



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS  
AUTORES/AUTHORS  
TECNOLOGIA ESPACIAL, PROGRAMA ESTRATÉGICO

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY  
Marco Antonio Raupp  
P. Diretor Geral

AUTOR RESPONSÁVEL  
RESPONSIBLE AUTHOR  
C.C. Ghizoni

DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION  
 INTERNA / INTERNAL  
 EXTERNA / EXTERNAL  
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

CDU/UDC  
629,78

DATA / DATE  
Outubro 1988

TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICACION NO INPE-4710-RA/188	
	PLANO ESTRATÉGICO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA ESPACIAL: I. ÁREAS DE ATUAÇÃO	
AUTORES/AUTHORSHIP	J.T.M. Bacellar C. Bressan W. Boruszewski L.B.T. Cividanes L.C. Esteves N. Hinckel R. Ranvaud J.F. Ribeiro E.A.P. Tude	

ORIGEM  
ORIGIN  
ETE

PROJETO  
PROJECT  
AT/ETE

Nº DE PAG.  
NO OF PAGES  
155

ULTIMA PAG.  
LAST PAGE  
146

VERSÃO  
VERSION

Nº DE MAPAS  
NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Este documento visa estabelecer claramente as áreas de atuação da Diretoria de Engenharia e Tecnologia Espacial-ETE do INPE, para integrar e direcionar os esforços e trabalhos de suas várias unidades, de modo a possibilitar um desenvolvimento coordenado, harmônico e eficiente da Tecnologia Espacial no país.

OBSERVAÇÕES/REMARKS

## ABSTRACT

This document aims to establish clearly the areas of activity of INPE's Directory of Space Engineering and Technology - ETE in order to integrate and direct the efforts and activities, of its departments allowing a coordinate, harmonic and efficient development of the Space Technology in the country.



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....	1
<u>CAPÍTULO 2 - ABORDAGEM</u> .....	7
<u>CAPÍTULO 3 - ÁREAS DE ATUAÇÃO</u> .....	13
3.1 - Controle de Atitude e Órbita .....	13
3.1.1 - Introdução .....	13
3.1.2 - Pesquisa Aplicada e Desenvolvimento Tecnológico	14
3.1.2.1 - Área de Análise e Modelagem .....	15
3.1.2.1.1 - Dinâmica de Atitude .....	15
3.1.2.1.2 - Dinâmica de Órbita .....	16
3.1.2.1.3 - Determinação de Atitude .....	17
3.1.2.1.4 - Controle de Atitude e Órbita .....	17
3.1.2.2 - Área de Sensores .....	18
3.1.2.2.1 - Sensores Solares .....	18
3.1.2.2.1.1 - Sensor Solar de Aquisição .....	19
3.1.2.2.1.2 - Sensor Solar Fino .....	20
3.1.2.2.2 - Sensor de Horizonte .....	20
3.1.2.2.3 - Sensores Inerciais .....	22
3.1.2.2.4 - Sensores Magnéticos .....	23
3.1.2.2.5 - Sensores Estelares .....	24
3.1.2.3 - Área de Atuadores .....	25
3.1.2.3.1 - Rodas à Reação .....	25
3.1.2.3.2 - Volantes de Inércia .....	27
3.1.2.3.3 - Atuadores Magnéticos .....	27
3.1.2.3.4 - Jatos de Gás .....	28
3.1.2.3.5 - Atuadores Passivos .....	29
3.1.2.4 - Área de Eletrônica de Controle .....	30
3.1.2.4.1 - Unidade Lógica de Controle .....	30
3.1.2.4.2 - Interfaces	
3.1.3 - Tecnologias Estratégicas Associadas ao SCAO ...	32
3.1.4 - A Situação do INPE Frente aos Desafios de Desen senvolvimento Inerentes a um Programa Espacial.	35
3.2 - Telecomunicações .....	38
3.2.1 - Situação Atual .....	38

