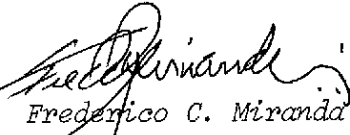
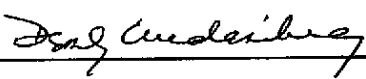
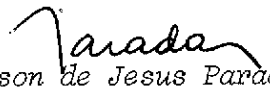


1. Publicação nº <i>INPE-2283-RA/159</i>	2. Versão	3. Data <i>Dez., 1981</i>	5. Distribuição ☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem <i>DSE</i>	Programa		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es)			
7. C.D.U.:			
8. Título <i>INPE-2283-RA/159</i> <i>RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO TÉCNICO FINAL</i> <i>CONVÊNIO 536/CT-02</i> <i>GEODÉSIA ESPACIAL</i>		10. Páginas: <i>18</i>	
		11. Última página: <i>16</i>	
9. Autoria <i>Derli Chaves Machado da Silva</i> <i>Luiz Danilo Damasceno Ferreira</i>		12. Revisada por  <i>Frederico C. Miranda</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
14. Resumo/Notas <i>Este documento apresenta uma síntese das principais atividades do Projeto Geodésia Espacial, no período de julho/78 a outubro/81.</i>			
15. Observações			

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. ANDAMENTO DAS ATIVIDADES	1
2.1 - Estação de rastreamento laser	1
2.2 - Previsão de órbita	3
2.2.1 - Pressão de radiação	3
2.2.2 - Força de marés	4
2.2.3 - Estações de rastreamento	4
2.2.4 - Modelagem das forças e torques nos satélites	6
2.2.5 - Iluminação solar na órbita heliossíncrona	7
2.2.6 - Determinação de expressões analíticas simplificadas para o cálculo e a propagação de órbitas de satélites	8
2.3 - Projeto geodésia por satélite	9
2.3.1 - Atividade Doppler	9
2.3.2 - Atividade geopotencial	10
3. SEMINÁRIO E CONGRESSOS	10
4. CONTATOS CIENTÍFICOS	11
5. ESTÁGIO	12
6. ASSESSORIA	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13

1. INTRODUÇÃO

O Projeto Geodésia Espacial tem como finalidade a utilização de dados orbitais, obtidos através do rastreamento de satélites artificiais em estudos e aplicações de Geodésia por Satélites. Tendo em vista o apoio do grupo de Geodésia Espacial à Missão Satélite, em fase tem sido dada ao estudo de modelos de forças que atuam sobre um satélite artificial, ao estudo de coeficientes ressonantes do geopotencial e à determinação de coordenadas geodésicas.

2. ANDAMENTO DAS ATIVIDADES

Este relatório apresenta resultados, tanto teóricos como práticos, do período de 1º de julho de 1978 a 30 de outubro de 1981, e faz parte do Convênio 536/CT-02.

Basicamente, as atividades executadas dentro deste convênio dizem respeito à implantação de uma Estação de Rastreamento a Laser e ao desenvolvimento de pesquisas correlatas. O andamento destas atividades são descritas a seguir.

2.1 - ESTAÇÃO DE RASTREAMENTO LASER

Em 1973, o Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP) planejou a instalação de uma Estação de Rastreamento a Laser de satélites artificiais, para fins de pesquisas no território nacional. O Sistema de Rastreamento foi encomendado à firma Group 128 de Walton, Massachussetts, E.U.A. por recomendação do Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO).

Em meados de 1976, após repetidos adiamentos do prazo de entrega do Sistema pela Group 128, a firma requereu falência. Por interferência do SAO o IAG conseguiu retirar da firma as partes já fabricadas.

No início de 1977, com a mudança da Direção do IAG, de cidiu-se interromper o projeto Estação de Rastreamento.

Nesta mesma época, por considerar que a idêia inicial permanecia válida, foi estabelecido um contato preliminar entre o INPE e o IAG, o qual propôs transferir para o INPE a parte do Sistema Laser, existente (no IAG) e as partes semi-acabadas existentes nos E.U.A.

