



DEM - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE MOVIMENTOS VERTICAIS COM ATUAÇÃO PNEUMÁTICA

*Allan Nogueira de Albuquerque¹,
Marco Antonio Meggiolaro².*



¹ Aluno de Graduação do curso de Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

² Eng. Mecânico, Ph.D., Professor Assistente do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. OBJETIVOS.....	5
3. METODOLOGIA / RESULTADOS.....	6
4. CONCLUSÕES / TRABALHOS FUTUROS.....	17
AGRADECIMENTOS.....	19
REFERÊNCIAS.....	20

1. INTRODUÇÃO

O projeto baseia-se no desenvolvimento de um robô paralelo controlado eletronicamente através de servo-válvulas eletro-pneumáticas. O equipamento em questão é conhecido como Plataforma Stewart. Esta plataforma foi originalmente desenvolvida em 1965 como um simulador de vôo. Desde então, uma vasta variedade de aplicações se utilizam deste invento. Isto porque produz uma melhor atuação, maior rigidez, maior razão carga-peso e uma distribuição de carga mais uniforme. Basicamente, ela é usada no controle de posicionamento e é constituída de uma base fixa acoplada em seis pontos a um platô móvel na parte superior através de cilindros pneumáticos, ou seja, é uma estrutura articulada acionada por seis atuadores lineares.

Estes robôs paralelos são definidos como um dispositivo multifuncional e reprogramável desenhado para mover e manipular materiais, partes ou ferramentas através de movimentos programados variáveis para a realização de uma variedade de tarefas especificadas. Um robô paralelo é composto por uma cadeia cinemática fechada, na qual cadeias seriais separadas se conectam a uma plataforma fixa e, em sua extremidade oposta, se conectam a uma plataforma móvel. Também são chamados de manipuladores.

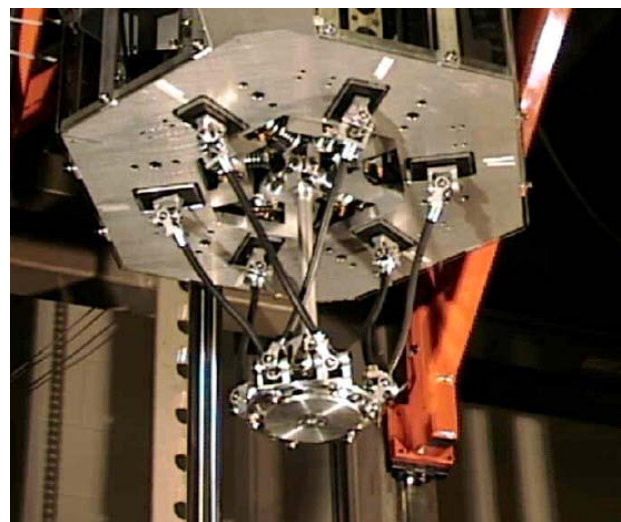
Este tipo de manipulador apresenta grandes vantagens quando comparado aos manipuladores seriais, como melhor estabilidade e precisão, capacidade de manipular cargas relativamente grandes, altas velocidades e acelerações e baixa força de atuação.

O desenho dos manipuladores paralelos se remonta a várias décadas atrás, em 1962, quando Gough e Withehall desenharam um sistema paralelo para ser usado em uma máquina de provas universais. Stewart em 1965 desenhou um manipulador de plataforma para ser usado em simuladores de vôo. Em 1983 Hunt realizou um estudo da estrutura cinemática dos manipuladores paralelos. Desde então vão se desenrolando números estudos por diversos pesquisadores. Entre os mais recentes se destacam J.P. Merlet e L.W. Tsai.

A figura 1.1a abaixo mostra o primeiro simulador de vôo com uma estrutura de seis graus de liberdade e a figura 1.1b mostra um robô paralelo empregado na montagem de peças também com seis graus de liberdade.



a)



b)

Figura 1.1 Exemplos de robôs paralelos baseados na plataforma de Stewart. a) Simulador de vôo, b) Robô montador

Existem outras configurações de plataforma, como a “delta”, com três graus de liberdade. Foi inventada por Clavel em 1988 e são empregadas em robôs como os mostrados na figura 1.2.

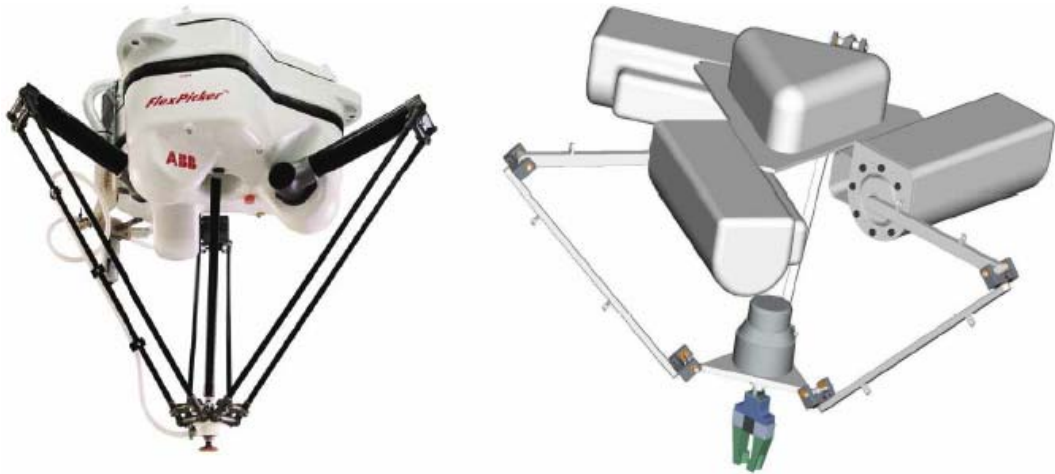


Figura 1.2 Robôs paralelos de quatro graus de liberdade, baseados na plataforma Delta

Um limitante importante que existe nestes tipos de manipuladores (tipo Delta) é seu reduzido espaço de trabalho e é precisamente esta uma das tendências nos rumos das pesquisas futuras destes robôs.

Os manipuladores paralelos são classificados como planares, esféricos e espaciais, de acordo com as características de movimento. Na figura 1.3 pode-se distinguir esta classificação.