3.2.2 - Áreas de Desenvolvimento/Pesquisa .....	43
3.2.3 - Desenvolvimento Tecnológico .....	44
3.2.3.1 - No INPE .....	44
3.2.3.2 - Externamente ao INPE .....	45
3.2.4 - Tecnologias Necessárias .....	46
3.2.4.1 - Disponíveis no País .....	46
3.2.4.2 - Não Disponíveis no País .....	47
3.3 - Mecânica Espacial .....	48
3.3.1 - Introdução .....	48
3.3.2 - Térmica .....	49
3.3.2.1 - Aspectos Computacionais .....	49
3.3.2.2 - Aspectos Tecnológicos .....	50
3.3.3 - Estruturas .....	52
3.3.3.1 - Aspectos Computacionais .....	52
3.3.3.2 - Aspectos de Desenvolvimento .....	54
3.3.3.3 - Aspectos de Pesquisa .....	55
3.3.4 - Materiais .....	56
3.3.4.1 - Aspectos Tecnológicos .....	56
3.3.4.2 - Aspectos de Desenvolvimento .....	57
3.3.4.3 - Aspectos Computacionais .....	57
3.3.5 - Mecanismos .....	58
3.3.5.1 - Aspectos de Desenvolvimento .....	58
3.3.6 - Gasdinâmica .....	59
3.3.6.1 - Aspectos de Pesquisa .....	59
3.3.6.2 - Satélites de Órbita Baixa e Reentráveis .....	59
3.3.6.3 - Satélites Geoestacionários .....	60
3.3.6.4 - Satélites em Geral .....	60
3.3.7 - Mecânica Orbital .....	61
3.3.7.1 - Dinâmica de Órbitas .....	61
3.3.7.2 - Dinâmica de Atitude .....	62
3.3.7.3 - Análise de Missões .....	63
3.4 - Instrumentação (Carga Útil) .....	64
3.4.1 - Resumo .....	64
3.4.2 - AS Cargas Úteis .....	66
3.4.2.1 - CD1, CD2 .....	66
3.4.2.2 - CC .....	67
3.4.2.3 - SC .....	68

3.4.2.4 - SR .....	69
3.4.2.5 - SATCOM .....	71
3.4.3 - Algumas Observações Adicionais .....	72
3.4.4 - Conclusões .....	74
3.4.4.1 - Óptica/Mecânica .....	74
3.4.4.2 - Detetores .....	75
3.4.4.3 - Eletrônica .....	75
3.4.4.4 - Opto-Eletrônica/Radiometria .....	75
3.4.4.5 - Microondas (Além de Telecomunicações .....	76
3.4.4.6 - Outros .....	76
3.5 - Suprimento de Energia .....	77
3.5.1 - Introdução .....	77
3.5.2 - Situação Atual do INPE .....	80
3.5.2.1 - Gerador Solar .....	80
3.5.2.2 - Bateria .....	81
3.5.2.3 - Eletrônica .....	82
3.5.2.4 - Equipamentos de Teste .....	82
3.5.3 - Próximos Programas .....	83
3.5.3.1 - Sistema de Potência .....	83
3.5.3.2 - Gerador Solar .....	84
3.5.3.3 - Bateriais .....	85
3.5.3.4 - Eletrônica .....	85
3.5.3.5 - Testes .....	85
3.6 - Propulsão .....	86
3.6.1 - Introdução .....	86
3.6.1.1 - Atividades de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículo Lançador .....	88
3.6.1.2 - Sistemas de Controle por Reação .....	92
3.6.2 - Situação Atual .....	94
3.6.2.1 - Sistemas Propulsivos a Gás Frio .....	95
3.6.2.2 - Sistemas Propulsivos a Decomposição Catalíti ca de Hidrazina .....	95
3.6.2.3 - Sistemas Propulsivos a Bipropelente Líquido.	97
3.6.2.4 - Sistema Propulsivo a Propelente Sólido .....	98
3.6.3 - Áreas Direcionadas para Desenvolvimento ou pa ra Pesquisa Aplicada .....	98
3.6.3.1 - Áreas Direcionadas para Pesquisa Aplicada ..	100
3.6.3.2 - Áreas Direcionadas para Desenvolvimento ....	101
3.6.3.3 - Itens para Desenvolvimento Tecnológico .....	103

