



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-10119-RPQ/246

**UMA APRESENTAÇÃO DOS SISTEMAS, EQUIPAMENTOS, RECURSOS E ESTUDOS EM GUIAGEM E CONTROLE DESENVOLVIDOS NA DIVISÃO DE MECÂNICA ESPACIAL E CONTROLE – DMC DO INPE (VERSÃO 1)**

Paulo Giacomo Milani,  
Roberto Vieira da Fonseca Lopes,  
Petrônio Noronha de Souza,  
Antonio Claret Palerosi,  
Otávio Durão,  
Valdemir Carrara,  
Mário César Ricci,  
Ijar Milagre da Fonseca,  
Helio Koiti Kuga,  
Antonio Felix Martins Neto

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma compilação de uma grande parte dos desenvolvimentos em Guiagem e Controle realizada na Divisão de Mecânica Espacial e Controle – DMC do INPE. Esses desenvolvimentos foram realizados ao longo dos anos de existência da referida Divisão e incluem descrições do que foi realizado, algumas características técnicas, a participação da DMC no desenvolvimento citado e a maioria das publicações ocorridas no INPE e em outros lugares. Após a Introdução apresenta-se no Capítulo 2 os Sensores para Guiagem e Controle. Depois, no Capítulo 3, apresenta-se uma descrição dos Atuadores. No Capítulo 4 apresentam-se as realizações relativas a Veículos e Estudos dos Respective Sistemas de Navegação, os quais se basearam pelo menos nos sensores e atuadores anteriormente descritos. Destacam-se neste tópico todos os satélites, plataforma de microgravidade e foguetes com os quais a DMC teve oportunidade de trabalhar. A seguir, no Capítulo 5, apresentam-se os Meios de Simulação e Caracterização que foram desenvolvidos e/ou utilizados ao longo dos anos. No Capítulo 6 mostram-se as simulações e os softwares desenvolvidos para os assuntos relacionados a este trabalho. No Capítulo 7 lista-se as teses de mestrado e doutorado desenvolvidas pelos membros da DMC ou orientadas pelos mesmos. No Capítulo 8 apresentam-se as publicações relacionadas ao tema deste documento mas que não haviam sido incluídas nos capítulos anteriores. No Capítulo 9 tem-se os Capítulos de Livros escritos sobre o assunto. As conclusões e sugestões de trabalhos futuros são apresentadas ao final.

## **ABSTRACT**

This work presents a compilation of the greatest part of the developments in Guidance and Control of the Space Mechanics and Control Division – DMC of the National Institute of Space Research – INPE. These developments have occurred during the years of existence of the referred Division since its beginning and include descriptions of what has been achieved, some technical characteristics, the participation of the DMC in the development itself and the greatest part of the publications published at INPE and at other institutions. After the Introduction the Chapter 2 presents Sensors for Guidance and Control. Afterwards in Chapter 3 it is presented a description of Actuators for the same proposal. In Chapter 4 are presented the achievements related to Vehicles and Studies of Their Respective Navigation Systems which were based on the Sensors and the Actuators previously described. This topic highlights all the satellites, microgravity platforms and rockets with which personnel from DMC has had the opportunity to work with. In the sequence in Chapter 5 are presented the Means of Simulation that were developed and or used over the years. In Chapter 6 are shown the simulations and the softwares developed for the subjects related to this work. In Chapter 7 there is a listing of the M.Sc. and Ph.D. thesis developed by the members of DMC or oriented by them. In Chapter 8 are presented the publications related to this same theme but were not included in the previous chapters. In Chapter 9 are presented chapters of books that have been written. At last the Conclusions and Suggestions of Future Work are presented.

"The inertial system uses deviations to generate corrective commands to drive the system from a position where it is, to a position where it isn't, arriving at the position where it wasn't, it now is. Consequently the position where it is, is now the position where it wasn't and it follows the position where it was is the position where it isn't. "

Copyright: ARINC 561 Manual, August 1976

(from: Navhouse Global Avionics, <http://navhouse.northstar-aerospace.com/profile.html>)

## ÍNDICE

<b>RESUMO</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2 SENSORES PARA GUIAGEM E CONTROLE</b>	<b>10</b>
2.1 Sensor de Estrelas .....	10
2.2 Sensores Giroscópicos.....	10
2.3 SMAN – Sistema Modular de Atitude e Navegação .....	12
2.4 Sensor de Horizonte.....	13
2.5 Sensor GPS .....	15
2.6 Bloco Girométrico .....	16
2.7 Bloco Acelerométrico.....	17
<b>3 ATUADORES PARA GUIAGEM E CONTROLE</b>	<b>20</b>
3.1 Amortecedor de Nutação para Satélites SCD1, SCD2 e SCD2A .....	20
3.2 Bobinas de Controle de Velocidade e de Spin .....	23
3.3 Torque Rods .....	24
3.4 Mecanismo Ioiô .....	25
3.5 Experimento Roda de Reação – ERR .....	26
3.6 Amortecedor de Nutação do Sistema de Controle da Atitude para Satélite Científico.....	29
3.7 Estrutura Mecânica e Sistema de Controle de Atitude do Telescópio MASCO.....	31
3.8 Propulsores a Hidrazina.....	33

3.9	Sistema de Pára-Quedas e Bóia para Recuperação da PSO <sub>1</sub> .....	35
3.10	Sistemas de Jatos de Gás Frio.....	36
<b>4</b>	<b>VEÍCULOS E ESTUDOS DOS RESPECTIVOS SISTEMAS DE ESTABILIZAÇÃO E CONTROLE</b>	<b>39</b>
4.1	Estabilização do SCD1 por Gradiente de Gravidade.....	39
4.2	Estabilização do SCD1 por rotação.....	39
4.3	Determinação Preliminar de Atitude do SCD-1 e do SCD-2.....	40
4.4	Estabilização e Controle do SACI-1.....	41
4.5	Estabilização e Controle do SACI-2.....	43
4.6	Estabilização e Controle do Satélite SSR.....	44
4.7	Estabilização e Controle do Satélite SCD2.....	46
4.8	Determinação de Órbita e Atitude por GPS.....	47
4.9	Estação Espacial Internacional e Satélites em Geral.....	48
4.10	Controle de Órbita e Atitude do CBERS.....	50
4.11	Plataforma SubOrbital – PSO e respectivo sistema de estabilização inercial .....	51
4.12	Protótipo de um mecanismo de acionamento de painel solar.....	54
<b>5</b>	<b>MEIOS DE CARACTERIZAÇÃO, SIMULAÇÃO E TESTES PARA SENSORES, ATUADORES E SISTEMAS DE CONTROLE DE ATITUDE E ÓRBITA (SCAO) DE SATÉLITES</b>	<b>56</b>
5.1	Pêndulo para testes funcionais do Amortecedor de Nutação.....	56
5.2	Mesa de Rotação Controlada.....	57
5.3	Mesa de Mancal a Ar de 1 Eixo.....	60
5.4	Mesa de Mancal a Ar de 3 Eixos.....	62
5.5	Modelo Experimental de Roda de Reação.....	64
5.6	Métodos para Testes de Sensores Inerciais.....	65

<b>5.7</b>	<b>Arquitetura do Laboratório de Simulação .....</b>	<b>65</b>
<b>5.8</b>	<b>Desenvolvimentos para Laboratório de Simulação .....</b>	<b>66</b>
5.8.1	Placas para controle do Simulador Dinâmico em 3 eixos.....	66
5.8.2	Softwares para placas de controle do Simulador Dinâmico em 3 eixos ....	67
<b>5.9</b>	<b>Instrumentação e Sistema de Telemetria e Telecomandos para Mesa de Mancal a Ar .....</b>	<b>68</b>
<b>5.10</b>	<b>Suporte para espelho octogonal para alinhamento de Simulador em 3 eixos .....</b>	<b>70</b>
<b>5.11</b>	<b>Serviços prestados para terceiros .....</b>	<b>70</b>
<b>6</b>	<b>SIMULAÇÕES E SOFTWARES</b>	<b>72</b>
<b>6.1</b>	<b>Programa para o cálculo da posição do centro de massa e dos momentos e direções principais de inércia de um arranjo mecânico genérico de sólidos homogêneos – Software “Inércia-262” .....</b>	<b>72</b>
<b>6.2</b>	<b>Dinâmica do Amortecedor de Nutação para o SCD2 .....</b>	<b>72</b>
<b>6.3</b>	<b>Dinâmica do Amortecedor de Nutação para o SACI-1 .....</b>	<b>73</b>
<b>6.4</b>	<b>Levantamento e Correção de Erros em Sensores de Horizonte .....</b>	<b>73</b>
<b>6.5</b>	<b>Testes para caracterização do Amortecedor de Nutação dos satélites da série SCD em Mesa de Rotação Controlada .....</b>	<b>74</b>
<b>6.6</b>	<b>Testes para ajuste de modelo numérico de simulação do Amortecedor de Nutação dos satélites da série SCD em Simulador Dinâmico com Mancal Esférico Aerostático .....</b>	<b>76</b>
<b>6.7</b>	<b>Modelagem e Simulação do AOCS do SSR .....</b>	<b>78</b>
<b>6.8</b>	<b>Simulação do Movimento de Abertura dos Painéis Solares do CBERS .....</b>	<b>78</b>
<b>6.9</b>	<b>Estudos de Mecanismos de Abertura .....</b>	<b>81</b>
6.9.1	Modelagem de Sistema Ativo de Abertura de Painéis Solares .....	81
6.9.2	Desenvolvimento de Liga com Memória de Forma.....	81
6.9.3	Estudos de Atuadores em Liga com Memória de Forma.....	82
<b>7</b>	<b>ALGUNS PROGRAMAS E SOFTWARES DESENVOLVIDOS E RESPECTIVOS AMBIENTES DE DESENVOLVIMENTO</b>	<b>86</b>
<b>7.1</b>	<b>Programas para Análise de Missão:.....</b>	<b>86</b>

7.2	Um Experimento de Teste da Bobina de Rotação do SCD2 .....	90
8	<b>TESES EM GUIAGEM E CONTROLE</b>	<b>92</b>
9	<b>TRABALHOS PUBLICADOS EM GUIAGEM E CONTROLE (NÃO INCLUÍDOS ANTERIORMENTE)</b>	<b>97</b>
9.1	Trabalhos em Geral .....	97
9.2	Estudos prospectivos para o desenvolvimento de uma roda de reação para o SSR. Estes estudos motivaram o desenvolvimento do Experimento Roda de Reação para o SCD-2.....	101
9.3	Estudo de avaliação do papel da mecânica de precisão no desenvolvimento de satélites do INPE .....	102
9.4	Estudo prospectivo em oportunidades de cooperação com a China .....	102
9.5	Estudo prospectivo em oportunidades de desenvolvimento de pequenos satélites .....	102
9.6	Capítulos de Livros.....	102
10	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>103</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho procura apresentar uma compilação dos desenvolvimentos em termos de equipamentos de guiagem e controle realizados na Divisão de Mecânica Espacial e Controle – DMC desde o início de suas atividades no INPE.

Em um primeiro momento a atual DMC era chamada de Departamento de Mecânica Espacial e Controle, também com a mesma sigla atual. Em seguida houve uma fase em que a DMC foi dividida em duas, e na época eram chamadas de Departamento de Engenharia Mecânica – DEM e a Departamento de Guiagem e Controle – DGC, e depois foram reunificadas como DEM e, finalmente renomeada como DMC, sendo que desta feita com o prefixo de Divisão. As publicações dessa época também foram incorporadas a este documento.

Independente do nome, o presente documento apresenta sensores, atuadores, estudos realizados, e meios de caracterização e testes, nas diversas áreas de atuação da DMC relacionadas a Guiagem e Controle ao longo dos anos de sua existência. Foram pesquisados documentos e referências desde o ano de 1980.

Apresentam-se, também, teses de mestrado e doutorado orientadas ou produzidas pelo pessoal da DMC, particularmente considerando-se que a Coordenação e maioria dos professores do curso em Engenharia e Tecnologia Espaciais – Mecânica Espacial e Controle (ETE/CMC) pertence a essa mesma Divisão.

Finalmente apresentam-se os trabalhos dessa mesma área que não se enquadraram nas categorias acima.

Este trabalho é uma compilação parcial pois se limitou aos trabalhos de uma parte do pessoal presente na DMC no período em que este documento foi compilado, sendo necessário realizar um complemento ao que se apresenta neste instante caso seja desejado uma compilação exaustiva de todos os trabalhos já realizados na DMC. Isso deverá ser feito futuramente em outro documento.

Deve-se ressaltar que a DMC inclui outras áreas de atuação além de Guiagem e Controle, a saber: Dinâmica Orbital, Estruturas, Controle Térmico, Combustão e Propulsão e Pós Graduação. Em todas essas áreas uma grande quantidade de trabalhos e atividades foram e continuam sendo desenvolvidas, com numerosas publicações, o que justificaria a realização de diversos outros trabalhos semelhantes ao presente.

## 2 SENSORES PARA GUIAGEM E CONTROLE

### 2.1 Sensor de Estrelas

**Descrição do estudo desenvolvido:** software de identificação autônoma de estrelas incluindo tratamento de desalinhamentos e de distorções a bordo.

**O que foi feito na DMC:** implementação de vários procedimentos e softwares para identificar padrões de estrelas observadas por sensores estelares e implantação de um ambiente computacional para avaliar o desempenho dos diferentes procedimentos. Orientação de teses de mestrado nesse assunto (vide item 7). Mantém-se um Projeto de Cooperação com o DLR da Alemanha nesse tópico tendo-se realizado diversos trabalhos em conjunto.

#### **Produção Técnico-Científica**

Carvalho, G. B.; Lopes, R. V. F. Simulation and test environment for star identification techniques on space applications. In: Winter, O. C.; Prado, A. F. B. A., eds. Advances in space dynamics 3: applications in astronautics. São José dos Campos: INPE. 2002. p. 100-111.

Lopes, R. V. F. Optimal metric for a star pattern identification algorithm. In: Winter, O. C.; Prado, A. F. B. A., eds. Advances in space dynamics 3: applications in astronautics. São José dos Campos: INPE. 2002. p. 40-50.

Lopes, R.V.F.; Carvalho, G.B.; Silva, A.R. Star identification for three-axis attitude Estimation of French-Brazilian Scientific Micro-Satellite. In: Advances in the astronautical sciences, v.100, Part 2, p. 805-819, 1998. (Paper AAS 98-366).

Shuster, M.D.; Lopes, R.V.F. Parameter interference in distortion and alignment calibration. Advances in the astronautical sciences, v. 87, p. 595-611, 1994. (AAS 94-186).

### 2.2 Sensores Giroscópicos

**Descrição do sensor:** Sensor Giroscópico, tipo Dry Tuned Gyro (DTG) ou giro sintonizado a seco. Usado em montagens tipo “strap-down” para guiagem e controle de sistemas embarcados onde se requeiram informações de velocidades angulares. Este sensor realiza medidas em dois eixos, ortogonais entre si. O giroscópio propriamente dito tem dimensões de 54mm de comprimento por 43mm de diâmetro (máximo), e tem uma eletrônica associada com dimensões de 202x218x134mm. A massa total do conjunto eletrônica com sensor é de 4,3Kg. Ver Figuras 2.1 e 2.2.



Fig. 2.1 - Algumas peças já fabricadas do giroscópio DTG.



Fig. 2.2 - Estação de Testes de Giroscópios

**Características principais do sensor:** tipo DTG, deriva aleatória menor que  $5^0/h$ , fator de escala de  $10mV^0/h$ , escala de medida de  $\pm 100^0/s$ , tensões de alimentação de  $+5VDC$  e  $\pm 15VDC$ , potência total de 30W.

**O que foi feito na DMC:** Desenvolveu-se todo o projeto do sensor e da respectiva eletrônica de acionamento. Projetou-se e fabricou-se um conjunto de dispositivos de montagem específico para esse giroscópio. Projetou-se e fabricou-se um protótipo de uma Estação de Testes de Giroscópios DTG para auxílio ao desenvolvimento, integração e testes de giroscópios. Desenvolveu-se todos os processos de fabricação e fabricou-se quase todas as peças mecânicas necessárias à montagem de um primeiro protótipo do mesmo (90%, aproximadamente). Desenvolveu-se todos os processos de montagem do sensor. Todos os processos de fabricação e montagem estão compilados em documentos do Projeto.

### **Produção Técnico-Científica**

Belletti, C.L.C.M. **Projeto PSO, experimento Giro:** relatório de projeto mecânico. São José dos Campos: INPE, Divisão de Mecânica Espacial e Controle, 1998.

Milani, P.G. Os experimentos tecnológicos da Plataforma SubOrbital PSO1. Simpósio Brasileiro de Engenharia Inercial, 1., 20 - 24 nov. 1995. São José dos Campos.

Pires, C. **Anteprojeto da unidade de testes para giroscópios sintonizados.** São José dos Campos,: INPE, Divisão de Mecânica Espacial e Controle, 1998.

Pires, C. Projeto PSO, Experimento Giro: relatório de projeto eletro-eletrônico. São José dos Campos, INPE, Divisão de Mecânica Espacial e Controle, 1998.

### 2.3 SMAN – Sistema Modular de Atitude e Navegação

Processo FAPESP 97/13014-5; Programa PIPE – R\$ 300.000,00 (aprox.)  
Processo CNPq 610109/99.5; Programa RHAE – R\$ 194.000,00

**Descrição do equipamento:** Integração de receptores GPS (até um máximo de 4) e uma plataforma inercial contendo giroscópios e acelerômetros, para determinação de atitude e navegação. O equipamento, Figuras 2.3 e 2.4, desenvolvido até o nível de um protótipo, é composto por uma unidade de processamento PC-104, uma unidade de potência e digitalização e uma unidade de visualização (para desenvolvimento), além das unidades sensoras. O processamento otimizado dos sinais dos sensores integrados é feito através de um Filtro de Kalman. O sistema operacional utilizado é o QNX e o sistema contém todos os aplicativos para navegação e determinação de atitude através dos seus componentes atuando isoladamente ou de maneira integrada. Dimensões do equipamento em sua versão completa: 50x20x20 cm.

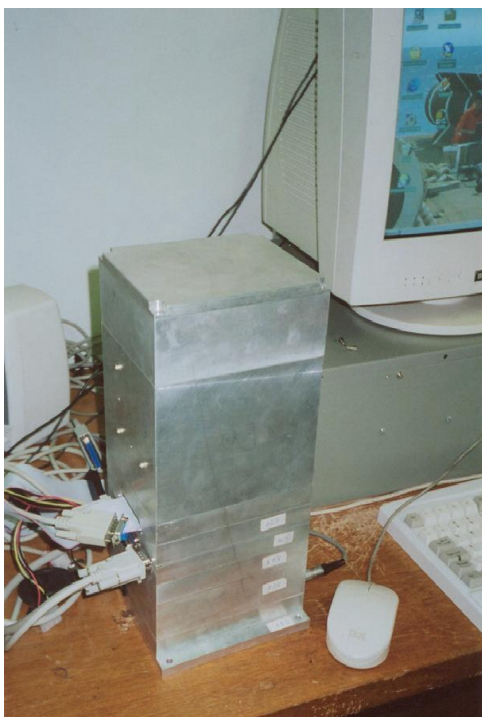


Fig. 2.3 - SMAN em testes de laboratório



Fig. 2.4 - Fotos do sistema SMAN

**Características principais:** A principal característica do equipamento e sua inovação (processo do protocolo de patente MU8202884-2 do INPI) é sua flexibilidade. Ou seja,

o equipamento é modular, podendo-se variar os sensores da unidade inercial conforme a precisão requerida pela aplicação e, portanto, seus custos. O software é parametrizado para permitir esta substituição. O protótipo desenvolvido utiliza um módulo de baixa precisão com giros Murata de estado sólido e acelerômetros de baixa precisão Analog Devices e outro de média precisão com giros de fibra ótica KVH e acelerômetros Honeywell. Foi desenvolvida uma interface padrão no equipamento para estes sensores com o processador PC-104.

**O que foi feito na DMC:** Toda a coordenação do trabalho ao longo de aproximadamente 3 anos e o desenvolvimento dos algoritmos de determinação de atitude com GPS, bem como sua programação, simulação e suporte à implementação e testes. O equipamento foi desenvolvido pela empresa NAVCON, localizada na incubadora tecnológica de São José dos Campos. O desenvolvimento do algoritmo de otimização de processamento (sinal integrado), programação, simulação e suporte à implementação e testes, foram feitos por pesquisador de outra unidade da ETE.

### **Produção Técnico-Científica**

Durão, O; Pires, C.L.G.; Schad, V.R. Plataforma integrada sensores inerciais/GPS. In: Simpósio Brasileiro de Engenharia Inercial, 2., out. 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), 1998, p. 91-95

Durão, O. et al. **Plataforma integrada sensores inerciais/GPS:** relatório final . Fase II. São José dos Campos: INPE, 2002. (INPE-9293-PRP/234). Programa PIPE/FAPESP

Schad, V.R.; Pires, C.L.G.; Durão, O. SMAN: sistema modular de atitude e navegação. In: Simpósio Brasileiro de Engenharia Inercial, 3., 24-26 out. 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** IPD/CTEx, p. 12 a 18. 1 DC-Rom.

Revista Pesquisa FAPESP, No rumo certo. Edição nº 77, Jul. 2002, p. 76-77

## **2.4 Sensor de Horizonte**

**Descrição do sensor:** Sensor de Horizonte de Varredura Cônica (modelo de engenharia). Foi desenvolvido em conjunto com a Divisão de Engenharia Aeroespacial (DEA) do INPE. É um sensor que utiliza um telescópio rotativo. O telescópio é constituído de um tronco de prisma que possibilita a refração de um campo de visada instantâneo (com cerca de  $1^\circ$  de raio) de  $45^\circ$ , uma lente tipo menisco de cerca de 36 mm e um filtro para filtrar a irradiação incidente na faixa do gás carbônico. Todo o sistema óptico é de germânio mono-cristalino com índice de refração 4. Um detector de irradiação infravermelha do tipo bolômetro é localizado no foco do sistema óptico (fixo na estrutura). O telescópio é apoiado em mancais de rolamento para instrumentação com precisão melhor que ABEC7. Durante a varredura do IFOV ele percorre a geratriz de um cone de meio ângulo de  $45^\circ$ . Quando o cone imaginário intercepta a esfera terrestre é gerado um sinal tipo onda quadrada que fornece informações a respeito dos ângulos de

arfagem e guinada do satélite.

**Características Principais do Sensor:** tipo SHVC, ângulo de varredura de 45°; velocidade de varredura 240 RPM, as medidas angulares fornecidas pelo detector são digitalizadas em duas interfaces de 16 bits com resolução de 0,01 °/bit; palavra de 8 bits para sinais de *housekeeping*; fonte chaveada que obtém as seguintes tensões de alimentação: +/-5VDC, +/-15VDC, +/-12VDC, +/-20VDC; potência total de 8W. O telescópio junto com eletrônica de pré-amplificação tem dimensões de 100mm de comprimento por 50mm de diâmetro, e tem uma eletrônica associada com dimensões aproximadas de 15x15x10cm. A massa total do conjunto é de 1,5Kg.

Desenvolveu-se todo o projeto termo-opto-mecânico do sensor. O sistema óptico, interface, fontes de alimentação, eletrônica do detector e controle de rotação do motor foram desenvolvidos na DEA. O sistema óptico e detector foram importados (CAST e Barnes). Desenvolveu-se todos os processos de montagem do sensor. Um importante trabalho de levantamento de fontes de erros foi feito (tanto determinísticos quanto aleatórios) os quais degradam a precisão do sensor. Mais de dez fontes de erros incluindo: variação de radiação terrestre devido a sazonalidade e latitude; forma achatada da Terra; termo-mecânicos; devido à eletrônica; quantização; nuvens; etc, foram levantadas. Foram elaborados algoritmos e procedimentos para cancelamento de erros determinísticos. Foi usado um software para cálculo de atrito em mancais de rolamento desenvolvido na DMC para estimar o torque gerado pelos mancais sob quaisquer condições operacionais.

### **Produção Técnico-Científica**

Brum, A.G.V., Modelagem matemática de sensores de horizonte de órbita baixa em computador digital. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 139p. (INPE-5968-TDI/572) out. 1993.

Brum, A.G.V.; Ricci, M.C. Horizon sensors attitude errors simulation for the brazilian remote sensing satellite. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, v. 16, p. 24-23, Special Issue 1994. (ISSN-0100-7386). International Symposium on Spacecraft Ground Control and Flight Dynamics (SCD1), 7-11 feb. 1994, São José dos Campos. **Proceedings...**

Rayalu, G.K.; Ricci, M.C.; Borlido; M.F.; Selingardi, M.L.; Bertolino, M.A. **Primeiro relatório de progressos do projeto sensor de horizonte**. São José dos Campos: INPE, abr. 1989. Não publicado.

Ricci, M.C. Algoritmo para detectar a presença do sol no campo de visão de sensores de horizonte de varredura cônica. Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 7., 21-25 nov. 1994. Santos.

Ricci, M.C. Erros sistemáticos em sensores de horizonte. Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 5., nov. 1990, Curitiba.

Ricci, M.C.; Carrara, V. Attitude errors due to misalignments in conical scanning earth sensors. Simpósio Brasileiro de Tecnologia Aeroespacial, 2., 17-21 out. 1994, São José dos Campos.

Varraschim, S. G., **Corda terrestre padrão e varrida devido a desalinhamentos em sensores de horizonte de varredura cônica.** São José dos Campos. 1993. Trabalho (Conclusão de curso) - EEI/CDT..

## 2.5 Sensor GPS

**Descrição do sensor:** Desenvolveram-se diversas aplicações relacionadas à adaptação para vôo e uso de sensores GPS. Destaca-se a realização de experimentos para a medida de atitude de satélites usando duas antenas, adaptação de sensores GPS tradicionais para uso em uma plataforma de microgravidade (PSO) em vôo de sondagem ionosférica (parabólico), desenvolvimento de algoritmos para eliminação do efeito de “multipath”, desenvolvimento de algoritmos para WAAS ou “augmentation systems” e redes de antenas para banda L. Ver Figura 2.5.

**Características principais:** Os sensores utilizados em todos os experimentos foram os disponíveis no mercado tradicional.

**O que foi feito na DMC:** Desenvolveu-se algoritmos para eliminação de “multipath”, para “augmentation”, desenvolveu-se um receptor GPS que foi embarcado na Plataforma SubOrbital – PSO e sua respectiva rede de antenas e, também, desenvolveu-se diversos programas para processamento de dados de sensores GPS, particularmente para sistemas aumentados (augmented systems).

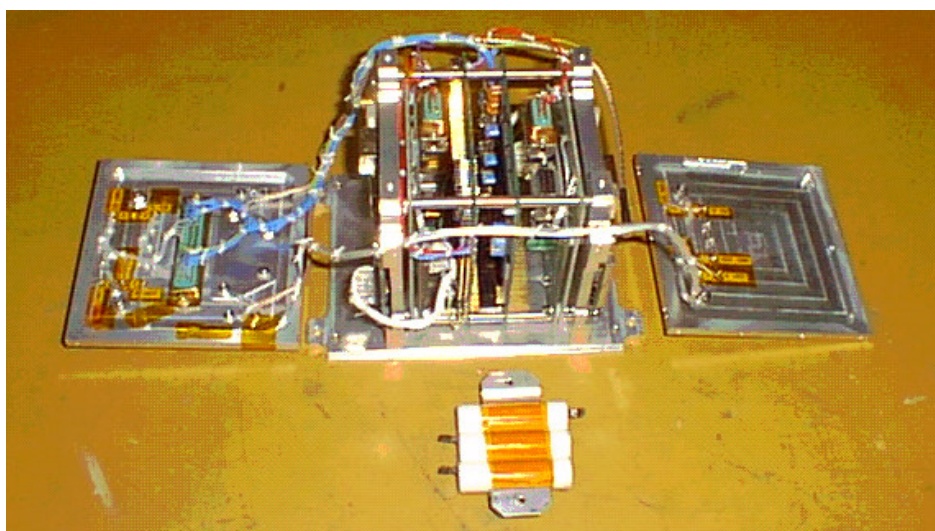


Fig. 2.5 Vista do Receptor GPS da PSO1, aberto

## Produção Técnico-Científica

Enderle, W.; Arbinger, C.; Milani Paulo Giacomo A simple and low cost two antennas concept for tracking of a sounding of a sounding rocket trajectory using GPS. In: ION GPS 2000., 19-22 Sep. 2000, Salt Lake City.

Lopes, R. V. F.; Carrara, V.; Enderle, W.; Arbinger, C. Mitigating Multi-Path Error by Neural Network. **Advances in the Astronautical Sciences**, v. 105 , Part 3, p.1639-1647, 2000 (AAS 00-207). AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, 10., Jan. 2000, Clearwater, FL.

Milani, P.G.; Araújo, P.T.; Kuga, H.K.; Um experimento GPS para a Plataforma Suborbital (PSO). In: Simpósio Brasileiro de Engenharia Inercial, 3., 24 - 26 out. 2001, Rio de Janeiro. **Anais do III SBEIN**, Instituto Militar de Engenharia p.19-24.

Milani, P.G.; Brandão, A. L.; Kuga, H.K. Uma proposta de sistema tipo GPS referenciado a estações fixas no solo. In: Simpósio Brasileiro de Engenharia Inercial, 2., 21-23 out. 1998, Rio de Janeiro. **Anais do III SBEIN**, p.177-183.