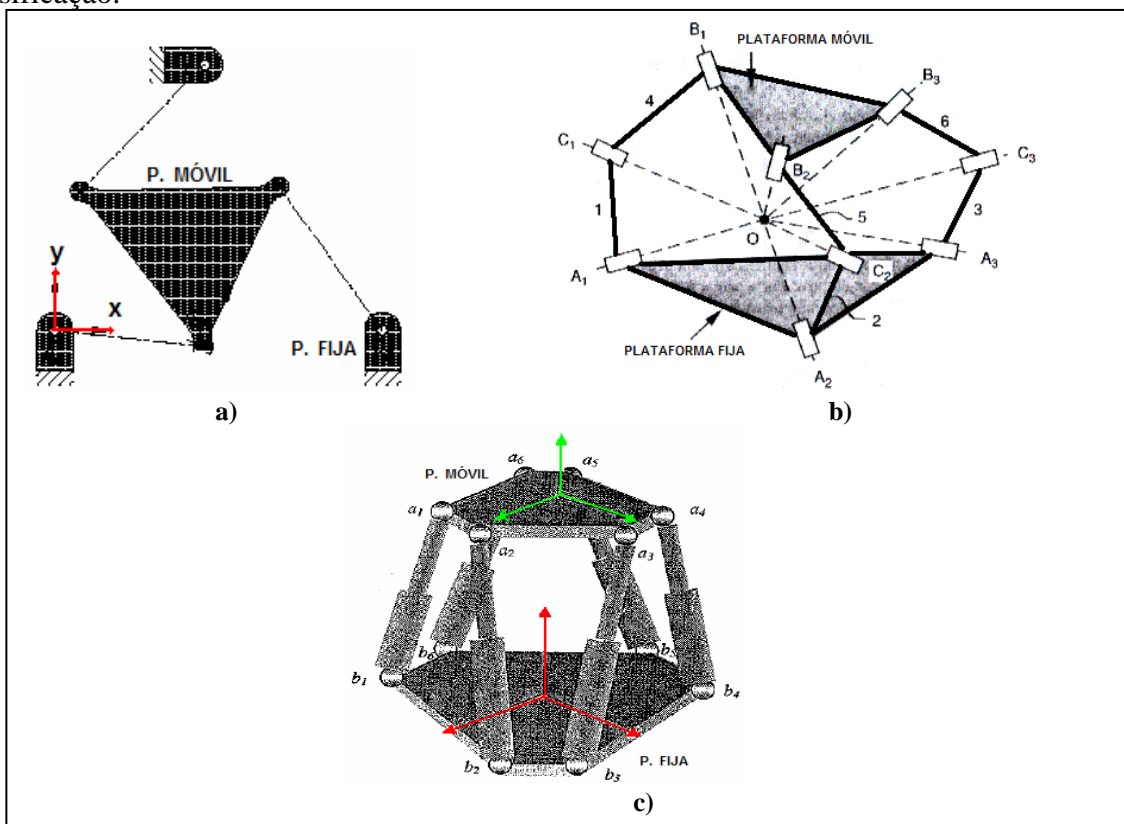


Figura 1.3 Classificação de robôs paralelos de acordo com seus movimentos; a) planar, b) esférico, c) espacial

Também podem se classificar de acordo com suas características estruturais como simétricos e assimétricos. Um manipulador paralelo é chamado de simétrico se segue as seguintes condições: O número de encadeamentos deve ser igual ao número de graus de liberdade da plataforma móvel; o tipo e número das articulações em todos os encadeamentos devem estar fixos em um modelo idêntico; o número e a localização das articulações e dos atuadores devem ser os mesmos. Quando as condições mencionadas não se cumprem, o manipulador é chamado assimétrico. Pode-se observar então que nos robôs paralelos simétricos o número de encadeamentos, m , é igual ao número de graus de liberdade F , cujo qual é igual ao número total de cadeias cinemáticas, L . Isto pode se expressar como $m=F=L$.

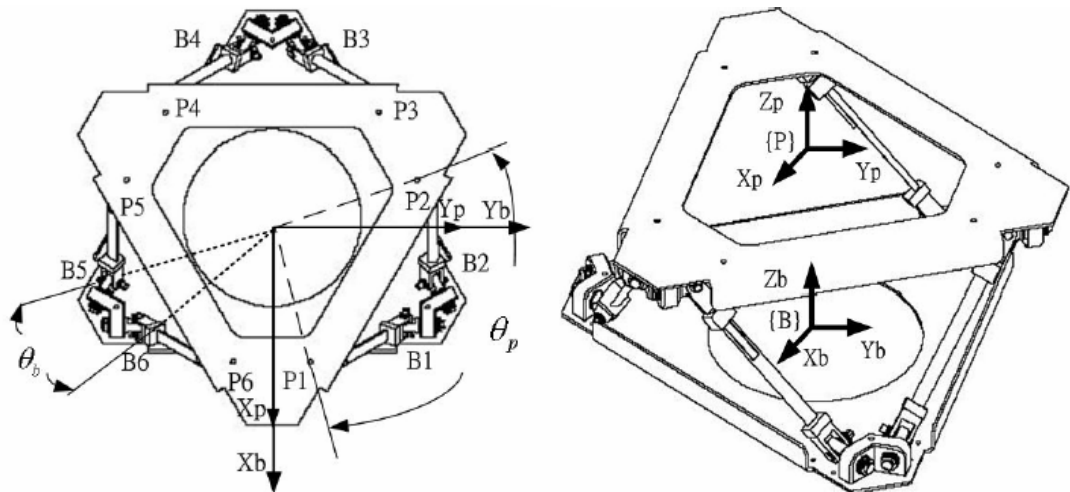


Figura 1.4 Posição e orientação das juntas na Plataforma Stewart

2. OBJETIVOS

Com o objetivo de motivar os alunos está sendo desenvolvida para o Laboratório de Engenharia de Controle e Automação uma série de equipamentos para testes, avaliação e experimentação comuns em veículos reais, mas nesse caso em escala reduzida, empregando os mesmos conceitos básicos e dispositivos dos equivalentes em tamanho real. Logo, o objetivo deste trabalho é desenvolver um equipamento com atuação pneumática e controle digital a ser empregado para testes e demonstrações no Laboratório de Engenharia de Controle e Automação. Tal equipamento, o simulador, é um sistema mecatrônico que reproduz as principais atitudes e movimentos de um veículo, comandado pelos mesmos elementos do sistema real.

Sobre a plataforma propriamente dita é montada a cabine ou carroceria do veículo, dentro da qual o piloto (ou motorista) comanda o sistema e, deste modo, tem as mesmas sensações de estar controlando o veículo real, sem riscos ou temor de acidentes. O mecanismo articulado, com 6 graus de liberdade, é capaz de reproduzir os três ângulos de atitude - rolagem, arfagem e guinada, e os deslocamentos lineares - lateral, vertical e longitudinal, com limitações, porém com amplitude suficiente de modo a possibilitar as principais sensações associadas ao veículo real em condições normais de operação, e até em algumas situações consideradas de risco, como a perda de sustentação em aeronaves, ou o início da capotagem em veículos terrestres.

3. METODOLOGIA / RESULTADOS

Inicialmente foi estudado o sistema de monitoramento e controle de um conjunto válvula-atuador pneumático-transdutor já desenvolvido e disponível no laboratório (figura 3.1) e as arquiteturas comumente empregadas nos simuladores de movimento.



Figura 3.1 Conjunto válvula-atuador pneumático-transdutor já desenvolvido

Com base nos atuadores deste conjunto, foi realizado um projeto para a plataforma utilizando o software SolidWorks®, um programa de modelagem 3D (figura 3.2). Com esta ferramenta pôde-se observar o comportamento geométrico e cinemático da plataforma.

