pneumática é o baixo peso e o comportamento flexível natural dos seus atuadores. Essa flexibilidade é devida à compressibilidade do ar e, como tal, poder ser influenciada pelo controle da pressão de operação. Esta é uma característica importante sempre que existe a interação entre homem e máquina ou quando operações delicadas devem ser executadas (e.g. segurar objetos frágeis). Graças a essa flexibilidade, um contato suave e uma interação segura podem ser facilmente garantidos. Movimentos conduzidos por forças elétricas ou hidráulicas, em contrapartida, possuem um comportamento muito rígido e somente podem atuar de uma maneira mais flexível através de estratégias de controle complexas. Muitos tipos de atuadores pneumáticos – e.g. cilindros, foles, motores pneumáticos e até motores de passo pneumáticos – são comumente utilizados hoje em dia. Um tipo menos conhecido é chamado de Músculo Artificial Pneumático (*Pneumatic Artificial Muscles, PAMs*). Estes são de fato foles inversos, isto é, eles se contraem enquanto inflam. Sua força não depende somente da pressão mas também do estado de contração. Eles são extremamente leves devido ao seu principal elemento se tratar de uma membrana e, ainda, eles podem transferir a mesma quantidade de energia de um cilindro que opere com a mesma faixa de pressão e volume. Músculos que trabalham com fluidos possuem a vantagem de exercerem elevadas forças se comparadas ao tamanho e ao peso do atuador. Além disso, eles alcançam velocidades relativamente altas durante a contração, assim como uma eficiência alta vinculada à energia (Chou & Hannaford, 1996). Por estas razões, eles carregam um enorme potencial se aplicados em robôs flexíveis e robôs móveis potentes, onde eles ainda têm vantagens adicionais, como conexões diretas, fácil substituição (modularidade) e operação segura.

1.1. Motivação

Uma pesquisa desenvolvida pelo Departamento de Engenharia Metalúrgica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS) (2005) concluiu que fungos e bactérias podem comprometer a durabilidade de peças dos motores dos veículos. Os técnicos observaram que a

ação de fungos e bactérias na deterioração do óleo diesel acarreta a conseqüente diminuição da vida útil das peças de motores de caminhões e ônibus.

O estudo concluiu que a bomba injetora, peça que leva o combustível ao motor, é uma das mais sujeitas à deterioração. Essa corrosão, segundo os especialistas, não é devida à qualidade do óleo diesel, mas causada pelas condições do armazenamento do combustível nos tanques em postos ou outros locais que estoquem o produto.

Os fungos e bactérias surgem em um lastro de águas que se forma no fundo desses tanques decorrente da umidade do ar em seu interior, da entrada de água de chuva, de manuseio inadequado, de contaminação acidental ou do próprio processo de produção. A água, se presente no tanque de armazenamento de óleo diesel, leva ao desenvolvimento e multiplicação de colônias de microorganismos (bactérias, fungos e leveduras) que se alimentam do diesel, gerando um material com aspecto de lama, cor marrom ou escura e que se denomina borra. A borra química é constituída de colônias de bactérias e de produto de corrosão dos tanques. Além da borra são gerados ácidos orgânicos, álcoois e ésteres. Os fungos, que se alimentam em parte do próprio óleo, se reproduzem na interface entre a água e o óleo produzindo substâncias corrosivas e tornando a água mais ácida. Quando o diesel é bombeado dos reservatórios para o tanque de ônibus, caminhões e utilitários, transporta junto a água com os fungos que se mistura ao combustível. Os produtos químicos formados pelos microorganismos, além de provocarem corrosão dos tanques de armazenagem, estabilizam a emulsão entre água e diesel, podendo gerar problemas de contaminação do meio ambiente. O diesel com essas substâncias fica deteriorado e apresenta um cheiro forte e azedo, tornando difícil a separação desta água.