Em 1978, foi elaborada pela equipe do INPE uma proposta de Financiamento para o Projeto Geodésia, incluindo a instalação e a ope ração de uma Estação de Rastreamento a Laser para uso em pesquisas de Geodésia, elaborada segundo os moldes preconizados pela FINEP.

Dos contatos efetuados entre as Direções do IAG/USP e do CNPq/INPE resultou a assinatura de um convênio entre o INPE e o IAG.

Em virtude das dificuldades encontradas para completar o Sistema Laser, foi decidido em 1979 não mais continuar com o convê nio INPE/IAG, e sim desenvolver um projeto completo do Sistema de Ras treamento Laser, utilizando-se os recursos disponíveis, alocados pela FINEP. Então, foram mantidos contatos com firmas estrangeiras, solici tando informações sobre Sistemas Laser.

Das informações fornecidas pelas firmas consultadas, ape nas a SYLVANIA SYSTEMS GROUP satisfaz as condições para a montagem de uma Estação Laser, isto é, o fornecimento de um Sistema completo. Mas devido ao fato de que o custo total de uma Estação é superior a dois milhões de dólares, chegou-se a conclusão de que presentemente sua aquisição não é recomendável.

Por outro lado, o Centre National d'Études Spatiales (CNES) mostrou interesse em instalar, no Brasil, uma Estação Laser, a qual ficaria sob a responsabilidade do INPE. Contatos iniciais foram mantidos com o CNES, a partir da visita, em outubro de 1980, do Sr. J. P. Chassaing a este Instituto.

Em abril de 1981, o Dr. Nelson de Jesus Parada, Diretor do INPE, esteve na França e manteve contato com o Sr. J. G. Roussell, Diretor de Assuntos Industriais e Internacionais do CNES, dando continuidade às conversações sobre a transferência da Estação Laser, atualmente em operação em Grasse, da França para o Brasil.

Atualmente, os entendimentos encontram-se em fase de formalização.

Os resultados desta Estação, após a instalação/operação, devem ser:

- Previsão de órbita.
- Obtenção de dados orbitais.
- Utilização dos dados orbitais para estudos em Geodinâmica.
- Estudo das órbitas de satélites brasileiros.
- Sincronização de tempo entre as estações Laser existentes.

2.2 - PREVISÃO DE ÓRBITA

No período coberto por este relatório, foram desenvolvidas as seguintes pesquisas.

2.2.1 - PRESSÃO DE RADIAÇÃO

O modelo de força para a pressão de radiação, devido ao sol, é dividido em direto, pelo efeito da radiação solar, sobre o satélite, e indireto devido à radiação refletida pela superfície terrestre e a reirradiação daquela, anteriormente absorvida pela Terra.

Este trabalho encontra-se pronto e, posteriormente, será aplicado no movimento de um satélite.

2.2.2 - FORÇA DE MARÉS

Foi desenvolvido um modelo teórico para determinar as perturbações no movimento de satélites devidas às deformações da Terra, pelo efeito de marés.

Este modelo encontra-se pronto, em forma de relatório, e atualmente está sendo programado para avaliar qual é a ordem de grandeza de sua perturbação sobre a órbita de satélites.

2.2.3 - ESTAÇÕES DE RASTREAMENTO

Com vistas à Missão Espacial Completa, o grupo de Geodésia Espacial ficou responsável pelo estudo da escolha dos locais onde serão implantadas as estações de rastreamento do satélite brasileiro.

Em muito dos locais escolhidos já existem estações de rastreamento (as quais serão aproveitadas pelo INPE), em outros haverá necessidade de implantá-las.

A Figura 1 mostra a órbita de um satélite, cuja altura é de 700 km e a inclinação, de 25° , e os locais das estações de rastreamento, existentes ou não, como é o caso dos que estão situados em território brasileiro.

O círculo em volta de cada estação representa o círculo de visibilidade, i.é., a região onde o satélite pode ser rastreado pela respectiva estação.