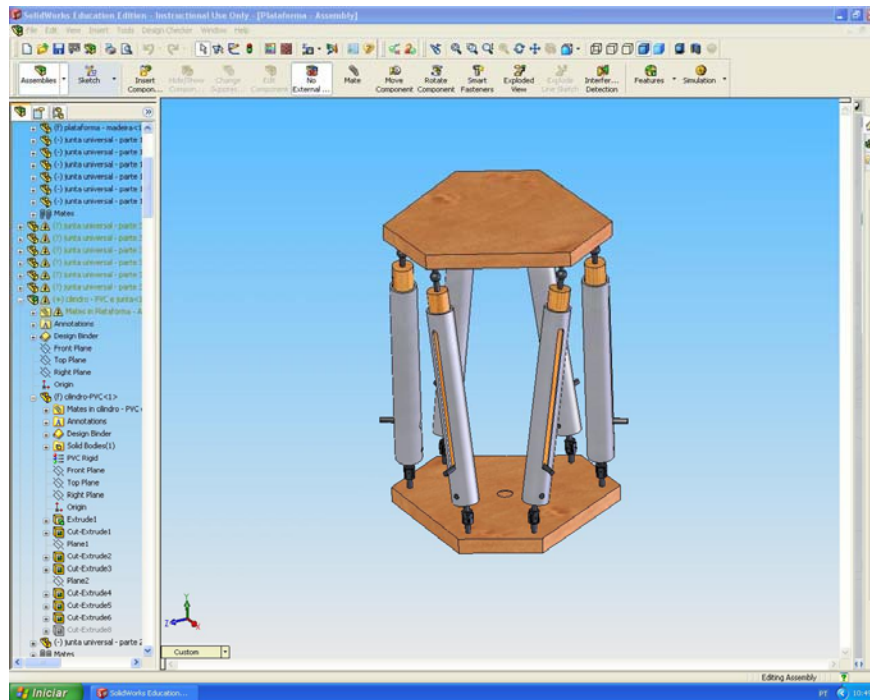


Figura 3.2 Protótipo de madeira

Em seguida o protótipo foi construído. O topo, a base e a parte interna de cada atuador foram feitos em madeira. A parte externa dos atuadores foi feita com tubos de PVC e as juntas usadas são de plástico com elementos de ligação metálicos. Também foram utilizados parafusos com porcas borboletas para formar o elemento de fixação de cada atuador no protótipo, que se encontra no Laboratório de Engenharia de Controle e Automação (figura 3.3).



Figura 3.3 Protótipo da Plataforma Stewart construído

Também foi feito um projeto da Plataforma Stewart utilizando o conjunto válvula-atuador pneumático-transdutor anteriormente citado. As figuras 3.4, 3.5 e 3.6 mostram o desenho tridimensional do projeto.

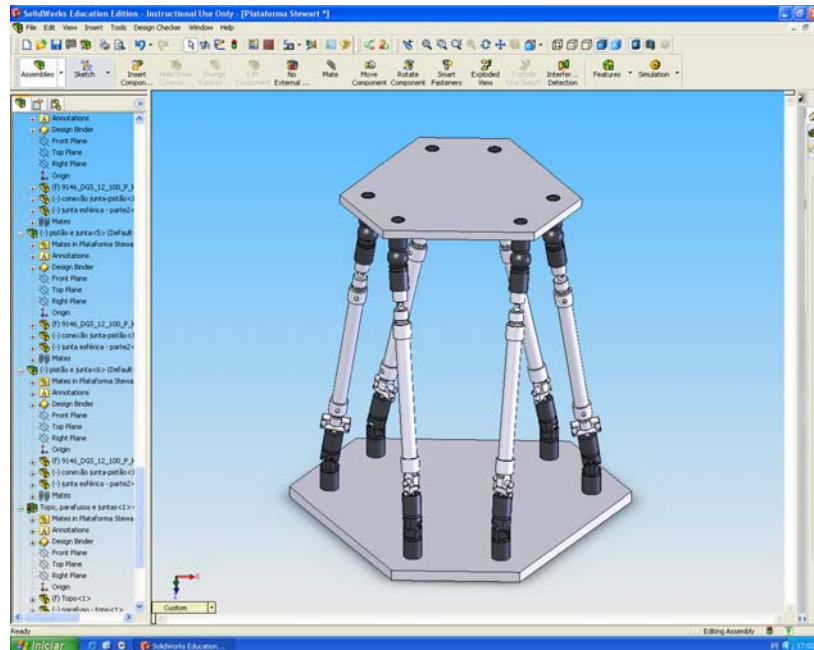


Figura 3.4 Modelo de Plataforma Stewart

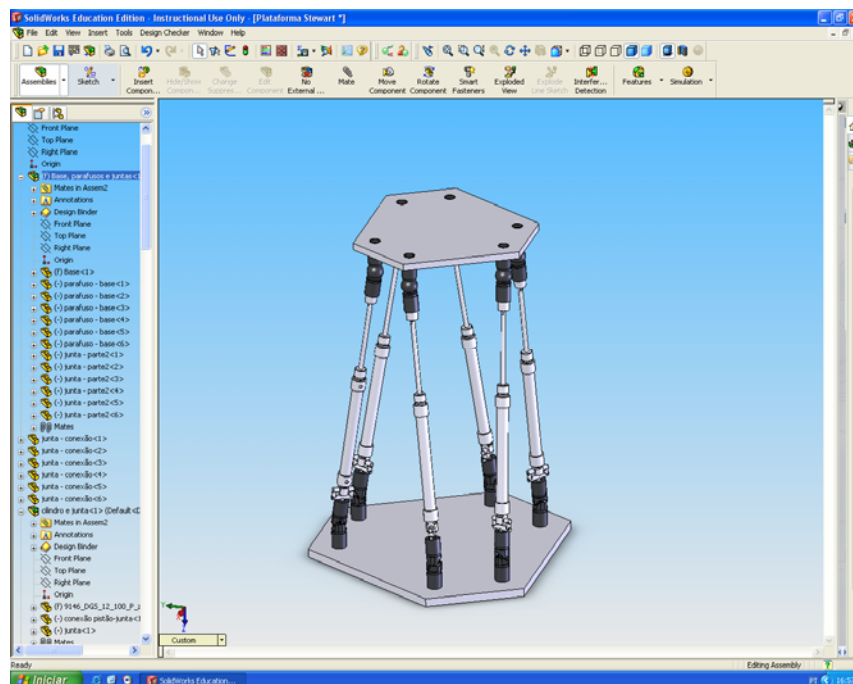


Figura 3.5 Modelo de Plataforma Stewart (vista em perspectiva)