3.6.3.3.1 - Interno ao INPE .....	103
3.6.3.3.1.1 - A Curto Prazo .....	103
3.6.3.3.1.2 - A Médio Prazo .....	104
3.6.3.3.1.3 - A Longo Prazo .....	105
3.6.3.3.2 - Externo ao INPE .....	105
3.6.3.3.2.1 - A Curto Prazo .....	105
3.6.3.3.2.2 - A Médio Prazo .....	106
3.6.4 - Tecnologias Necessárias .....	106
3.6.4.1 - No País .....	107
3.7 - Sistemas de Solo .....	109
3.7.1 - Introdução .....	109
3.7.2 - Situação Atual .....	114
3.7.2.1 - Centro de Controle .....	114
3.7.2.2 - Estações Terrenas .....	116
3.7.2.3 - Rede de Comunicação de Dados .....	118
3.7.2.4 - Centro de Missão .....	124
3.7.3 - Áreas para Pesquisa e Desenvolvimento .....	127
3.7.3.1 - Centro de Controle .....	128
3.7.3.1.1 - Pesquisa Básica .....	128
3.7.3.1.2 - Desenvolvimento e Pesquisa Aplicada .....	128
3.7.3.2 - Estações Terrenas .....	129
3.7.3.2.1 - Pesquisa Básica .....	129
3.7.3.2.2 - Pesquisa Aplicada .....	129
3.7.3.3 - Rede de Comunicação de Dados .....	130
3.7.3.3.1 - Pesquisa Aplicada .....	130
3.7.3.3.2 - Desenvolvimento .....	131
3.7.3.4 - Centros de Missão .....	131
3.7.3.4.1 - Pesquisa Aplicada .....	131
3.7.3.4.2 - Desenvolvimento .....	132
3.7.4 - Desenvolvimento Tecnológico .....	132
3.7.4.1 - Centro de Controle .....	133
3.7.4.1.1 - INPE .....	133
3.7.4.1.2 - Externamente ao INPE .....	133
3.7.4.2 - Estações Terrenas .....	134
3.7.4.2.2.1 - Desenvolvimento pelo INPE .....	134
3.7.4.2.2 - Desenvolvimentos Externos ao INPE .....	134
3.7.4.3 - Rede de comunicação de Dados .....	135
3.7.4.3.1 - Desenvolvimento pelo INPE .....	135

3.7.4.3.2 - Desenvolvimentos Externos ao INPE.....	135
3.7.4.4 - Centros de Missão .....	136
3.7.4.4.1 - Desenvolvimento pelo INPE .....	136
3.7.4.4.2 - Desenvolvimento Externos ao INPE .....	136
3.7.5 - Tecnologias Necessárias .....	136
3.7.5.1 - Estações Terrenas .....	137
3.7.5.1.1 - Disponíveis no País .....	137
3.7.5.1.2 - Não Disponíveis no País .....	138
3.7.5.2 - Centro de Controle .....	138
3.7.5.2.1 - Disponíveis no País .....	138
3.7.5.2.2 - Não Disponíveis no País .....	139
3.7.5.3 - Rede de Comunicação de Dados .....	139
3.7.5.3.1 - Disponíveis no País .....	139
3.7.5.3.2 - Não Disponíveis no País .....	139
3.7.5.4 - Centros de Missão .....	140
3.7.5.4.1 - Disponíveis no País .....	140
3.7.5.4.2 - Não Disponíveis no País .....	140
CAPÍTULO 4 - ESTRATÉGIA PARA A ÁREA .....	141





## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O presente documento visa estabelecer um Plano de desenvolvimento da Tecnologia Espacial para o INPE (e o Brasil por extensão) o qual servirá como base para a definição das Linhas de Pesquisa e Desenvolvimento e Programas na área de Engenharia Espacial.

Entendemos aqui como Desenvolvimento Tecnológico, "O uso sistemático de conhecimento e entendimentos ganhos através da Pesquisa Científica, dirigidos para a produção de materiais úteis, dispositivos ou métodos, incluindo o projeto e construção de protótipos e demonstração de processos". Dentro dessa visão, o presente programa congrega de forma integrada a Pesquisa e o Desenvolvimento em um mesmo objetivo.