EST. RASTREADORAS H = 700KM I = 25G

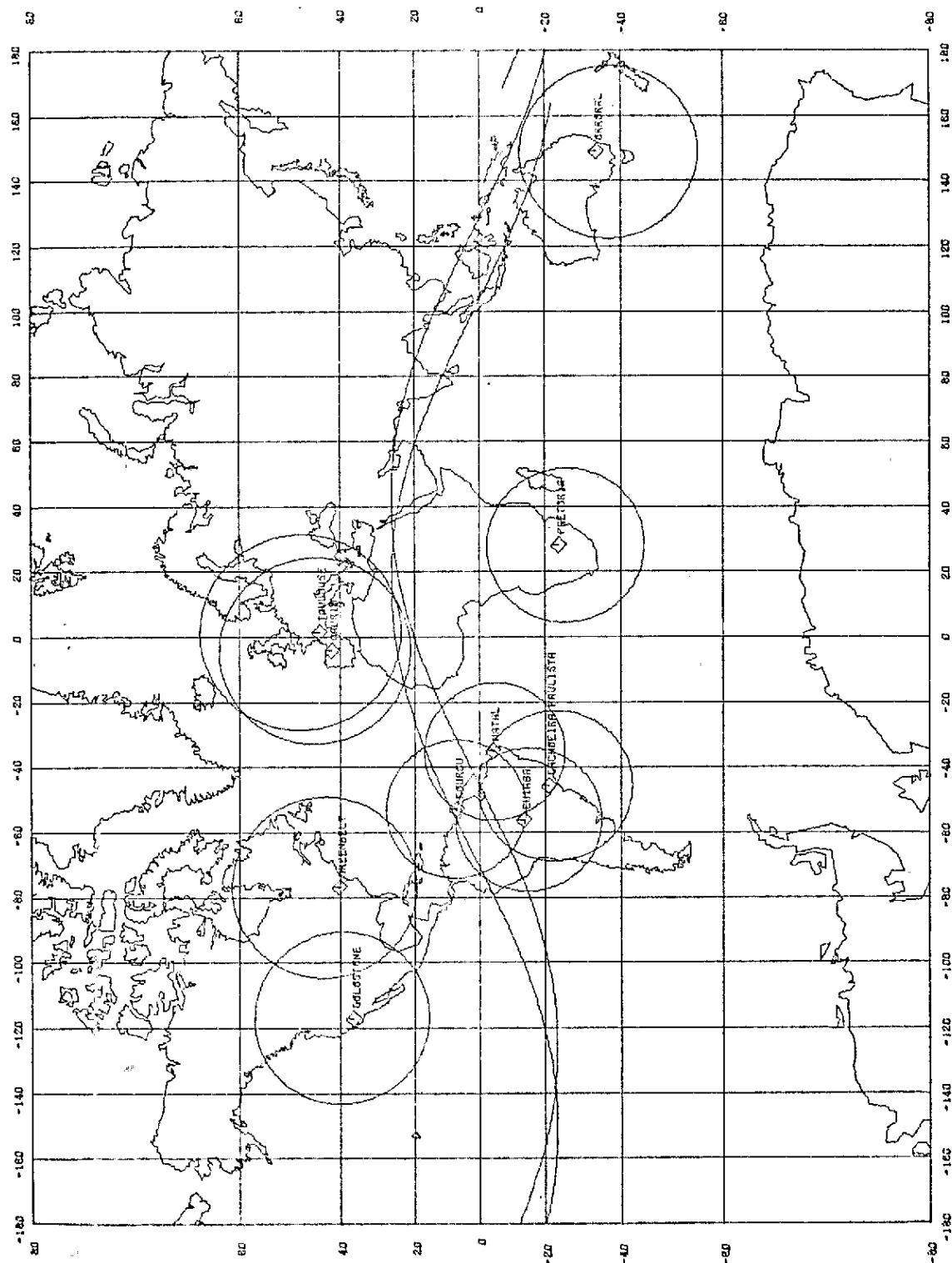


Fig. 1 - Local das estações de rastreio.