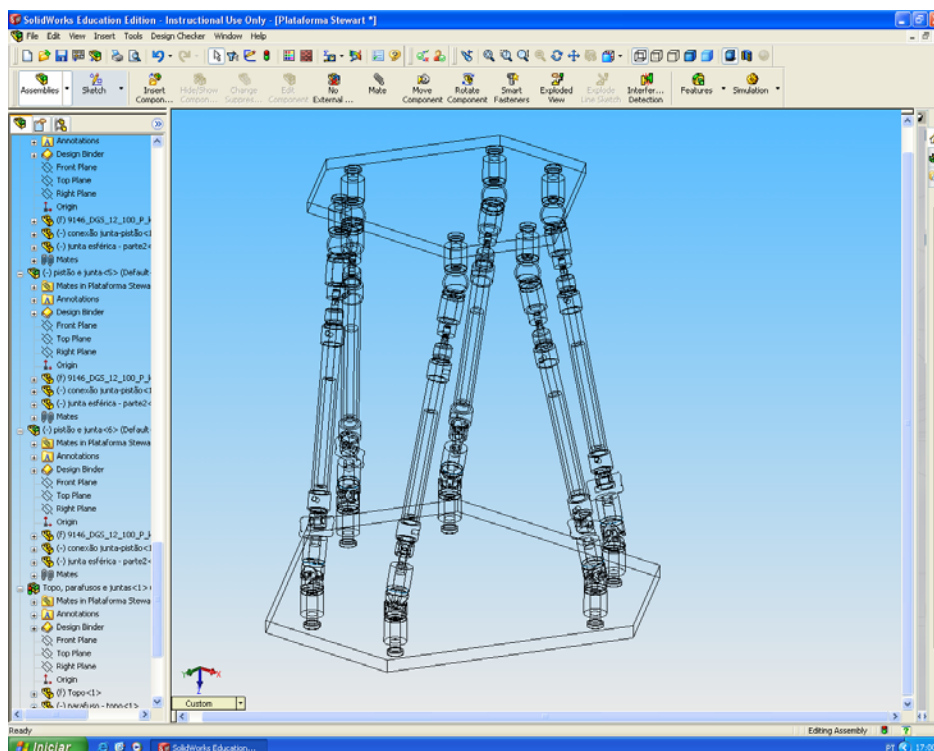


Figura 3.6 Modelo de Plataforma Stewart (wire frame)

Uma vez estudado o sistema composto por válvula-atuador, um novo conjunto de atuadores e válvulas foi adquirido para ser estudado, a fim de se conhecer suas capacidades de posicionamento e resposta a frequências diferentes. O conjunto adquirido é semelhante ao mostrado na figura 3.7. Para isto, construiu-se uma bancada que está disponível no laboratório (figuras 3.8 e 3.9).

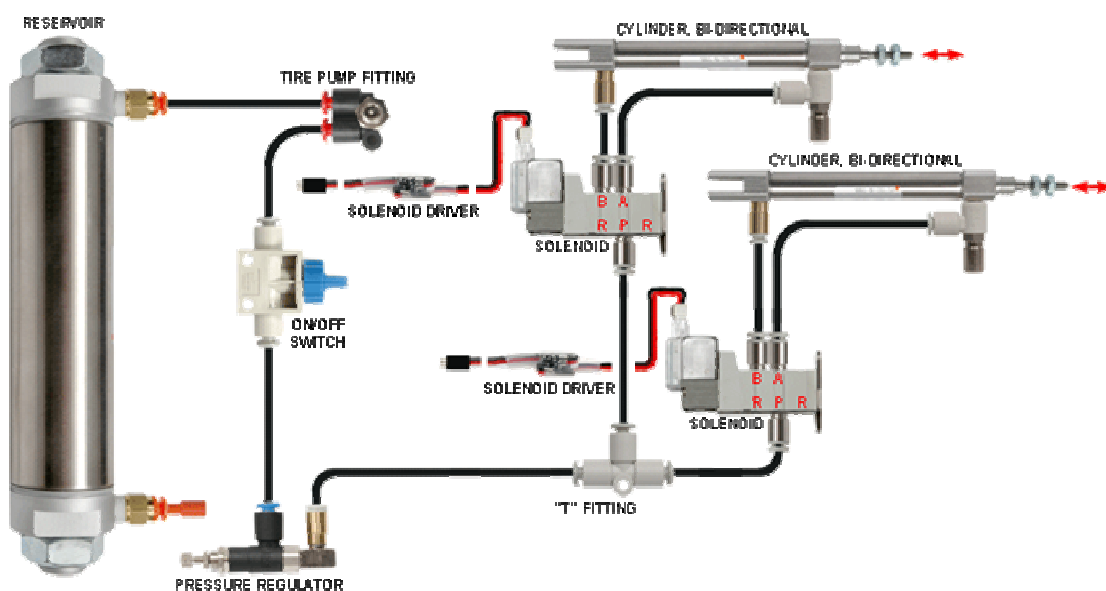


Figura 3.7 Conjunto adquirido

Nestes atuadores produzidos pela SMC, a pressão máxima de trabalho é 100 psi, com diâmetro do êmbolo de 10mm, curso de 50mm e força máxima aplicável de 54 N.

