

## 6. Conclusões e Trabalhos Futuros

### 6.1. Contribuições neste Trabalho

Esta dissertação apresenta o desenvolvimento de um protótipo para um manipulador contínuo, atuado por tendões, que pode realizar diversos tipos de tarefas, inclusive em locais de difícil acesso e de risco à vida humana, tais como áreas radioativas e com temperaturas elevadas.

Apresentou-se a caracterização de alguns tipos de sistemas robóticos, com ênfase nos sistemas que trabalham nas áreas relacionadas a energia e a áreas inóspitas aos seres humanos; o conceito de manipuladores contínuos, apontando suas vantagens e desvantagens sobre manipuladores tradicionais; a explicação dos sistemas redundantes e hiper-redundantes relacionados a manipuladores. A partir daí, foram comentados alguns manipuladores que pertencem ao grupo de estudo deste trabalho e que possuem características de animais como referência de funcionamento.

Através de análises e estudos, foi desenvolvido um modelo do sistema proposto no *software SolidWorks*, onde puderam ser verificadas diversas características do manipulador antes de sua construção. Foi possível criar uma malha de Elementos Finitos e realizar alguns testes envolvendo rigidez de componentes e realizar estimativas de massa, inércia, dimensionamento do manipulador e posicionamento de componentes no sistema completo. Para a usinagem das peças e construção do protótipo, foram desenvolvidos desenhos técnicos específicos.

Explicaram-se conceitos básicos de cinemática e transformações homogêneas, bem como, os conceitos da notação de Denavit-Hartenberg. Realizou-se através da utilização desta notação, a modelagem do sistema. Desenvolveu-se uma técnica de análise onde, ao se analisar um conjunto de componentes, que são replicados ao longo do manipulador, pode-se chegar a uma análise do manipulador completo. Dessa maneira, o protótipo não fica limitado ao

número de elos atuais e pode possuir quantos elos forem necessários, bem como o tamanho de cada elo pode ser escolhido conforme a necessidade.

Após a modelagem, foi iniciada a fase de construção física do sistema, cujos componentes foram desenvolvidos nas oficinas da PUC-Rio, sendo criados de forma que pudessem ser replicados com facilidade para manter o objetivo de fornecer modularidade ao manipulador.

Detalharam-se as informações do protocolo de comunicação, onde foram desenvolvidas funções para realizar a comunicação entre os atuadores e o computador, cujas funções permitem que um usuário leia e controle os estados dos atuadores em tempo real, o que viabiliza a tomada de decisões para a realização de movimentos. Desenvolveu-se, também, um programa que realiza o pré-tensionamento dos tendões no manipulador, e o controle dos atuadores, através da entradas de ângulos. Alguns experimentos foram realizados com o intuito de verificar as simulações. Realizou-se, também, uma simulação com a utilização da técnica de controle por torque computado, onde pode-se corrigir os erros de posicionamento encontrados nos experimentos.

Por fim, foi idealizada uma aplicação do sistema em uma piscina de rejeitos radioativos e uma simulação de posicionamento do manipulador. Pelo fato de o protótipo desenvolvido ser versátil, modular, leve e podendo ser atuado remotamente, ele pode ser aplicado em diversas tarefas, não se limitando somente ao setor energético.

## **6.2. Sugestões para trabalhos futuros**

Alguns aspectos com o intuito de melhorias no desenvolvimento do manipulador podem ser sugeridos.

O posicionamento dos atuadores atualmente gera um ângulo entre as polias e a base do manipulador que pode ser reduzido, com o intuito de redução do atrito entre estes. A polia pode possuir um ângulo de desbaste, em sua extremidade, maior, pois o atual também gera atrito desnecessário entre a polia e os tendões. Pode ser desenvolvida uma técnica para a criação do corrugado nas membranas

que seja automatizada e que gere corrugados quase idênticos. Além disso, note que a última vértebra pode possuir um desenho especial para o acoplamento de acessórios para a execução de tarefas, o que poderia ser estudado posteriormente.

Este trabalho apresentou resposta satisfatória para a análise cinemática tanto simulada quanto experimental. Trabalhos futuros podem incluir análises dinâmicas, tanto simuladas quanto experimentais.

Os atuadores utilizados, apesar de informarem que possuem sensores de torque, de fato não possuem, sendo portanto, interessante a inclusão de sensores de posição ao longo do manipulador para a realização de um controle experimental (de posição) que não dependa de uma modelagem estática do sistema.