2.2.4 - MODELAGEM DAS FORÇAS E TORQUES NOS SATÉLITES

Este estudo tem como objetivo determinar o coeficiente de arrasto, forças e torques aerodinâmicos em satélites com perfis côncavos e aproximações com perfis pouco convexos. Também determina a ação da pressão de radiação direta e indireta, e o albedo, atuantes sobre um satélite.

A Figura 2 mostra os resultados obtidos com este estudo.

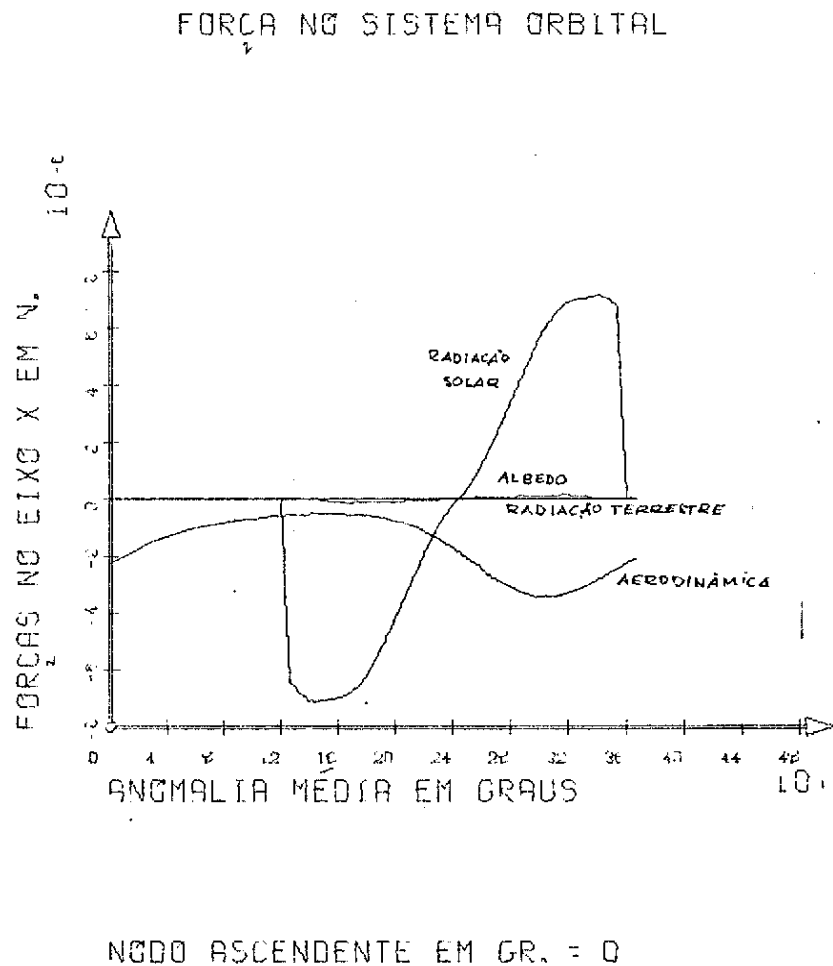


Fig. 2 - Estudo da modelagem das forças e torques nos satélites.

2.2.5 - ILUMINAÇÃO SOLAR NA ÓRBITA HELIOSSÍNCRONA

Este trabalho tem como objetivo determinar o dimensionamento de sensores através de estudo prévio das condições de iluminação nas áreas a serem observadas por um satélite de sensoriamento remoto.

A Figura 3 mostra as linhas isôgonas que representam o ângulo zenital solar dos pontos imageados por um satélite heliossíncrono de órbita dada.