### 2.6 Bloco Girométrico

**Descrição do sensor:** A Figura 2.6 apresenta o conjunto composto por duas unidades de sensores giroscópicos, suportados em uma suspensão para amortecimento de vibrações e

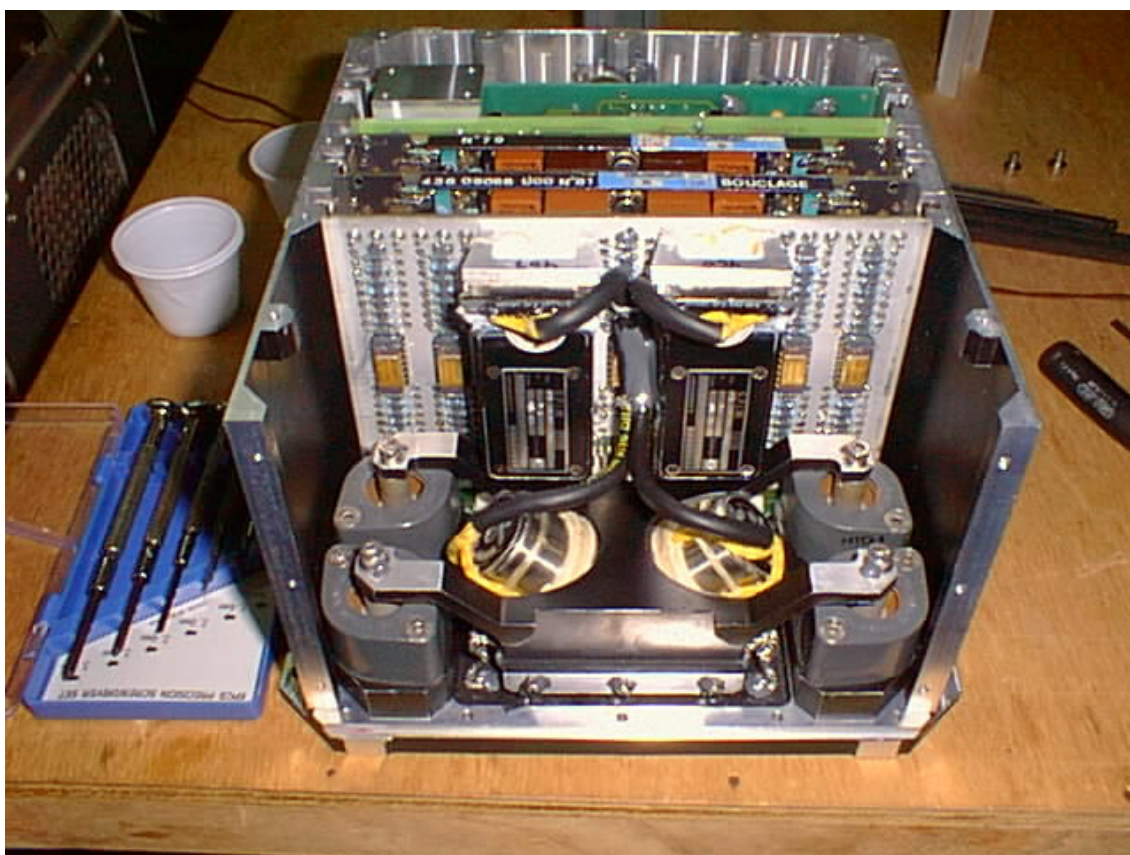


Fig. 2.6 - Bloco Girométrico da PSO<sub>1</sub> em integração



acondicionados em uma caixa modular de alumínio aeronáutico juntamente com suas eletrônicas de tratamento de sinal e de alimentação. Esse módulo tinha superfícies de encosto usinadas com precisão para posicionamento do mesmo relativamente aos eixos principais de inércia do veículo.

**Características principais do sensor:** Todo o conjunto funcionou a partir de uma única tensão de entrada entre +16V e +36V, DC, com potência total de 60W. As saídas eram todas diferenciais, na faixa de +/-5VDC, correspondendo a velocidades de +/-20<sup>0</sup>/s.

**O que foi feito na DMC:** O Bloco foi todo projetado e construído na DMC, tanto a sua parte eletrônica quanto a mecânica. Depois foram realizados testes ambientais de vibração e térmicos até a qualificação do mesmo para vôo em foguete de sondagem.

### **Produção Técnico-Científica**

Belletti, C.L.C.M. **Projeto PSO, bloco girométrico:** relatório de projeto mecânico. São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, 1998

Nascimento, R.A. **Projeto das placas de circuito impresso para bloco girométrico.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, 1998

Pires, C. **Projeto PSO, bloco girométrico:** relatório de projeto eletro-eletrônico. São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, 1998.

## **2.7 Bloco Acelerométrico**

**Descrição do sensor:** Módulo composto de 3 acelerômetros de 1 eixo montados em um bloco maciço de alumínio segundo 3 direções tri-ortogonais entre si, interligados a placas de circuitos eletrônicos de alimentação e tratamento de seus respectivos sinais. Esse módulo tinha superfícies de encosto usinadas com precisão para posicionamento do mesmo relativamente aos eixos principais de inércia do veículo. Ver figura 2.6.

**Características principais do sensor:** Os acelerômetros indicavam as acelerações do veículo em duas saídas diferentes para cada eixo. A primeira saída fornecia as acelerações na escala +/-20g e na segunda esse mesmo sinal era amplificado 10 vezes, i.e., correspondendo a +/-2g. A excursão do sinal de saída correspondente era de +/-5VDC nos dois casos. Através de comando era possível mudar a escala de medida para um valor 100 vezes maior, sendo que nessa escala os acelerômetros respondiam em +/-0,2g e +/-0,02g em seus fundos de escala, aumentando as sensibilidades de resposta dos mesmos.

**O que foi feito na DMC:** O Bloco foi todo projetado e construído na DMC, tanto a sua parte eletrônica quanto a mecânica. Foram utilizados acelerômetros QA-2000 da Sundstrand. Depois foram realizados testes ambientais de vibração e térmicos até a

qualificação do mesmo para voo em foguete de sondagem.



2.7 - Bloco Acelerométrico da PSO durante os testes de vibração em 08/2000.

### **Produção Técnico-Científica**

Belletti, C.L.C.M. Projeto PSO, bloco acelerométrico: relatório de projeto mecânico. São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, 1998

EQE Tecnologia. Projeto das placas de circuito impresso para bloco acelerométrico. São José dos Campos: INPE. Publicação interna da Divisão de Mecânica Espacial e Controle, Projeto PSO, 1998

Pires, C. Projeto PSO, Bloco Acelerométrico: Relatório de Projeto Eletro-Eletrônico.

São José dos Campos, INPE. Publicação interna da Divisão de Mecânica Espacial e Controle, 1998.

### 3 ATUADORES PARA GUIAGEM E CONTROLE

#### 3.1 Amortecedor de Nutação para Satélites SCD1, SCD2 e SCD2A

**Descrição do atuador:** Equipamento do tipo atuador passivo adotado para eliminar os movimentos indesejáveis de nutação de satélites rígidos estabilizados por rotação. O equipamento (Figuras 3.1 e 3.2) opera continuamente e não requer comando do solo e nem alimentação elétrica. O equipamento foi utilizado nos satélites SCD-1, SCD-2, SCD-2A.

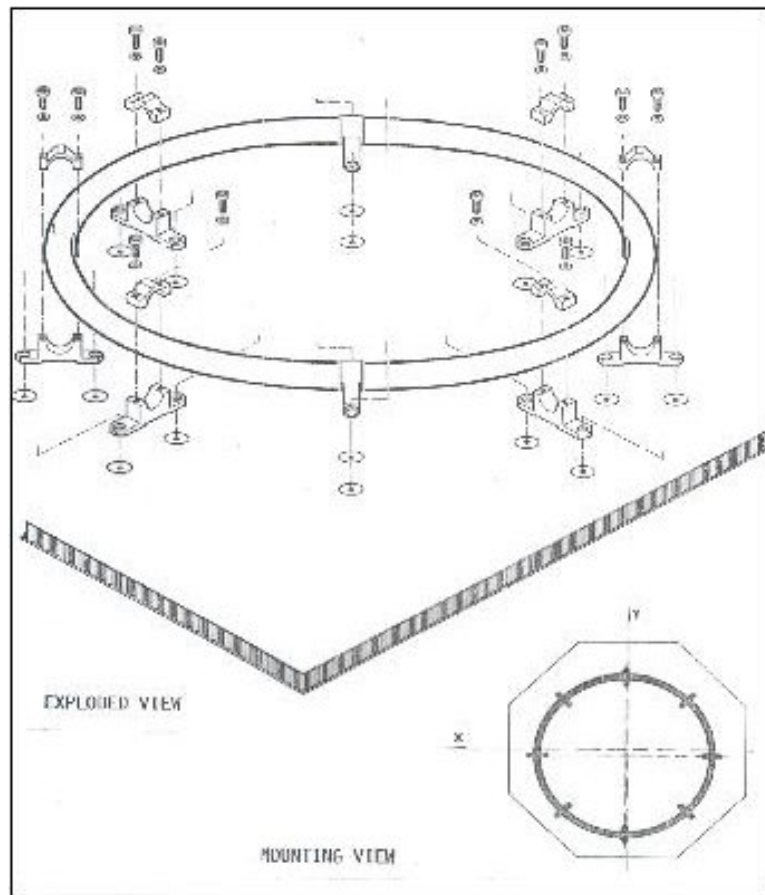


Fig. 3.1 - Vista explodida do Amortecedor de Nutação e de sua integração ao painel do SCD.

**Características principais:** Amortecedor de nutação do tipo tubo em formato de anel, parcialmente cheio de fluido viscoso, para utilização no sistema de estabilização e controle dos satélites.

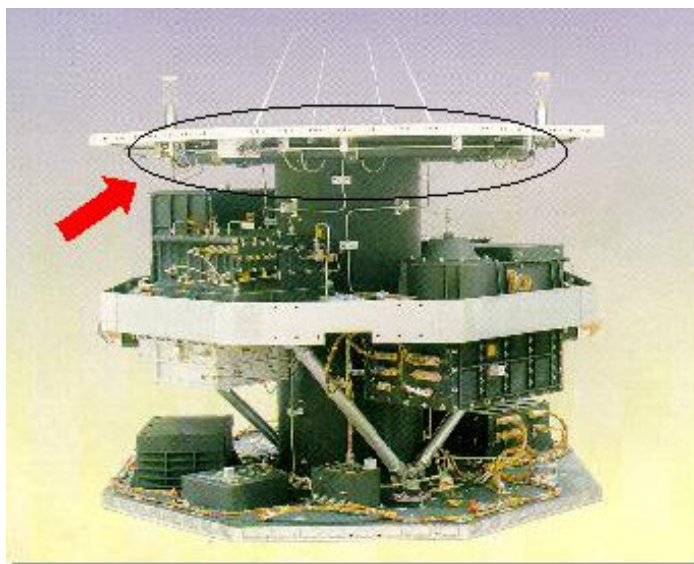


Fig. 3.2 - Foto do SCD-2 com o Amortecedor de Nutação indicado no detalhe.

Localização no satélite: projetado para trabalhar com seu eixo de simetria paralelo ao eixo de rotação do satélite, com um offset de 25mm (SCD1);

Dimensões: diâmetro do anel: 650mm; diâmetro do tubo 25 mm;

Características do fluido: densidade 950g/l; viscosidade cinética  $20 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Massa do fluido: 368g (caso do SCD1).

Capacidade de amortecimento para o SCD-1: redução de  $5^\circ$  para  $0.5^\circ$  em menos de 3 minutos.

**O que foi feito na DMC:** Escolha do modelo com base na literatura; especificação do equipamento; modelagem: elaboração do modelo dinâmico para permitir o dimensionamento; projeto mecânico; testes funcionais e de desenvolvimento; e o gerenciamento das atividades de manufatura, integração e testes ambientais. Foram construídos diversos protótipos e os mesmos foram testados no Laboratório de Simulação - LabSim da DMC usando a Mesa de Rotação Controlada de 1 Eixo, um Pêndulo (especialmente desenvolvido para estes testes) e sistemas de aquisição de dados e equipamentos de laboratório. Na DMC foram especificados, fabricados e qualificados diversos modelos de vôo desses amortecedores os quais foram usados em diversas missões de satélites nacionais (SCD1 e 2, SACII e 2), sendo que cada amortecedor desses tem seus parâmetros ajustados de acordo com as propriedades de massa, geométricas e dinâmicas de cada satélite e de acordo com os requisitos de cada missão. Houve a coordenação, o acompanhamento, o suporte técnico no processo de fabricação do anel, a coordenação dos testes finais (raios X e preenchimento com óleo) e finalmente a documentação do mesmo (SOW e especificações relativas ao Amortecedor de Nutação).

### Produção Técnico-Científica

Fleury, A.T.; Souza, P.N.; Cardieri, L.V.C. **Nutation damper manufacture and tests: preliminary version.** São José dos Campos: INPE, June 1986. 18 p. (DMC-AMNUT-008/86-NTI).

Fonseca, I.M. Partially filled viscous ring nutation damper: discrete parameter model. Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 4., 1988, Itatiaia.

Fonseca, I.M. **Nutation damper specification for the SACI-1 Satellite**. São José dos Campos: INPE, 1996. (MICA-HDS-012). Publicação Interna.

Fonseca, I.M. **Statement of work (sow) of the nutation damper and the torque coil reels of the SACI-1 Satellite**. São José dos Campos: INPE, 1996. (MICA-SOW-002). Publicação Interna.

Fonseca, I.M.. **Partially filled viscous ring nutation damper: dynamic modeling**. São José dos Campos: INPE, s.d. (DMC-AMNUT-009/750). Publicação Interna.

Fonseca, I.M.; Souza, P.N. Movimento rotacional de um corpo rígido dotado de um amortecedor de nutação anular viscoso - modelagem, simulação digital e validação experimental em um simulador dinâmico com mancal aerostático. In: DINAME, 3., ago.198; Congresso Brasileiro de Ciências Mecânicas, 10., dez. 1.989. Rio de Janeiro. **Anais...** p. 597-600.

Fonseca, I.M.; Souza, P.N. Partially filled viscous ring nutation damper dynamics analysis and experimental approach for modeling validation. International Symposium on Space Technology and Science, 17., 1990, Tokyo, Japan.

Lopes, R.V.F.; Ricci, M.C. **Resultados dos testes para determinação experimental do coeficiente de amortecimento do modo nutação-síncrono**: São Jose dos Campos: INPE, 1988. Publicação Interna.

Lopes, R.V.F. Modelagem de um amortecedor de nutação para satélites estabilizados por rotação. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 7 - 11 dez. 1987, Florianópolis. **Anais...** p.761-764. (INPE-4275-PRE/1147).

Lopes, R.V.F.; Fonseca, I.M.; Ricci, M.C. **Performance evaluation of the nutation damper in spin-synchronous mode**. São José dos Campos: INPE, Nov.1987. 6p. (DMC-032/NTI/87).

Lopes, R.V.F.; Ricci, M.C. **Resultados dos testes para determinação experimental do coeficiente de amortecimento do modo spin-síncrono**. São José dos Campos: INPE, nov. 1987. 32p. (DMC-031/NTI/87).

Lopes, R.V.F. **Partially filled ring nutation damper: modeling for small nutation angles**. São José dos Campos: INPE, Jun. 1986. 24p. (NTI-DMC-AMNUT-006/86).

Lopes, R.V.F.; Ricci, M.C.; Guedes, U.T.V. **Partially filled viscous ring nutation damper: brief description and preliminary design**. São José dos Campos: INPE, Jun.

1986. 14p. (NTI-DMC-AMNUT-007/86).

Orlando, V.; Souza, P.N.; Ferraresi, V.A. **Qualification review report for the nutation damper, torque coil and magnetometer.** São José dos Campos: INPE, Nov. 1988. (A-REV-0060).

Orlando, V.; Souza, P.N.; Cardieri, L.V.C.; Ferraresi, V.A.; Martins Neto, A.F. **Project "CONTROLE: critical design review.** São José dos Campos: INPE, Set. 1987. (A-REV-0043). Publicação interna.

### 3.2 Bobinas de Controle de Velocidade e de Spin

**Descrição do atuador:** Bobina, usada em pares, fixada aos painéis laterais do satélite (fora de seu eixo de rotação e ortogonalmente a esse eixo) com o objetivo de interagir com o campo magnético terrestre. Através do adequado chaveamento da corrente nas duas bobinas é possível tanto acelerar quanto desacelerar a velocidade de rotação do satélite (em órbita). Essas bobinas se distinguem daquela de controle do eixo de rotação pelo seu posicionamento no satélite e pelas suas dimensões, geralmente menores que as do outro tipo (para melhor acomodação nos painéis laterais). A Figura 3.2 apresenta no mesmo detalhe a bobina de controle de spin daquele satélite.

**Características principais do atuador:** desenvolvido conforme a massa do satélite e os requisitos da missão.

**O que foi feito na DMC:** Estudou-se o sistema de funcionamento de um atuador desse tipo. Realizaram-se diversas simulações e comprovou-se a viabilidade de sua utilização nos satélites do INPE. Desenvolveu-se um procedimento de fabricação e desenvolveram-se os fornecedores nacionais para os materiais a serem utilizados e para as partes a serem fabricadas. Especificaram-se diversas bobinas desse tipo para os satélites nacionais SCD2, SCD2A, SACI-1 e SACI-2. Construíram-se as diversas bobinas para todas essas missões, tanto com funcionários do INPE/DMC quanto com pessoal técnico contratado para essa atividade. Para o caso do SCD2 os dados de vôo obtidos do satélite em órbita permitiram a validação de todos os procedimentos realizados em laboratório e em computador.

#### Produção Técnico-Científica

Ferreira, L.D.D.; Martins Neto, A.F.; Pereira, E.A.G.; Trivelato, G.C.; Moro, J.; Padilha, O.S.; Orlando, V.; Ferraresi, V.A. **Magnetic actuation.** São José dos Campos: INPE, June 1986 (DMC-NTI-ATMAG-005/87).

Fonseca, I.M. **Specification of the Torque Coils for the SACI-1 Micro Satellite.** São José dos Campos: INPE, 1996. (MICA-HDS-013). Publicação Interna.

Fonseca, I.M. **Statement of work (sow) of the nutation damper and the torque coil reels of the SACI-1 Satellite**. São José dos Campos: INPE, 1996. (MICA-SOW-002). Publicação Interna.

### 3.3 Torque Rods

**Descrição do atuador:** Bobina com uso semelhante ao das bobinas de controle de eixo e de controle de rotação mas agora com a forma linear e com um núcleo de material ferromagnético. Permite o controle de atitude de satélites em 3 eixos usando apenas a energia elétrica disponível a bordo.

**Características principais do atuador:** Projetada para fornecer 10Am<sup>2</sup>.

**O que foi feito na DMC:** Tanto o projeto quanto a construção foram feitos na DMC. O material do núcleo foi fornecido pelo IPT a partir de especificação da DMC. Foi enrolada uma bobina que foi encapsulada num cilindro de fibra de carbono. Depois se realizou a montagem e integração final. O LIT foi usado para a realização de testes ambientais. Ver figura 3.3.

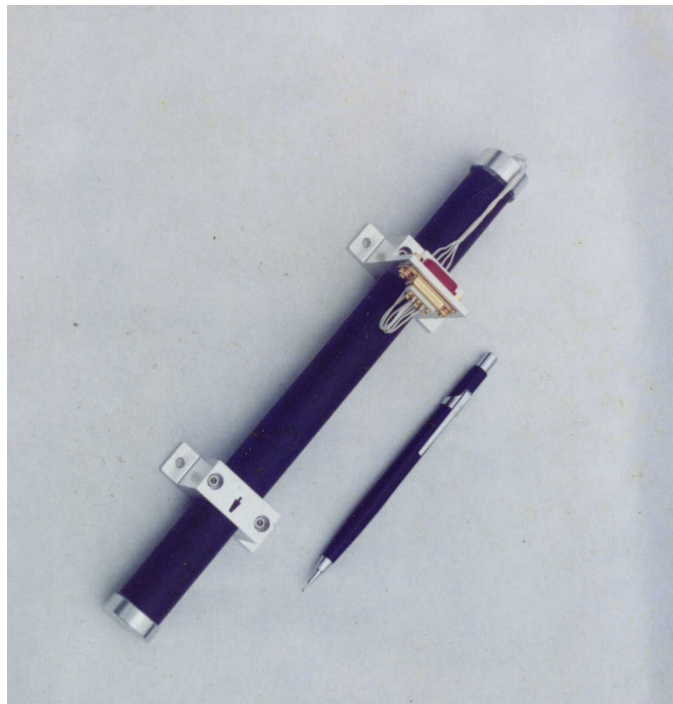


Fig. 3.3 - Torque Rod e sua dimensão relativa a uma lapiseira.

### Produção Técnico-Científica

Carrara, V.; Varotto, S. E. C. **Projeto de bobinas magnéticas para uso em satélites**.



### 3.4 Mecanismo Ioiô

**Descrição do atuador:** Equipamento do tipo atuador necessário para reduzir a velocidade angular do conjunto satélite + último estágio do lançador logo após sua injeção em órbita e antes da separação entre as duas partes. O equipamento é requerido nos casos em que o satélite não é estabilizado por rotação. Ver figura 3.4.

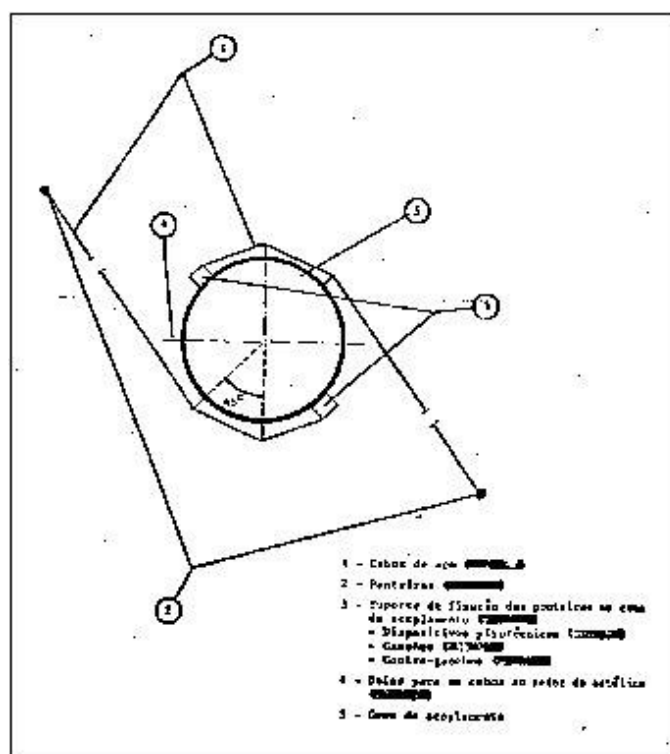


Fig. 3.4 - Diagrama da arquitetura mecânica de um mecanismo Ioiô.

**Características principais:** O equipamento é constituído por dois cabos de aço com massas nas extremidades externas e um pivô de articulação na outra extremidade. Após a liberação das massas por meio de dispositivos pirotécnicos, os cabos desenrolam do cone de acoplamento entre o satélite e o último estágio do lançador e se soltam, reduzindo assim a velocidade angular do conjunto por meio da troca de momento angular. O equipamento foi originalmente dimensionado tendo em vista as propriedades de inércia das configurações iniciais do SCD e do último estágio do VLS.

**O que foi feito na DMC:** Na DMC foi feito o dimensionamento do cabo e das massas por meio do desenvolvimento de modelo dinâmico e sua simulação em computador. A atividade não chegou ao estágio de projeto mecânico e/ou fabricação e testes. Ao final o trabalho foi suspenso devido à mudança da concepção dos satélites da série SCD, que passaram da estabilização por gradiente de gravidade para a estabilização por rotação.

## Produção Técnico-Científica

Oliveira Jr., I.E.; Souza, P.N. **Aceleração angular do satélite durante o desenrolamento do ioiô.** São José dos Campos: INPE, abr. 1984. 24 p. (INPE-3073-RPI/096).

Souza, P.N.; Oliveira Jr., I.E. Modelagem de um sistema ioiô para desaceleração angular de satélites. Seminário da ADUNESP, 6., 4-9 nov. 1985, Guaratinguetá. **Anais...** 8 p. (INPE-3721-PRE/855).

Souza, P.N. **Determinação do movimento do conjunto satélite-cone de acoplamento-terceiro estágio antes da soltura do ioiô, por meio de acelerômetros.** São José dos Campos: INPE, abr. 1984. 38 p. (INPE-3154-RPI/101).

Souza, P.N.; Oliveira Jr., I.E. **Anteprojeto de um sistema ioiô; equacionamento e dimensionamento de cabos e ponteiras.** São José dos Campos: INPE, mar. 1984. 49 p. (INPE-3032-RPI/091).

### 3.5 Experimento Roda de Reação – ERR

**DESCRIÇÃO:** Equipamento do tipo atuador (Figuras 3.5, 3.6 e 3.7) destinado a executar o controle ativo da atitude em um eixo. É constituído de um volante suspenso em mancais de rolamento de alta precisão que é acionado por um motor de corrente contínua, controlado em rotação ou corrente (torque). Conta com interface digital ligada

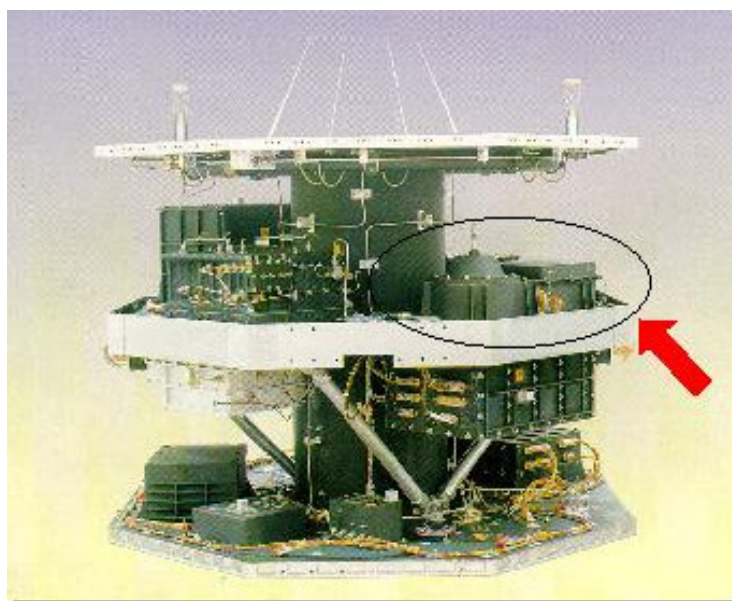


Fig. 3.5 - Foto do SCD-2 com o Experimento Roda de Reação indicado no detalhe.

ao computador de bordo ou a outro módulo responsável pelo controle da atitude do satélite. O equipamento integra os satélites SCD-2 e também integrou o SCD-2A.

**Características principais:** Por ser de cunho experimental, ele foi projetado com o menor momento angular máximo possível para não perturbar a estabilização do SCD-2, que é por rotação, assim como o SCD-1. A rotação do experimento é controlada de forma autônoma seguindo 1 entre 4 perfis pré-estabelecidos que podem ser escolhidos por meio de telecomando. Ele pode ser ligado ou desligado por telecomando e envia diversas telemetrias para o solo (temperaturas, correntes, rotação e modo de operação). Em um mesmo módulo mecânico estão montadas tanto as partes mecânicas rotativas, quanto a eletrônica de controle. A suspensão do volante conta com um sistema de lubrificação contínua a óleo com dosador de barreira porosa. O mancal gira dentro de um recipiente pressurizado, que tem o objetivo de reduzir a taxa de degaseificação do lubrificante. A massa total do equipamento é de aproximadamente 5 kg.



Fig. 3.6 - Foto do Experimento Roda de Reação em teste de vibração.

**O que foi feito na DMC:** Escolha do modelo com base na literatura; especificação do equipamento; projeto mecânico, eletrônico e de software; testes funcionais e de desenvolvimento; manufatura eletrônica, sua integração e testes funcionais; desenvolvimento do software; e o gerenciamento das atividades de manufatura mecânica, integração e testes ambientais do equipamento montado.

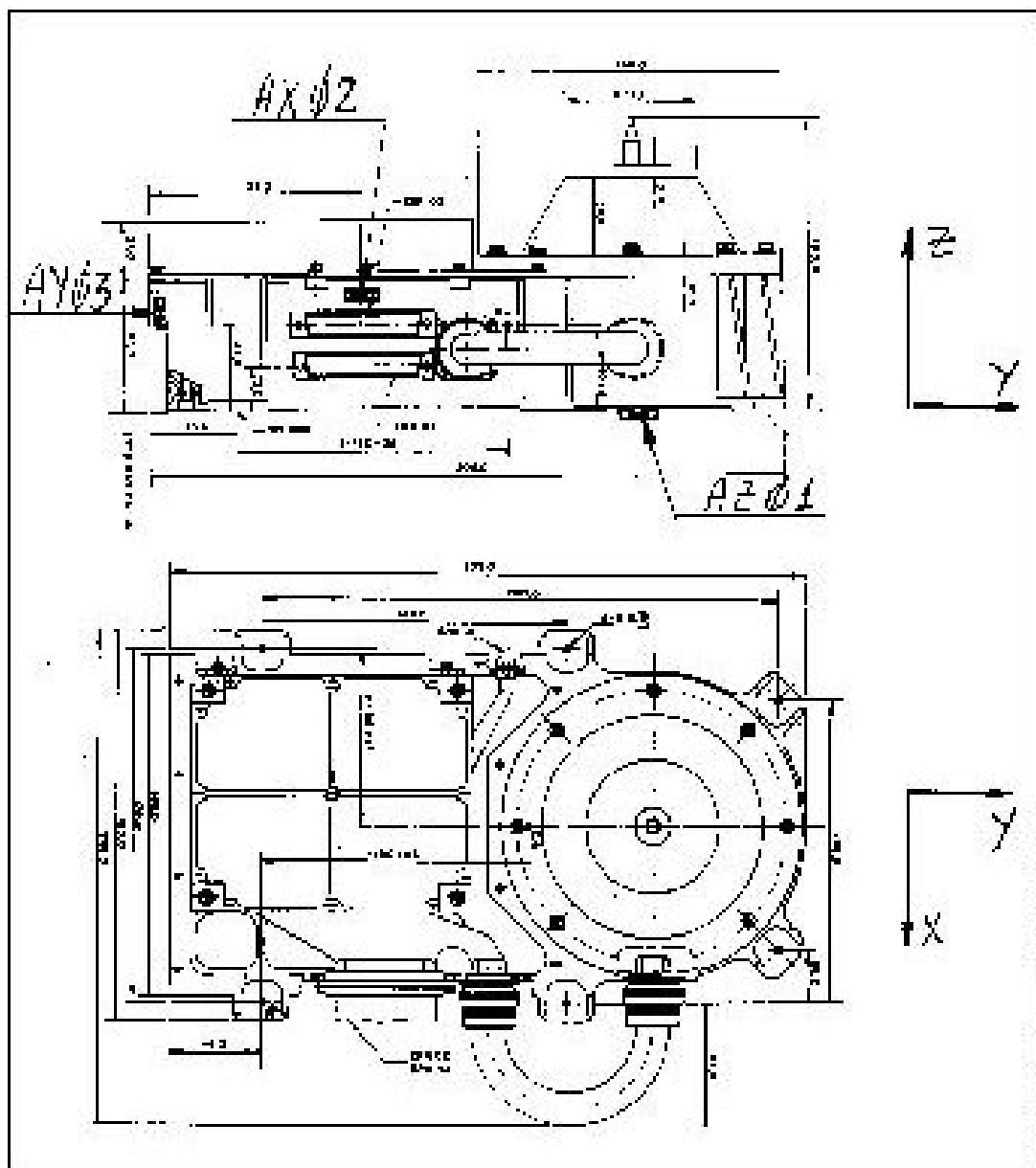


Fig. 3.7 - Diagrama mecânico do Experimento Roda de Reação.

## **Produção Técnico-Científica**

Ricci, M.C. **SCD2 - Testing plan for the reaction wheel experiment.** São José Campos: INPE, July.1990. (A-TST-039). Publicação Interna.

Ricci, M.C. **SCD2 - Reliability and life for the reaction wheel experiment.** São José dos Campos: INPE, dez.1990. não publicado.

Souza, P.N. Determinação da pré-carga de mancais de esferas de contato angular por meio da análise da vibração do mancal na direção axial. Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 12., (COBEM-CIDIM/95), 12-15 dez.1995, Belo Horizonte, (INPE-5655-PRE/1830).