Os problemas não ficam somente nos tanques de armazenamento de diesel. Os tanques que armazenam gasolina, por serem normalmente construídos em aço-carbono, sofrem oxidação e com o passar do tempo o óxido formado pode se incorporar à gasolina, prejudicando sua qualidade. O envelhecimento da gasolina é outro fator que compromete muito a sua qualidade. A gasolina sofre oxidações que a degradam e levam à formação de goma, que é prejudicial aos motores dos veículos. A corrosão também pode causar furos nos tanques, levando à ocorrência de vazamentos com conseqüente perda de produto e contaminação do meio ambiente.

Visando evitar o prejuízo e uma possível contaminação do meio ambiente, preservando as características da gasolina e do diesel, é recomendável a adoção de uma rotina de limpeza e inspeção do sistema de armazenagem. Em muitos casos, não é possível efetuar inspeções das paredes externas devido ao aterramento do reservatório. Inspeções internas são muito trabalhosas, pois implicam no completo esvaziamento do reservatório antes que ele possa ser inspecionado, o que resulta em altos custos, direta e indiretamente. Em média, um reservatório de combustível se torna um candidato para inspeção a cada três anos, mesmo sendo de dez anos o prazo máximo exigido por norma. Isto significa que é provável que este tanque já tenha acumulado detritos suficientes para passar por um processo de limpeza. O grande problema é que não se sabe realmente se o tanque em questão necessita mesmo ser limpo, podendo acarretar num custo de tempo e dinheiro em vão caso o tanque esteja em boas condições após ser esvaziado. Com isso, surge uma necessidade de se otimizar a questão da limpeza dos reservatórios de combustível, de modo a realizar esse procedimento somente quando for estritamente necessário. Essa questão pode ser resolvida realizando-se uma inspeção visual do interior do tanque por meio de uma câmera acoplada a um sistema que permita conduzi-la pelo volume interno do reservatório, por exemplo. Além disso, há a possibilidade de reduzir os problemas causados pela ação dos microorganismos no interior dos tanques a partir de uma análise da borra e seus derivados presentes. Se for possível coletar amostras deste material, análises químicas poderão ser realizadas a fim de encontrar soluções que venham a erradicar a presença de microorganismos que prejudicam a qualidade do combustível e comprometem a estrutura do reservatório, e avaliar a real necessidade de manutenção.

1.2. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um manipulador robótico pneumático flexível de longo alcance. O sistema se caracteriza por ser extremamente versátil, podendo ser utilizado em tarefas diversas, em ambientes hostis e no contato com estruturas delicadas. O manipulador é composto por uma estrutura modular, podendo ser formado por vários elos ligados serialmente, permitindo ainda que em sua extremidade sejam acopladas ferramentas que auxiliem a execução de um determinado trabalho desejado.

1.3. Organização da Tese

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em 5 partes principais, sendo cada uma delas um capítulo da dissertação.

O Capítulo II apresenta alguns sistemas robóticos flexíveis existentes em conjunto com os seus principais mecanismos de atuação.

O Capítulo III é responsável pela concepção e modelagem do manipulador proposto. O desenvolvimento mecânico de um elo do manipulador é apresentado através de várias gerações de protótipos, em conjunto com os respectivos modelos analíticos de cada sistema. Primeiramente, experimentos são realizados visando ao desenvolvimento de um atuador pneumático flexível. Posteriormente, os atuadores desenvolvidos são agrupados na formação de um elo do manipulador. As vantagens e desvantagens de cada um dos sistemas são discutidas.

Um dos sistemas desenvolvidos é submetido a testes com o objetivo de validar o protótipo em função dos modelos desenvolvidos. O Capítulo IV introduz os procedimentos utilizados durante os experimentos e apresenta os resultados obtidos.

O Capítulo V relata uma aplicação do manipulador desenvolvido como um sistema de inspeção de tanques de combustível. É elaborada uma introdução a respeito dos tipos de reservatórios existentes e como o sistema seria adaptado para atuar nas condições desta aplicação.

No Capítulo VI são apresentadas as conclusões e são formuladas algumas sugestões para o aperfeiçoamento do sistema em pesquisas futuras.