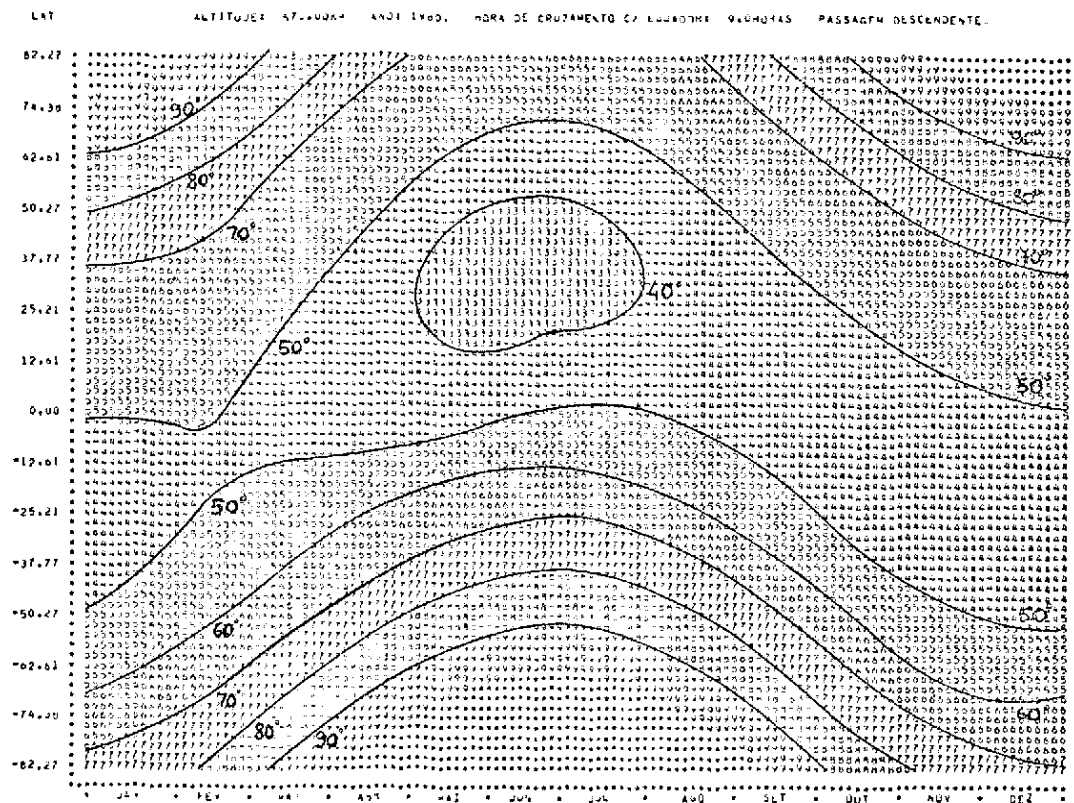


Fig. 3 - Linhas isôgonas que representam o ângulo zenital solar.

2.2.6 - DETERMINAÇÃO DE EXPRESSÕES ANALÍTICAS SIMPLIFICADAS PARA O CÁLCULO E A PROPAGAÇÃO DE ÓRBITAS DE SATÉLITES

Mediante o uso da teoria de estimação de parâmetros e, particularmente, de técnicas que usam o filtro de Kalman, este trabalho tem como finalidade a determinação de expressões analíticas simplificadas para o cálculo e a propagação de órbitas de satélites.

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos após a propagação da órbita do satélite NOAA-6, no intervalo de aproximadamente dois dias.

TABELA 1

PROPAGAÇÃO DE ÓRBITAS DO SATÉLITE NOAA-6

EPOCA INICIAL 16.08.1981 - 20 ^h 12 ^m 17 ^s ,999	EPOCA FINAL 18.08.1981 - 19 ^h 30 ^m 23 ^s ,999			
POSIÇÃO E VELOCIDADE INICIAIS	VALORES FORNECIDOS PELO BOLETIM DO SATÉLITE	VALORES PROPAGADOS	DESVIOS	DESVIO EM ARCO (MAX)
X = - 875,631 km Y = - 6819,7526 Z = - 2153,0222 $\dot{X}$ = - 1,442522 km/s $\dot{Y}$ = - 2,022677 $\dot{Z}$ = 7,005805	X = - 964462,4 m Y = - 7130652,2 Z = - 337297,6 $\dot{X}$ = - 1155,806 m/s $\dot{Y}$ = - 182,190 $\dot{Z}$ = 7344,971	X = - 963355,0 m Y = - 7128805,1 Z = - 333984,4 $\dot{X}$ = - 1157,723 m/s $\dot{Y}$ = - 194,382 $\dot{Z}$ = 7344,298	ΔX = 1107,36 m ΔY = 1846,13 ΔZ = 3313,24 $\Delta \dot{X}$ = 1,92 m/s $\Delta \dot{Y}$ = -12,19 $\Delta \dot{Z}$ = 1,33	< 0°,2

2.3 - PROJETO GEODÉSIA POR SATELITE

Destacam-se dentro deste Projeto duas atividades:

- a) Atividade Doppler.
- b) Atividade Geopotencial.