Souza, P.N. Uma metodologia para a determinação da confiabilidade de mancais de rolamento sujeitos a variações de carga, rotação e temperatura. Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 12., (COBEM-CIDIM/95), 12-15 dez.1995, Belo Horizonte. (INPE-5656-PRE/1831).

Souza, P.N. **Análise do mancal do Experimento Roda de Reação: determinação de suas frequências naturais de vibração e das cargas atuantes durante os testes de vibração.** São José dos Campos: INPE, jan. 1994. 43 p. (A-ETD-0084).

Souza, P.N. **SCD-2 - Reaction wheel experiment equipment specification.** São José dos Campos: INPE, maio 1990. (A-ETC-0093). Publicação interna ao INPE.

Souza, P.N. **SCD-2 - Reaction wheel experiment subsystem specification.** São José dos Campos: INPE, nov. 1989. (A-ETC-0070). Publicação Interna.

Souza, P.N.; Ribeiro, J.F. **Proposição de experimento a bordo do segundo satélite de coleta de dados - SCD-2 da MECB: Experimento Roda de Reação (ERR).** São José dos Campos: VCG/DEM/ETE/INPE, jul. 1989. 25 p.

Souza, P.N.; Trivelato, G.C.; Fleury, A.T. **Detalhes tecnológicos para especificação e/ou projeto de rodas de reação.** São José dos Campos: INPE, abr. 1988. 7 p. (NTI-0002/88). Publicação Interna.

### **3.6 Amortecedor de Nutação do Sistema de Controle da Atitude para Satélite Científico**

**Descrição** Equipamento do tipo atuador passivo adotado para eliminar os movimentos indesejáveis de nutação de satélites rígidos estabilizados por rotação. O equipamento opera continuamente e não requer comando do solo e nem alimentação elétrica. O

equipamento foi utilizado nos satélites SACI-1 e SACI-2, conforme Figura 3.7.

**Características principais:** O Amortecedor de Natação adotado tem as mesmas características funcionais do utilizado nos satélites da série SCD, com as dimensões e interfaces mecânicas devidamente adaptadas.

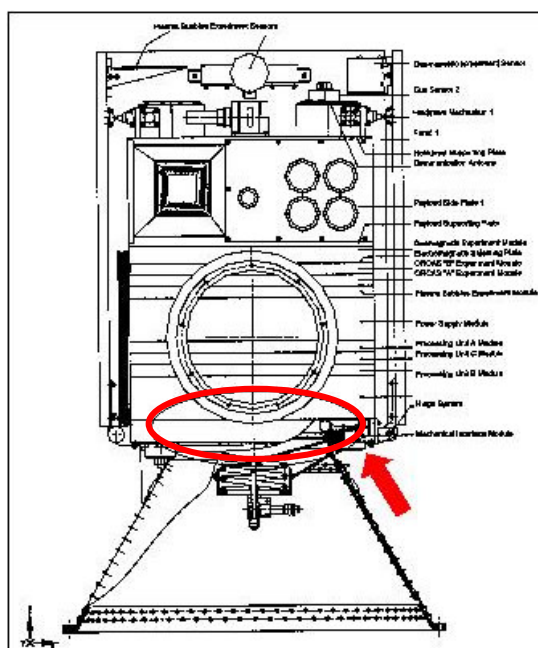


Fig. 3.8 - Diagrama mecânico do satélite SACI-1 com indicação do local da montagem do Amortecedor de Natação no detalhe.

**O que foi feito na DMC:** A DMC foi responsável pela especificação e pelo desenvolvimento do sistema de controle de atitude completo dos dois satélites da série SACI. O sistema adotado foi semelhante ao utilizado nos satélites da série SCD, adotando, entre outros equipamentos, um amortecedor de natação anular, parcialmente preenchido com fluido de silicone.

### Produção Técnico-Científica

Fonseca, I.M.; Souza, P.N.; Neri, J.A.C.F.; Guedes, U.T.V. Geomagnetic attitude control of the Brazilian scientific satellite - SACI-1. Brazilian Conference on Electromagnetics, 2., (CBMAG' 96), 24-27 nov. 1996, Belo Horizonte.

Fonseca, I.M.; Guedes, U.T.V.; Souza, P.N.; Neri, J.A.C.F. Controle de atitude do primeiro Satélite Brasileiro de Aplicação Científica - SACI-1. Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 8., 18-22 nov. 1996. **Resumos.**

Fonseca, I.M.; Souza, P.N.; Neri, J.A.C.F.; Guedes, U.T.V. The attitude control subsystem of the Brazilian Scientific Satellite - SACI-1. International Conference on

Non-Linear Dynamics, Chaos, Control and Their Applications in Engineering Sciences, 2., (INCONE), 5-8 ago.1996, São Pedro. **Resumos.**

Neri, J.A.C.F.; Dos Santos, W.A.; Rabay, S.; Fonseca, I.; De Souza, P.N. et al. The Brazilian Scientific Microsatellite SACI-1. IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation, Berlim, 4-8 nov. 1996, Germany.

Neri, J.A.C.F.; Rabay, S.; Dos Santos, W.A.; De Souza, P.N.; De Paula Júnior, A.R. Key technological solutions towards the SACI-1 microsatellite design. Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, 10., 16-19 Sep. 1996., Logan, Utah, USA.

Neri, J.A.C.F.; Dos Santos, W.A.; Rabay, S.; De Souza, P.N. et al. SACI-1 - A cost-effective microsatellite bus for multiple mission payloads. International Conference on Small Satellites: Missions and Technology, 9-13 Sep. 1996, Madrid, Spain. 1996.

Silva, W.C.C.; Milani, P.G.; Souza, P.N.; Ricci, M.C.; Ceballos, D.C. **Brazilian Science Mission: Outlines of the micro satellites to be launched in a secondary scheme with CBERS.** São José dos Campos: INPE, 1993.

### 3.7 Estrutura Mecânica e Sistema de Controle de Atitude do Telescópio MASCO

**DESCRIÇÃO:** O Projeto MASCO tem como objetivo projetar, construir, lançar, operar e recuperar um telescópio capaz de obter espectros e imagens de fontes cósmicas em raios-X e gama. Para isso, é necessário que este telescópio opere em grandes altitudes (~42 km) a bordo de balões estratosféricos, porque a atmosfera terrestre não é transparente a essas radiações. O experimento emprega a técnica de imageamento conhecida como "MÁScara CODificada", daí o nome do projeto. Ver Figuras 3.9 e 3.10.

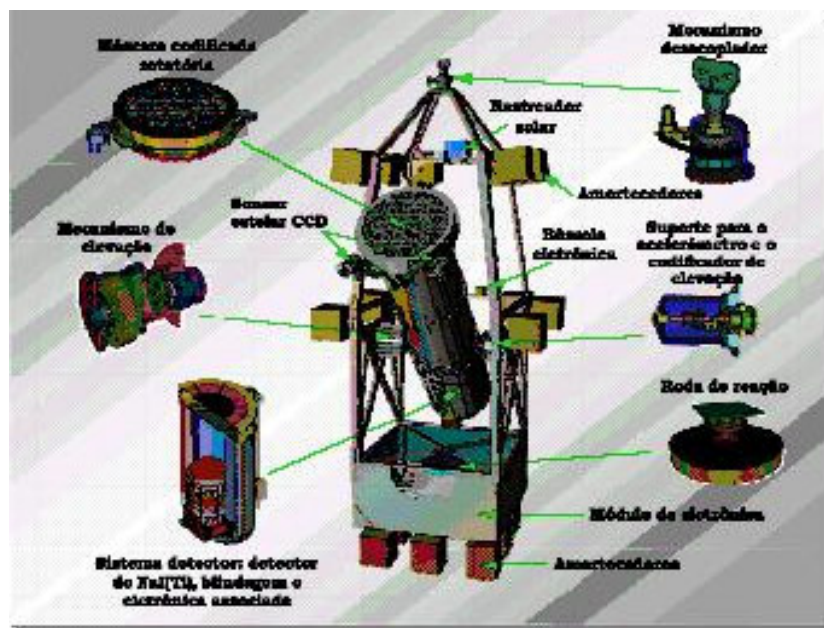


Fig. 3.9 - Ilustração das partes principais do experimento MASCO.

**Características principais:** O sistema de controle do experimento atua nos eixos de guinada da gôndola e elevação do telescópio. O atuador em guinada é uma roda de reação de grandes dimensões e um mecanismo de desacoplamento do balão. O atuador em elevação é um motor DC ligado a um redutor harmônico. O experimento possui sensores inerciais e não inerciais (sensor solar, sensor de estrela, giroscópio, magnetômetro e GPS). O funcionamento do sistema é comandado por um computador de bordo com software dedicado. O experimento montado tem ~7m de altura com massa de quase 2.000 kg.



Fig. 3.10 - Foto do experimento MASCO integrado.

**O que foi feito na DMC:** O programa é conduzido pela CEA/SLB e contou com a colaboração da DMC no desenvolvimento de alguns subsistemas e no fornecimento de sensores para o sistema de controle da atitude. À DMC coube a especificação inicial do sistema de controle em elevação do telescópio e guinada da gôndola; a arquitetura mecânica, o projeto mecânico preliminar e o dimensionamento estrutural da gôndola e do tubo do telescópio; a concepção e o dimensionamento do sistema de amortecimento estrutural da gôndola; a concepção e o dimensionamento do sistema de acionamento e suspensão da máscara codificada e do mecanismo de suspensão e elevação do tubo do



telescópio; a supervisão do projeto mecânico detalhado e da escolha dos materiais mecânicos empregados.

### **Produção Técnico-Científica**

Durão, O.; Gandelman, G. Controle de Atitude de Balões Estratosféricos. In: Congresso Brasileiro de Automática, 8., nov. 1990, Belém. **Anais...** v. 2, p.1287-1292.

Fonseca R.A.; Villela T.N.; De Souza P.N.; Corrêa R.V.; Alves A.M.; Mejía J.; Braga J.; Pires C.; Schäfer B. Attitude Control System of the MASCO Balloon-Borne Gamma Ray Telescope. IMACS Word Congress on Scientific Computation, Modeling and Applied Mathematics, 15., 24-29 Aug. 1997, Berlin.

Souza, Márcio Aurélio de Paiva; Projeto Mecânico de um Telescópio de Raios Gama a Bordo de Balão Estratosférico. Tese de mestrado. São José dos Campos, :CTA/ITA, CTA-BC / T535.83(043) / S729p, 1990. 136pp.

Souza, P.N.; Fonseca, R.A.; Villela Neto, T.; Kataoka Fiho, M. The design of a stabilized gondola for a gamma ray telescope. Brazilian Congress of Mechanical Engineering, 14., 08-12 dez. 1997, Bauru.

### **3.8 Propulsores a Hidrazina**

**Descrição:** Consistiu em um sistema composto de 4 propulsores de 2N cada, um tanque de hidrazina tipo “blow down”, um transdutor de pressão para a hidrazina do tanque, 4 termopares para acompanhamento das temperaturas dos propulsores e todas as tubulações e cablagens de interligação desses componentes, sendo que tudo foi arranjado em um prato de 250mm de diâmetro interno da PSO<sub>1</sub>. Desenvolveu-se, também, outros estudos e testes de propulsores a hidrazina. Ver Figura 3.11.

**Características Principais:** Os propulsores tinham um empuxo de 2N, nominais, cada um. O reservatório de hidrazina tinha capacidade de 1,5 litros, máxima.

**O que foi feito na DMC:** todo o projeto do subsistema de propulsores foi feito na DMC, assim como o gerenciamento de sua fabricação em uma indústria local. A integração do subsistema foi realizada na DMC, também, assim como os testes de caracterização de cada um dos propulsores.

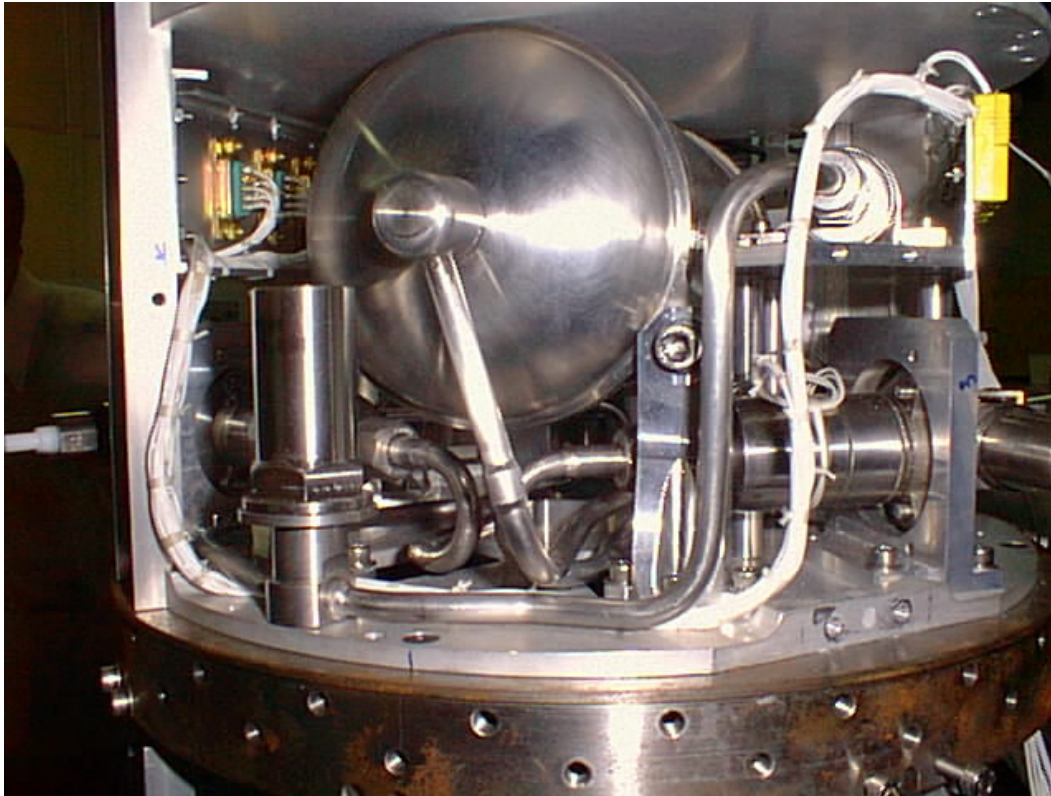


Fig. 3.11 - Módulo dos propulsores instalado na PSO<sub>1</sub>

### **Produção Técnico-Científica**

Carvalho Jr., J. A.; Bressan, C.; Ferreira, M. A.; Calegão, I. C. C.; Pereira, E. A. G.; Ferreira, J. L. G. **Testes preliminares de micropropulsor a hidrazina em condições atmosféricas**. São José dos Campos: INPE, dez. 1987, 25p. (INPE-4455-RPI/195).

Hinckel, N. Conceição, A. S. **Plano de Segurança para Operações de Transferência e Pressurização do Sistema Propulsivo a Hidrazina da PSO**. São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, 2000.

INPE, Divisão de Mecânica Espacial e Controle. **Equatorial Sistemas. Plataforma SubOrbital 2N Thruster, Válvula de Enchimento e Dreno, Tanque de Hidrazina**. São José dos Campos, 1997

Silva, W.C.C. **Estudo do decaimento da força/pressão no interior do tanque de hidrazina do sistema propulsivo da Plataforma Sub-Orbital-PSO e implicações no sistema propulsivo**. São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, junho 1997.

Silva, W.C.C. **Análise de possíveis falhas e respectivas soluções no sistema de propulsão da Plataforma Sub-Orbital (ou análise do sistema com modos degradados). Relatório(Prodegra)**. São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica

### 3.9 Sistema de Pára-Quedas e Bóia para Recuperação da PSO<sub>1</sub>

**Descrição:** Este subsistema da Plataforma SubOrbital 1 – PSO<sub>1</sub> foi desenvolvido para permitir a sua recuperação após o fim da missão quando da reentrada da mesma na atmosfera terrestre e, também, após a sua amerrissagem nas proximidades do seu ponto de impacto. Ver Figura 3.12.

**Características principais:** O conjunto de pára-quedas foi dimensionado para desacelerar um veículo de até 120Kg de massa total de uma velocidade inicial máxima de até 200m/s para uma velocidade final de 10m/s. O sistema de flutuação (bóia) foi concebido para se inflar durante a queda, após a abertura do pára-quedas, e manter o referido veículo flutuando próximo à superfície por um período mínimo de 12hs.

**O que foi feito na DMC:** O projeto do pára-quedas foi obtido do IAE/CTA e foi repassado para uma firma local para fabricação. O gerenciamento da fabricação das partes mecânicas foi realizado pela DMC, assim como da fase anterior de projeto mecânico e desenho das peças que compõem o mesmo.

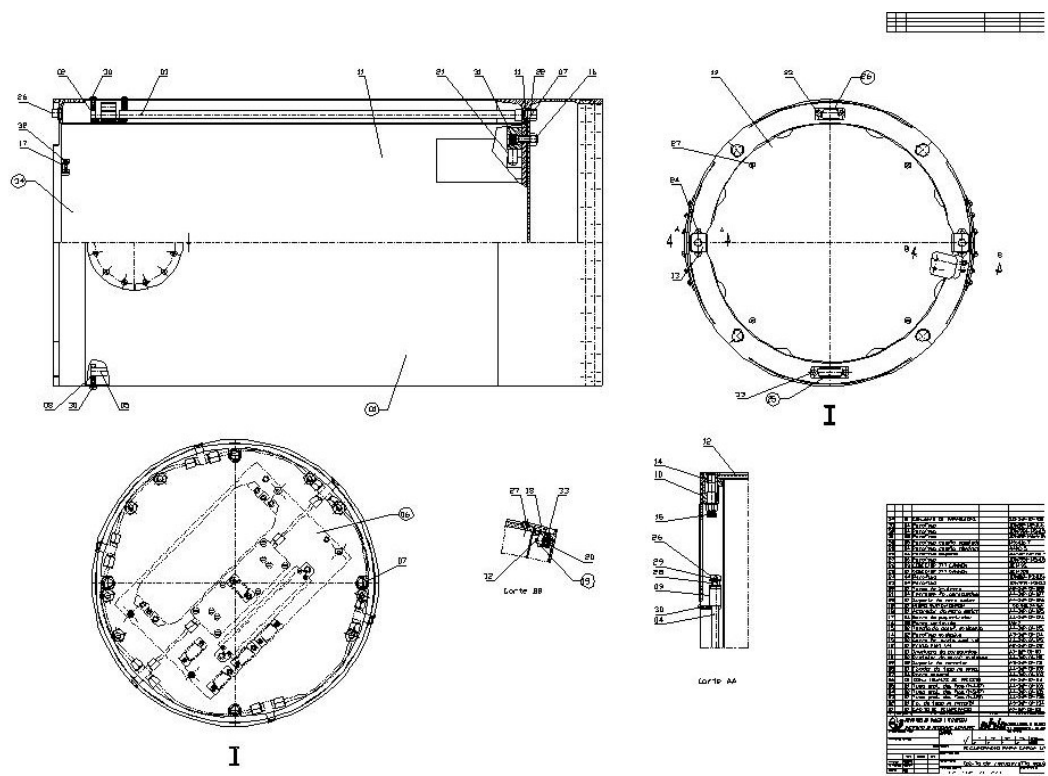


Fig. 3.12 - Visão de conjunto do Caixaõ de Recuperação da PSO<sub>1</sub>.

### **Produção Técnico-Científica**

Able Consultoria. **Recuperação de carga Útil: caixão de recuperação para teste de carga útil simulada. Conjunto de desenhos de fabricação.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, 1996. Publicação Interna.

Able Consultoria. **Recuperação de carga útil: caixão de recuperação para vôo. Conjunto de desenhos de fabricação.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, 1996. Publicação interna ao INPE.

Furlan, B.M.P. **Estudo preliminar da recuperação da PSO.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, Nov. 1996. Publicação Interna.

Furlan, B.M.P. **Recovery system for PSO (Evolution Study) DLR/GSOC, Oberpfaffenhoffen .** Germany, July 1997. (Doc.TN 97-10). Publicação Interna.

Furlan, B.M.P. **Estudo do efeito da rotação forçada, na dispersão do veículo Sonda-III.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, mar. 1998. Publicação Interna.

### **3.10 Sistemas de Jatos de Gás Frio**

**Descrição:** Propulsores de jatos de gás frio para controle de atitude para uso em laboratório. Esses propulsores foram simulados, projetados, fabricados na DMC e usados em experimentos de laboratório, particularmente com a Mesa de Mancal a Ar de 1 Eixo. Realizaram-se diversos estudos relativos à utilização desses atuadores em satélites.

**Características principais:** Propulsores de até 2N de empuxo, dependendo da pressão do gás utilizado.

**O que foi feito na DMC:** Foi feita a simulação tanto mecânica como eletromagnética, feito o projeto, o acompanhamento da fabricação, a caracterização e, finalmente, a análise dos resultados obtidos. Uma tese de doutorado foi desenvolvida sobre esse tema e publicada no INPE. Os propulsores foram usados em simulações de sistemas de controle sobre a Mesa de Mancal a Ar de 1 eixo. Ver Figura 3.13.

### **Produção Técnico-Científica**

Oliveira Junior, I.E.; Silves, O. M. **Análise e otimização de sistemas de jatos de gás frio para controle de atitude de satélites.** São José dos Campos: INPE, maio 1985. 5p.

(INPE-3253-PRE/744).

Oliveira Junior, I.E. **Modelagem matemática, otimização e análise de sistemas de jatos de gás frio para controle de atitude de satélites**. São José dos Campos: INPE, set. 1985. 122p. (INPE-3638-RPI/138).

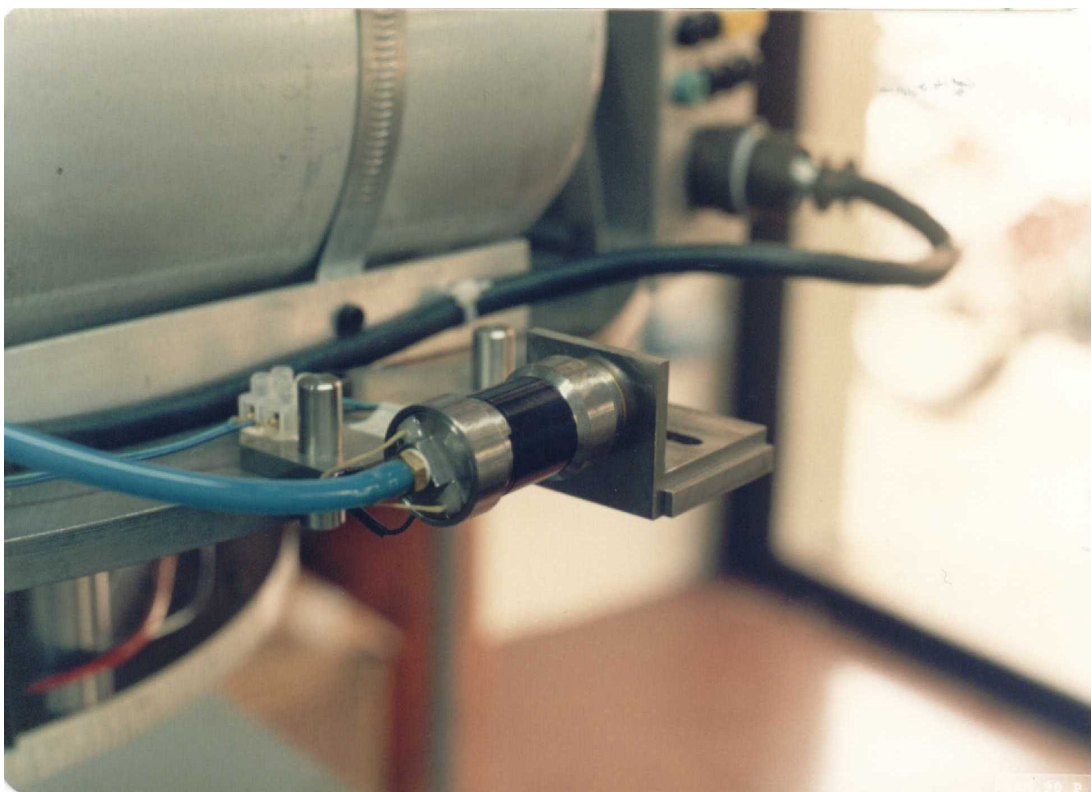


Fig. 3.13 – Propulsor a jato de gás frio montado em experimento em Mesa de Mancel a Ar de 1 Eixo

Oliveira Junior, I.E. **Modelling of a cold gas jet system for satellite attitude control**. São José dos Campos:INPE, abr. 1986. 5p. (INPE-3853-PRE/917).

Oliveira Jr., I. E.; Pereira, E. A. G. **Modelagem eletromagnética de uma válvula de controle**. São José dos Campos, mar. 1987. 13p. (INPE-4140-PRE/1048).

Oliveira Jr., I. E.; Pereira, E. A. G. **Métodos numéricos na resolução do modelo de uma eletroválvula de controle**. São José dos Campos: INPE, abr. 1987. (INPE-4154-RPE-540).

Oliveira Jr., I. E. **Modelagem do funcionamento de um sistema de jatos de gás frio para controle de atitude de satélites**. São José dos Campos: INPE, Maio 1987, 177p. (INPE-4163-RPE/541).

Oliveira Jr., I. E. Silvaes, O. M. **Sistema de jatos de gás frio para o controle de atitude de satélite. Modelagem e simulação.** São José dos Campos: INPE, ago. 1987. 5p. (INPE-4279-PRE/1150).

Oliveira Jr., I. E.; Pereira, E. A. G. **Modelagem do funcionamento transitório de uma solenóide de controle.** São José dos Campos: INPE, jun. 1986. 6p. (INPE-3931-PRE-963).

Pereira, E. A. G.; Oliveira Jr., I. E. **Análise da influência de parâmetros no desempenho de uma eletroválvula de controle.** São José dos Campos: INPE, jun. 1986. 5p. (INPE-3935-PRE/965).

Souza, M. L. O. **Breve análise das precisões em atitude normal de satélites com rodas ou com jatos a gás.** São José dos Campos: INPE, set. 1986. 13p. (INPE-3993-NTE/262).

## 4 VEÍCULOS E ESTUDOS DOS RESPECTIVOS SISTEMAS DE ESTABILIZAÇÃO E CONTROLE

### 4.1 Estabilização do SCD1 por Gradiente de Gravidade

**Descrição do estudo desenvolvido:** Análise da dinâmica de atitude do satélite SCD1 na sua versão inicial, estabilizado por gradiente de gravidade e com um mastro a ser estendido em órbita. Analisa-se, também, a dinâmica de satélites estabilizados por rotação, com amortecedor de nutação e uma bobina para controle do eixo de rotação.

**O que foi feito na DMC:** As análises visaram estudar aspectos de modelagem para facilitar a propagação da atitude via computador e os problemas associados à abertura do mastro e captura do satélite com a face correta voltada para a Terra, as condições de estabilidade de um satélite estabilizado por rotação e as precisões de estabilidade alcançáveis com o sistema proposto.

#### Produção Técnico-Científica

Carrara, V. Estabilização e controle dos satélites de coleta de dados - MECB. Colóquio de Dinâmica Orbital, 6., nov. 1992, Águas de São Pedro.

Carrara, V. Attitude stabilization and control of the Brazilian Data Collecting Satellites. World Congress of the International Federation of Automatic Control, 12., Sydney, Australia, July 1993.

Fonseca, I.M.; Lourenção, P.T.M.; Oliveira, J.R.F. Procedimentos para estabilização Passiva de um satélite artificial sob condições iniciais críticas. Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 8., São José Campos, (INPE-3529-PRE/750).

### 4.2 Estabilização do SCD1 por rotação

**Descrição do estudo desenvolvido:** Análise de Estabilidade de uma nova configuração do sistema de estabilização do SCD1.

**O que foi feito na DMC:** estudou-se a viabilidade de estabilizar o satélite por rotação (estabilização por spin). Como resultado foi confirmada a viabilidade e definidas as condições de estabilidade por rotação.

#### Produção Técnico-Científica

Carrara, V.; Guedes, U. T. V. Attitude control aspects for SCD1 and SCD2. **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**, v16, p 83-87, 1994. Special Issue

Ferreira, L.D.D.; Orlando, V.; Rios Neto, A. **Procedimento para controle de atitude de satélites em um eixo com atuação magnética**. São José dos Campos: INPE, 7p. (INPE-3895-PRE/937).

Fonseca, I.M. **A Preliminary Study of Separation Dynamics. Brazilian Satellite form its Launcher Vehicle 1**. São José dos Campos: INPE, 1988. (Documento A-ETD-0038).

Fonseca, I.M. Dinâmica da separação entre o último estágio do veículo lançador e o satélite. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Florianópolis, 9., S.C., dez. 1.987. **Anais...** v.2, p. 915-917, 1987 (INPE-4281-PRE/1153) .

Fonseca, I.M.; Souza, P.N. Corpo Rígido Dotado de um Amortecedor de Nutação Anular Viscoso e Sua Validação Experimental. **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**, v.12, p. 89-111, 1.990.

Fonseca, I.M. Dinâmica da separação entre o último estágio do veículo lançador e o satélite. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 9., Florianópolis, dez. 1987. **Anais...** v.2, p. 915-917, 1987. (INPE-4281-PRE/1153)

Fonseca, I.M. **Dynamic analysis of the last stage spacecraft separation with the initial conditions set by the stabilization mechanism of the launcher**. São José dos Campos: INPE, 1988. Documento (A-ETD-0041). Publicação Interna.

Fonseca, I.M.; Lourenção, P.T.M. O Uso de quaternion para a descrição do movimento de atitude de um satélite artificial. Reunião da SBPC, 37., Jul. 1985. Belo Horizonte. (INPE-3668-RPE/448).

Orlando V.; Powel R.; Fonseca I.M. Brazilian Data Collecting Satellite Simulator. International Symposium on Space Technology and Science, 8., 17-23, 1992, Kagoshima, **Proceedings...** v. 1-2, p. 915-919. (A95-82299).

Souza, P.N. Fonseca, I.M. **Relatório do teste de qualificação do amortecedor de nutação do SCD1 em um simulador dinâmico de mancal esférico aerostático**. São José dos Campos: INPE, 1989. (Documento: A-ETD-052). Publicação Interna.

#### **4.3 Determinação Preliminar de Atitude do SCD-1 e do SCD-2**

**O que foi feito na DMC:** desenvolvimento, implementação e testes por simulação de algoritmos de pré-processamento de dados de sensores de atitude (sensor solar digital em um eixo e magnetômetro de três eixos) e de determinação preliminar de atitude para satélites estabilizados por rotação, bem como de sua velocidade angular.



## **Produção Técnico-Científica**

Kuga, H.K. et al. **Software especification of attitude determination and propagation**. São José dos Campos: INPE, jul. 1989. 150 p. Projeto A76221-Versão preparatória para revisão de projeto no programa de consultoria internacional com o ESOC, por L. Fraiture. Publicação Interna.