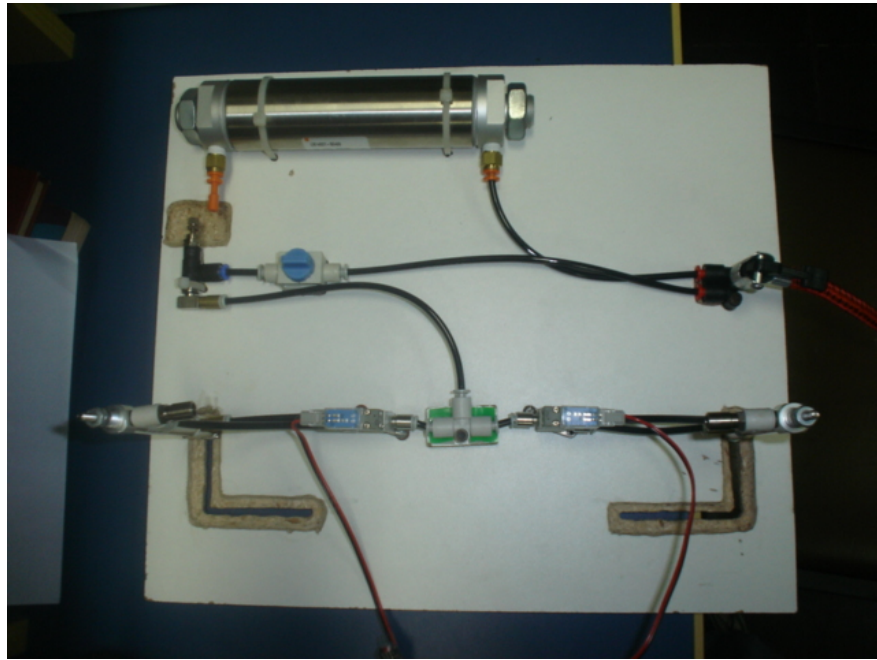


Figura 3.8 Bancada para testes do sistema válvula-atuador

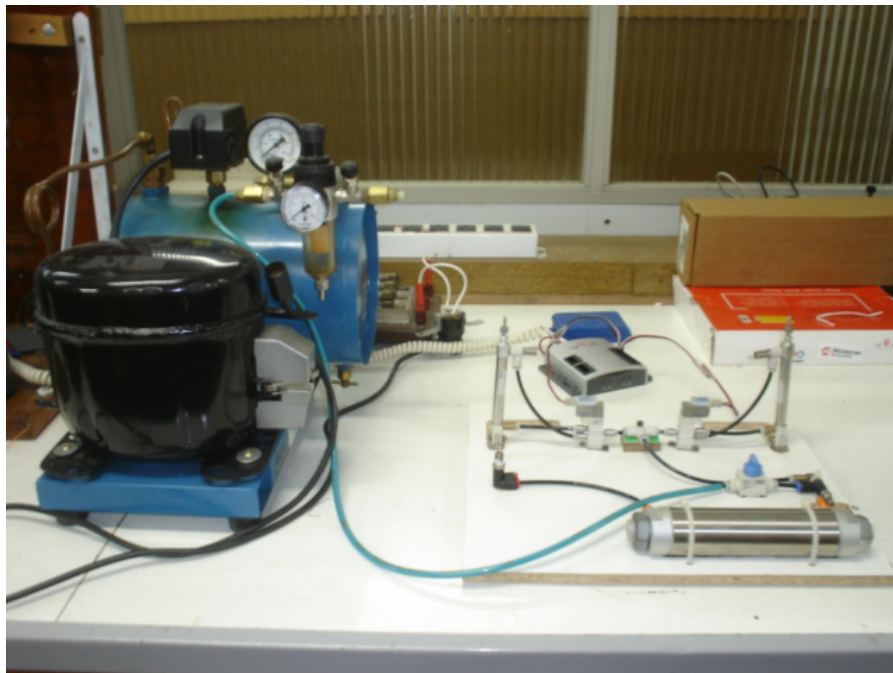


Figura 3.9 Bancada com o micro-controlador (cinza, um pouco à direita do centro) e sistema de alimentação de ar

Neste sistema, as válvulas solenóides (eletromecânicas) eram comandadas por um micro-controlador, uma placa onde a rotina de programação era praticada. A esta placa (hardware) associava-se um programa da VEXTM (o software EasyC[©]) no qual os programas eram implementados, compilados e “baixados” para a placa, que por sua vez, transmitia as informações diretamente para a válvula através de interface apropriada. O sistema era alimentado por um compressor (uma adaptação feita com um compressor de geladeira que já existia no laboratório – figura 3.10) que o alimentava com uma pressão em torno de 60 psi.



Figura 3.10 Compressor utilizado para alimentar o sistema



Figura 3.11 Programação dos atuadores da bancada

Este software tinha como base de programação a linguagem computacional C e, depois de implementados vários tipos de programas, pôde-se aferir as propriedades do sistema pneumático em questão. Primeiramente, foi desenvolvido um programa para simplesmente

testar o funcionamento da válvula. Este programa simplesmente ligava e desligava válvula automaticamente com intervalos de dois segundos, como se pode observar na figura 3.12.

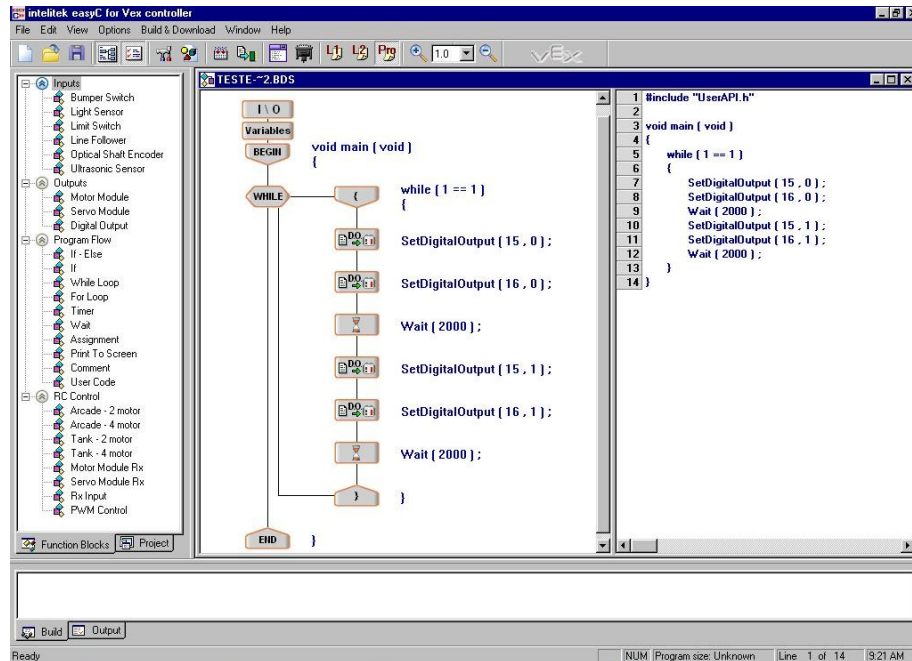


Figura 3.12 Programa para teste simples de funcionamento da válvula

Vários tipos de testes foram realizados. Um deles foi o teste de reposta à diversas frequências, variando de 1 a 60 Hz (figura 3.13). Com estes testes pôde-se observar a variação máxima de amplitude do atuador com o aumento da frequência, para assim poder projetar suas condições ideais de uso. Outro programa realizado possibilitou o controle dos atuadores através de um controle remoto, também da VEX™ (figura 3.14). Um último programa compilado com esta ferramenta utiliza os vários canais do controle remoto para fazer com que os atuadores elaborem diferentes funções (figura 3.15).