2.3.1 - ATIVIDADE DOPPLER

Consiste na determinação de coordenadas geodésicas e na coleta de dados orbitais com o uso do equipamento Magnavox (MX-702).

No período coberto por este relatório, o MX-702 ocupou marcos geodésicos com coordenadas geodésicas conhecidas, cuja finalidade é avaliar sua precisão.

Os resultados obtidos com a ocupação de três marcos geodésicos, encontram-se na Tabela 2.

TABELA 2

COMPARAÇÃO DE COORDENADAS GEODÉSICAS

LOCAL	LATITUDE	LONGITUDE	ALTURA
INPE/SJC.- SP.	0,34"	1,18"	5,0 m
B.INFERNO/RN	1,63"	2,64"	4,0 m
P.MACACO/SP	0,44"	1,03"	7,0 m

A Tabela 2 mostra que o teste efetuado em Natal não foi de boa qualidade, devido à falta constante de energia elétrica.

As coordenadas geodésicas são importantes para a determinação de pontos na superfície terrestre, como por exemplo, dar o apoio geodésico às imagens do satélite LANDSAT, quando estas são usadas com finalidades cartográficas.

Os dados orbitais, obtidos do rastreamento de satélites pelo equipamento MX-702, estão sendo utilizados para testes dos procedimentos, cujo objetivo é a propagação de órbita.

2.3.2 - ATIVIDADE GEOPOTENCIAL

Devido aos recentes modelos do geopotencial desenvolvidos (até ordem 30) e que podem ser aplicados com segurança em qualquer Missão Espacial, os estudos neste tópico tem-se voltado para os aspectos específicos como, por exemplo, aqueles sobre os coeficientes ressonantes, contribuição importante para modelos de geopotencial.

Saliente-se, também, que tanto os dados orbitais, obtidos com o MX-702, como os dados gravimétricos tem papel importante na modelagem do geopotencial.

3. SEMINÁRIOS E CONGRESSOS

Durante o período coberto por este relatório, os pesquisadores do grupo de Geodésia Espacial participaram dos seguintes seminários/congressos:

- 1) I Seminário de Cartografia Temática, Belo Horizonte, 12.7 a 15.7.78.

Trabalho: SILVA, W.C.C.; MAIA, J.C.; FERREIRA, L.D.D. "Estudo do imageamento e distorções geométricas das imagens LANDSAT".

Compareceram ao Seminários os pesquisadores: Wilson, C.C. Silva e José C. Maia.

- 2) IX Congresso Brasileiro de Cartografia em Curitiba, 04.02 a 09.02.79.

Trabalho: GIACAGLIA, G.E.O. "Transformation of Spherical Harmonics and Applications to Geodesy and Satellite Theory".

SILVA, W.C.C.; PILCHOWSKI, H.U.; FERREIRA, L.D.D.
"Reavaliação dos Coeficientes do Geopotencial".

Compareceram ao seminário os pesquisadores: G.E.O. Giacaglia, Wilson C.C. Silva e Hans U. Pilchowski.

- 3) International Symposium - Spacecraft Flight Dynamics.
Darmstadt, West Germany, Maio, 1981.

Trabalho: RIOS NETO, A.; BAMBACE, L.A.W. "Optimal linear estimation and suboptimal numerical solutions of dynamic systems control.

CEBALLOS, D.C.; RIOS NETO, A. "Linear programming and suboptimal numerical solutions of dynamical systems control problems".

Compareceu ao seminário o pesquisador Atair Rios Neto.