Kuga, H.K.; Orlando, V.; Lopes, R.V.F. Flight Dynamics Operations During LEOP for the INPE' s Second Environmental Data Collecting Satellite SCD2 **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, v.21, p. 339-344, 1999. Special Issue

Lopes, R.V.F.; Kuga, H.K.; Silva, A.R. Coarse Orbit Determination as a Dividend from Attitude Sensors for Spin-Stabilized Satellites. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, v.21, p. 346-355, 1999. Special Issue.

Lopes, R.V.F.; Orlando, V.; Kuga, H.K.; Guedes, U.T.V.; Rao, K.R. Attitude determination of the Brazilian satellite SCD-1. **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**, v.16, p.. 11-18, 1994.

Orlando, V.; Lopes, R.V.F.; Kuga, H.K. INPE' s Flight Dynamics Team Experience Throughout Four Years of SCD1 In-Orbit Operations: Main Issues, Improvements and Trends. In: International Symposium on Space Flight Dynamics, 12., Darmstadt, Germany, June 2-6, 1997. **Proceedings...** p. 433-437.

Rao, K.R.; Lopes, R.V.F. Satellite attitude follow-up: a first-hand experience with the first Brazilian satellite SCD-1. In: International Symposium on Space Dynamics, Toulouse, França, 19-23 June 1995. *Mécanique Spatiale (Colloque 95)*, Toulouse, 1995. **Proceeding...** CNES, CEPADUES Editions, p. 777-783.

### **4.4 Estabilização e Controle do SACI-1**

**Descrição do estudo desenvolvido:** Análise, projeto e desenvolvimento do subsistema de controle de atitude do Satélite Científico SACI-1 (1995-1999) .

#### **O que foi feito na DMC:**

- Análise da dinâmica do satélite visando fazer recomendações sobre as propriedades de inércia adequadas para a aplicação do conceito de estabilização por rotação;
- Estudo e definição de um subsistema de controle combinando controle magnético com estabilização por rotação.
- Projeto das leis de controle;
- Desenvolvimento do modelo matemático e sua implementação em computador visando: a) validar as leis de controle; b) analisar a eficiência do controle na fases de captura do sol e modo normal de operação.

- Estudo dinâmica de rotação do satélite para inclusão de um amortecedor de nutação no subsistema de controle de atitude do SACI-1.
- Especificação das bobinas de torque e do amortecedor de nutação para o SACI-1, englobando:
  - Coordenação, acompanhamento e suporte técnico no processo de fabricação dos carretéis das bobinas de torque e do anel do amortecedor de nutação.
  - Coordenação: trabalhos de implementação e validação do algoritmo de controle no computador de bordo do SACI-1
  - Coordenação dos trabalhos de enrolamento das bobinas de torque e execução dos testes.
  - Coordenação dos testes finais com o amortecedor de nutação (raios X e preenchimento do anel com óleo)
  - Execução dos trabalhos de documentação. (SOW e especificações relativas ao amortecedor de nutação e bobinas magnéticas).
  - Participação nas reuniões no Brasil e China para discutir, definir diretrizes e ações relacionadas com interface SACI-1 & Longa Marcha 4 (Lançador chinês) – 1.995 (China), 1.996 (INPE, Brasil) e 1.997 (China).
  - Desenvolvimento do estudo da dinâmica de separação SACI-1 e último estágio do LM-4 visando a análise de colisão durante o processo de injeção do satélite em órbita.
  - Plano e Procedimentos de testes para o ACS do SACI-1 e sua implementação no Laboratório de Integração e testes do INPE

### **Produção Técnico-Científica**

Fonseca, I. M.; Souza, P. N.; Neri, J. F. C.; Guedes, U. T. V. Geomagnetic attitude control of the brazilian scientific application satellite – SACI-1. Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo C(BMAG), nov. 1996, Ouro Preto, 1999.

Fonseca, I. M.; Souza, P. N.; Neri, J. F. C.; Guedes, U. T. V., Attitude dynamics and control of the brazilian scientific application satellite SACI-1. ESA International Conference On Spacecraft, Guidance Navigation and Control Systems 3., Noordwijk, Nov. 1996. (ESA SP-381).

Fonseca, I. M.; Souza, P. N.; Neri, J. F. C.; Guedes, U. T. V. Attitude dynamics and control of the brazilian scientific application satellite – SACI-1. ESA International Conference On Spacecraft, Guidance Navigation and Control Systems 3., nov. 1996, Noordwijk. (ESA SP-381).

Néri, José A. C. F.; Fonseca, Ijar M. The First Brazilian Application Scientific Satellite, SACI-1. Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 9., Águas de Lindóia, 16-20 nov. 1998.

Neri, J.A.C.F, Santos, W.A. dos; Rabay, S., Fonseca, I.M, et al. The Brazilian Scientific

Microsatellite SACI-1. **Acta Astronautica**, v.30, No. 9-12, Nov.- Dec. 1996.

Neri, J. A. C. F.; Fonseca, I. M. The first Brazilian Application Scientific Satellite SACI-1. In: Prado, A. F. B. A. **Advances in space dynamics**. São José dos Campos: INPE, 2000. p. 226-234. Publicado como: INPE-9219-PRE/4891.

Neri, J.A.C.F.; Rabay, S.; Santos, W.A. dos; Souza, P.N. de; Fonseca, I.M.; Paula Júnior, A.R. de Key technological solutions towards the Saci-1 microsatellite design. Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, 10., Sep. 1996.

Neri, José Angelo C.F.; Fonseca, I. M. The Brazilian Scientific Satellite SACI-1. International Symposium on Small Satellites Systems and Services, 14-18 Sep. 1998.

Porro, J. R. S.; Fonseca, I. M. Estudo do movimento de atitude de um satélite durante a abertura de seu painel solar. Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 10., 20-25 nov. 2000, Nazaré Paulista.

#### **4.5 Estabilização e Controle do SACI-2**

**Descrição do estudo desenvolvido:** Projeto do subsistema de controle de atitude do Satélite Científico SACI-2.

##### **O que foi feito na DMC:**

- Participação nas atividades de interface com o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) para definição da órbita do SACI-2
- Análise da atitude do SACI-2 imediatamente após sua separação do foguete lançador
- Análise da atitude do SACI-2 durante a abertura de seus braços mecânicos
- Implementação de software para simular a dinâmica e o controle de atitude do SACI-2

##### **Produção Técnico-Científica**

Fonseca, I. M.; Santos, Marcelo C. SACI-2 Attitude control subsystem. Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 10., 20-25 nov. 2000, Nazaré Paulista.

Fonseca, I. M.; Neri, J. A.C.F.; Ribeiro, M. After-separation attitude dynamics of the Brazilian Scientific Satellite SACI-2. International Symposium on Space Flight Dynamics, 14., (ISSFD), 08-12 Feb. 1999, Foz do Iguaçu. **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**, v. 21, p. 156-163, 1999. Special Issue.

Fonseca, I. M., Santos, Marcelo C., Neri, J.A. C. F. On the attitude dynamics. Brazilian Scientific Satellite SACI-2. 2., International Astronautical Congress, 50., 4-8 Oct. 1999 Amsterdam, Holland. (Paper IAF-99-A.3.01).

Fonseca, I.M. **Engineering review data package of the attitude control subsystem. (MIC-REV-006)**. São José dos Campos:INPE. Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espaciais, Divisão de Garantia do Produto, s.d. Publicação INPterna..

Fonseca, I. M.; Santos, M. C. SACI-2 attitude control subsystem. In: Winter, O. C.; Prado, A. F. B. A. **Advances in space dynamics 3: applications in astronautics**. São José dos Campos: INPE, 2002. p. 197-209. Publicado como: INPE-9526-PRE/5179.

#### **4.6 Estabilização e Controle do Satélite SSR**

**Descrição do estudo desenvolvido:** Proposta de arquitetura e análise da dinâmica de estabilização do satélite SSR.

**O que foi feito na DMC:** Esse satélite apresentou-se como um novo sistema de estabilização de satélites, agora em 3 eixos, o que não acontecia com os satélites anteriores. Propôs-se uma arquitetura para seu sistema de guiagem e controle e analisou-se a viabilidade e o seu comportamento dinâmico em diversas condições diferentes, sendo que todas as simulações foram realizadas em computador.

#### **Produção Técnico-Científica**

Carrara, V. Aspectos tecnológicos no desenvolvimento do controle de atitude do satélite de sensoriamento remoto. Cólóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 7., 21-25 nov. 1994, Santos. **Resumos**.

Carrara, V.; Ferreira, L. D. D.; Padilha, O. S. **Magnetometer specification**. São José dos Campos: INPE, Dec. 1993. Publicação Interna.

Carrara, V.; Ferreira, L. D. D.; Padilha, O. S. **Torque Coil specification**. São José dos Campos: INPE, Dec. 1993. (A-ETC-1030). Publicação Interna.

Carrara, V.; Nunes, D.; Gandelman, G. **Attitude and orbit control subsystem concept review**. São José dos Campos: INPE, June 1992. (A-REV-1009). Publicação Interna.

Carrara, V.; Nunes, D.; Gandelman, G. **Conteúdo da documentação da revisão de concepção do subsistema SCAO-SSR - A-GRC-1002**. São José dos Campos: INPE, abr. 1992. Publicação Interna.

Carrara, V.; Nunes, D.; Gandelman, G. **Conteúdo da documentação da revisão preliminar de projeto do subsistema SCAO-SSR**. São José dos Campos: INPE, nov. 1992. (A-GRC-1004). Publicação Interna.

Carrara, V.; Nunes, D.; Gandelman, G. **Resposta aos itens de ação referentes à**

**revisão de concepção do subsistema AOCS-SSR1.** São José dos Campos: INPE, nov. 1992. (A-ETD-1009). Publicação Interna.

Carrara, V.; Nunes, D.; Gandelman, G. Souza, L. C. G.; Padilha, O. S. **Attitude and orbit control subsystem preliminary design review.** São José dos Campos: INPE, Oct. 1993 (A-REV-1012). Publicação Interna.

Carrara, V.; Ricci, M. C. **Infrared Earth sensor specification.** São José dos Campos: INPE, Dec. 1993. (A-ETC-1021). Publicação Interna.

Carrara, V.; Ricci, M. C. **Momentum wheel specification.** São José dos Campos: INPE, Dec. 1993. (A-ETC-1031). Publicação Interna.

Carrara, V.; Santana, C. E.; Paula Jr. A. R. **Control electronics unit specification.** São José dos Campos: INPE, Dec. 1993. (A-ETC-1020). Publicação Interna..

Ferreira, L. D. D.; Carrara, V **Spin rate coil specification.** São José dos Campos: INPE, June 1989. (A-ETC-0079). Publicação Interna.

Ferreira, L. D. D.; Carrara, V. **Spin axis coil specification.** São José dos Campos: INPE, June 1989. (A-ETC-0080). Publicação Interna.

Fonseca, I.M. and Ribeiro, J.F. On the Dynamics and Control of the First Brazilian Remote Sensing Satellite. ESA International Conference on Spacecraft Guidance Navigation and Control Systems, 1., June 4-7, 1991., Noordwijk, The Netherlands. Presented also in the International Symposium on Space Technology and Science, 18., May 17-23, 1992, Kagoshima, Japan.

Fonseca, I.M. **Modeling of the dynamic behavior of the Brazilian Remote Sensing Satellite: Rigid body version.** São José dos Campos: INPE, 1990. (INPE-5164-RPI/237).

Fonseca, I.M.; Ribeiro, J.F. On the dynamics and control of the First Brazilian Remote Sensing Satellite. In: International Conference on Spacecraft Guidance, Navigation and Control Systems, 1., June, 1991. Noordwijk . **Proceedings.** p.585-588. (ESA SP-323).

Fonseca, I.M.; Riberio, J.R.; The First Brazilian Remote Sensing Satellite: dynamics and control study. PACAM, 3., jan. 1993, São Paulo.

Galvão, F. L.; Carrara, V. **SSR1 environmental specification.** São José dos Campos: INPE , Nov. 1989.(A-EAB-1000). Publicação Interna.

Ribeiro, J.F.; Martins Neto, A.F. **SSR- Modo redução de velocidade..** São José dos Campos: INPE. Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espaciais. Divisão de Garantia do Produto. jan. 1991. (A-ETD-1001) Publicação Interna.

#### 4.7 Estabilização e Controle do Satélite SCD2

**Descrição do estudo desenvolvido:** Análise da dinâmica de atitude do satélite SCD2, estabilizado por rotação, com amortecedor de nutação e uma bobina para controle do eixo de rotação e bobinas para controle de velocidade de rotação.

**O que foi feito na DMC:** As análises tinham o objetivo de estudar aspectos de modelagem para facilitar a propagação da atitude via computador, as condições de estabilidade de um satélite estabilizado por rotação e as precisões de estabilidade alcançáveis com o sistema proposto.

##### Produção Técnico-Científica

Carrara, V. **Estudo sobre ângulo de visada do satélite SCD2 com relação à estação terrena.** São José dos Campos: INPE, fev. 1989. (DCG-0009/89). Publicação Interna.

Carrara, V.; Cruz, J. J.; Ferreira, L. D. D. **Simulações de manobras de velocidade do SCD2 considerando um limitante inferior no acionamento da bobina.** São José dos Campos: INPE, abr. 1989. (VDO-001/89). Publicação Interna.

Ferreira, L. D. D.; Carrara, V. **Attitude control simulation of the Data Collecting Satellite - SCD2.** São José dos Campos: INPE, Oct. 1990. (INPE-5159-PRE/1638).

Ferreira, L. D. D.; Cruz, J. J.; Carrara, V. **Reorientação do eixo de rotação do satélite SCD2 e estudos de visibilidade.** São José dos Campos: INPE, set. 1988. (INPE-4688-NTE/285).

Ferreira, L. D. D.; Carrara, V. Simulação do sistema de controle de atitude do segundo Satélite de Coleta de Dados da MECB. I Simpósio Brasileiro de Tecnologia Espacial, 1., ago. 1990, São José dos Campos. **Anais...** p. 197-198.

Ferreira, L. D. D.; Carrara, V.; Padilha, O. S.; Ferraresi, V. A. **Attitude control subsystem preliminary design review - SCD2.** São José dos Campos: INPE, Oct. 1989. (A-REV-082). Publicação Interna.

Ferreira, L. D. D.; Cruz, J. J.; Carrara, V. **Reorientação do eixo de rotação do satélite SCD2 e estudos de visibilidade.** São José dos Campos: INPE, ago. 1988. (DCG-051/88). Publicação Interna.

Ferreira, L. D. D.; Carrara V. **Estudos de viabilidade para orientação do SCD2 perpendicular ao plano da eclíptica.** São José dos Campos: INPE, ago. 1988. (DCG-155/88). Publicação Interna.

Ferreira, L. D. D.; Carrara, V.; Padilha, O. S.; Ferraresi, V. A. **Attitude control subsystem preliminary design review**. São José dos Campos: INPE, Oct. 1989. Publicação Interna.

Medeiros, V. M.; Rao, K. R.; Kuga, H. K.; Souza, L. C. G.; Carrara, V.; Lopes, R. V. F. **Specification of the software for analysis and follow-up of the mission**. São José dos Campos: INPE, Aug. 1988. (CCS-SWR-0030). Publicação Interna.

Santana, C. E.; Carrara, V.; Ferreira, L. D. D. **SCD2 - Attitude control sSpecification**. São José dos Campos: INPE, May 1989. (A-ETC-0067). Publicação Interna.

Santana, C. E.; Carvalho, H. C.; Kono, J.; Carrara, V. **SCD2 - Spacecraft Specification**. São José dos Campos: INPE, Oct. 1988. (A-ETC-0060). Publicação Interna.

Souza, P.N.; Fonseca, I.M. **Relatório do teste de qualificação do amortecedor de nutação do SCD2 em um simulador dinâmico com mancal esférico Aerostático**. São José dos Campos: INPE, 1989. (Documento: A-ETD-0060). Publicação Interna.

#### 4.8 Determinação de Órbita e Atitude por GPS

**Descrição do estudo desenvolvido:** desenvolvimento de softwares de determinação de órbita e atitude por GPS, incluindo tratamento do multi-caminho.

**O que foi feito na DMC:** desenvolvimento de procedimentos e softwares e campanha para testes experimentais de prova conceitual.

#### Produção Técnico-Científica

Kuga, H. K.; Lopes, R. V. F.; Prado, A. F. B. A.; Nascimento, J. M.; Chiaradia, A. P. Orbit determination and navigation using GPS. In: Balthazar, José Manoel; Gonçalves, Paulo Batista; Brasil, R. M. **Nonlinear dynamics, chaos, control and their applications to engineering sciences**. ABCM;SBMAC, 2002. p. cap. 7, 93-108. Publicado como: INPE-9234-PRE/4906

Fabri, S.M.; Lopes, R.V.F. Determinação de atitude de satélites artificiais com o uso do GPS. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 3, p.65-67, 1998.

Fabri, S.M.; Lopes, R.V.F.; Ferreira, L.D.D. **Primeira campanha exploratória UFPR&INPE sobre observações GPS**. Curitiba: Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná, dez. 1996. 26 p.

Lopes, R. V. F.; Silva, A. R.; Prado, A. F. B. A. Navigation and Attitude Estimation from GPS Pseudorange, Carrier Phase and Doppler Observables. International

Astronautical Congress, 53., (IAC), 10-19 Oct., 2002. Houston, TX.

Lopes, R. V. F. Integer ambiguity resolution for spacecraft attitude determination using GPS. In: ION GPS 2002, 24-27 Sept., 2002. Portland, OR. **Proceedings...** p. 1088-1093.

Lopes, R. V. F.; Milani P. G. Consistent on-Board multipath calibration for GPS Based spacecraft attitude determination. ION GPS 2000, Salt Lake City, USA, 19-22 Sep. 2000, Salt Lake City, 2000.

Lopes, R. V. F.; Carrara, V.; Enderle, W.; Arbinger, C. Mitigating multipath by neural network. **Advances in the Astronautical Sciences**, v.105, Part 2, p. 1639-1650, 2000. (AAS 00-207).

Lopes, R.V.F.; Enderle, W.; Fabri, S.M.; Ferreira, L.D.D. Attitude determination from GPS interferometry applied to spin stabilized satellites at arbitrary spin rate. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, v.21, p. 89-98, 1999. Special Issue

Lopes, R.V.F.; Kuga, H.K.; Fabri, S.M.; Ferreira, L.D.D. GPS-based navigation solution and spin-axis attitude determination: numerical results of on the ground experiment. In: International Symposium on Space Flight Dynamics, 12., June 2-6, 1997, Darmstadt, Germany. **Proceedings...** p. 221-225.

Lopes, R.V.F.; Kuga, H.K. ORBEST - A GPS navigation solution algorithm without DOP analysis. **Advances in the Astronautical Sciences**, v.95-I, p. 153-166,1997. (AAS 97-108).

Lopes, R.V.F.; Fabri, S.M.; Ferreira, L.D.D. Attitude determination for spin stabilized satellites from GPS interferometry. **Advances in The Astronautical Sciences**, v. 95-II, p. 783-802, 1997. (AAS 97-165)

Lopes, R. V. F.; Enderle, W.; Arbinger, C. **DLR/GSOC's ground experiment campaign on spin-axis attitude determination using GPS: technical report**. São José dos Campos: INPE, Oct. 1999. 182 p.

Lopes, R.V.F.; Kuga, H.K. Optimal estimation of local orbit from GPS measurements. **Journal of Guidance, Control and Dynamics**, v.11, no. 2, p. 186-188, 1988.

#### **4.9 Estação Espacial Internacional e Satélites em Geral**

**Descrição do estudo desenvolvido:** Realizaram-se diversos estudos com o objetivo de compreender a dinâmica de grandes estruturas construídas no espaço, incluindo-se os efeitos de flexibilidade, também.



**O que foi feito na DMC:** Os estudos foram conduzidos na DMC e em alguns casos em cooperação com universidades do exterior, sendo todos realizados por meio de análises teóricas e simulações numéricas com computadores e estações de trabalho.

### **Produção Técnico-Científica**

Bainum, P. M.; Fonseca, I. M.. Structural/control optimization of a large low Earth Orbit Structure. In: Pan-American Congress of Applied Mechanics; International Conference on Dynamics Problems in Mechanics, 6. (DINAME 99), 4-8 Jan. 1999. Rio de Janeiro. **Proceedings...** p. 1127-1130.

Bainum, Peter M.; Ijar M. Fonseca, and Paulo T. M. Lourenção; Structural/Control Optimization of a Large Low Orbit Structure. In: Pamplona, D.; Steel, C.; Weber, H.I.; Gonçalves, P.B.; Jasiuk, I.; Bevilacqua, L., ed. **Applied mechanics in the Americas**. Rio de Janeiro: AAM and ABCM, 1999, v.8, p. 1127-1130

Carrara, V.; Gandelman, G.; Padilha, O. S.; Shaw, T. L.; Quintino, M. M.; Kono, J. **SCD3 AOCS specification**. São José dos Campos: INPE, Set. 1995. (A-ETC-2013). Publicação Interna.

Fonseca, I.M.; Study of the Jitter on the Attitude of a Dual-Spin Stabilized Satellite with Flexible Solar Panels. In: Japan-Brazil Symposium on Science and Technology, 6., data, local . v.1., p. 136 **Abstract...** Congresso Brasileiro de Automática, 7., 15-19 ago. 1988, São José dos Campos. **Anais...** p. 1010-1015. versão em Português.

Fonseca, Ijar M. and Peter M. Bainum, Integrated Structural and Control Optimization of a Large Space Structure With a Robot Arm by Using a Semi-Analytical Approach , International Astronautical Congress, 51., 2-6 Oct., 2000, Rio de Janeiro. (Paper IAF-00-I.2.02).

Fonseca, I. M.; Bainum, P. M. Integrated structural and control optimization approach for a large space station design. AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, 13., 9-13 Feb. 2003, Ponce, Puerto Rico,

Fonseca, I. M.; Bainum, P. M.; Integrated structural and control optimization of A large Space structure using analytical sensitivity analysis. AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, 16-19 Aug., Girdwood, Alaska 1999. (Paper AAS 99-376).

Fonseca, I.M.; Bainum, P. M.; Lourenção, P.T.M. Structural and Control Optimization of a Space Structure Subject to the Gravity-Gradient Torque, 49., Sep-Oct., 1998. Melbourne, Austrália. (Paper IAF-98-I.2.03, IAF).

Fonseca, I.; Bainum, P. Simultaneous structural and control optimization of large space structures. **Applied Mechanics Review**, v. 48, n. 11 Part 2, p. S175-S180, Nov. 1995. PACAM; 4., 1995, Buenos Aires, Argentina.

Fonseca, I.M., Bainum, P.M.; Lourenção, P.M. Sequential integrated approach for structural and control optimization. *BSAT*, 2., 1994, São José Campos, SP,

Fonseca, I.M., Bainum P.M.; Lourenção P.T.M. On the structural and control optimization of large space structures: a literature review. *Colóquio de Dinâmica Orbital*, 7., nov. 1994, Santos.

Fonseca, I.M., Bainum, P.M., Sessin, W.; Lourenção, P.T.M. Structural/control optimization of large space structures. *Congresso de Dinâmica Orbital*, 1996.

Fonseca, I. M.; Bainum, P. M., Integrated tructural/control of a large space structure with articulation. *Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital*, 9., nov. 1998, Águas de Lindóia.

Fonseca, I.M.; Bainum, P.M.; Simultaneous structural and control optimization of large space structures. **Applied Mechanical Reviews**, v. 48, n. 11, Part 2, p. S175-S180, Nov. 1995.

Fonseca, I. M.; Bainum, P. M.; Santos, M. C. CPU time consideration for LSS structural/control optimization models with different degrees of freedom. **Acta Astronautica**, v. 54, n. 4, p. 259-266, feb. 2004. Publicado como: INPE-11808-PRE/7162. Disponível na biblioteca digital URLib

Fonseca, I. M.; Bainum, P. M. Integrated structural and control optimization of a large space structure with a robot arm by using semi-analytical approach. In: *International Astronautical Congress*, 51. (IAF), 2-6 Oct. 2000, Rio de Janeiro, BR.(IAF-00-1.2.02). To appear in the Commemorative Issue of **Journal of Vibration and Control Honoring Professor Vinod Modi**, 2003.

Fonseca, I. M., Bainum, P. M.; Lourenção, P. T. M. Structural and Control Optimization of a Space Structure Subjected to the Gravity-Gradient Torque. *Acta Astronautica*, v.51, no.10, p.673-681, 2002.

Fonseca, I. M.; Bainum, P. M. Large Space Structure Integrated Structural and Control Optimization, Using Analytical Sensitivity analysis. **Journal of Guidance, Control, and Dynamics**, v.24 no.5, p. 978-982, Sep.-Oct., 2001.

Fonseca, I. M. Integrated structural/control optimization of a large space structure with articulation. In: Prado, A. F. B. A. **Advances in space dynamics**. São José dos Campos: INPE, 2000. p. 380-392. Publicado como: INPE-9228-PRE/4900.

#### 4.10 Controle de Órbita e Atitude do CBERS

**Descrição do estudo desenvolvido:** software de previsão de manobras de correção de órbita do CBERS-1.

**O que foi feito na DMC:** desenvolvimento de estratégia de correção de órbita para controle da deriva longitudinal do CBERS-1.

### **Produção Técnico-Científica**

Durão, O. S. C.; Kuga, H. K.; Carrara, V. **CBERS attitude determination and orbit control ground system specification**. São José dos Campos: INPE, Abr. 1995. Publicação Interna.

Kuga, H.K.; Lopes, R.V.F. and Rao, K.R. Orbit control analysis of China Brazil Earth resources (CBERS) Mission. In: International Astrodynamics Symposium, 11., International Symposium on Space Technology and Science, 20., May 19-25, 1996, Gifu, Japan. **Proceedings...** p. 131-136. (96-c-24).

Kuga, H. K.; Prasad, P.; Carrara, V. Flight dynamics analysis and operational support for CBERS. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, v. 21 Special Issue, p. 506-513. 1999.

Lopes, R.F.V.; Rao, K.R. **CBERS orbit control analysis**. São José dos Campos: INPE, 1995. 19 p. (CB-ITRT-054). Publicação Interna.

Orlando, V.; Kuga, H.K.; Lopes, R.V.F. Reducing the geopotential tesseral harmonic effects on autonomous longitude drift control of sun-synchronous satellites. **Advances in the Astronautical Sciences**, v. 95-I, p. 361-374, 1997. (AAS 97-124).

#### **4.11 Plataforma SubOrbital – PSO e respectivo sistema de estabilização inercial**

**Descrição do desenvolvimento:** Desenvolveu-se não apenas um estudo ou subsistema mas uma plataforma para experimentos de microgravidade, a Plataforma SubOrbital – PSO assim como o seu respectivo sistema de estabilização, o qual era baseado em sensores inerciais. Usaram-se giroscópios tipo DTG como sensores e jatos de gás quente (hidrazina) como atuadores. A PSO foi concebida, projetada, desenvolvida e integrada na DMC mas contou com a participação de diversas indústrias nacionais. Foi lançada a partir do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno – CLBI em Natal, RN, no dia 09/12/2000.

**O que foi feito na DMC:** toda a PSO, desde a sua concepção, projeto, simulação, montagem de todos os seus módulos, integração unitária e final assim como aplicação de testes funcionais de desempenho. Apenas os testes de vibração foram realizados no LIT, mas os testes de termo-vácuo foram realizados nos laboratórios da DMC.

## **Produção Técnico-Científica**

Barbosa, J.I.M.; Milani, P.G. **Relatório de progresso sobre os itens de ação da revisão de projeto da PSO. Período de outubro a novembro de 2000.** São José dos Campos: INPE. Divisão de mecânica Espacial e Controle, jan. 2000. (DMC, PSO-VER-005). Publicação Interna.

Furlan, B.M.P. **Estudo preliminar da performance da PSO.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, out. 1996. Publicação Interna.

Furlan, B.M.P. **Estudo preliminar da recuperação da PSO.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, nov. 1996. Publicação Interna.

Furlan, B.M.P. **Avaliação da dispersão real do veículo lançador (Sonda-III).** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, mar. 1997. Publicação Interna.

Furlan, B.M.P. **Recovery system for PSO (evolution study) DLR/GSOC.** Oberpfaffenhoffen, Germany, July 1997. (Doc.TN 97-10)

Furlan, B.M.P. **Estudo de sensibilidade do Veículo Lançador (Sonda-III).** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, out. 1997. Publicação Interna.

Furlan, B.M.P. **Estudo preliminar de performance e sensibilidade, da PSO, usando o veículo VS-30.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, out. 1997. Publicação Interna.

Furlan, B.M.P. **Desenvolvimento de modelo e software para cálculo da performance (trajetória) da PSO.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, dez. 1997. Publicação Interna.

Furlan, B.M.P. **Estudo da dispersão do veículo Sonda-III, em função do comprimento do trilho.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, Jan. 1998. Publicação Interna.

Furlan, B.M.P. **Estudo do efeito da rotação forçada, na dispersão do veículo Sonda-III.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, mar. 1998. Publicação Interna.

Galvão, S.M.C. **Relatório do teste das antenas de GPS do Projeto Plataforma SubOrbital:** relatório técnico interno. São José dos Campos: INPE. LIT, dez. 2001. (LIT08-PSO-TR-001). Publicação Interna.

Hinckel, N. **Conceição, A. S. Plano de segurança para operações de transferência e pressurização do sistema propulsivo a hidrazina da PSO.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, dez.2000 Publicação Interna.

Meulen, W.V.D; Hoofs, R.; Milani, P.G. **Real time simulation of the suborbital platform.** São José dos Campos: INPE, 1999. (INPE – 7037 – NTC/337). Publicação Interna.

Meulen, W.V.D; Hoofs, R.; Milani, P.G.; Simulação em tempo real com hardware na malha do sistema de estabilização da plataforma suborbital. Mini Simpósio de Plataformas para Experimentação em Ambientes de Microgravidade, 20 - 21 maio 1999, São José dos Campos.

Milani, P.G. **Sistema da Plataforma SubOrbital – PSO:** relatório de revisão final de Projeto. São José dos Campos: INPE, feb.2000. Publicação Interna.

Milani, P.G.; Einwoegerer, W.; Canellas, M.A.; Santos, M. B. G. A configuração do computador de bordo para uma plataforma estabilizada inercialmente, a Plataforma Suborbital (PSO). Simpósio Brasileiro de Engenharia Inercial, 3., 24 - 26 out. 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** p. 47-53. 1 CD-ROM

Milani, P. G. PSO - plataforma suborbital para experimentos em microgravidade. Mini Simpósio de Plataformas para Experimentação em Ambientes de Microgravidade, 20 - 21 maio 1999, São José dos Campos.

Silva, W.C.C. **Estudo do decaimento da força/pressão no interior do tanque de hidrazina do sistema propulsivo da Plataforma Sub-Orbital-PSO e implicações no sistema propulsivo.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, jun. 1997. Publicação Interna.