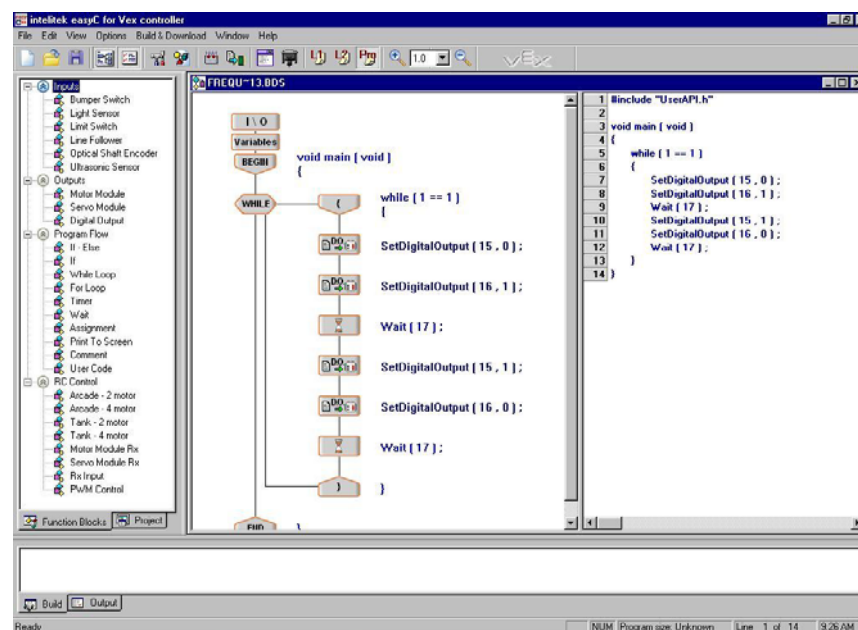


Figura 3.13 Programa para teste de resposta a altas frequências – 60 Hz

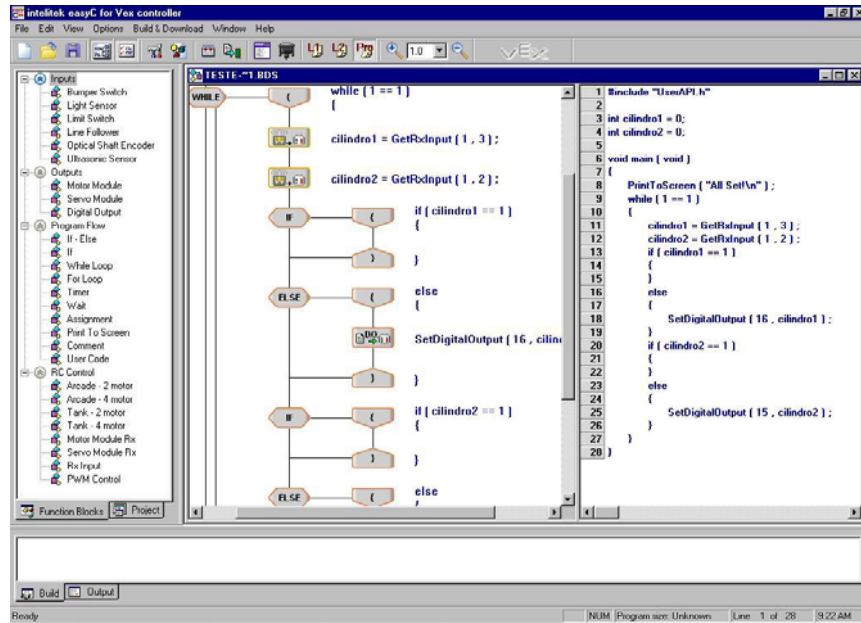


Figura 3.14 Programa para controle da válvula através de um controle remoto VEX

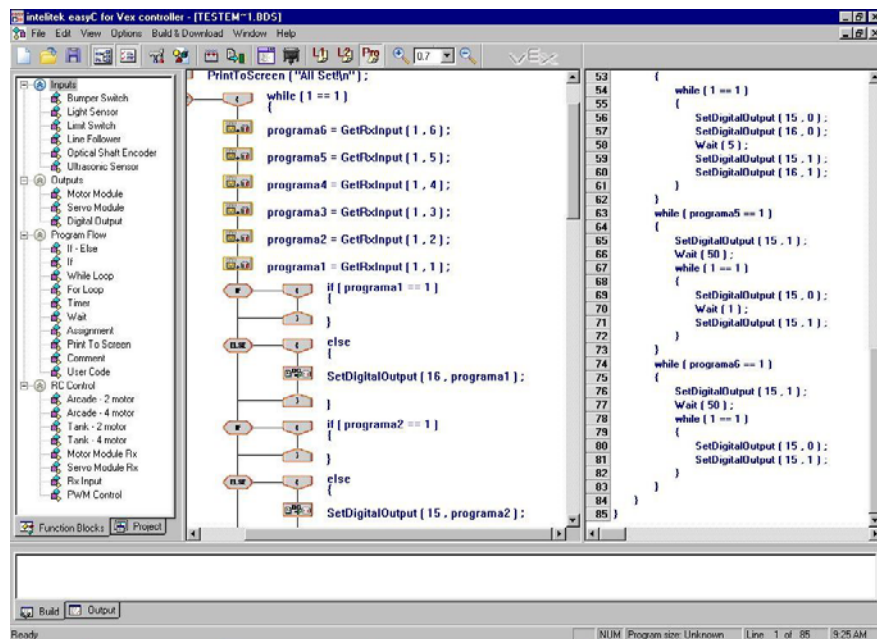


Figura 3.15 Programa para testes de diversas funções através do controle remoto

Em paralelo com o estudo do sistema pneumático, realizou-se o desenvolvimento do projeto da plataforma em um ambiente virtual de modelagem tridimensional. O software utilizado foi o SolidWorks®. Com os resultados obtidos nos testes com o sistema pneumático, foram escolhidos e modelados os componentes necessários para se construir o equipamento usando a modelagem tridimensional. Usando a modelagem tridimensional oferecida pelo *software* pôde-se construir o aparato em ambiente virtual e testá-lo, quanto a seus graus de liberdade e quanto aos limites de sua geometria de movimentação (figura 3.16 a figura 3.19).