A aspiração humana sempre foi dirigida para cima, havendo o homem tentado desde os remotos tempos livrar-se dos vínculos que o prenderam à superfície da Terra, impostos pela gravidade. Como primeiro passo para a realização de seus sonhos, o homem estudou o vôo dos pássaros. O que parecia simples foi descoberto ser

excessivamente difícil; após vários séculos de experimentação, especulação e computação não foi realizado o grande sonho do homem, o de voar como os pássaros. A combinação de uma forma estrutural resistente, de pequeno peso e grande capacidade de conversão de energia que existe mesmo no mais minúsculo dos pássaros, nunca foi duplicado pelo homem.

Tão antigo também é o sonho do vôo tripulado ao espaço. Desde os primórdios do estudo da ciência da Astronomia que o homem sonha com viagens ao espaço exterior, livrando-se assim dos laços naturais que o ligam à superfície do seu planeta. Lucian de Samosata, no século II, já escrevia sátiras sobre viagens à Lua e a partir do século XVII, após Galileo inventar o telescópio, reviveram-se no homem, sonhos de alcançar o espaço e viajar pelos planetas. Ensaios como o de Júlio Verne em 1865 são amostras do nível de detalhes e conhecimento da época. As aspirações de voar como os pássaros e de libertar-se da superfície da terra alcançando o espaço, são igualmente antigas e fazem parte de um só sonho: **conquistar o espaço para explorar o desconhecido.**

A realização desses sonhos começou com o desenvolvimento dos motores a explosão. Essa tecnologia possibilitou converter energia de forma eficiente com

motores de massa suficientemente baixa para que a partir de 1900 houvesse um franco desenvolvimento de uma nova área, a Aviação.

Houve um período de tentativa e erro (1903 a 1914) no qual apareceram Santos Dumont e os irmãos Wright como os grandes pioneiros. Seguiu-se a este, o período de desenvolvimento prático (1914-1940) e quando vários vôos significativos foram registrados entre os quais o vôo transatlântico de Charles Lindbergh (1927). Durante e após a segunda guerra (1940 em diante) teve início o desenvolvimento acelerado. O fator notável que realmente marcou o início de uma nova era na aviação comercial foi a invenção do turbo propulsor (propulsão a jato). Hoje é evidente a influência da indústria aeronáutica na sociedade e a hegemonia dos países que mais investiram no início da fase de desenvolvimento, dos EUA e a França. A história do desenvolvimento da aviação tem cerca de 80 anos apenas, com grandes avanços nos últimos 40 anos após a propulsão a jato.

A Tecnologia Astronáutica está historicamente defasada 40 anos com relação à Tecnologia Aeronáutica e estamos atualmente entrando no início de um desenvolvimento acelerado com movimentação e mobilização de nações para poderem participar e assim assegurar o domínio desta tecnologia emergente. Os desenvolvimentos da Aeronáutica e

da Astronáutica são muito semelhantes. Ambos têm origem nas aspirações e nos sonhos humanos de conquistar o espaço e ambos dependem da tecnologia de máquinas eficientes de conversão de energia química em energia cinética. O exemplo dos grandes benefícios sociais e econômicos oriundos do desenvolvimento da aviação não pode e nem deve ser desprezado ou esquecido. Estamos hoje no limiar de uma fase da era espacial. É bem provável que iremos assistir nos próximos anos a um desenvolvimento acelerado da tecnologia espacial com motores de propulsão mais e mais eficientes. Os benefícios sociais tornam-se mais transparentes. Estações espaciais em órbita ao redor da Terra colocam à disposição do homem, ambientes totalmente novos para o desenvolvimento de novos materiais devido as ausências da gravidade e de contaminantes. Assim, compostos químicos e farmacêuticos nunca antes sintetizados poderão ficar disponíveis à sociedade trazendo benefícios imensos a ela. Os primeiros exemplos concretos da importância da tecnologia espacial para a sociedade são hoje representados pelos satélites de comunicações, meteorológicos e de observação da superfície terrestre.