Silva, W.C.C. **Modelamento dinâmico do sistema de estabilização e propagação de atitude da Plataforma Sub-Orbital-PSO. Programa(Ctr1eix) - desenvolvido no Mathcad.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, jan. 1998. Publicação Interna.

Silva, W.C.C. **Análise de possíveis falhas e respectivas soluções no sistema de propulsão da Plataforma Sub-Orbital (ou análise do sistema com modos degradados).** Relatório(Prodegra). São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, fev.1998. Publicação Interna.

Silva, W.C.C. **Revisão do projeto preliminar-PDR da Plataforma Sub- Orbital. Este trabalho enfoca o sub-sistema dos giroscópios para determinação das velocidades angulares nos três eixos da PSO, bem como os atuadores (jatos de gás). Relatório (PDR2) revisado e atualizado.** São José dos Campos: INPE. Divisão de

Mecânica Espacial e Controle, fev. 1998. Publicação Interna.

Tredinnick, P.T.A.; Souza, M.L.O.; Milani, P. G. Simulação digital com sensores na malha de sistemas de controle de atitude de satélites artificiais. Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 9., 16 - 20 nov. 1998, Águas de Lindóia.

Tredinnick, P.T.A.; Souza, M.L.O.; Milani, P. G.; Digital simulation with sensors in the loop of attitude control systems of artificial satellites. **Advances in Space Dynamics**, FAPESP, ISBN 85-901487-1-8, July 2000.

#### **4.12 Protótipo de um mecanismo de acionamento de painel solar.**

**O que foi feito na DMC:** as partes mecânica e eletrônica foram desenvolvidas na DMC: mancais, redutores e acionamento para o motor de passo. Foi utilizado um motor SLO-SYn de 1,8 graus de passo e cerca de 1 Nm. O equipamento está localizado no laboratório da DMC.

**Missão ou equipamento a que foi aplicado:** Futuros satélites.

#### **Produção Técnico-Científica**

Ricci, M.C. **Mecanismos espaciais de baixa velocidade para acionamento de painéis solares: análise e projeto de um modelo experimental; dimensionamento de mancais.** São José dos Campos. (INPE-4859-TDL/370). Dissertação (Mestrado em Ciência Espacial/Mecânica Orbital) - INPE, ago. 1989.

Ricci, M.C.; Fleury, A.T. Projeto de um mecanismo espacial de baixa velocidade para movimentação de painéis solares. Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 10., dez. 1989, Rio de Janeiro.

Ricci, M.C.; Fleury, A.T. Análise comparativa de técnicas para cálculo de atrito em mancais de rolamento de esferas. Simpósio Brasileiro de Mecânica de Precisão, 2., mar. 1990, São Paulo.

Ricci, M.C. Modelling a BAPTA mechanism for the SCD3-satellite. International Conference on Non-linear Dynamics, Chaos, Control and Their Applications in Engineering Sciences, 2., (ICONE'96), 5-08 Aug., 1996, São Pedro.

Ricci, M.C.; Varotto, S. C. Towards a BAPTA mechanism for small satellites. German-Brazilian Workshop on Aerospace Technology, Aug.-Nov. 1997, São José dos Campos.

Ricci, M.C.; Varotto, S.C. Development of a BAPTA mechanism for small satellites. In: Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 9. 16 - 20 nov. 1998, Águas de Lindóia. Resumos dos Trabalhos. p.67.

Ricci, M.C.; Varotto, S. E. C. Towards a BAPTA mechanism for small satellites. In.: International Symposium on Space Flight Dynamics 14., 08 - 12 Fev. 1999, Foz do Iguaçu Book of Abstracts. p.109. ABCM. RBCM. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, v. 21, p. 625-636, 1999. Special Issue

Ricci, M. C.; Varotto, S. E. C. Development of a BAPTA mechanism for small satellites. In: AAS - AIAA Astrodynamics Specialist Conference, 16-19 Aug. 1999, Girdwood, **Proceedings...** 1999. (Paper AAS99-346)

Ricci, M.C.; Varotto, S. E. C. Development of a Bearing and Power Transfer Assembly mechanism for small satellites. In: Brazilian Congress of Mechanical Engineering, 15., COBEM 99, 22-26 nov. 1999, Águas de Lindóia. 1CD-ROM.

Ricci, M.C.; Varotto, S. E. C. A Bearing and Power Transfer Assembly Mechanism for Small Satellites. International Conference on Non-linear Dynamics, Chaos, Control and Their Applications to Engineering Sciences, 3., (ICONNE2000), July-Aug. 2000, Campos do Jordão, In.: Balthazar, J. M.; Gonçalves, P. B.; Brasil, R.M.F.L.R.F, ed. **Non-linear dynamics, chaos, control and their applications to engineering sciences**. ABCM SBMAC, 2002, v. 3: New Trends in Dynamics and Control, p. 149-158.

Ricci, M.C.; Varotto, S. E. C., Development of a Bearing and Power Transfer Assembly Mechanism for Small Satellites. In: Prado, A.F.B.A., ed. **Advances in space dynamics**. São José dos Campos: INPE, 2000. p.283-292.

Viana,R.; Ricci, M.C. (orientador). Desenvolvimento de um Motor de Passo de Alta Resolução. In: Seminário de Iniciação Científica do INPE, 2., 27 - 28 maio 1996, São José dos Campos.**Resumos dos Trabalhos**. p.27.

Viana, R.; Ricci, M.C. (orientador). **Protótipo de um motor de passo de alta resolução**. São José dos Campos, 60 p. Trabalho Final (Graduação) - CDT/EEL, nov. 1996,.

## 5 MEIOS DE CARACTERIZAÇÃO, SIMULAÇÃO E TESTES PARA SENSORES, ATUADORES E SISTEMAS DE CONTROLE DE ATITUDE E ÓRBITA (SCAO) DE SATÉLITES

### 5.1 Pêndulo para testes funcionais do Amortecedor de Nutação.

**Descrição do software, hardware e estudo desenvolvido:** Com o objetivo de determinar os parâmetros de amortecimento do Amortecedor de Nutação da série SCD em um de seus regimes de operação, foi necessário projetar um sistema dedicado que permitisse sua oscilação com o menor atrito residual possível. Isto foi alcançado por meio do Pêndulo com Mancal de Cutelo, conforme Figura 5.1. Trata-se de um pêndulo suspenso em um tipo de mancal que é universalmente adotado em sistemas mecânicos de alta precisão (cutelo). O modelo de engenharia do amortecedor de nutação foi fixado no pêndulo de mancal de cutelo que permitiu simular o modo spin-síncrono de atuação do amortecedor. Um software foi desenvolvido para adquirir os dados de amplitude de oscilação do pêndulo e a partir deles estimar os coeficientes de amortecimento do equipamento neste modo de atuação.

**O que foi feito na DMC:** a estrutura do pêndulo e os testes de caracterização do desempenho do amortecedor de nutação no modo spin-síncrono, a escolha da solução a ser adotada; especificação do equipamento; projeto mecânico e eletrônico; gerenciamento da fabricação; e execução da integração e dos testes de caracterização do aparato. Quanto à execução dos testes, foi da DMC a responsabilidade pela integração de modelo de engenharia do Amortecedor de Nutação ao pêndulo e a realização e tratamento dos dados dos testes.

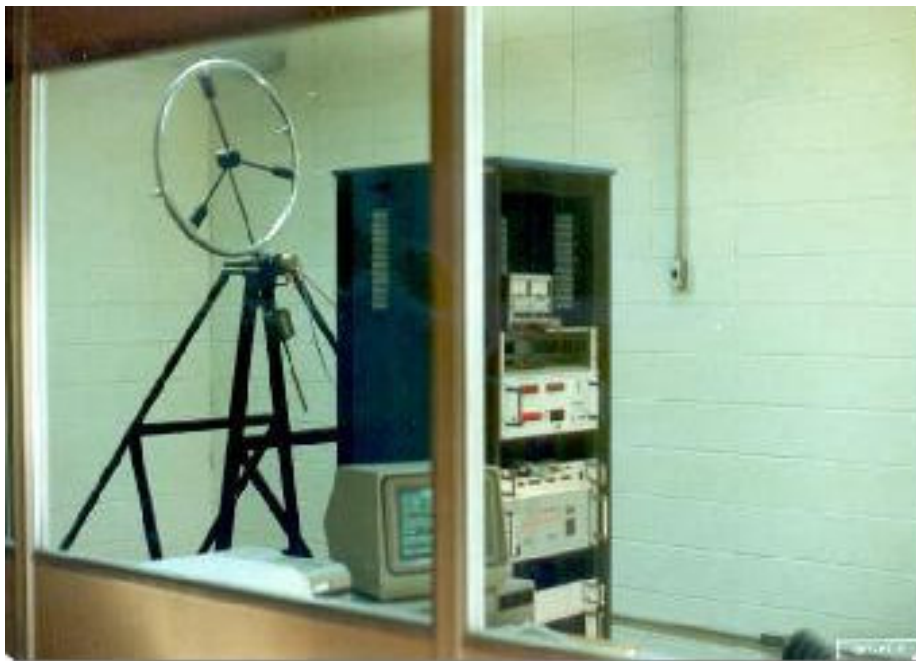


Fig. 5.1 - Foto do teste de desenvolvimento do Amortecedor de Nutação no Pêndulo com mancal de cutelo.



**Missão ou equipamento a que foi aplicado:** Testes de desenvolvimento do Amortecedor de Nutação dos satélites da série SCD.

### **Produção Técnico-Científica**

Cruz, J.J.; Lopes, R.V.F. Validação do método do sorvedouro de energia para avaliar o desempenho de um amortecedor de nutação. In: Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, 10., 21-25 set. 1987. Gramado. **Anais...** UFRG, p.183-187.

Lopes, R.V.F.; Ricci, M.C. **Determinação de configurações de um pêndulo para levantamento experimental do desempenho do amortecedor de nutação do satélite de coleta de dados da MECB.** São José dos Campos: INPE, ago. 1987. 69p. (DMC-29/87/NTI).

Lopes, R.V.F.; Ricci, M.C.; Gudes, U.T.V. **Partially filled viscous ring nutation damper: brief description and preliminary design.** São José dos Campos: INPE, jun. 1986. (NTI-AMNUT-007-DMC/86).

Lopes, R.V.F.; Ricci, M.C. **Resultados dos testes para determinação experimental do coeficiente de amortecimento do modo spín-síncrono.** São José dos Campos: INPE, nov. 1987. (NTI-DMC-031/87).

Lopes, R.V.F.; Fonseca, I.M.; Ricci, M.C. **Performance evaluation of the nutation damper in spin synchronous mode.** São José Campos: INPE, nov. 1987. (NTI-DMC-032/87).

## **5.2 Mesa de Rotação Controlada**

**DESCRIÇÃO:** Com o objetivo de criar ambientes de teste e simulação de sistemas de controle de atitude, a DMC desenvolveu uma Mesa de Rotação Controlada, Figura 5.2.



Fig. 5.2 - Foto da Mesa de Rotação Controlada e de seu rack de controle elétrico e eletrônico.

Seu projeto visou suprir um equipamento que pudesse ser integrado ao respectivo ambiente de teste conforme diagrama a seguir. Trata-se de um sistema eletromecânico capaz de proporcionar rotações na faixa de 1 rph (rotação por hora) a 100 rpm. O diâmetro útil da mesa é de 500 mm e a massa do experimento que pode se sobre ela montado chega a 50 kg. As acelerações angulares são superiores a  $500 \text{ }^\circ/\text{s}^2$  e a precisão do controle da velocidade angular está dentro de 1 %. Embora a solução adotada não tenha sido a mais moderna, pois na época já estavam disponíveis no exterior os sistemas de tração direta, sem redutores, a escolha feita foi de acordo com os limites tecnológicos do INPE e do mercado brasileiro para o fornecimento de partes, particularmente as eletromecânicas. Uma possível utilização da MRC é apresentada na Figura 5.3. O diagrama mecânico dela é apresentado na Figura 5.4. Já na Figura 5.5, apresenta-se o diagrama de operação da mesma.

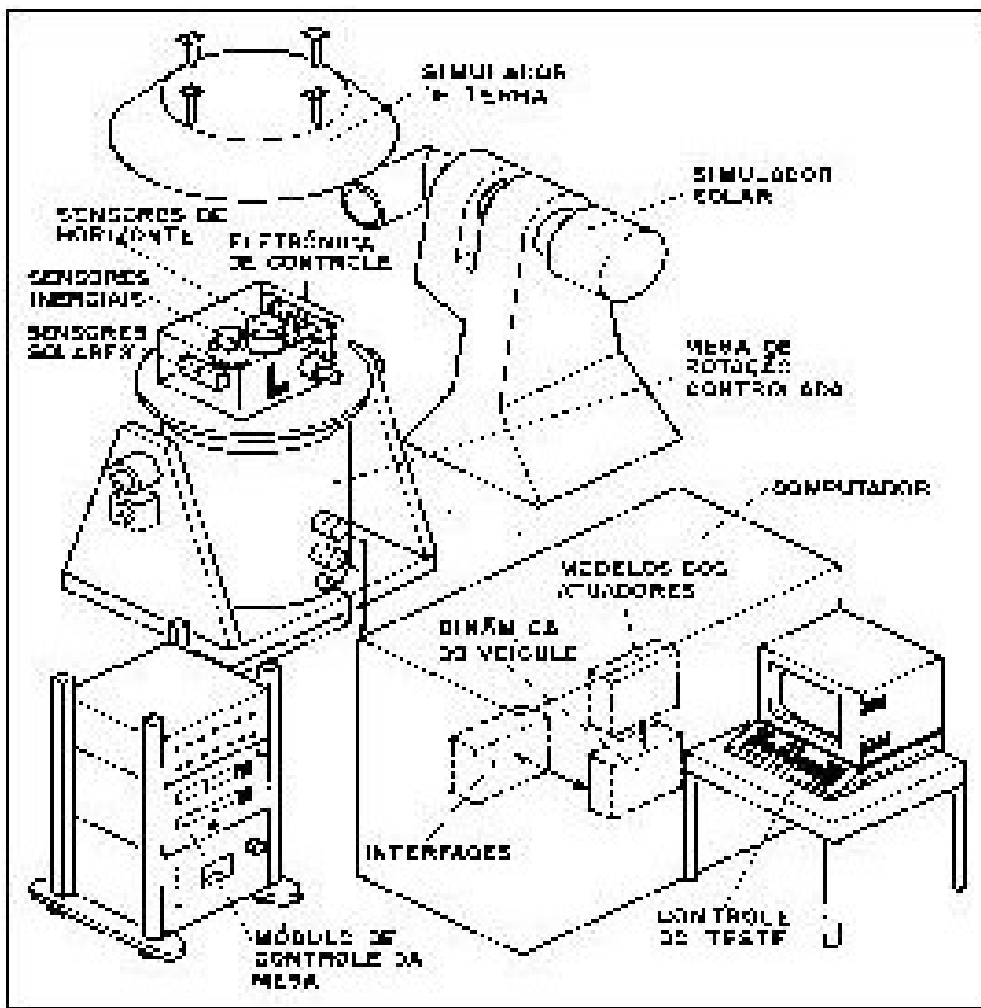


Fig. 5.3 - Diagrama funcional de um possível ambiente de teste de sistema de controle da atitude baseado na Mesa de Rotação Controlada.

**O que foi feito na DMC:** Escolha da solução a ser adotada; especificação do

equipamento; projeto mecânico e eletrônico; gerenciamento da fabricação mecânica e execução da fabricação eletrônica; integração e testes de caracterização do aparato.

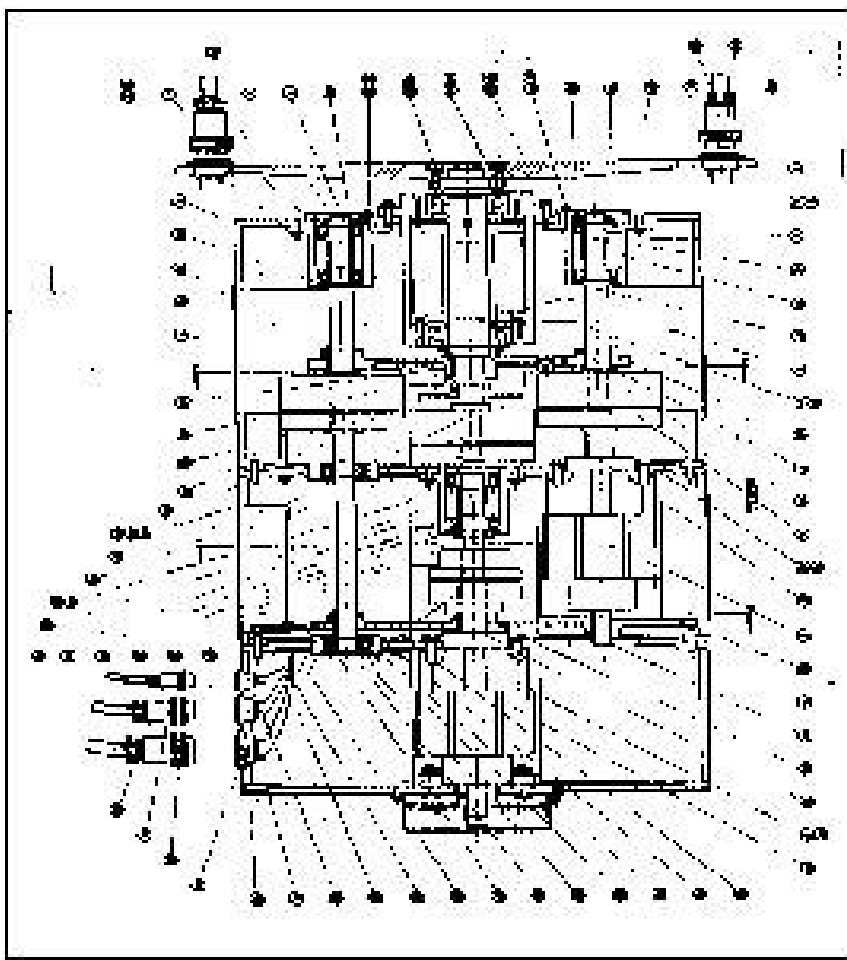


Fig. 5.4 - Diagrama mecânico da Mesa de Rotação Controlada.

**Missão ou equipamentos em que foi utilizada:** Testes de desenvolvimento do Amortecedor de Nutação dos satélites da série SCD.

#### **Produção Técnico-Científica**

Fleury, A.T.; Souza, P.N.; Ferraresi, V.A.; Trivelato, G.C.; Ribeiro, J.F. **Projeto, construção e testes de uma mesa de rotação controlada.** São José dos Campos: INPE, fev. 1988. 184 p. (INPE-4468-RTR/112)..

Fleury, A.T.; Souza, P.N.; Cardieri, L.V.C. Aspectos construtivos de bancadas para simulação de sistemas de controle de atitude de satélites artificiais. Congresso

Brasileiro de Engenharia Mecânica, 9., (COBEM), 7-11 dez.1987, Florianópolis. (INPE-4283-PRE/1155). 4 p.

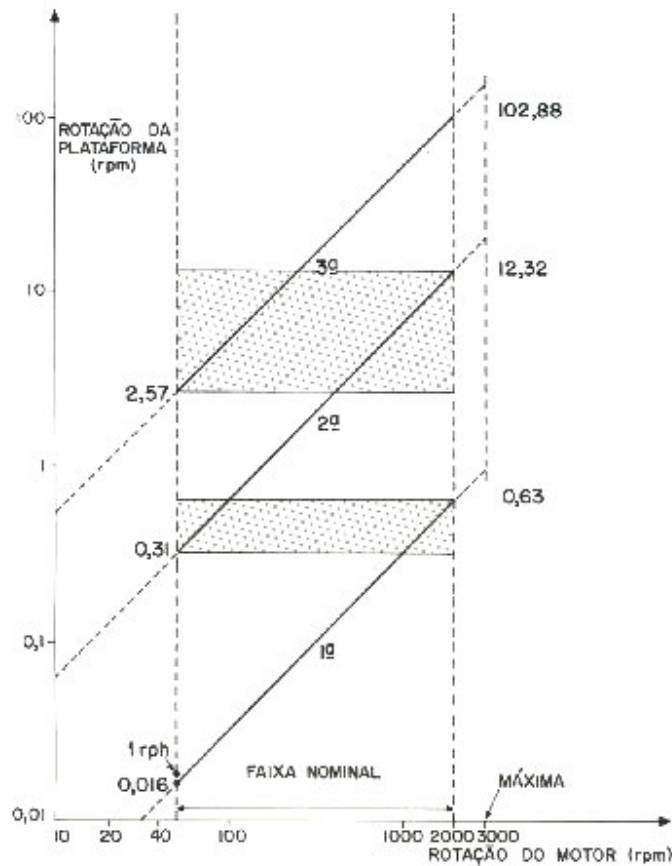


Fig. 5.5 - Diagrama de operação da Mesa de Rotação Controlada.

Fleury, A.T.; Souza, P.N.; Trivelato, G.C.; Ferraresi, V.A.; Ribeiro, J.F. Simulação e testes de sistemas de controle de atitude e órbita de satélites: considerações gerais sobre um caso exemplo (INPE) e projeto de uma mesa de rotação controlada. **Controle & Automação**, v.1, n.3, p.216-224, jul. 1987. (INPE-4282-PRE/1154).

Fleury, A.T.; Souza, P.N.; Ferraresi, V.A.; Trivelato, G.C.; Ribeiro, J.F. **Projeto, construção e testes de uma mesa de rotação controlada**. São José dos Campos: INPE, abr. 1987. Relatório apresentado à FINEP/PADCT. Publicação Interna.

### 5.3 Mesa de Mancal a Ar de 1 Eixo

**Descrição:** Plataforma que está apoiada sobre um mancal cilíndrico onde o ar comprimido exerce a função de lubrificante, evitando que haja contato físico entre as

partes fixa e móvel, permitindo uma rotação com um torque residual mínimo e próximo da ordem de grandeza daqueles que um satélite teria caso estivesse solto no espaço. A Figura 5.6 apresenta a Mesa de Mancal a Ar de 1 Eixo e do respectivo painel de comando e a Figura 5.7 apresenta a mesma Mesa, agora equipada com um experimento incluindo Roda de Reação, Giroscópio e propulsores.

**O que foi feito na DMC:** Essa mesa foi totalmente projetada, desenvolvida, integrada e testada nesta Divisão. Deu origem a uma Tese de Mestrado (Victor Carone Cardieri) que foi desenvolvida, defendida e publicada no INPE.



Fig. 5.6 - Mesa de Mancal a Ar de 1 Eixo e painel de alimentação e comando.

**Missão ou equipamento a que foi aplicada:** Simulação de sistemas de controle com um grau de liberdade. Foram feitas simulações para teste de bobinas magnéticas e de leis de controle com sistemas compostos de roda de reação e propulsores de jatos de gás frio (Figura 5.7).

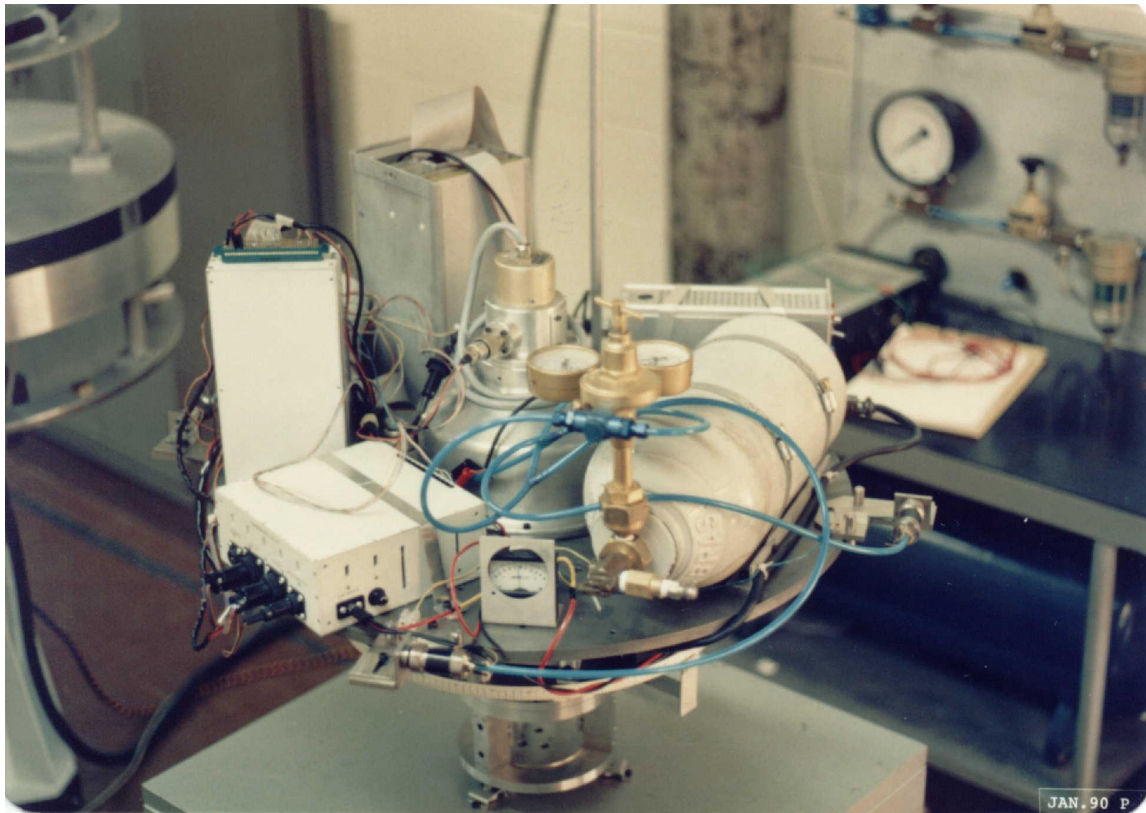


Fig. 5.7 - Mesa de Mancal a Ar de 1 Eixo e painel de alimentação e comando.

### Produção Técnico-Científica

Ver outros trabalhos em: *Um experimento de teste da bobina de rotação do SCD2.*

Cardieri, L. V. C.; Tu, C. C.; Fleury, A. T. **Mesa com mancais aerostáticos para simulação em um grau de liberdade de sistemas de controle de atitude de satélites artificiais.** São José dos Campos: INPE, ago. 1987, 5p. (INPE-4272-PRE/1144).

### 5.4 Mesa de Mancal a Ar de 3 Eixos

**Descrição:** Plataforma semelhante à anterior mas agora apoiada sobre um mancal esférico onde o ar comprimido exerce a mesma função de lubrificante, permitindo que a plataforma apoiada sobre o mancal tenha movimentos de rotação em três graus de liberdade e com torques residuais mínimos, possibilitando o teste de atuadores e sistemas de controle de satélites com maior número de graus de liberdade do que com o uso da outra mesa com 1 eixo. A mesa é apresentada na Figura 5.8.

**O que foi feito na DMC:** Essa mesa também foi totalmente projetada, desenvolvida, integrada e testada nesta Divisão. A fabricação foi feita por indústrias nacionais e teve seu acompanhamento realizado por pessoal da DMC, também.



Fig. 5.8 – No primeiro plano, a Mesa de Mancal a Ar de 3 graus de liberdade com um amortecedor de natação montado para testes.

**Missão ou equipamento a que foi aplicado:** Simulação de sistemas de estabilização e controle com 3 graus de liberdade. O Amortecedor de Natação desenvolvido no INPE/DMC foi testado usando esse recurso e foi usado nos satélites da série SCD e SACI.

#### **Produção Técnico-Científica**

Ver outros trabalhos sobre os testes do Amortecedor de Natação.

Cardieri, L.V. C.; Varotto, S. E. C. **Projeto de um simulador dinâmico com mancal esférico aerostático para testes de sistemas de controle de atitude de satélites**

artificiais. São José dos Campos: INPE, ago. 1987, 5p. (INPE-4284-PRE/1155).

## 5.5 Modelo Experimental de Roda de Reação

**Descrição:** Com o objetivo de construir uma roda de reação que pudesse ser utilizada em simulações de sistemas de controle de atitude, e que também pudesse servir de base para o desenvolvimento de um modelo de vôo, a DMC desenvolveu um modelo experimental de uma roda da categoria de 2 Nms, que é dimensão freqüentemente adotada em satélites de médio porte (Figuras 5.8 e 5.9). O projeto constou de um volante suspenso em mancais de rolamento de alta precisão, que é acionado por um motor de corrente contínua. A rotação do volante é detectada por um codificador óptico e um módulo eletrônico fecha a malha de controle digital. O torque máximo do motor é de 0,14 N.m e a rotação máxima do volante é de 2000 rpm.

**O que foi feito na DMC:** Escolha da solução a ser adotada; especificação do equipamento; projeto mecânico e eletrônico; gerenciamento da fabricação mecânica e execução da fabricação eletrônica; integração e testes de caracterização do aparato.



Fig. 5.9 - Foto do Modelo Experimental da Roda de Reação e de sua eletrônica.

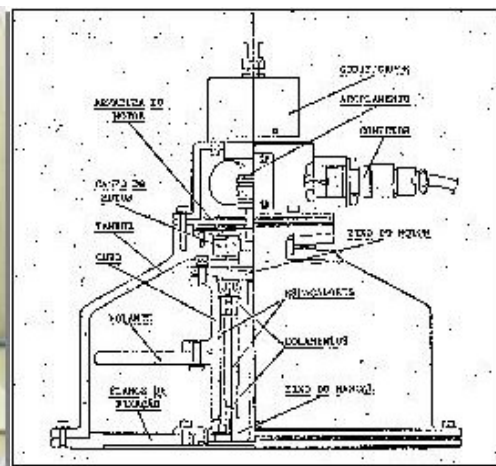


Fig. 5.10 - Diagrama mecânico do Modelo Experimental da Roda de Reação.

**Missão ou equipamentos a que foi aplicado:** Este experimento serviu de base para o desenvolvimento do Experimento Roda de Reação para os satélites da série SCD e também foi utilizado como unidade de teste de sistemas de controle da atitude montados em mesa de mancal a ar de um eixo.

### Produção Técnico-Científica

Souza, P.N.; Fleury, A.T. Modelo experimental de uma roda de reação para controle da



atitude de satélites artificiais: construção, simulação e testes. Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 9., (COBEM), 7-11 dez.1987, Florianópolis. (INPE-4274-PRE/1146).

Souza, P.N. **Análise, projeto, construção e testes de um modelo de roda de reação para aplicações espaciais.** José dos Campos. 185 p. (INPE-4358-TDL/299).

Dissertação (Mestrado em Ciência Espacial/Mecânica Orbital) - INPE, set. 1987.

Souza, P.N.; Fleury, A.T.; Fellipe de Souza, J.A.M. Projeto de um modelo experimental de uma roda de reação para controle de atitude de satélites artificiais. Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 8., (COBEM), 10-13 dez. 1985, São José dos Campos. (INPE-3526-PRE/747).