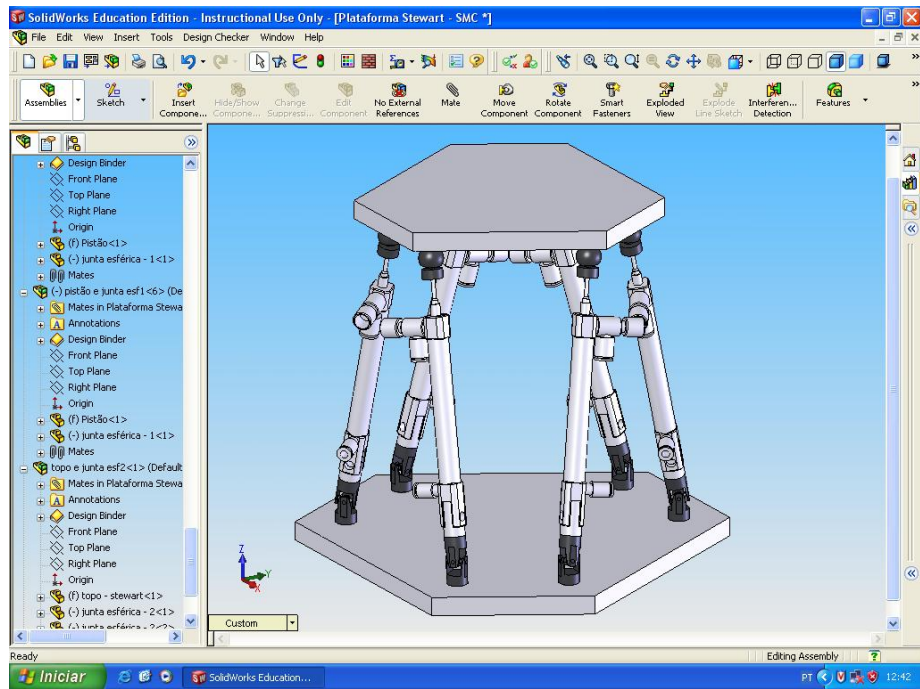


Figura 3.16 Plataforma Stewart utilizando atuadores SMC

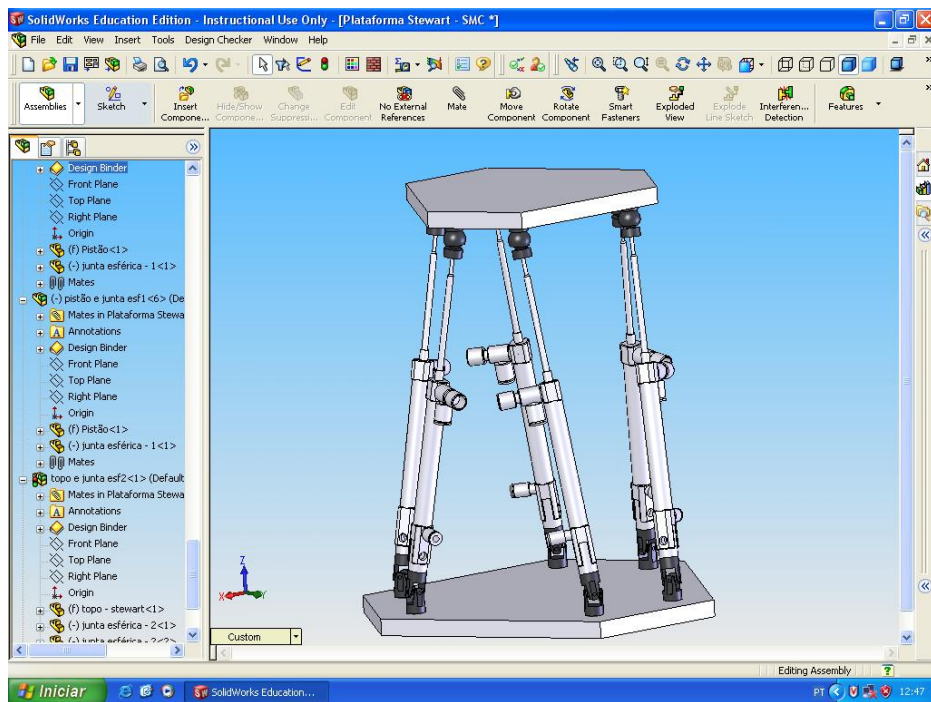


Figura 3.17 Plataforma Stewart utilizando atuadores SMC (simulação de movimento vertical)

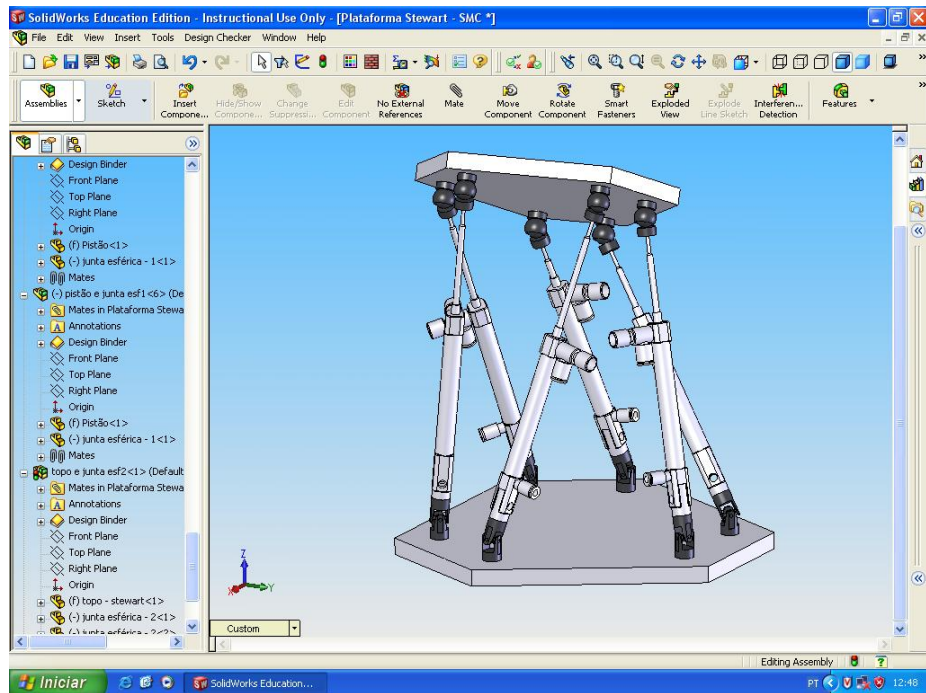


Figura 3.18 Plataforma Stewart utilizando atuadores SMC (simulação de movimento angular)

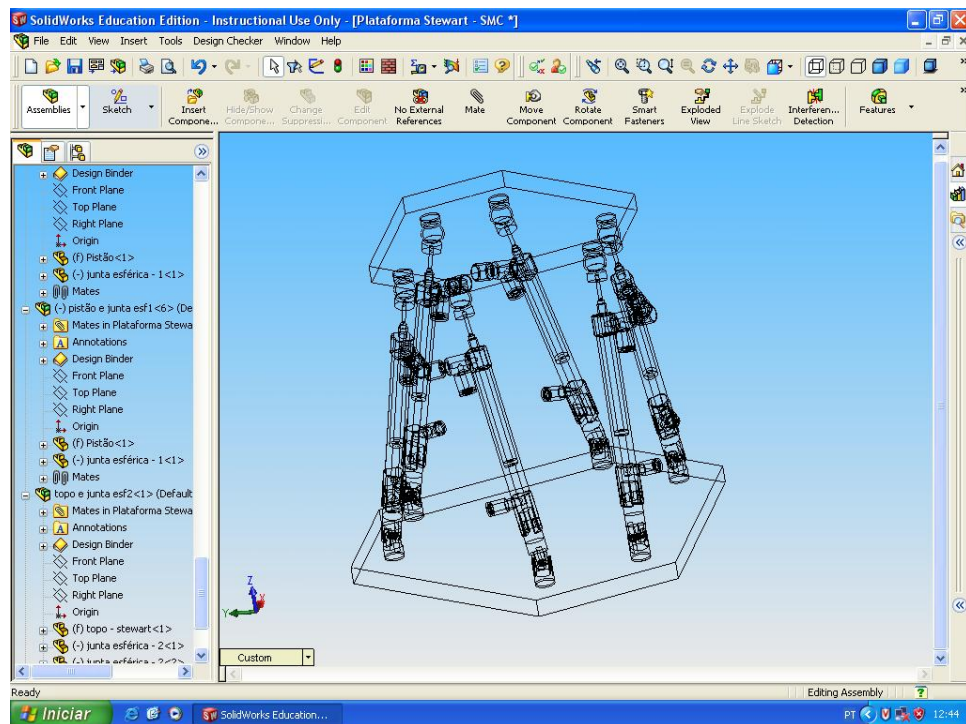


Figura 3.19 Plataforma Stewart utilizando atuadores SMC (wire frame)

Para realizar este modelo, cada peça precisou ser modelada separadamente, tais como o topo, a base, cada uma das partes móveis das juntas universais e esféricas, os parafusos e outras peças de acoplamento, o corpo do atuador e seu cilindro.

Também se fez um projeto de um simulador vertical para sistemas de suspensão veicular em escala. Este simulador vertical também segue a linha dos robôs paralelos, porém,

este consiste em quatro atuadores com apenas um grau de liberdade posicionados de forma a se conectar com as rodas do veículo a ser testado. Cada atuador fica preso a uma roda e, através de válvulas eletro-mecânicas, suas posições são controladas, possibilitando assim a simulação de diversos tipos de terrenos e situações num veículo em escala (figuras 3.20 e 3.21).