4. CONTATOS CIENTÍFICOS

Os seguintes contatos foram mantidos:

- Com o Dr. I.I. Mueller, Geodesta da Ohio State University, o qual em Curitiba, PR, proferiu conferências sobre Marés-Terrestres (1979).
- Com os professores M. C. Eckstein e F. Jochim da DFVRL, os quais ministraram seminário no INPE e proferiram palestras sobre:
 - . "Orbit computation and life time prediction of close earth satellites".
 - . "A survey on orbit analysis for remote sensing satellite" (1978).

- Com o professor A. Leibold sobre:
 - . "Lecture series on trajectory estimation, satellite orbit determination and related error analysis" (1980).
Tópico de seminário oferecido no INPE como parte do Acordo de Cooperação Técnica - Brasil - República Federal da Alemanha.
- Com os técnicos da Estação Laser em Natal, pertencente ao Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO), a fim de se familiarizarem com o Sistema de Rastreo, tanto na parte operacional como na de manutenção (1980).
- Com o professor Germano Bruno Afonso, para proferir palestra sobre "Perturbações em movimento de satélites artificiais", e para auxiliar nas especificações dos requisitos de uma estação de rastreamento a Laser.

5. ESTÁGIO

Seguiu para a Alemanha em setembro de 1981, o pesquisador W.C.C. da Silva que fará um estágio no DFVLR, em Oberpfaffenhofen, com o objetivo de desenvolver pesquisas a nível de pós-doutoramento, sobre os coeficientes ressonantes necessários aos estudos do modelo de geopotencial. Seu estágio inclui tópico de grande interesse para o projeto e está sendo parcialmente subvencionado pelo Acordo Brasil - Alemanha já mencionado. O estágio terá a duração de um ano.

6. ASSESSORIA

O projeto Geodésia Espacial assessorou os Departamentos de Sensoriamento Remoto, Meteorologia e Recursos Humanos, ministrando disciplinas, tanto a nível de pós-graduação como em cursos de treinamento. Tais Disciplinas foram:

- Aplicação das Técnicas de Sensoriamento Remoto no levantamento de Recursos Naturais.
- Curso de Satélites Meteorológicos: Aplicação e foto interpretação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARRARA, V. *Estimação das forças aerodinâmicas em satélites terrestres, aplicação a um satélite experimental*. São José dos Campos, INPE, nov. 1980. (INPE-1944-RPE/262).
- CEBALLOS, D.C.; RIOS NETO, A. *Linear programming and suboptimal solutions of dynamical systems control problems*. São José dos Campos, INPE, June, 1981. (INPE-2076-RPE/311). Apresentado no International Symposium on Spacecraft Flight Dynamic, Darmstadt, República Federal da Alemanha, maio, 1981.
- FERREIRA, L.D.D. *Tópicos sobre imageamento e coordenadas Geodésicas*. In: INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Curso de treinamento: aplicações de sensoriamento remoto com ênfase em imagens LANDSAT, no levantamento de recursos naturais. São José dos Campos (INPE-1949-MD/006).
- FERREIRA, L.D.D.; SILVA, W.C.C.; PILCHOWSKI, H.U. *Notas sobre sistemas de coordenadas e tempo*. São José dos Campos, dez., 1979. (INPE-1634-RPE/093).
- GIACAGLIA, G.E.O. *Transformation of spherical harmonics and applications to Geodesy and satellite theory*. São José dos Campos, INPE, abr., 1979. (INPE-1453-RPE/018).
- MEDEIROS, V.M. *Análise de iluminação das áreas cobertas por um satélite de órbita heliossíncrona circular*. São José dos Campos, INPE. ago., 1981. (INPE-2208-RPE/398).
- PAIVA, R.N. de; FERREIRA, L.D.D.; PILCHOWSKI, H.U.; MEDEIROS, V.M. *Curso de satélites meteorológicos, aplicações e foto-interpretação - parte A*. São José dos Campos, INPE, out., 1981. cap. 2, p. 2.1-2.47.
- PILCHOWSKI, H.U. *Perturbação de satélites artificiais devida a marés*. São José dos Campos, INPE, abr., 1981. (INPE-2033-RPE/290).