## 5.6 Métodos para Testes de Sensores Inerciais

**Descrição do estudo desenvolvido:** Testes de múltiplas posições e outros, estáticos, utilizando ou não o simulador dinâmico em 3 eixos Contraves e sob responsabilidade operacional da DMC, para validação das especificações de sensores inerciais (giros) de alta precisão.

**O que foi feito na DMC:** “Set up” dos testes para utilização do simulador dinâmico em 3 eixos ou utilização de desempenho fixo sobre bloco sísmico, softwares de aquisição de dados e interpretação de resultados, interface de coleta de dados e desenvolvimento de toda a metodologia de testes.

### Produção Técnico-Científica

Gandelman, G.; Durão, O. S. Testes para validação e desenvolvimento de sensores inerciais. In: Congresso Brasileiro de Automatica, 8., set. 1990, Belém. **Anais...** v.2, p. 1293-1298.

Santoro, C.A.; Milani, P.G.; Souza, M.L.O. Uma implementação do teste de múltiplas posições para caracterização de giroscópios tipo DTG. Simpósio Brasileiro de Engenharia Inercial, 3., 24 - 26 out. 2001, Rio de Janeiro. Instituto Militar de Engenharia. **Anais...** p.200-205. 1 CD-ROM.

Santoro, C.A.; Milani, P.G.; Souza, M.L.O. Caracterização e testes de sensores inerciais. Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, (COBEM) 26-30 nov. 2001, Uberlândia. Universidade Federal de Uberlândia.

## 5.7 Arquitetura do Laboratório de Simulação

**Descrição do estudo desenvolvido:** Realizaram-se diversos estudos e desenvolvimentos que visavam conceber e implementar a arquitetura do Laboratório de Simulação (LabSim) de Sistemas de Controle de Atitude e Órbita (SCAO) de satélites

artificiais.

**O que foi feito na DMC:** Proposta de estrutura para o hardware e o software de simulação. Instalação de parte do LabSim no LIT e, mais recentemente, em um prédio próprio. O laboratório era composto dos equipamentos: simulador Dinâmico em 3 eixos (Contraves 53M2-30H), computador Vax 11/780 e diversos opcionais, processador paralelo Array Processor FPS-5420 para Vax 11/780. Instalação de parte do LabSim no prédio Satélite, composto de bloco sísmico para suporte dos simuladores, Mesa de Rotação Controlada de 1 Eixo, Mesa de Mancal a Ar de 1 Eixo, Mesa de Mancal a Ar de 3 Eixos.

Atualmente todos os equipamentos acima estão instalados em prédio próprio (prédio LabSim) e o sistema computacional foi trocado por um conjunto de 10 servidores tipo IBM-PC da Dell, com duas CPUs tipo Xeon de 2GHz, winchesters de 80GB com barramento SCSI e 1GB de memória RAM.

**Missão a que foi aplicado:** Os equipamentos do LabSim foram utilizados nas simulações de diversos satélites desenvolvidos no INPE, em diversos trabalhos acadêmicos e na caracterização de sensores inerciais (giroscópios e acelerômetros) para o INPE e para usuários de outras instituições.

### **Produção Técnico-Científica**

Fleury, A. T.; Milani, P. G. **Instalação do simulador dinâmico contraves 53M2-30H no Laboratório de Integração e Testes do INPE.** São José dos Campos: INPE, mar.1988, (NTI-0001/88).

Martins Neto, A.F.; Maizza, Neto, O.; Fleury, A.T. **Plano de implantação do Laboratório de Controle de Atitude e de Órbita.** São José dos Campos: INPE, mar.1982. (INPE-236-NTI/161).

Milani, P. G.; A new architecture for the simulation and testing of satellite attitude and orbit control systems. hardware and software description. In: World Congress, IFAC, Sidney, 12., 18-23 July 1993, Australia. **Proceedings...** v.5, p.161-164.

Rios Neto, A.; Kuga, H. K.; Cruz, J. J.; Padilha, O. S.; Milani, P. G. **Documento de especificação de requisitos de um pacote de software para simulação de atitude em tempo real.** São José dos Campos: INPE, out. 1987. (NTI-DMC-033/87).

## **5.8 Desenvolvimentos para Laboratório de Simulação**

### **5.8.1 Placas para controle do Simulador Dinâmico em 3 eixos**

**Descrição:** Placa para controle do simulador que faz interface diretamente com o

módulo CPU daquele equipamento, permitindo o comando do mesmo com a maior velocidade possível. Foram feitas duas versões dessa mesma placa de interface: a primeira foi feita para o processador de interface de propósito geral (GPIOP) do Array Processor FPS-5420. A segunda versão foi feita com o objetivo de interfacear o mesmo módulo CPU do simulador, agora com um computador IBM-PC através de seu barramento ISA.

**O que foi feito na DMC:** Todo o projeto da eletrônica dessas placas, a fabricação das mesmas, a confecção dos cabos de interligação, a realização dos testes de fabricação e de instalação e a elaboração de um software driver básico que permitiu o desenvolvimento de todos os outros softwares que utilizam essas placas.

**Missão a que foi aplicado:** todas as simulações em que o simulador foi uma parte da malha de controle e na caracterização de sensores inerciais.

### **Produção Técnico-Científica**

Sobre a primeira das interfaces de comunicação do GPIOP/FPS-5410 não há registro de nenhuma documentação a seu respeito.

Sakuragui, R. R. M.; Rosa, W. R. F.; Milani, P. G. **Descrição do hardware da interface PC-C (PC-Simulador Contraves)**. São José dos Campos: INPE, 1997. (INPE-6379-MAN/013).

### **5.8.2 Softwares para placas de controle do Simulador Dinâmico em 3 eixos**

**Descrição:** Com base nas placas para controle do Simulador Dinâmico em 3 eixos desenvolveu-se um conjunto de softwares aplicativos baseados no driver das placas citadas anteriormente.

**O que foi feito na DMC:** O primeiro software desenvolvido para a primeira das placas de comunicação entre o Array-Processor e o Simulador em 3 Eixos realizado em 1990. Em seguida foi feito um software de interface para Matlab que utilizava-se dessas rotinas de comunicação, ainda no sistema Vax 11/780 com FPS-5410 / GPIOP e placa de comunicação com simulador. Depois de se aposentar o Vax desenvolveu-se o mesmo sistema baseado em computador IBM-PC, agora com uma placa padrão ISA para comando do simulador. Desenvolveu-se um novo software driver, agora em Fortran. Desenvolveu-se novamente um conjunto de rotinas para comando do simulador, um outro conjunto de rotinas para comando estendido do simulador e um outro conjunto de rotinas que permite o comando do simulador através do Matlab. Finalmente, desenvolveu-se um conjunto de rotinas semelhantes às já descritas, agora para o comando de um Multiprogramador (STD 85MP), o que permitiu trazer os dados coletados dos experimentos e sensores do laboratório para dentro do ambiente do Matlab. As versões mais recentes de todos esses softwares foram desenvolvidas em C.

**Missão a que foi aplicado:** Esses softwares foram usados para a caracterização de sensores e plataformas de navegação que foram testados na DMC.

### **Produção Técnico-Científica**

Diehl, J. B.; Perez, J. S. **Utilização do GPIOP no processador matricial FPS-5410.** São José dos Campos: INPE, out. 1990, 73p. (INPE-5152-RPE/634)

Diehl, J. B.; Perez, J. S. **Noções fundamentais para utilização do Processador Matricial FPS-5410.** São José dos Campos: INPE, jan. 1990, 82p. (INPE-5091-RPE/624).

Diehl, J. B.; Perez, J. S. **Utilização do GPIOP no Processador Matricial FPS 5410.** São José dos Campos: INPE, out. 1990. (INPE-5152-RPE/634).

Milani, P.G. ; Rosa, W. R. F. **Rotinas complementares de controle da interface PC-C (PC-Simulador Contraves):** descrição e utilização. São José dos Campos: INPE, 1997. (INPE-6378-MAN/012).

Rosa, W. R. F. ; Milani, P. G. Utilizando o Matlab para o controle de um Simulador Dinâmico em Três Eixos. Brazilian Congress of Mechanical Engineering, 14., (COBEM), Dec. 8-12, 1997, Bauru. p. 298.

### **5.9 Instrumentação e Sistema de Telemetria e Telecomandos para Mesa de Mancal a Ar**

**Descrição:** Diversos desenvolvimentos realizados no Laboratório de Eletrônica para instrumentação de experimentos realizados com ou sem os simuladores disponíveis na DMC.

**O que foi feito na DMC:** Desenvolveu-se um sistema de TM/TC de baixo alcance e custo para utilização juntamente com Mesa de Mancal a Ar, um sistema de medida de posição da mesma mesa, sem contato físico, e com interface para multiprogramador.

Desenvolveu-se também um software de controle desse mesmo multiprogramador para Matlab.

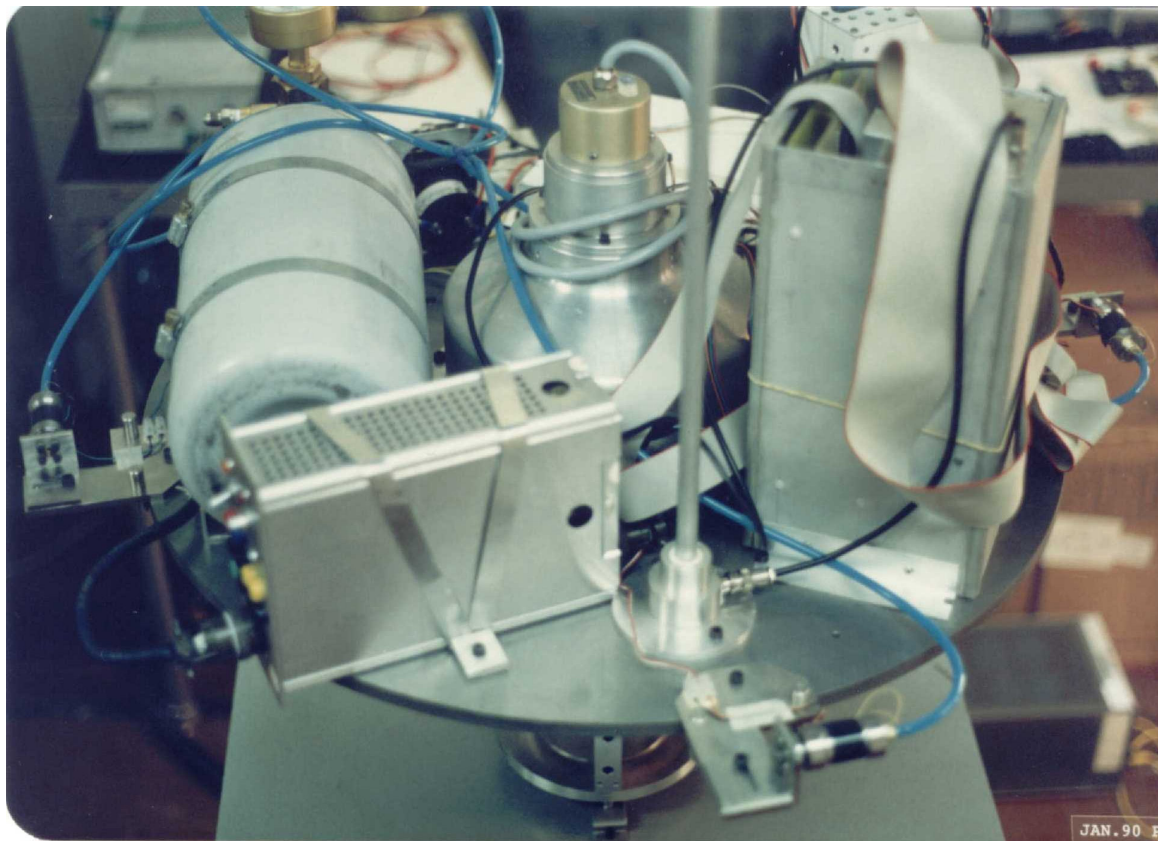


Fig. 5.10 – Sistema de Telemetria e Telecomando (à esquerda) montado sobre Mesa de Mancal a Ar de 1 Eixo com experimento.

**Missão a que foi aplicado:** diversos experimentos que foram realizados no Lab. da DMC, particularmente com as Mesas de Mancal a Ar de 1 Eixo.

#### **Produção Técnico-Científica**

Lima Jr., L. P. de.; Milani, P. G. Controle de um Multiprogramador Via Matlab. Brazilian Congress of Mechanical Engineering, 14., (COBEM) 8-12 dec. 1997, Bauru. **Abstracts.** p. 306.

Milani, P. G.; Silva, S.L.; Passos, H.R. Aspectos de instrumentação de uma Mesa de Mancal a Ar para Simulação de Sistemas de Controle de Atitude e Órbita. Simpósio Brasileiro de Tecnologia Aeroespacial, 2., 17-21 out. 1994, São José dos Campos. ITA.

Milani, P. G.; Ribeiro, J. F., Um sistema de telemetria e telecomandos de baixo custo para a medição remota de grandezas físicas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 9., dez. 1987, Florianópolis. **Anais...v.2,** p. 923 a 926.

Milani, P. G.; Lima Jr., L. P. D. **Descrição do software da interface Matlab/Multiprogramador**. São José dos Campos: INPE, 1997. (INPE-6381-MAN/015).

Milani, P.G.; Camargo,L.A.P.; Um Software de Interface entre o Matlab e uma Unidade de Aquisição de Dados. Simpósio Brasileiro de Tecnologia Aeroespacial.2., 17 - 21 out. 1994, São José dos Campos. ITA

### **5.10 Suporte para espelho octogonal para alinhamento de Simulador em 3 eixos**

**Descrição:** Desenvolveu-se um Suporte para Espelho Octogonal para realização do Teste de Múltiplas Posições no simulador dinâmico em 3 eixos Contraves 53M2B-30H. O espelho foi especificado e adquirido de fabricantes independentes, de acordo com as especificações do fornecedor do simulador dinâmico.

**O que foi feito na DMC:** O suporte foi projetado em conjunto com a Oficina Mecânica do INPE (DMF) e foi fabricado nessa mesma oficina.

**Missão a que foi aplicado:** Para a calibração do simulador em 3 eixos.

#### **Produção Técnico-Científica**

Milani, P.G.; H.F. Barreiros; Um suporte para espelho octogonal para calibração de um simulador dinâmico em três Eixos. Simpósio Brasileiro de Tecnologia Aeroespacial, 2., 17 - 21 out. 1994, São José dos Campos. ITA.

### **5.11 Serviços prestados para terceiros**

**Realização de Simulação da Plataforma de Petróleo:** serviço prestado para a NavCon/Petrobrás através do Laboratório de Simulação – LabSim da DMC, utilizando o simulador dinâmico em 3 eixos 53M2-30H da Contraves.

**Levantamento dos dados de Plataforma Inercial:** serviço prestado para o Centro de Pesquisas Renato Archer – CenPra dentro de acordo de cooperação existente entre as duas instituições, através do Laboratório de Simulação – LabSim da DMC, utilizando o simulador dinâmico em 3 eixos 53M2-30H da Contraves. Realizou-se a caracterização dos giroscópios e dos acelerômetros da Central Inercial, o que permitiu a correção dos parâmetros da mesma para melhora de sistema de navegação autônoma para balão dirigível.

#### **Produção Técnico-Científica**

Faria, B.G.; Pereira, C.S; Milani, P.G; Santoro, C.A; Cunha, S.P; Bueno, S.S.; Obtenção

de parâmetros de aferição de uma unidade de medição inercial para aplicação em sistemas embarcados Robóticos autônomos. Submetido, aceito e publicado nos anais do Simpósio Brasileiro de Automação Industrial, 2003, São Paulo. 6p.

## 6 SIMULAÇÕES E SOFTWARES

### 6.1 Programa para o cálculo da posição do centro de massa e dos momentos e direções principais de inércia de um arranjo mecânico genérico de sólidos homogêneos – Software “Inércia-262”

**Descrição:** A falta de uma ferramenta para análise da arquitetura mecânica dos satélites da série SCD levou à elaboração de um software que permitisse o cálculo de forma rápida e interativa, ao longo do processo de desenvolvimento do projeto, dos parâmetros de inércia (momentos e produtos de inércia, posição do centro de massa e alinhamento dos eixos principais de inércia). Esta ferramenta foi utilizada para o desenvolvimento dos satélites da série SCD e era denominado Inércia-262. . Posteriormente ela foi atualizada e incorporou métodos estatísticos para analisar o comportamento dos parâmetros de inércia do sistema integrado frente às incertezas nos parâmetros dos equipamentos individuais. Hoje a demanda por um programa deste tipo é menor graças aos recursos disponíveis nos programas de CAD, cujo uso está muito mais disseminado que à época da MECB.

**Ambiente de Desenvolvimento:** O software foi originalmente elaborado na linguagem ALGOL, quando foi denominado Inércia-262 (1984). Posteriormente ele foi atualizado para o ambiente MathCAD, e passou a ser denominado Iner\_MC1 (1997). Uma versão incorporando métodos estatísticos (técnica de Monte Carlo) chegou a ser elaborada, mas não foi tornada operacional.

Estabelecimento da fundamentação teórica; desenvolvimento, teste e atualização das diversas versões do software.

**Missão ou equipamentos a que foi aplicado:** Satélites das séries SCD e SACI.

#### Produção Técnico-Científica

Araújo, E.F.R.; Rios Filho, L.G.; Souza, P.N. Inércia 262. **Programa para o cálculo dos momentos e direções principais de inércia do satélite de coleta de dados da MECB.** São José dos Campos: INPE, out. 1984. 37 p. (INPE-3328-RPI/117).

### 6.2 Dinâmica do Amortecedor de Nutação para o SCD2

**Descrição do software desenvolvido:** Análise dinâmica do SCD2 contendo um amortecedor de nutação similar ao do SCD1. O objetivo foi analisar a eficiência do amortecedor para o SCD2, estabilizado a uma rotação quatro vezes menor do que a rotação do SCD1. Participação nos Testes de Qualificação do Amortecedor de Nutação do SCD2 em um Simulador Dinâmico com Mancal Esférico Aerostático (Mesa de



Mancal a Ar em 3 Eixos).

**Missão ou equipamento a que foi aplicado: SCD2**

**Produção Técnico-Científica**

Ver publicações em: 4.3 - Estabilização e Controle do SCD2

### **6.3 Dinâmica do Amortecedor de Nutação para o SACI-1**

**Descrição do software desenvolvido:** Estudo da dinâmica de rotação do satélite para inclusão de um amortecedor de nutação no subsistema de controle de atitude do SACI-1.

**Missão ou equipamento a que foi aplicado:** SACI 1.

**Produção Técnico-Científica**

Ver publicações em: Estabilização e Controle do SACI-1.

### **6.4 Levantamento e Correção de Erros em Sensores de Horizonte**

**Descrição do software desenvolvido:** levantamento e correção de erros em sensores de horizonte.

**O que foi feito na DMC:** Um software foi desenvolvido na DMC. Foi feito um levantamento das fontes de erros sistemáticos que influenciam a precisão dos sensores de horizonte e foram desenvolvidos softwares para correção dos erros. Feito em Fortran.

**Missão ou equipamento a que foi aplicado:** futuros satélites.

**Produção Técnico-Científica**

Ricci, M.C. Erros sistemáticos em sensores de horizonte. Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 5., nov. 1990, Curitiba.

Ricci, M.C.; Carrara, V. Attitude errors due to misalignments in conical scanning earth sensors. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia Aeroespacial, 2., 17-21 out. 1994, São José dos Campos.

**Descrição do software desenvolvido:** Cálculo de atrito em mancais de rolamento.

**O que foi feito na DMC:** O software foi desenvolvido na DMC. Permite calcular o torque de atrito em qualquer condição de precarga e de velocidade. Feito em Fortran.

**Missão ou equipamento a que foi aplicado:** futuros satélites.

### **Produção Técnico-Científica**

Ricci, M.C. **Aplicação de métodos numéricos de continuação e de bifurcações ao problema do mancal hidrodinâmico liso, longo, com e sem a presença de cavitação.** São José dos Campos. Tese (Doutorado em Ciência Espacial/Mecânica Orbital) - INPE, jul. 97.

Ricci, M.C.; Souza, P. N. Mancal radial de deslizamento: Determinação de ramos de soluções periódicas e pontos de bifurcação complexos. In: Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones, 10., (ENIEF), 10., S. C. de Bariloche, Argentina, 1997. Mecânica Computacional. Bariloche, Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 1997. **Anais...** v. 18, p. 133-142.

Ricci, M.C.; Souza, P. N. Mancal radial de deslizamento: Determinação de ramos de soluções periódicas e pontos de bifurcação complexos/Radial. Journal Bearing: Periodic Branching and Hopf Bifurcation Points Determination. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 14., (COBEM), dez. 1997. Bauru. **Abstracts.** UNESP.

Ricci, M.C.; Souza, P. N. Mancal radial de deslizamento: Determinação de ramos de soluções periódicas e pontos de bifurcação complexos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 14., (COBEM), dez. 1997, Bauru. UNESP. 1 CD-ROM.

Ricci, M.C. Application of numerical continuation and bifurcation methods to the long journal bearing problem in the presence and absence of cavitation. In: Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 9., 16-20 nov. 1998, Águas de Lindóia. Resumos dos trabalhos. p.93.

Ricci, M. C.; Souza, P. N. Behavior of the infinitely long radial journal bearing under-film cavitation model. In: Balthazar, José Manoel; Gonçalves, Paulo Batista; Brasil, R. M., (ed.) **Nonlinear dynamics, chaos, control and their applications to engineering sciences.** ABCM;SBMAC, 2002. p. cap. 10, 137-148. Publicado como: INPE-9238-PRE/4910.

Ricci, M.C.; Souza, P. N. Radial long journal bearing: numerical determination of hopf bifurcation points and branching of periodic orbits. In: Prado, A.F.B.A. (ed.), **Advances in space dynamics.** São José dos Campos: INPE, 2000. p.293-303, publicado como INPE-9224-PRE/4896.

### **6.5 Testes para caracterização do Amortecedor de Nutação dos satélites da série SCD em Mesa de Rotação Controlada**

**Descrição:** Este teste de desenvolvimento (Figuras 6.1 e 6.2) foi complementar ao

realizado com o Pêndulo com Mancal de Cutelo, e teve o objetivo de caracterizar o Amortecedor de Nutação e um segundo regime de operação.

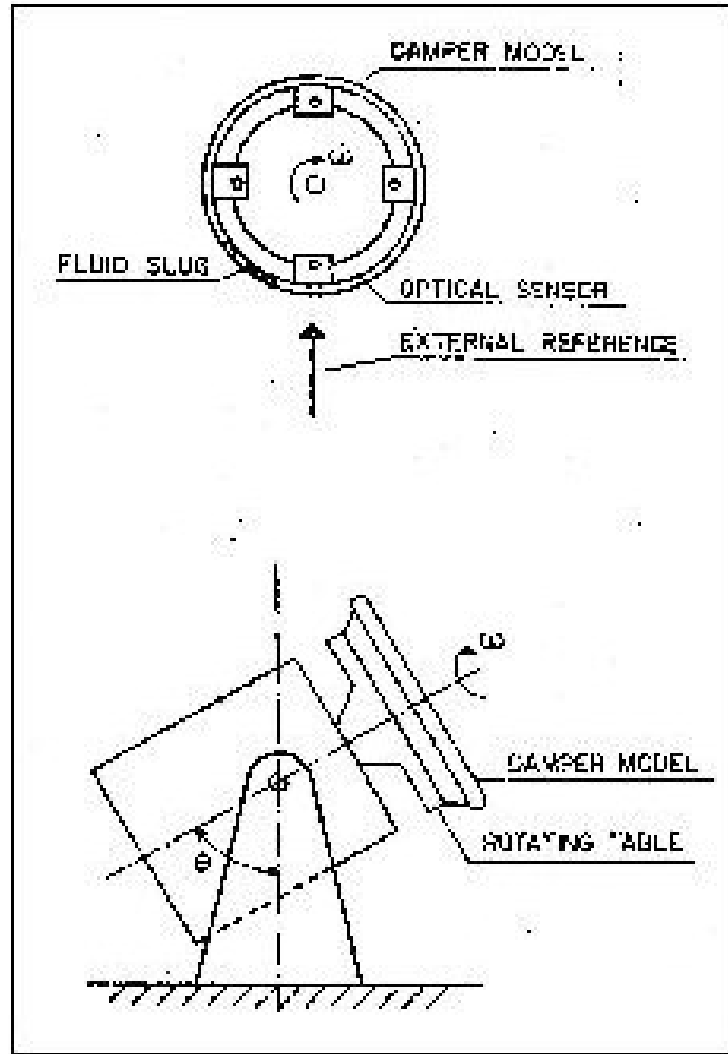


Fig. 6.1 - Teste de caracterização do Amortecedor de Nutação com MRC.

**O que foi feito na DMC:** Especificação, planejamento, execução e tratamento dos dados dos testes.

**Missão ou equipamentos a que foi aplicado:** Testes de desenvolvimento do Amortecedor de Nutação dos satélites da série SCD.

#### **Produção Técnico-Científica**

Não há registro de publicação no tema. Os resultados obtidos foram incorporados à documentação de especificação e projeto do Amortecedor de Nutação.

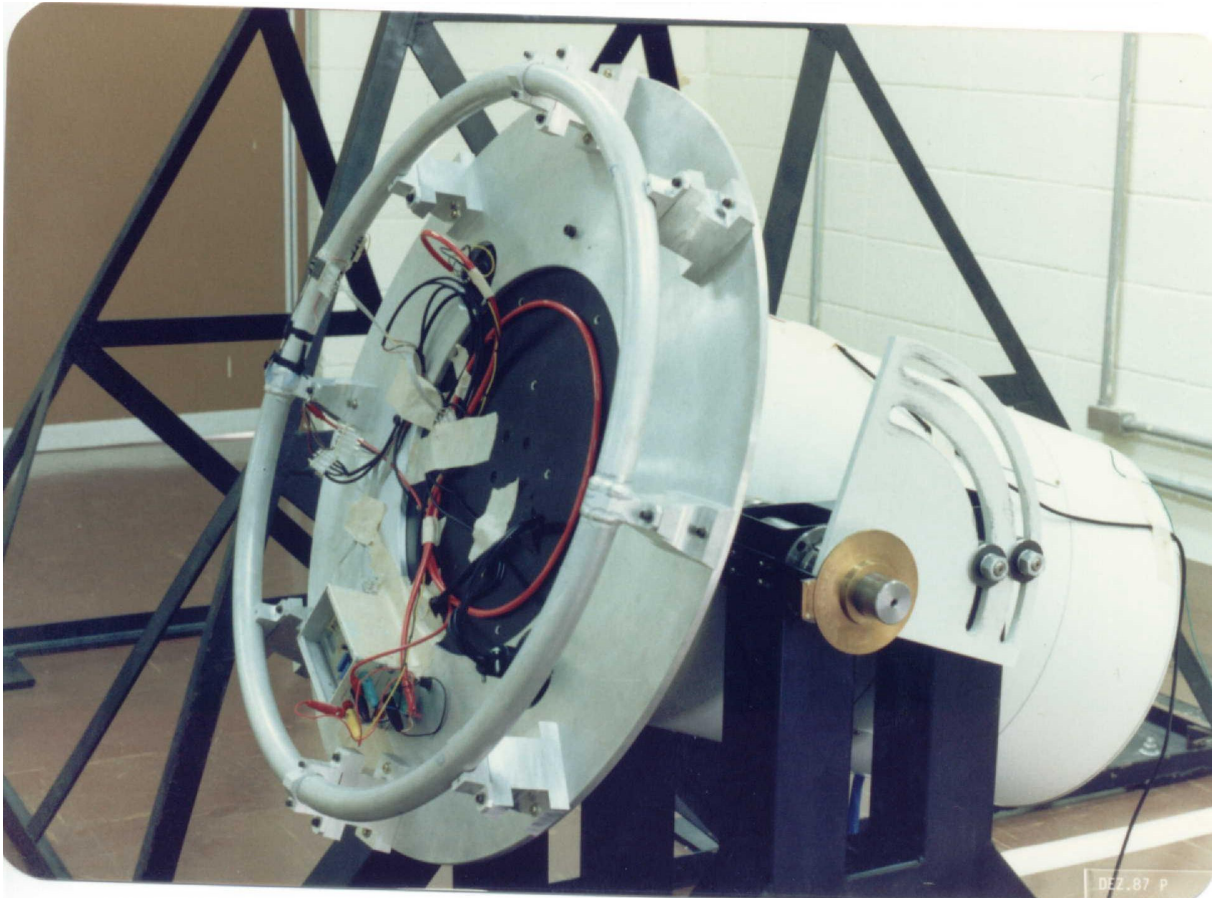


Fig. 6.2 - Teste de caracterização do Amortecedor de Nutação com MRC.

#### **6.6 Testes para ajuste de modelo numérico de simulação do Amortecedor de Nutação dos satélites da série SCD em Simulador Dinâmico com Mancal Esférico Aerostático**

**DESCRIÇÃO:** A análise da dinâmica da rotação dos satélites da série SCD requereu o desenvolvimento de um programa de simulação que incorporasse um modelo para o Amortecedor de Nutação. Com o objetivo de calibrar este modelo, foram realizados testes funcionais nos quais, dentro das limitações impostas pela presença da gravidade, foram reproduzidas as condições de operação do Amortecedor de Nutação em órbita. Estes testes foram realizados sobre uma mesa de mancal a ar de 3-eixos projetada e construída pela DMC. No teste, a mesa suspensa em um mancal esférico aerostático, tendo o Amortecedor de Nutação nela montado, era posta a girar e, após a introdução de uma perturbação angular, tinha seu movimento indicado por uma raio laser e registrado por uma câmara de vídeo (Figura 6.3). O movimento era depois reproduzido pelo

programa de simulação e os parâmetros funcionais do Amortecedor eram então ajustados.

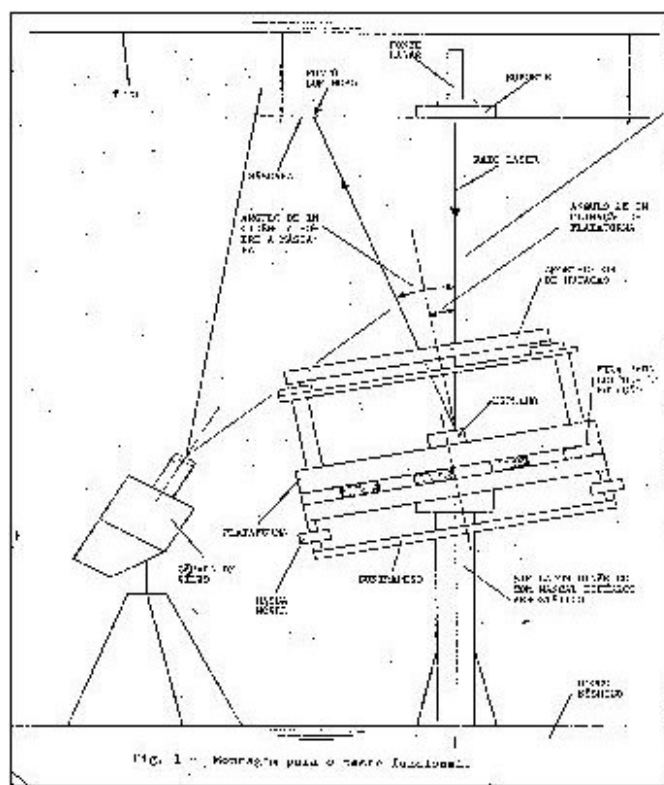


Fig. 6.3 - Diagrama funcional do teste do Amortecedor de Nutsção em Simulador Dinâmico com Mancal Esférico Aerostático.