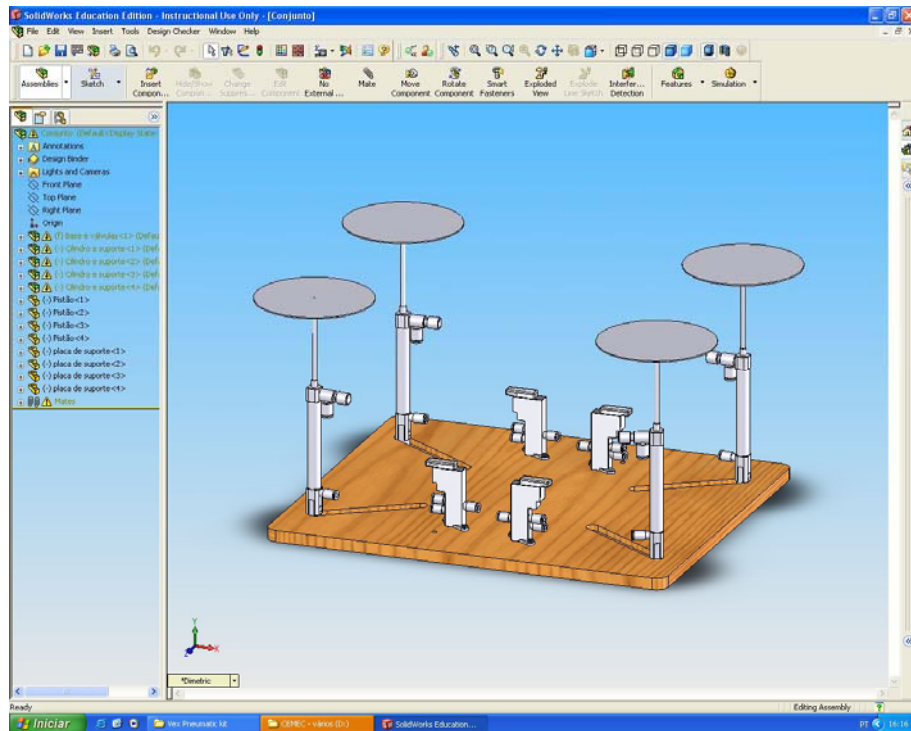


Figura 3.20 Simulador Vertical utilizando válvulas e atuadores SMC

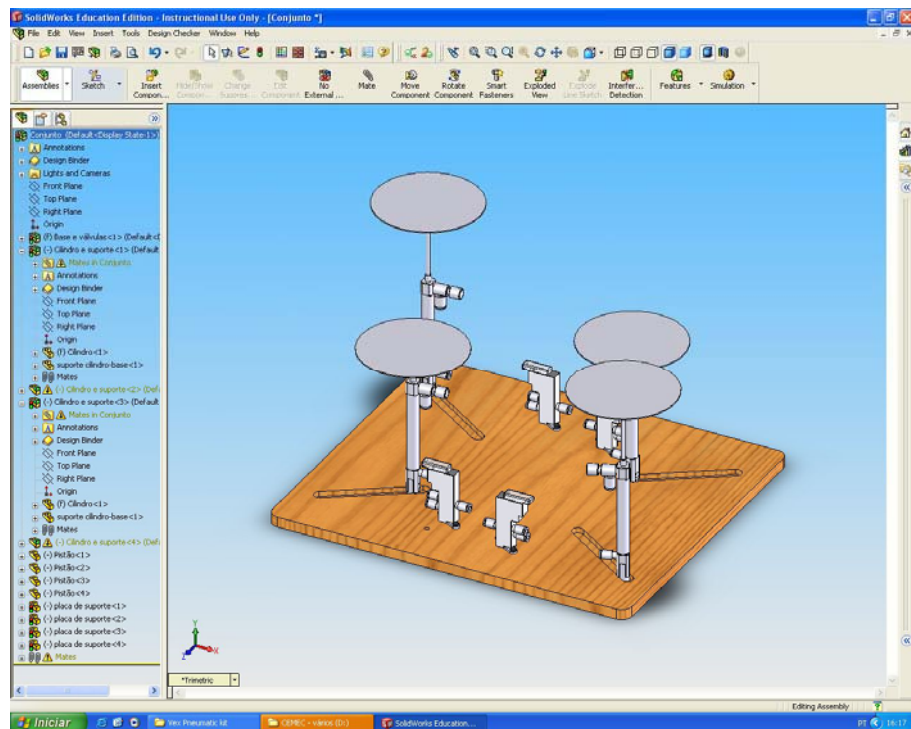


Figura 3.21 Simulador Vertical (simulação de movimento)

Em seguida foi estudado o programa LabView da National Instruments para desenvolver rotinas de controle e monitoramento do simulador, substituindo o EasyC, por se tratar de um programa mais completo e que atende melhor as especificações para o controle da plataforma de simulação.

4. CONCLUSÕES / TRABALHOS FUTUROS

Com a primeira parte do projeto concluída, o desenvolvimento segue para a etapa final. Nesta nova etapa a plataforma final será montada e depois programada e testada. A primeira etapa, além de ser essencial para o desenvolvimento da plataforma, gerou diversos equipamentos que, assim como a plataforma no futuro, podem ser usados para fins didáticos no laboratório. Entre estes estão a bancada de teste do sistema de atuadores pneumáticos controlados por válvulas solenóides (figura 4.1) e um protótipo da plataforma em madeira e polímero (PVC, no caso) movida manualmente (figura 4.2 a figura 4.4). Todos estes se encontram no Laboratório de Engenharia de Controle e Automação (LECA).



Figura 4.1 Bancada de testes do sistema de atuadores pneumáticos



Figura 4.2 Protótipo construído - posição mais baixa e mais alta sem rotação



Figura 4.3 Protótipo - rotação simples e com translação



Figura 4.4 Protótipo – rotação e translação (inclinações máximas)

A continuação deste projeto de Iniciação Científica, que já se encontra em andamento, será baseada na aprimoração do controle sobre o conjunto válvula-atuador utilizando o LabView, em estudos da dinâmica da Plataforma, na finalização da construção da mesma e nos testes subseqüentes.

AGRADECIMENTOS

O autor deste trabalho gostaria de agradecer ao CNPq, CAPES e FAPERJ pelo seu apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- LEBRET, G., LIU, K. e LEWIS, F. L. **Dynamic analysis and control of a Stewart platform manipulator.** J.Robot. Syst., vol. 10, no. 5, pp.629–655, 1993.
- GOUGH, V. E. e WHITEHALL, S. G. **Universal type test machine.** Em Proc.9th Int. Tech. Congress FISITA, 1962, pp. 117–137.
- Chin-I HUANG, Chih-Fu CHANG, Ming-Yi YU e Li-Chen FU. **Sliding-mode tracking control of the Stewart Platform.** Department of Electrical Engineering and Department of Computer Science and Information Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.
- SMITH, Natalie e WENDLANDT, Jeff. **Creating a Stewart Platform Model Using SimMechanics.** MATLAB Digest - Newsletters, The MathWorks.
- TAPIA, Benjamín Cortés e MÉNDEZ, Sergio Javier Torres. **Robot paralelo planar para ensamble.** División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Puebla, Maravillas, Col. (<http://www.itpuebla.edu.mx>)
- DASGUPTA, Bhaskar e MRUTHYUNJAYA, T. S. **The Stewart platform manipulator: a review.** Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology, Kanpur 208 016, Índia e Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore 560 012, Índia. Received 13 January 1998; accepted 18 December 1998. Available online 2 September 1999.
- VEX Robotics Inventor's Guide. Innovation One, Inc. TX, USA. 11/04.