- PILCHOWSKI, H.U.; FERREIRA, L.D.D.; SILVA, A.M. *Pressão de radiação sobre um satélite terrestre*. São José dos Campos, INPE, set., 1979. (INPE-1571-RPI/011).
- PILCHOWSKI, H.U.; SILVA, W.C.C.; FERREIRA, L.D.D. *Introdução a mecânica celeste*. São José dos Campos, jun., 1981. (INPE-2126-RPE/350).
- RIOS NETO, A.; BAMBACE, L.A.W. *Optimal linear estimation and suboptimal numerical solutions of dynamical systems control problems*. São José dos Campos, INPE, jun. 1981. (INPE-2077-RPE/312). Apresentado no International Symposium on Spacecraft Flight Dynamics, Darmstadt, República Federal da Alemanha, May, 1981.
- SILVA, W.C.C.; PILCHOWSKI, H.U.; FERREIRA, L.D.D. *Angular dislocation of the earth principal axes of inertia*. São José dos Campos, INPE, jul. 1979. (INPE-1528-RPE/048). Bulletin Géodésique 54(22):181-189, june, 1980.
- SILVA, W.C.C.; MAIA, J.C.; FERREIRA, L.D.D. *Estudo do imageamento e distorções geométricas das Imagens LANDSAT*. São José dos Campos, INPE, jul. 1978. (INPE-1286-PE/140). Apresentado no 1º Seminário de Cartografia Temática. Belo Horizonte de 12 a 15 de julho de 1978.
- SILVA, W.C.C.; PILCHOWSKI, H.U.; FERREIRA, L.D.D. *Reavaliação dos Coeficientes do Geopotencial*. São José dos Campos, INPE, fev., 1979. (INPE-1427-RPE/006). Apresentado no 9º Congresso Brasileiro de Cartografia, Curitiba, fevereiro, 1979.

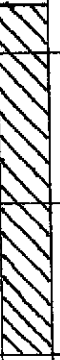
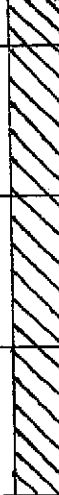
CRONOGRAMA FÍSICO DE ATIVIDADES

CONVÊNIO: B/54/81/042/00/00

BENEFICIÁRIO: CNPq/INPE

PROJETO: ATIVIDADES DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO INPE

SUBPROJETO: GEODÉSIA

ATIVIDADES		1980				1981				1982	
		3º TRIM	4º TRIM	1º TRIM	2º TRIM	3º TRIM	4º TRIM	1º TRIM	2º TRIM	1º TRIM	2º TRIM
I	ESTAÇÃO DE RASTREAMENTO LASER 1. Definição do sistema (já concluído).										
											
											
1.2	AQUISIÇÃO DE EQUIPAMENTOS										
											
											
1.3	OBRAS CIVIS:										
a	a - projeto										
											
b	construção										
											
											
1.4	TREINAMENTO DE PESSOAL										
											
											
											
											

OBS.:

 Previsão Inicial

 Previsão Atualizada

 Atividades Realizadas

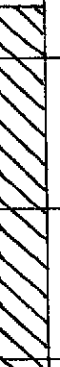
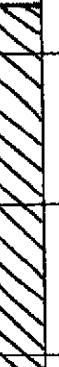
CRONOGRAMA FÍSICO DE ATIVIDADES

CONVÊNIO: B/54/81/042/00/00

BENEFICIÁRIO: CNPq/INPE

PROJETO: ATIVIDADES DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO INPE

SUBPROJETO: GEODÉSIA

ATIVIDADES		1980			1981				1982	
		3º TRIM	4º TRIM	1º TRIM	2º TRIM	3º TRIM	4º TRIM	1º TRIM	2º TRIM	
II	GEOSAT/DOPPLER a - Coordenadas									
										
										
										
										
	b - Dados orbitais (MX-702)									
										
III	GEOSAT/GEOP									
a	a - dados gravimétricos									
										
										
b	dados orbitais									
										
										
c	geopotencial									
										
										
										
										

OBS.:

 Previsão Inicial

 Previsão Atualizada

 Atividades Realizadas