**O que foi feito na DMC:** Especificação, planejamento, execução e tratamento dos dados dos testes.

**Missão ou equipamentos a que foi aplicado:** Testes funcionais do Amortecedor de Nutsção dos satélites da série SCD.

#### **Produção Técnico-Científica**

Fonseca, I.M.; Souza, P.N. Movimento rotacional de um corpo rígido dotado de um amortecedor de nutsção anular viscoso - modelagem, simulação digital e validação experimental em um simulador dinâmico com mancal esférico aerostático. Simpósio sobre Problemas Dinâmicos da Mecânica e Problemas Dinâmicos em Máquinas e Estruturas, 3., 1-4 ago. 1989, Águas de São Pedro. **Resumos.** 23 p.

Souza, P.N.; Fonseca, I.M. **Relatório do teste de qualificação funcional do amortecedor de nutsção do SCD-2 em um simulador dinâmico com mancal**

**esférico aerostático.** São José dos Campos: INPE, set. 1989. 13 p. (A-ETD-0060).

Souza, P.N.; Fonseca, I.M.; Varotto, S.E.C. **Relatório do teste de qualificação funcional do amortecedor de nutação do SCD-1 em um simulador dinâmico com mancal esférico aerostático.** São José dos Campos: INPE, maio 1989. (A-ETD-0052). 82 p.

## **6.7 Modelagem e Simulação do AOCS do SSR**

**Descrição do software:** Modelagem dos sensores e atuadores dos componentes do AOCS para o SSR e simulação do sub-sistema integrado

**Ambiente de desenvolvimento:** Fortran 77 e VAX-750

**O que foi feito na DMC:** Modelagem dos sensores e atuadores, do ambiente espacial (campo magnético, arrasto, perturbações etc) e da dinâmica do SSR nos diferentes modos de operação, programação do software, testes e validação.

**Missão ou equipamento a que foi aplicado:** Especificação dos componentes do AOCS do SSR.

### **Produção Técnico-Científica**

Durão, O. Attitude Control for the First Brazilian Satellites. IFAC, 13., 1993, Sydney, Australia; 1993.

Carrara, V.; Nunes, D.; Gandelman, G.; Durão, O. **AOCS specification for the SSR.** São José dos Campos:INPE , 1992. (documento MECB). Publicação Interna.

## **6.8 Simulação do Movimento de Abertura dos Painéis Solares do CBERS**

**Descrição da simulação desenvolvida:** O problema dinâmico de abertura dos painéis solares do CBERS, cujo movimento ocorre sem um controle ativo, resume-se (1) na garantia que haverá energia suficiente para que os painéis abram totalmente e (2) na determinação da velocidade angular ao final do movimento de abertura em órbita. A solução do problema demanda a realização de testes de abertura (Figuras. 6.4, 6.5a e 6.5b) e o desenvolvimento de dois diferentes modelos de simulação dinâmica: um para a simulação em laboratório e outro para simulação em órbita.

**Ambiente de Desenvolvimento:** Os modelos dinâmicos de simulação foram construídos usando-se um programa de análise dinâmica de mecanismos, o ADAMS<sup>®</sup> da empresa MDI.

### **Atividades na DMC:**

- Determinação, através de cálculos e ensaios, dos parâmetros de simulação;
- Testes de abertura;
- Construção dos modelos dinâmicos de simulação;
- Ajuste dos modelos para aproximação dos resultados de simulação com os de teste.

### **Produção Técnico-Científica**

Diversos relatórios técnicos reportando os resultados dos testes de abertura e simulações realizadas (modelos SM2, EQM, FM1 e FM2) publicados internamente na Garantia de Produto da ETE.

Palerosi, A. C.; Dinâmica do Movimento de Abertura dos Painéis Solares do Satélite CBERS; Tese de mestrado ITA – 1997, CTA-BC / T629.783:523.3(043) / P156d

Palerosi, A. C.; Almeida, S. F. M.; Souza, P. N. Simulation and Testing of a Satellite Solar Array Generator Wing Deployment In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 14., (COBEM), dez. 1997, Bauru. UNESP. 1 CD-ROM.

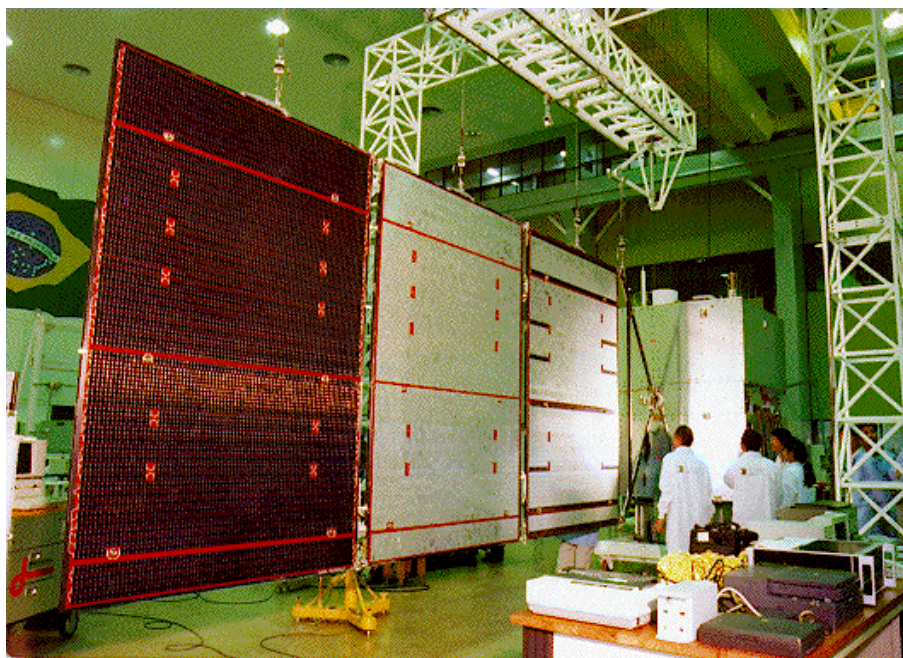


Fig. 6.4 - Gerador Solar do CBERS em seu dispositivo de teste.

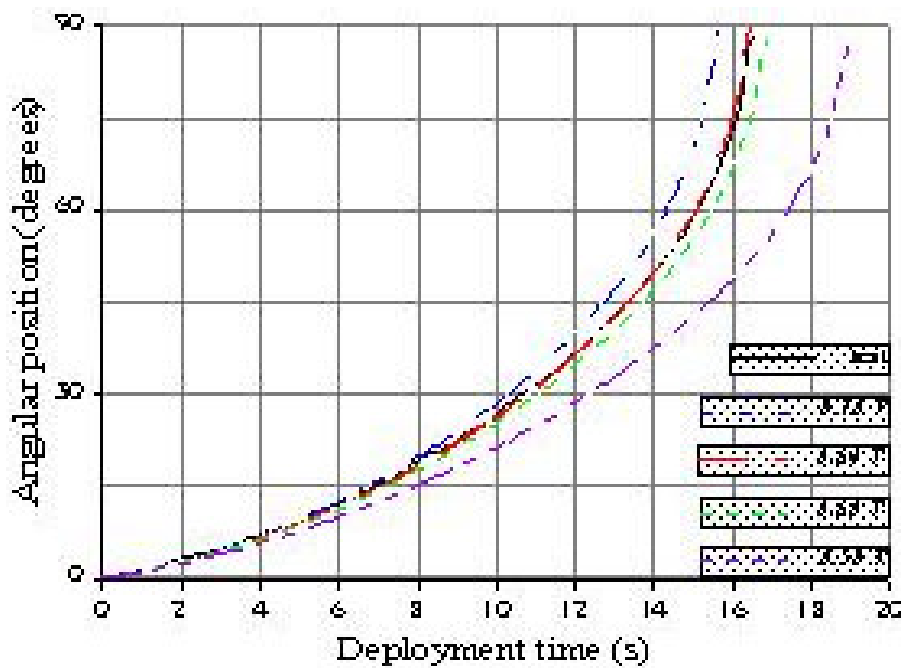


Fig. 6.5a - Resultados de teste e de simulação com diferentes valores assumidos para o torque de atrito nos mancais.

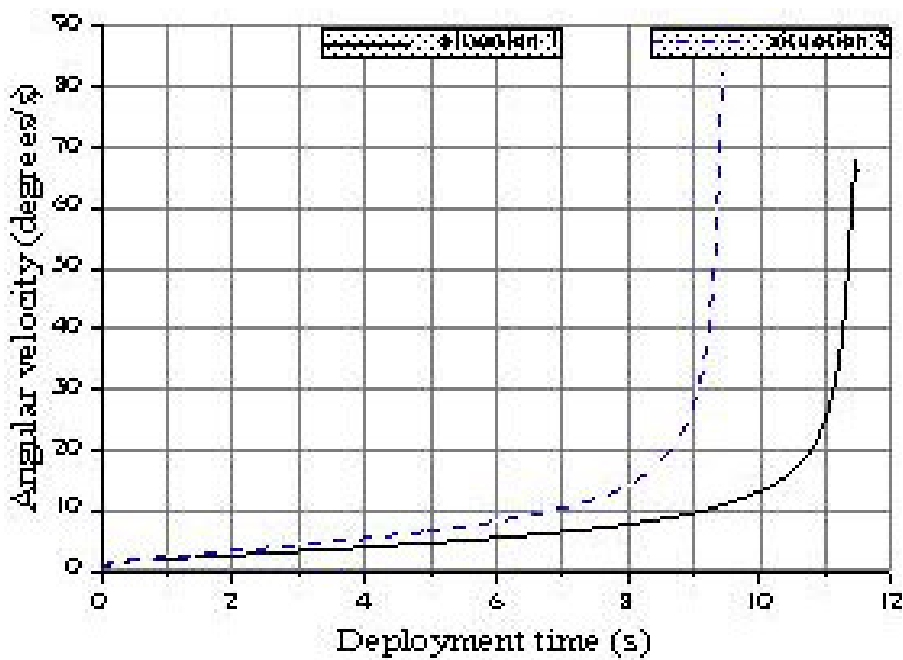


Fig. 6.5b - Velocidade angular em função do tempo para duas diferentes condições de simulação em órbita.



## **6.9 Estudos de Mecanismos de Abertura**

### **6.9.1 Modelagem de Sistema Ativo de Abertura de Painéis Solares**

**Descrição:** Esta atividade foi desenvolvida em conjunto com o ITA e concentrou-se na modelagem de sistemas ativos para o controle do movimento de abertura de painéis solares, tomando-se como referência para os estudos os satélites CBERS e SACI.

**Atividades no ITA:** Construção de modelos dinâmicos de simulação, usando como base o modelo desenvolvido pelo INPE para o CBERS, acrescido da flexibilidade do mecanismo de sincronismo e implementando um controle ativo da abertura. Diversos cenários de operação são considerados e alternativas de projeto são propostas.

**Atividades na DMC:** Especificação técnica e orientação dos trabalhos, em conjunto com o ITA.

#### **Produção Técnico-Científica**

Pinto Júnior, D. G. ; Modelagem de Sistema Ativo de Abertura de Painéis Solares; Tese de mestrado, ITA, CTA-BC / T621.833(043) / P659m, São José dos Campos, SP, 2001

Watanabe, R. A. Modelagem de um sistema de controle ativo para o mecanismo de abertura dos painéis solares do Satélite de Aplicações Científicas (SACI). São José dos Campos. Trabalho (Graduação) – ITA, CTA-BC / TG / M99w, 1999.

### **6.9.2 Desenvolvimento de Liga com Memória de Forma**

**Descrição:** Desenvolver tecnologia para produção de liga NiTi com efeito de memória de forma para aplicação em dispositivos de retenção/liberação de apêndices de satélite. Tais ligas (Figura 6.6) podem ser usadas como alternativa de projeto aos tradicionais dispositivos pirotécnicos, trazendo confiabilidade com vantagens técnicas; além de poderem ser utilizadas como sensor ou mesmo como sensor/atuador, possuindo assim diversas aplicações relevantes em satélites. Esta atividade foi desenvolvida pela UNICAMP e fomentadas pela AEB dentro do contexto do programa UNIESPAÇO.

#### **Atividades na UNICAMP:**

- Processo de elaboração da liga;
- Processo de conformação mecânica;
- Tratamento termomecânico.

#### **Atividades na DMC:**

- Especificação técnica;

- Supervisão e avaliação das atividades UNICAMP.

### **Produção Técnico-Científica**

Otubo J., Rigo O. D., Moura Neto C., Kaufman M. J. and Mei P. R.; Scale Up of NiTi Shape Memory Alloy Production by EBM; Artigo apresentado no XV Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – 2002.

Otubo J., Rigo O. D., Moura Neto C., Kaufman M. J. and Mei P. R.; NiTi Shape Memory Alloy Ingot Production by EBM. Artigo apresentado no XV Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – 2002.

Rigo O. D., Otubo J., Moura Neto C., Kaufman M. J., Mei P. R.; O Efeito da Qualidade de Cadinho de Grafite e de suas Dimensões Sobre o Grau de Contaminação por Carbono na Liga NiTi com EMF Processado no VIM; Artigo apresentado no XV Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2002 .

Rigo O. D., Otubo J., Moura Neto C., Kaufman M. J., Mei P. R.; The Use of a Ceramic Filter for TiC Removal from NiTi Shape Memory Alloy During Pouring; Artigo apresentado no XV Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – 2002.



Fig. 6.6 - Barra elaborada pela UNICAMP e pronta para ser entregue ao INPE.

### **6.9.3 Estudos de Atuadores em Liga com Memória de Forma**

**Descrição:** Esta atividade foi desenvolvida em conjunto com o ITA e concentrou-se no estudo de dispositivos de retenção/liberação de apêndices de satélites baseados em atuador em liga com Efeito de Memória de Forma (Figuras 6.7, 6.8, 6.9 e 6.10). Os satélites SACI 1 e SACI 2 foram usados como referência de aplicação nos trabalhos realizados.

### Atividades no ITA:

- Análises térmica e estrutural;
- Ensaio mecânicos;
- Testes do dispositivo.

### Atividades na DMC:

- Especificação técnica;
- Projeto do dispositivo;
- Materiais, componentes e fabricação;
- Orientação dos trabalhos em conjunto com o ITA.

### Produção Técnico-Científica

Acosta, L. O. **Estudo de um mecanismo de retenção/liberação utilizando liga com efeito de memória de forma.** Trabalho de Mestrado, ITA, 2000

Acosta, L. O.; Palerosi, A. C.; Almeida, S. F. M. Estudo de um mecanismo de retenção/liberação utilizando liga com efeito de memória de forma. COBEM, 2000).

Nunes, A. L. L. V. **Projeto de mecanismo acionador de abertura para os painéis solares do Satélite Científico SACI 1.** Trabalho (Graduação) - ITA , 1998

Nunes, A. L. L. V.; Palerosi, A. C.; Almeida, S. F. M. Projeto de um Dispositivo de Liberação/Retenção com Atuador em Liga com Efeito de Memória de Forma para os Painéis Solares do Satélite Científico SACI 1. COBEM, 1999

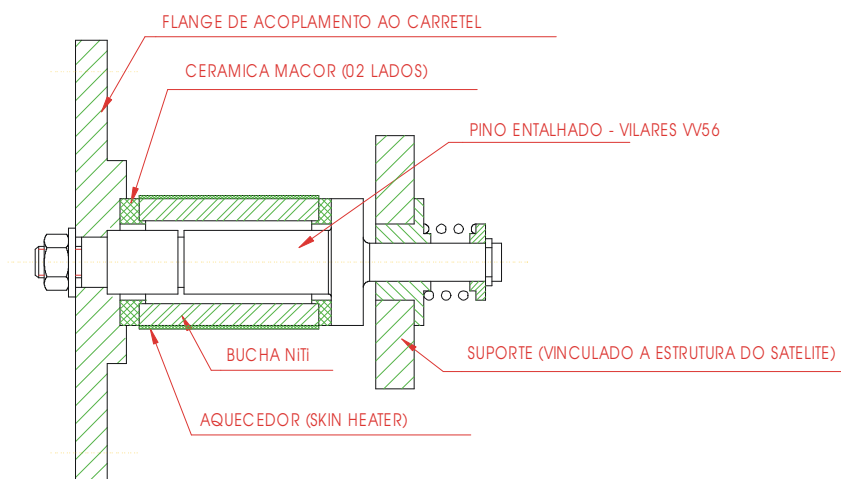


Fig. 6.7 - Desenho de conjunto do dispositivo (SACI 2).

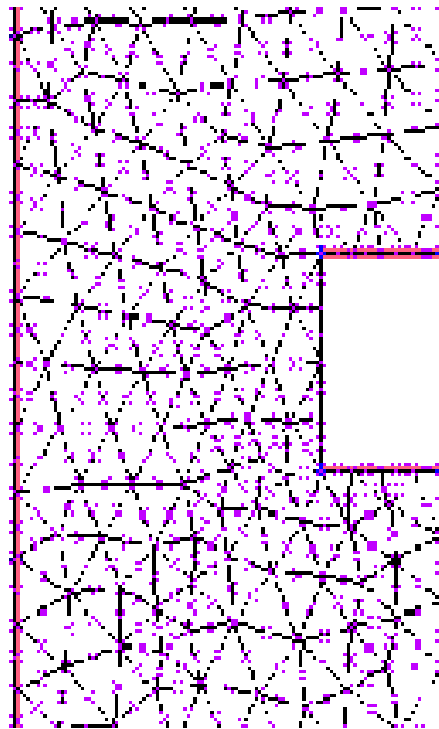


Fig. 6.8 - Malha de elementos finitos na região do entalhe do pino de retenção.

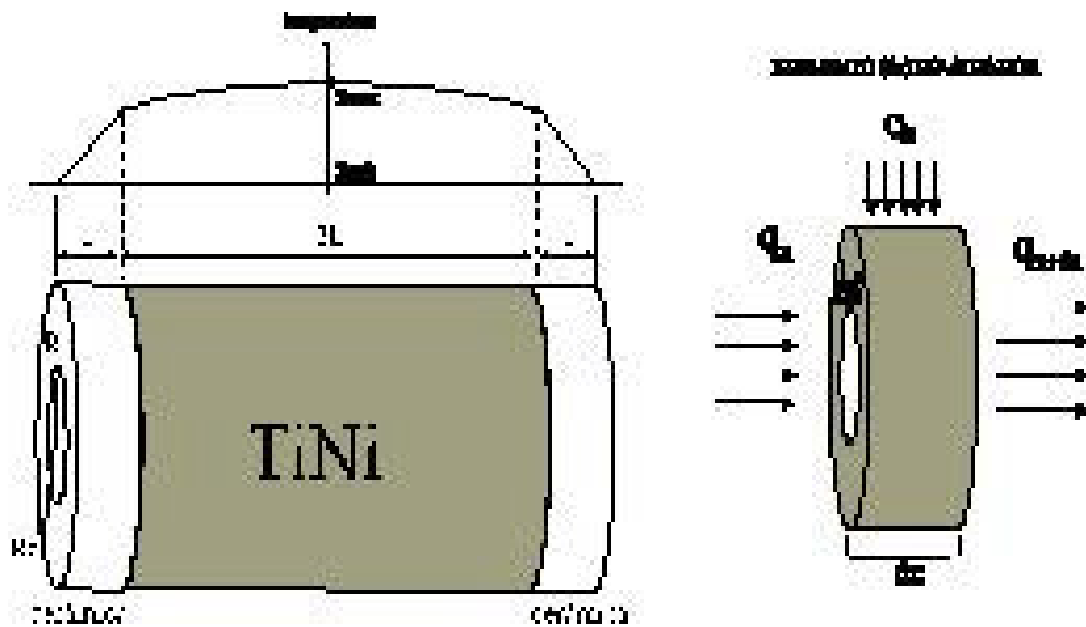
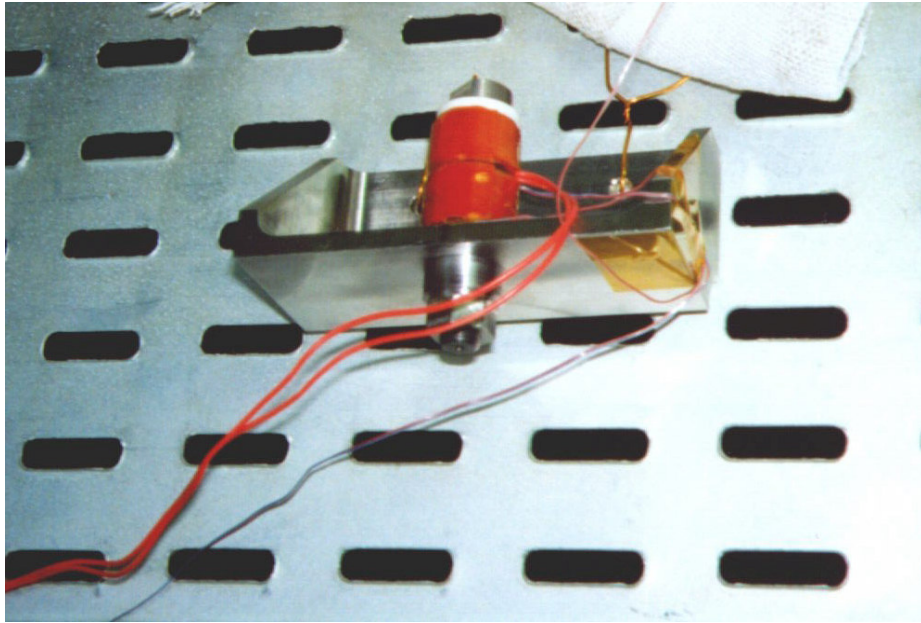


Fig. 6.9 - Distribuição da temperatura e fluxo de calor no atuador.



6.10 - Dispositivo montado em bancada para ensaio final (SACI 1).

## 7 ALGUNS PROGRAMAS E SOFTWARES DESENVOLVIDOS E RESPECTIVOS AMBIENTES DE DESENVOLVIMENTO

### 7.1 Programas para Análise de Missão:

**Descrição:** Os programas e pacotes de software apresentados a seguir foram desenvolvidos com o objetivo de auxiliar na análise de missão e na apresentação dos dados de vôo de novos satélites. Foram e continuam sendo usados em diversas missões desenvolvidas no INPE.

#### ATUA\_FLUXO

Programa para atualizar e manter um banco de dados contendo valores observados da atividade solar (fluxo solar e número de manchas) e atividade geomagnética (Fortran).

#### GRAFI

Programa para traçar gráficos bi-dimensionais em diversos tipos de periféricos (tela, plotter, impressora laser, etc.), a partir de uma série de pontos definida pelo usuário. Possui algoritmo para escolha automática da escala. Traça gráficos lineares, mono ou di-logs e com escala em meses (Fortran e GKS).

#### SPC

Programa para previsão de passagem de satélites artificiais, a partir dos elementos orbitais determinados previamente. Este programa compõe o módulo de análise e acompanhamento do software de previsão e análise do CCS (Fortran e Screen Manager).

#### ORBGR

Programa gráfico para traçar órbitas sobre um mapa da terra, para auxílio à escolha e análise de órbita. Este programa compõe o módulo de análise e acompanhamento do software de previsão e análise do CCS (Fortran e GKS)

#### DENSITY

Pacote contendo diversas rotinas para o cálculo da densidade da alta atmosfera. A densidade é utilizada nos propagadores de órbita e atitude para o cálculo da força de arrasto (Fortran).

#### ARFT

Programa para cômputo das forças oriundas do arrasto atmosférico e da pressão de radiação solar atuantes em satélites artificiais (Fortran).

#### TRAN

Programa para efetuar transformações de coordenadas de forma interativa, para aplicações em mecânica orbital de satélites artificiais (Fortran e Screen Manager).

## BOBINA

Programa para cálculo e projeto de uma bobina de núcleo ferromagnético (Visual Basic).

**O que foi feito na DMC:** Todos esses programas e softwares acima foram desenvolvidos na DMC.

**Missão ou equipamento a que foi aplicado:** foram aplicados a diversos dos satélites desenvolvidos no INPE.

## Produção Técnico-Científica

Carrara, V.; Medeiros, V. M. Janela de lançamento para o 1o. satélite da Missão Espacial Completa Brasileira. Reunião Anual da SBPC, 37., jul. 1985, Belo Horizonte.

Carrara, V.; Medeiros, V. M. Posicionamento ótimo de painéis solares em satélites sossíncronos. Reunião Anual da SBPC, 38., jul. 1986, Curitiba..

Carrara, V. Janela de lançamento do satélite Coleta de Dados - MECB. Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 3., nov. 1986, Águas de Lindóia, SP.

Carrara, V. **Comparações de modelos da alta atmosfera para aplicação em propagadores de órbita.** Colóquio de Dinâmica Orbital, 5., nov. 1990, Curitiba.

Carrara, V. **Estimação das forças aerodinâmicas em satélites - aplicação a um satélite experimental.** São José dos Campos: INPE, nov. 1980. (INPE-1944/262).

Carrara, V. **Modelagem das forças e torques atuantes em satélites.** São José dos Campos: INPE, jun. 1982. (INPE-2454-TDL/094).

Carrara, V.; Medeiros, V. M. **Posicionamento ótimo de painéis solares em satélites sossíncronos.** São José dos Campos: INPE, fev. 1984. (INPE-3010- RPE/454).

Carrara, V. **As rotinas gráficas CURVA e GRAFI:** descrição e utilização. São José dos Campos: INPE, fev. 1984. (INPE-3009-RPI/087).

Carrara, V. **Orbital radiation flux program.** Ste. Anne du Bellevue: SPAR, Apr. 1987. (SPAR-RML-009-87-070).

Carrara, V. **A program to compute the aerodynamic or solar radiation forces and torques on satellites.** Ste. Anne du Bellevue, SPAR, March 1988 (SPAR-RML-009-87-11).

Carrara, V. **Launch window for the Brazilian data collecting satellite.** São José dos Campos: INPE, Dec. 1988. (INPE-4773-PRE/1442).

Carrara, V. **Implementações de modelos atmosféricos para uso em propagadores de órbita e atitude.** São José dos Campos: INPE, maio 1990. (INPE-5094-RPI/231).

Carrara, V.; Oliveira, J. R. F. **Um pacote gráfico para traçar mapas.** São José dos Campos: INPE, mar. 1988. (A-ETD-0033).

Carrara, V. **Um banco de dados contendo valores de fluxo solar e atividade geomagnética para cômputo da densidade da alta atmosfera.** São José dos Campos: INPE, jun. 1989. (A-ETD-0053).

Kuga, H. K.; Carrara, V.; Medeiros, V. M. **Rotinas auxiliares de mecânica celeste e geração de órbita.** São José dos Campos: INPE, jul. 1981. (INPE-2180-RPE/392).

Kuga, H. K.; Carrara, V. **Sub-rotinas para plotagem de funções uni e bidimensionais.** São José dos Campos: INPE, nov.1980. (INPE-1943-RPI/029).

Kuga, H. K.; Medeiros, V. M.; Carrara, V. **Cálculo recursivo da aceleração do geopotencial.** São José dos Campos: INPE, maio 1983. (INPE-2735-RPE/433).  
Apresentado na Reunião Anual da SBPC, 35., jul. 1983, -Belém.

Lopes, R. V. F.; Carrara, V.; Kuga, H. K.; Medeiros, V. M. **Cálculo recursivo do campo geomagnético.** São José dos Campos: INPE, set. 1983. (INPE-2865-PRE/400).  
Apresentado na Reunião Anual da SBPC, 35., jul. 1983, Belém,

Lopes, R. V. F.; Kuga, H. K.; Carrara, V. **Solar flux and geomagnetic activity prediction.** São José dos Campos, INPE, May 1986 (INPE-3884-PRE/934).

Matos, B. S.; Carrara, V.; Vilhena de Moraes, R. Implementação do modelo Jacchia-77 da atmosfera superior da Terra. Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 2., nov. 1984, Atibaia, SP,

Lopes, R. V. F.; Carrara, V.; Estudo preliminar sobre modelos de previsão de fluxo solar. Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 2., Atibaia, nov. 1984. p. 23

Lopes, R. V. F.; Kuga, H. K.; Carrara, V. Um modelo de predição para o fluxo solar e para a atividade geomagnética. In: Congresso de Matemática Aplicada e Computacional, 8., set. 1985, Florianópolis. **Anais...** v. 1, p. 123 a 128.

Lopes, R. V. F.; Kuga, H. K.; Carrara, V. Solar Flux and Geomagnetic Activity Prediction. IASTED. In: International Conference on Telecommunication and Control, 2., Dec. 1985, Rio de Janeiro. **Proceedings...** p.338-341.

Martins, R. V.; Carrara, V.; Borges, P. D. A. **Amortecimento dos movimentos de atitude por histerese magnética do satélite de coleta de dados.** São José dos Campos: INPE, ago. 1983. (INPE-2836-RPE/082).



Souza, G. J.; Caldas, G. A. A.; Kuga, H. K.; Carrara, V. Software for graphical visualization of orbit, attitude, and telemetry parameters of satellite SCD1. International Symposium on Spacecraft Ground Control and Flight Dynamics SCD1, Fe. 1994, São José dos Campos, SP.

Venkataraman, N. S.; Carrara, V. The modeling of forces and torques on near earth satellites - application to a proposed Brazilian satellite. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 7., (COBEM), dez. 1983, Uberlândia. **Proceedings...** v. B, p. 123-133.

Venkataraman, N. S.; Carrara, V. **The modeling of forces and torques on near earth satellites - application to a proposed Brazilian satellite.** São José dos Campos: INPE, maio 1983. (INPE-2758-PRE/334).

### **Relatórios técnicos de projeto:**

Justificativa para a órbita adotada para o satélite de coleta de dados. Ref. 30.630.100.019-85.

Resultados da simulação de um satélite estabilizado por rotação. Ref. 30.630.000.041/85.

Resultado da análise paramétrica do spin. DMC-DDO-0002/86

Manobra de inversão. DMC-DDO-0003-86

Duração de eclipse e tempos de contato para o 1o. satélite. DMC-DDO-0006/86.

Análise da atitude durante a fase de aquisição com dispersões iniciais nas velocidades angulares transversais. DMC-DDO-0007/86.

Janela de lançamento para o satélite estabilizado por rotação. DMC-DDO-0009/86.

Study of Orbital Geometry for Mission Analysis. A-ETD- 0011.

Software for Prediction and Analysis of Orbit and Attitude. A-DRS-0009.

Estudo da energia orbital para o satélite de Sensoriamento Terrestre. DMC-299/87.