Aspirações coletivas gravadas na memória dos povos, ao longo dos tempos, estão intimamente associadas com a preservação e perpetuação da espécie humana no universo. Assim, como a partir do sonho de voar nasceu toda uma complexa tecnologia aeronáutica, hoje presente em todas as

atividades da vida cotidiana, é perfeitamente válido supor que a aspiração maior de conquistar o espaço trará benefícios imensos à humanidade. Assim como o desenvolvimento acelerado da Aviação começou com a invenção do turbo-propulsor há cerca de 40 anos atrás, espera-se que tal desenvolvimento acelerado ocorra no setor Espacial, tão logo motores foguetes mais eficientes estejam disponíveis. Está chegando a época da ocupação permanente, como aconteceu com continentes distantes do passado, de órbitas baixas ao redor da terra e de lá então a colonização futura do espaço.

É inegável que o quase monopólio na indústria aeronáutica pelos EUA e França seja devido aos grandes investimentos feitos nos primórdios da aviação por estes países. No setor espacial estamos hoje nos aproximando da fase de desenvolvimento acelerado, quando os países industrializados ocidentais mobilizam-se para a nova era. É portanto muito importante que haja consciência dos benefícios que certamente resultarão do envolvimento em programas espaciais, de forma a assegurar participação futura em um empreendimento do maior vulto para a sociedade humana.

Países em desenvolvimento, como o Brasil, devem manter um mínimo de investimento no setor espacial de modo a dominar as tecnologias mais críticas, criar

competência e capacitação para poder acompanhar os desenvolvimentos no exterior, estando prontos para um envolvimento maior, quando da maturação e consolidação da Astronáutica. Um programa objetivo para o desenvolvimento tecnológico gradual do Setor Espacial é de fundamental importância para assegurar a participação brasileira na colonização do espaço num futuro não mais distante.

## CAPÍTULO 2

### ABORDAGEM

Elaboração deste Programa leva em conta as aplicações espaciais mais importantes nos próximos anos, tendo sempre em mente a realidade brasileira. Uma análise\* preliminar permite-nos orientar tal programa para o domínio das tecnologias espaciais necessárias para o desenvolvimento de aplicações voltadas para:

- Observação e monitoramento dos recursos naturais e do meio ambiente.
- Comunicações via satélite.
- Processamento e obtenção de materiais em ambientes de micro-gravidade.
- Aplicações científicas.

Estas aplicações requerem satélites geo apontados, em órbitas baixas (SOB), satélites em órbitas geoestacionárias (SOG) e satélites reentráveis (SOR).

---

\* Baseada num documento do MCT sobre a Política Espacial Brasileira, em fase de elaboração.



Estas classes de satélites cobrem uma gama muito grande de tecnologias que consideramos suficientemente completas para o atual programa.

A metodologia é a de identificar as tecnologias necessárias ao domínio destas classes de satélites e estabelecer então um plano de desenvolvimento a curto, médio e longo prazos. Numa fase posterior, no futuro, este plano de desenvolvimento deverá visar tecnologias para outras classes de satélites ou engenhos espaciais. Dependendo da situação, uma fase de pesquisa científica deverá proceder o desenvolvimento tecnológico, o qual é basicamente uma atividade de grupo, opostamente à pesquisa básica que pode ser uma atividade individual.

Tomando-se como meta o domínio das tecnologias para as classes de satélites SOB, SOG e SOR, as grandes áreas de atuação, conforme as funções fundamentais de um sistema espacial são:

● Controle e Guiagem:

- . Sensores (ópticos, mecânicos, magnéticos).
- . Atuadores (rodas de reação, propulsores, magnéticos).
- . Eletrônica (computador de bordo).
- . Plataformas inerciais.
- . Modelagem, Simulação.
- . Dinâmica Orbital.

● Energia:

- . Células Solares.
- . Painéis Solares.
- . Condicionamento Eletrônico.
- . Baterias.
- . Outras Formas.

● Telecomunicações:

- . Antenas.
- . Transponder TTC e de Comunicações.
- . Comunicações.

- Mecânica:

- . Térmica.
- . Estruturas.
- . Materiais.
- . Mecanismos.
- . Aerodinâmica (Aerotermodinâmica).
- . Mecânica de Vôo.

- Instrumentação (carga útil):

- . Microondas
- . Ótica
- . Eletro-ótica
- . Processamento de Dados (imagens)
- . Infravermelho.

- Propulsão (em geral):

- . Propelentes
- . Motores
- . Válvulas, bombas

- . Tanques
  
- . Sistemas complexos.
  
- Meios de Solo:
  - . Antenas.
  
  - . Propagação.
  
  - . Centro de Controle.
  
  - . Redes de Comunicação de Dados/Computadores.
  
  - . Processamento de Sinais.
  
  - . Estações Terrenas.

As áreas acima definem especialidades onde o conhecimento científico é absolutamente necessário para o desenvolvimento da Tecnologia Espacial.

A idéia é detalhar as necessidades de pesquisas, estudos, experimentos e desenvolvimento em cada destas grandes áreas para se alcançar a capacitação técnica/científica para o desenvolvimento tecnológico das classes de satélites SOB, SOG e SOR. O planejamento é feito a curto, médio e longo prazos e visa atender também quando aplicável, à MECB (a curto prazo). No quadro a seguir é

feita uma projeção dos possíveis engajamentos em futuros projetos de satélites. São indicadas as datas de lançamentos previstas.

CD1	CD2	SC1	CC1	SR1	SATCOM	SR2	SC2	CC2	NASA
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:1989:	:1990:	:1991:	: 1992 :	: 1993	:	: 1994	:	: 1995 :	:1996:
:_____:	:_____:	:_____:	:_____:	:_____:	:_____:	:_____:	:_____:	:_____:	:_____:

Legenda: CD1,2 : Satélites Coleta Dados  
SC1,2 : Satélites Científicos  
SR1,2 : Satélites Sensoriamento Remoto  
CC1,2 : Satélites Cooperação com China  
SATCOM: Satélites Comunicações (EMBRATEL)  
NASA : Satélites Argos, Sarsat para a NASA.

Neste planejamento deve-se ter como estratégia a busca constante da autonomia e independência no setor, bem como o envolvimento gradual da indústria nacional, criando assim condições para o estabelecimento de um parque industrial na área espacial.

## CAPÍTULO 3

### ÁREAS DE ATUAÇÃO

#### 3.1. CONTROLE DE ATITUDE E ÓRBITA

##### 3.1.1 - INTRODUÇÃO

O Subsistema de Controle de Atitude e Órbita (SCAO) tem por objetivo adquirir e manter a posição e a orientação do satélite conforme os vínculos estabelecidos para a missão e aqueles outros impostos pelas condições de segurança, sobrevivência do satélite.

A dimensão, a importância e complexidade do SCAO impõem como necessidade a orientação permanente e determinada de recursos materiais e humanos voltados para o estudo, projeto, desenvolvimento e qualificação espacial de tal subsistema.

Estes esforços de independência e capacitação tecnológica podem ser divididos em quatro áreas principais, a saber:

- (1) Área de Análise e Modelagem: dedicada a análise, modelagem e simulação de toda a lógica e dos procedimentos de controle de atitude e órbita.
- (2) Área de Sensores: voltada ao desenvolvimento, projeto e qualificação de sensores de atitude.
- (3) Área de Atuadores: dedicada ao projeto, desenvolvimento e qualificação de atuadores para controle de atitude e órbita.
- (4) Área de Eletrônica de controle: voltada ao projeto, desenvolvimento e qualificação da eletrônica do SCAO não compreendida pelas áreas de sensores e atuadores.

### 3.1.2 - PESQUISA APLICADA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

As linhas de ação dentro de cada uma destas áreas devem estar orientadas segundo a natureza das missões que se desenham num futuro próximo, quais sejam: Missões de Monitoramento dos Recursos Naturais e do Meio Ambiente, Missões voltadas à Telecomunicações, Missões Científicas e Missões baseadas em Satélites Reentráveis. A seguir apresenta-se o que cabe a cada uma destas áreas.