Filosofia de desenvolvimento de software de "Flight Dynamics". DMC-273/87.

Analysis of the aerodynamic torque influence on the data collection satellite. DGC-034/88

Especificação preliminar da precisão no controle de atitude do satélite de sensoriamento terrestre. DGC-042/88

Trajetoграфия do SSR. DGC-0049/88

## 7.2 Um Experimento de Teste da Bobina de Rotação do SCD2

Esse experimento foi realizado numa Mesa de Mancal a Ar de 1 eixo no Laboratório de Simulação da DMC. Mostrou a eficiência do algoritmo de controle de rotação do SCD2 chaveando o acionamento de bobinas magnéticas que interagem com o campo magnético terrestre.

**O que foi feito na DMC:** Todo o experimento, a montagem de sua infraestrutura de testes, a coleta dos dados, a análise dos resultados, a comparação com os dados obtidos de modelagem em computador e a validação do modelo desenvolvido.

### Produção Técnico-Científica

Carrara, V.; Padilha, O. S.; Varotto, S. E. C.; Ricci, M. C. **Um experimento de teste da bobina de rotação do SCD2.** São José dos Campos: INPE, maio 1992. (INPE-5404-RPQ/658).

Carrara, V.; Varotto, S. E. C. **Projeto de bobinas magnéticas para uso em satélites.** S. J. Campos: INPE, 1995. (INPE-5665-NTC-319)

Carrara, V.; Ricci, M. C. A test experiment for the spin plane magnetic coil of the SCD2. In: Pan American Congress of Applied Mechanics, 4 (PACAM), 3-6 jan. 1995, Buenos Aires.

## 7.3 Gerador de Sinais GPS

Programa CNPq/RHAE, Projeto de um Gerador de Sinais GPS realizado em conjunto pela firma Neuron Eletrônica LTDA, CTA/IAE, UNICAMP e INPE/DMC.

Número do Projeto: 02-RHAE-01/98-02/01-38

**Descrição do projeto:** Esse projeto objetivou o desenvolvimento de um gerador de sinais GPS que trabalha em tempo não real, gerando todos os dados da simulação e armazenando-os na forma de um arquivo binário em uma winchester de um IBM-PC. Em uma segunda etapa esses dados são enviados para uma interface de alta velocidade e o sinal GPS é reconstituído, agora em tempo real. Esse sinal reconstituído é recebido pelo receptor GPS e as condições simuladas são recebidas por esse último.

**O que foi feito na DMC:** Desenvolveu-se a interface de entrada dos dados em Visual Basic, a simulação das órbitas de todos os satélites da constelação GPS e projetou-se uma parte da interface de reconstituição digital de sinais.

### **Produção Técnico-Científica**

Silva, C. M.; Junqueira, C.; Furlan, B.M.P.; Miranda, M.D.; Romano, J.M.T.; Araújo, R.A.S.; Milani, P.G. **Gerador de sinais GPS. Relatório I.** Neuron Eletrônica. Centro de Documentação, nov. 1999, 133p. (Neuron Eletrônica, RTE-4010-1515). Revisão XA

Junqueira, C.; Zanatta Filho, D.; Destro Filho, J.B.; Romano, J.M.T.; A GPS simulator for analysis of channel impairments in practical scenarios. International Telecommunications Symposium, 8-12 Sep., 2002, Natal, RN, Brazil.

Junqueira, C.; Destro Filho, J.B.; Zanatta Filho, D. Loiola, M.B.; Romano, J.M.T.; GCS: the flexible GPS Channel Simulator. Global Navigation Satellite Systems – GNSS-2003, The european Navigation Conference, 22-25 Apr. 2003, Graz, Austria.

**Furlan, B.P.M.; Relatório de fim de estágio PCI.** INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, 2003. Publicação Interna

Silva, S.; **Relatório de projeto.** São José dos Campos: INPE. Divisão de Mecânica Espacial e Controle, 2004. Publicação Interna

## 8 TESES EM GUIAGEM E CONTROLE

- 1 **Assunto:** Mecânica do Vôo, Controle e Otimização (Tese de Doutorado)  
**Título:** Otimização Integrada da Estrutura e Controle de uma Grande Estrutura Espacial Sujeita ao Torque do Gradiente de Gravidade  
**Autor:** Ijar Milagre da Fonseca  
**Orientador(es):** Dr. Peter Bainun  
**Local e data da defesa:** 1998, ITA-CTA, S.J. Campos, SP, Brasil / Howard University, USA  
**Código da publicação:** ND
  
- 2 **Assunto:** Determinação de atitude (Tese de Mestrado)  
**Título:** Determinação da atitude de satélites artificiais através da aplicação conjunta de técnicas de estimação ótima estática e dinâmica.  
**Autor:** Sebastião Eduardo Corsatto Varotto  
**Orientador(es),** Valcir Orlando e Roberto Vieira da Fonseca Lopes  
**Local e data da defesa:** INPE, junho de 1986.  
**Código da publicação:** (INPE-4415-TDL/306)
  
- 3 **Assunto:** Determinação de atitude (Tese de Mestrado)  
**Título:** Anteprojeto de uma unidade de medida inercial não giroscópica.  
**Autor:** Luis Gonzaga Trabasso  
**Orientador(es),** Atair Rios Neto  
**Local e data da defesa:** INPE, maio de 1986.  
**Código da publicação:** (INPE-3887-TDL/220)
  
- 4 **Assunto:** Determinação de atitude (Tese de Mestrado)  
**Título:** Utilização conjunta de sensores inerciais e não inerciais em determinação de atitude de satélites via filtro de Kalman.  
**Autor:** Valtair Antonio Ferraresi  
**Orientador(es),** Valcir Orlando  
**Local e data da defesa:** INPE SJC, agosto de 1987  
**Código da publicação:** (INPE-4143-TDL/280)
  
- 5 **Assunto:** Simulação de atitude (Tese de Mestrado)  
**Título:** Mesa com mancais aerostáticos para simulação de um grau de liberdade de sistemas de controle de atitude de satélites artificiais.  
**Autor:** Luis Victor Carone Cardieri  
**Orientador(es),** Agenor de Toledo Fleury  
**Local e data da defesa:** INPE, junho de 1986.  
**Código da publicação:** (INPE-4320-TDL/287)
  
- 6 **Assunto:** Determinação de atitude (Tese de Doutorado)

- Título:** Determinação de atitude em satélites estabilizados por rotação com o uso de GPS. **Autor:** Sergio Mauri Fabri.  
**Orientadores:** Roberto Vieira da Fonseca Lopes e Luis Danilo Damasceno Ferreira.  
**Local e data da defesa:** UFPR, Curitiba, 13 de novembro de 1997.  
**Código da publicação:** CRB-9/760 526.982-CDD20.
- 7 **Assunto:** Determinação de atitude (Tese de Mestrado)  
**Título:** O uso de controle Adaptativo Auto-sintonizado, um Sistema de Controle de Atitude de um Satélite de Sensoriamento Remoto  
**Autor:** José Francisco Ribeiro  
**Orientadores:** Antonio Felix Martins Neto  
**Local e data da defesa:** INPE, SJC, 1985  
**Código da publicação:** (INPE-3840-TDL/213).
- 8 **Assunto:** Determinação de atitude (Tese de Mestrado)  
**Título:** Técnicas de controle auto-sintonizado implícita e explícita, com estimação de parâmetros via filtro de Kalman, aplicadas a atitude de satélites artificiais.  
**Autor:** Orlando Sanches Padilha  
**Orientadores:** Antonio Felix Martins Neto  
**Local e data da defesa:** INPE, março de 1989  
**Código da publicação:** (INPE-4857-TDL)
- 9 **Assunto:** Controle de Atitude (Tese de Mestrado)  
**Título:** Projeto de um sistema de controle de atitude "3 eixos" de satélites utilizando metodologia LQG/LTR  
**Autor:** Ney Moscati  
**Orientadores:** Antonio Felix Martins Neto  
**Local e data da defesa:** INPE, SJC, fevereiro de 1992  
**Código da publicação:** ND
- 10 **Assunto:** Controle (Tese de Doutorado)  
**Título:** Contribuição ao desenvolvimento do controle adaptativo estocástico da classe dual  
**Autor:** Jorge Ledo Laranjeira  
**Orientadores:** Antonio Felix Martins Neto  
**Local e data da defesa:** INPE, SJC, março de 1994.  
**Código da publicação:** ND
- 11 **Assunto:** Controle de Atitude (Tese de Doutorado)  
**Título:** Controle robusto aplicado ao problema de vibrações em rotores flexíveis  
**Autor:** José Francisco Ribeiro  
**Orientadores:** Antonio Felix Martins Neto  
**Local e data da defesa:** INPE, SJC, dezembro de 1995

**Código da publicação:** ND

- 12 **Assunto:** Sensor de estrelas (Tese de Mestrado)  
**Título:** Levantamento de Técnicas de Identificação de Estrelas e Desenvolvimento de um Ambiente de Simulação e Teste para Análise de Seus Desempenhos em Aplicações Espaciais.  
**Autor:** Gustavo Baldo Carvalho.  
**Orientador:** Roberto Vieira da Fonseca Lopes.  
**Local e data da defesa:** INPE, 29 de setembro de 2000.  
**Código da publicação:** (INPE-8307-TDI/766)
  
- 13 **Assunto:** Determinação de atitude (Tese de Mestrado)  
**Título:** Determinação de Atitude em 3 Eixos Usando Sensor GPS com Correção de Multicaminho Através de Redes Neurais Artificiais.  
**Autor:** Álisson Sávio Silva Siqueira.  
**Orientadores:** Roberto Vieira da Fonseca Lopes e Valdemir Carrara.  
**Local e data da defesa:** INPE, em 03 de outubro de 2002.  
**Código da publicação:** ND
  
- 14 **Assunto:** Estimação de Estados (Tese de Doutorado)  
**Título:** Estimação adaptativa de estado e análise da taxa de amostragem para sistemas dinâmicos lineares invariantes no tempo.  
**Autor:** Roberto Vieira da Fonseca Lopes  
**Orientador:** Valcir Orlando  
**Local e data da defesa:** INPE, Novembro de 1989.  
**Código da publicação:** (INPE-4960-TDL/389)
  
- 15 **Assunto:** Determinação de atitude (Tese de Mestrado)  
**Título:** Determinação de atitude de satélites artificiais através de estimadores de estado  
**Autor:** Roberto Vieira da Fonseca Lopes  
**Orientadores:** Atair Rios Neto e Ricardo Negreiros de Paiva.  
**Local e data de publicação:** INPE, 1982.  
**Código da publicação:** (INPE-2608-TDL/105)
  
- 16 **Assunto:** Controle de Atitude (Tese de Mestrado)  
**Título:** Determinação de Atitude de Balões Estratosféricos Utilizando Filtros de Kalman  
**Autor:** Luiz de Siqueira Martins Filho  
**Orientadores:** Otávio Durão e Gilberto Gandelman  
**Local e data da defesa:** INPE; Dez. 1992  
**Código da publicação:** (INPE-5498-TDI/513)
  
- 17 **Assunto:** Controle de Atitude (Tese de Doutorado)

**Título:** Redes neurais aplicadas ao controle de atitude de satélites com geometria variável. S. J. Campos, INPE, junho 1997

**Autor:** Valdemir Carrara

**Orientador:** Dr. Atair Rios Neto

**Local e data da defesa:** INPE, junho de 1997.

**Código da publicação:** (INPE-6384-TDI/603]

18 **Assunto:** Guiagem e Controle (Tese de Doutorado)

**Título:** Análise de Suspensões Elétricas para Microsensores e Microatuadores

**Autor:** Paulo Giácomo Milani

**Orientador:** Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

**Local e data da defesa:** INPE, junho de 1997.

**Código da publicação:** (INPE-6818-TDI/639)

19 **Assunto:** Projeto de Sensores e Atuadores (Tese de Doutorado)

**Título:** Aplicação de métodos numéricos de continuação e de bifurcações ao problema do mancal hidrodinâmico liso, longo, com e sem a presença de cavitação.

**Autor:** Mário César Ricci

**Orientador:** Petrônio Noronha de Souza

**Local e data da defesa:** INPE, julho de 1997.

**Código da publicação:**

20 **Assunto:** Projeto de Sensores e Atuadores (Tese de Mestrado)

**Título:** Modelagem matemática de sensores de horizonte de órbita baixa em computador digital (tese de mestrado)

**Autor:** Antonio Gil Vicente de Brum

**Orientadores:** Dr. Hans U. Pilchowski e Mário César Ricci (co-orientador)

**Local e data da defesa:** INPE, 1993.

**Código da publicação:** (INPE-5968-TDI/572)

21 **Assunto:** Otimização de Estruturas (Tese de Mestrado)

**Título:** Otimização do peso de uma grande estrutura espacial em órbita baixa da Terra com restrição na frequência fundamental de vibração. (tese de mestrado)

**Autor:** José Antonio Figueiredo de Souza

**Orientadores:** Prof. Dr. Ijar Milagre da Fonseca e Prof. Dr. Mário César Ricci.

**Local e data da defesa:** INPE, 24 de outubro de 2001.

**Código da publicação:** [INPE-8762-TDI/802]

22 **Assunto:** Sensores (Tese de Mestrado)

**Título:** Simulação do sensor giroscópico tipo DTG utilizando recursos de um CAD eletrônico.

**Autor:** José Carlos Garrotti

**Orientadores:** Dr. Paulo Giácomo Milani e Dr. Mário César Ricci.

**Local e data da defesa:** INPE, 1º de Outubro de 2002.

**Código da publicação:** (INPE-9702-TDI/856)

- 23 **Assunto:** Controle de Atitude (Tese de Mestrado)  
**Título:** Redução de vibrações estruturais induzidas por mecanismos de acionamento de painéis solares, em satélites artificiais, usando técnicas de controle do sinal de entrada.  
**Autor:** Wantuir Aparecido de Freitas  
**Orientador:** Dr. Mário César Ricci.  
**Local e data da defesa:** 27 de Setembro de 2002  
**Código da publicação:** (INPE-9527-PRE/5180)
- 24 **Assunto:** Sensores (Tese de Mestrado)  
**Título:** Caracterização e Testes de Sensores Inerciais.  
**Autor:** Carlos Alberto Santoro  
**Orientadores:** Dr. Paulo Giácomo Milani e Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza.  
**Local e data da defesa:** INPE, 04 de abril de 2003.  
**Código da publicação:**
- 25 **Assunto:** Controle (Tese de Mestrado)  
**Título:** Simulacao digital, com sensores na malha, de sistemas de controle de atitude de satélites artificiais  
**Autor:** Tredinnick, Patricia Trindade de Araujo,  
**Orientadores:** Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza. e Dr. Paulo Giácomo Milani.  
**Local e data da defesa:** INPE, 04 de abril de 2003.  
**Código da publicação:** INPE-7175-TDI/677



## 9 TRABALHOS PUBLICADOS EM GUIAGEM E CONTROLE (NÃO INCLUÍDOS ANTERIORMENTE)

### 9.1 Trabalhos em Geral

Beletsky, V.V.; Lopes, R.V.F.; Pivovarov, M. L. Chaos in Spacecraft Attitude Motion in Earth Magnetic Field. **Chaos**, v. 9, no. 2, p. 493-498, 1999.

Carrara V.; Medeiros V.M.; Lopes, R.V.F.; Oliveira Filho O.B.; Costa, R.D.; Tanaka, N. **Estudo preliminar para a escolha da melhor época do ano para o lançamento do primeiro satélite da MECB**. São José dos Campos: INPE, nov. 1984. 25p. Documento interno do projeto ANACO.

Carrara, V. et al. **Preliminary design review: Software for prediction and analysis of orbit and attitude**. São José dos Campos: INPE, 1986. (INPE-A-DRS-0009). Projeto ANACO, do segmento Solo da MECB.

Carrara, V.; Rios Neto, A. Identificação de modelos dinâmicos de satélites com geometria variável através de redes neurais. Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 14., (COBEM). Dez. 1997, Bauru. **Abstract**. Trabalho completo em CD Pag. 145.

Carrara, V.; Varotto, S. E. C.; Rios Neto, A. Satellite Attitude Control Using Multilayer Perceptron Neural Networks. In: AAS/GSFC International Symposium on Space Flight Dynamics, 13., May 1998, Greenbelt. **Proceedings...** v. 11., p.525-539. (NASA/CP-1998-206858).

Carrara, V. Satellite attitude control using multilayer perceptron neural networks. In: Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 9., 16-20 nov. 1998, Águas de Lindóia. **Resumos dos trabalhos**.

Carrara, V.; Rios Neto, A. Redes neurais para controle de atitude de satélites. In: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 4., set. 1999, São Paulo. Proceedings. EPUSP. p.77-82.

Carrara, V.; Kuga, H. K. Dinâmica de satélites artificiais. **Ciência Hoje**, v.12, n.72, p. 44-53 1991.

Carrara, V.; Varotto, S. E. C.; Rios Neto, A. Satellite attitude control using multilayer perceptron neural networks (98-345). **Advances in the Astronautical Sciences**. v. 100, Part 1, p. 565-579, 1998.

Carrara, V.; Rios Neto, A. A Neural Network Satellite Attitude Controller with Error Based Reference Trajectory. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, v. 21, p. 425-431, 1999. Special Issue

Gadelha, L.C.; Silva, A.R.; Lopes, R.V.F.; Pivovarov, M. **French-Brazilian Satellite**. São José dos Campos: INPE, mar. 1997. 9 p. (C.I. DMC-97/046).

Kuga, H.K. et al. **Software especification of attitude determination and propagation: Projeto A76221**. São José dos Campos: INPE, July 1989, 150p. Versão preparatória para revisão de projeto no programa de consultoria internacional com o ESOC, por L. Fraiture.

Kuga, H.K.; Orlando, V. and Lopes, R.V.F. Flight Dynamics Operations During LEOP for the INPE's Second Environmental Data Collecting Satellite SCD2 **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, v. 21p. 339-344, 1999. Special Issue,

Kuga, H.K.; Orlando, V.; Lopes, R.V.F.; Rao, K. R.; Pilchowski, H-U.; Medeiros, V.M. **Orbit determination results of GIOTTO satellite from tracking data**. São José dos Campos: INPE, Out. 1987. 34 p. (DMC-034/87-NTI).

Kuga, H.K. et al. **Pacote A76221 do segmento Solo da MECB. "CSS ORB: prediction and analysis of orbit and attitude**. São José dos Campos: INPE, July 1987. 140 p. (MECB A-REV-0049).

Kuga, H.K.; Lopes, R.V.F.; Medeiros, V.M. **Análise de dispersão do lançador**. São José dos Campos: INPE, abr. 1987. 10p. (Minuta DMC-117-87).

Lopes, R. V. F. **Impact study of attitude pointing strategies**. São José dos Campos: INPE, June, 1999. 42p. (FB-TN-S-07-V02).

Lopes, R.V.F. **Determinação das incertezas admissíveis na atitude do veículo lançador de satélites (VLS) no início do spin-up em função dos requisitos orbitais de um satélite**. São José dos Campos: INPE, 1993. 12 p.

Lopes, R.V.F. **Precisões de determinação de atitude e precisões de apontamento para o satélite de observação da Terra: Item 2 do terceiro relatório de progresso do PCT A85**. São José dos Campos: INPE, abr. 1987. 9 p.

Lopes, R.V.F. **Precisões de determinação de atitude e precisões de apontamento para o satélite de observação da Terra: item 8 do segundo relatório de progresso do PCT A85**. São José dos Campos; INPE, abr. 1987. 9p.

Lopes, R.V.F.; Padilha, O.S.; Varotto, S.E.C.; Orlando, V. **Avaliação de desempenho de procedimento de determinação de atitude para os satélites da missão coleta de dados via simulação numérica, considerando erros tendenciosos nas leituras do**

**magnetômetro.** São José dos Campos: INPE, fev. 1986. 14 p. (Minuta DMC-DGC-0026-86).

Lopes, R.V.F. **Especificação preliminar dos sensores não inerciais relativos ao primeiro satélite da MECB.** São José dos Campos: INPE, jun. 1984. 14p. Folhas de especificação do projeto CONTAT, MECB-SE.

Lopes, R.V.F. Spin Axis Tilt Evaluation From an Optimization Approach International. In: Symposium on Space Flight Dynamics, 12., June 2-6, 1997, Darmstadt, Germany. **Proceedings...** p.185-189

Lopes, R.V.F.; Orlando, V.; Kuga, H.K.; Guedes, U.T.V.; Rao, K.R. Attitude determination of the Brazilian satellite SCD-1. **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**, v. 16, p. 11-18, 1994.

Lopes, R.V.F.; Kuga, H.K.; Silva, A.R. Coarse orbit determination as a dividend from attitude sensors for spin-stabilized satellites. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, v. 21, p. 346-355, 1999. Special Issue,

Lopes, R.V.F.; Kuga, H.K.; Carrara, V. Solar flux and geomagnetic activity prediction. In: IASTED, of *TELECON'85*, 1., Dec. 10-13, 1985, Rio de Janeiro. **Annals...** p.338-34. (INPE-3884-PRE/934).

Martins Neto, A. F. **Testing plan for the magnetometer.** São José dos Campos: INPE, set. 1987. (DCG-NTI-A-TST-0017).

Martins Neto, A.F. Satellite attitude control analysis and design using linearizing transformations. Congresso Brasileiro de Automática, ago. 1988, São José dos Campos.

Martins Neto, A.F.; Padilha, O.S. Application of self-tuning controllers to a remote sensing satellite attitude control system. Symposium -Intelligent Tuning and Adaptive Control, IFAC, Jan. 1991, Singapura.

Martins Neto, A.F. Design of controllers for satellites subjected to gravitational and drag torques using Liapunov function techniques, International Symposium on Spacecraft Ground Control and Flight Dynamics-SCD1, Fev., São José dos Campos. .

Martins Neto, A.F.; Nonlinear design of controllers for satellites with uncertainties in the mass properties. Brazilian Symposium on Aerospace Technology, 2., Oct. 1994, São José dos Campos.

Martins Neto, A.F. Satellite attitude control using nonlinear techniques, Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 7., nov. 1994, Santos.

Martins Neto, A.F. Satellite attitude control using nonlinear techniques and parameter identification. Symposium on Dynamic Problems of Mechanics, 6., Mar. 1995, Caxambu,

Martins Neto, A.F.; Nonlinear satellite attitude control and moment management. International Symposium Space Dynamics, jun. 1995, Toulouse, França.

Martins Neto, A.F. Nonlinear design of satellite attitude controllers. International Conference on Intelligent Autonomous Control in Aerospace, Aug. 1995, Beijing, China.

Martins Neto, A.F. Controle não linear exato para satélites usando rodas de reação. Congresso Latino Americano de Automática, 3., out. 1988, Vina del Mar, Anais.

Martins Neto, A.F.; Martins Filho, L.S. Attitude stabilization for a satellite in failure mode, Congresso Brasileiro de Automática, set. 1996, São Paulo.

Medeiros, V.M.; Rao, K.R.; Kuga, H.K.; Souza, L.C.G.; Carrara, V.; Lopes, R.V.F. **Specification of the software for analysis and follow-up of the mission.** São José dos Campos: INPE, ago.1988.103 p. (MECB-SS1 CCSORBAN2-SWR-030).

Moro, J.; Carrara, V.; Simulação e análise de atitude de satélites terrestres de baixa altitude. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 7., (COBEM), dez. 1983, Uberlândia. **Proceedings...** V. B, p. 91-102.

Moro, J.; Carrara, V. **Simulação e análise de atitude de satélites terrestres de baixa altitude.** São José dos Campos: INPE, maio 1983. (INPE-2754-PRE/330).

Orlando, V.; Lopes, R.V.F. and Kuga, H.K. "INPE' s Flight Dynamics Team Experience Throughout Four Years of SCD1 In-Orbit Operations: Main Issues, Improvements and Trends. In: International Symposium on Space Flight Dynamics, 12., June 2-6, 1997, Darmstadt, Germany. **Proceedings...** p. 433-437.

Padilha, O.S.; Martins Neto, A.F.; Orlando, V. Um controlador auto-sintonizável com estimação de parâmetros via filtro de Kalman aplicado ao controle de atitude de um satélite de sensoriamento remoto. Congresso Brasileiro de Automática, 8., set. 1990, Belém; Congresso Latinoamericano de Control Automático, 4., 26 - 30 nov. 1990, Puebla.

Pivovarov, M.L.; de-Olivè Ferreira, L.; Lopes, R.V.F. Rigid body rotation evolution due to a disturbing torque which is known in a body frame. **Acta Mechanica**, v.133, no. 1-4, p.239-246, 1999.

Rao, K.R. and Lopes, R.V.F. "Satellite attitude follow-up: a first-hand experience with the first Brazilian satellite SCD-1., International Symposium on Space Dynamics, 19-23

jun. 1995, Toulouse, França. *Mécanique Spatiale (Colloque 95)*. **Proceedings...**  
Toulouse: CNES, CEPADUES Editions, 1995. p.777-783.

Ribeiro, J.F.; Moro, J.; Martins Neto, A. F.; Artificial satellite attitude control using a self-tuning controller. *Iasted International Conference Telecommunication & Control*, 2., (Telecon) 1985, Rio de Janeiro.

Ribeiro, J.F.; Martins Neto, A.F.; Moro, J. A self tuning regulator based on pole placement design for use in satellite attitude control. *Symposium on Dynamical Systems in Mechanics*, 1., (DINAME) fev. 1986, Friburgo.

Ribeiro, J.F.; Martins Neto, A.F.; Controle ativo de vibrações em rotores flexíveis. *Congresso Brasileiro*, 8.; *Congresso Ibero Americano de Engenharia Mecânica*, 2., dez. 1995, Belo Horizonte.

Ribeiro, J.F.; Martins Neto, A.F. Controllability, observability and sensor and actuator placement applied to the robust control of flexible rotor vibrations. *International Conference on Dynamic Problems in Mechanics*, 7., (DINAME), Mar. 1997, Angra dos Reis.

Rios Neto, A.; Lopes, R.V.F.; Negreiros de Paiva, R. Estimação adaptativa de atitude de satélites artificiais via filtro de Kalman com compensação do modelo dinâmico. *Congresso Brasileiro de Automática*, 4., 14-17 set., Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, p. 164-1682. (INPE-2441-PRE/142).

Tredinnick, P.; Milani, P.G.; Lopes, M.L.O.S. Medida de tempo com precisão para aplicações em simulação em tempo real. In: *Simpósio Brasileiro de Engenharia Inercial*, 2., out. 1998, Rio de Janeiro, **Anais...** p. 97-104.

Varotto, S.E.C.; Orlando, V.; Lopes, R.V.F. Um procedimento para determinação de atitude de satélites artificiais utilizando técnicas de estimação ótima estática e dinâmica. *Congresso Brasileiro de Automática*, 6., 25 - 28 nov. 1986, Belo Horizonte. **Anais...** UFMG. p. 946-951 (INPE-3966-PRE/981).

## **9.2 Estudos prospectivos para o desenvolvimento de uma roda de reação para o SSR. Estes estudos motivaram o desenvolvimento do Experimento Roda de Reação para o SCD-2**

Souza, P.N.; Fleury, A.T. **A roda de reação para o Satélite Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SSR) da MECB**: Subsídios para um projeto nacional. São José dos Campos: INPE, nov. 1988. 30p. (A-ETD-0048).

Souza, P.N.; Trivelato, G.C. **Estudo da potência consumida por rodas de reação: Avaliação do caso das rodas de rolamento e arfagem do Satélite de Sensoriamento Remoto (SSR) quando no modo nominal de operação**. São José dos Campos: INPE,

ago. 1988. 13p. (NTI-003-DCG/88).

### **9.3 Estudo de avaliação do papel da mecânica de precisão no desenvolvimento de satélites do INPE**

Fleury, A.T.; Souza, P.N. The role of precision mechanics in a satellite program: INPE's experience. Jap-Brazil Symposium on Science and Technology, 4., ago. 1988, São Paulo. **Anais...** Academia de Ciência do Estado de São Paulo. p. 387-403. (INPE-4683-PRE/1378).

### **9.4 Estudo prospectivo em oportunidades de cooperação com a China**

Souza, M.L.O.; Fleury, A.T.; Hinkel, J.N.; Ribeiro, J.F.; Souza, P.N.; Selingardi, M.; Cardoso, H. P.; Boruszewski, W.; Varejão, L.C.M. **Suggestions of a program of cooperation with the People's Republic of China in attitude, orbit and thermal control, and structures of satellites.** São José dos Campos: INPE, Aug. 1987. (DMC-027/NTI/87).

### **9.5 Estudo prospectivo em oportunidades de desenvolvimento de pequenos satélites**

Mollete, P. et al. **Small Satellites for Latin America.** Report of a Workshop. Jun. 1994, São José dos Campos. Paris: International Academy of Astronautics (IAA), Oct. 1994. 41p.

### **9.6 Capítulos de Livros**

Carrara, V. Orbit maintenance strategy for the Brazilian remote sensing satellite. In: Martins, R. V.; Lazzaro, D., ed. **Sessin orbital dynamics of natural and artificial objects.** Rio de Janeiro: ON, 1989. p. 85-97.

Carrara, V.; Rios Neto, A. Satellite attitude acquisition using a neural network controller. In: Prado, A. F. B. A., ed. **Advances in space dynamics.** São José dos Campos: INPE, 2000. p. 272-282.

Carrara, V. Aerodinâmica de satélites artificiais. In: Prado, A. F. B. A.; Kuga, H. K., ed. **Fundamentos de tecnologia espacial.** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 198-209.

Tredinnick, P.T.A; Souza, M.L.O.; Milani, P.G.; Digital simulation, with sensors in the loop, of attitude control systems of artificial satellites. In: Prado, A. F. B. A., ed. **Advances in space dynamics.** São José dos Campos: INPE, 2000. p. 169-175.

## **10 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

Apresentou-se uma coletânea de parte das realizações e dos trabalhos publicados em Sistemas de Guiagem e Controle da Divisão de Mecânica Espacial e Controle – DMC da Coordenadoria de Engenharia e Tecnologia Espaciais – ETE do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Estes trabalhos refletem parcialmente a capacitação desenvolvida na DMC para a realização de dispositivos, equipamentos e sistemas de Guiagem e Controle. Devido à pequena disponibilidade de pessoal na DMC hoje, apenas a descrição e listagem dos trabalhos de uma parte daqueles que hoje fazem parte dessa Divisão é que puderam ser recuperados e incluídos neste documento. Uma pesquisa mais detalhada poderia ser feita com base em todas as publicações existentes na Biblioteca do INPE (SID), na biblioteca da Garantia de Produto (relatórios técnicos) e, possivelmente, buscando todos os funcionários que já trabalharam ou ainda trabalham nesta Divisão, o que não pode ser feito exaustivamente no caso desta publicação.

Outros trabalhos semelhantes a este poderiam ser realizados considerando as outras áreas de atuação da DMC, ou seja, Estruturas, Controle Térmico, Dinâmica Orbital (Órbita e Atitude), Combustão e Propulsão e, finalmente, Pós-Graduação.