3.1.2.1 - ÁREA DE ANÁLISE E MODELAGEM

Esta área deverá:

- a) conceber, projetar, testar e qualificar os diferentes modos de operação do SCAO nas várias fases da missão.
- b) conceber, projetar, testar e qualificar o software de monitoramento, chaveamento e reconfiguração funcional do SCAO.
- c) conceber, projetar, testar e qualificar as leis e os procedimentos de controle desenvolvidos pelo SCAO nos seus diferentes modos de operação.
- d) especificar sob o ponto de vista funcional (principais características de desempenho) o hardware do SCAO.

Para dar cumprimento aos fins propostos a área de análise e modelagem deverá desenvolver atividades em:

3.1.2.1.1 - DINÂMICA DE ATITUDE

Onde serão realizadas as modelagens e simulações de atitude, considerando:



- a) satélites estabilizados em um ou três eixos.
- b) satélites de 150 a 2000 Kg.
- c) órbitas elípticas e circulares (de 200 Km de altitude à geoestacionárias).
- d) satélites com painéis hélioapontados controlados por mecanismos.
- e) simulações em tempo real e não real.

#### 3.1.2.1.2 - DINÂMICA DE ÓRBITA

Onde se farão as análises, modelagens e simulações orbitais considerando:

- a) órbitas elípticas e circulares (de 200Km de altitude geoestacionárias).
- b) forças e torques ambientais.
- c) procedimentos (analíticos ou numéricos) para estimação/propagação de órbita em tempo real e

potencialmente implementáveis no computador de bordo.

d) simulações em tempo real e não real.

#### 3.1.2.1.3 - DETERMINAÇÃO DE ATITUDE

Onde serão feitas as análises, modelagens e simulações dos procedimentos de determinação de atitude observando:

- a) o uso de sensores inerciais e não inerciais.
- b) órbitas de 200 Km de perigeu à geostacionárias, elípticas e circulares.
- c) estabilizações em um e tres eixos.
- d) as potencialidades de implementação em micro-computadores de bordo.
- e) simulações em tempo real e não real.

#### 3.1.2.1.4 - CONTROLE DE ATITUDE E ÓRBITA

Onde serão feitas as análises, modelagens e simulações dos procedimentos de controle de atitude considerando:

- a) controladores digitais clássicos e modernos.
- b) estabilizações em um ou três eixos.
- c) as potencialidades da implementação num micro-computador de bordo.
- d) atuadores do tipo roda à reação, jato de gás e bobinas magnéticas.

#### 3.1.2.2 - ÁREA DE SENSORES

Esta área terá essencialmente que conceber projetar, testar e qualificar os sensores do SCAO. Os esforços deverão estar concentrados nos seguintes sensores:

##### 3.1.2.2.1 - SENSORES SOLARES

De todos os sensores do SCAO, são os sensores solares os mais extensivamente usados. O Sol como uma referência de atitude, ao contrário da Terra, pode ser considerada na maioria das aplicações como um elemento pontual e independente da órbita do satélite, isto confere aos sensores solares grande versatilidade.

Quando se observa a natureza da saída dos sensores solares pode-se classifica-los em três categorias:

sensores analógicos (fornece uma saída analógica contínua que é função do ângulo solar), sensores de presença do Sol (fornecem uma saída constante quando o Sol está no seu campo de visada) e sensores digitais (fornecem uma saída discreta em função do ângulo do Sol).

Em termos funcionais pode-se classificar os sensores solares em sensores solares grosseiros (usados normalmente nos modos de aquisição de atitude) e sensores solares finos (usados nas fases de operação nominal).

Os esforços de desenvolvimento deverão estar concentrados no projeto e desenvolvimento dos seguintes sensores:

#### 3.1.2.2.1.1 - SENSOR SOLAR DE AQUISIÇÃO

O sensor deve ter as seguintes características:

- a) baixo peso e consumo.
- b) campo de visada que cubra toda a esfera celeste.
- c) precisão em torno de +/-10 graus.
- d) operacionais em satélites spin-estabilizados e três-eixos-estabilizados.

#### 3.1.2.2.1.2 - SENSOR SOLAR FINO

- a) baixo peso e consumo.
- b) precisão na ordem de 0.05 a 0.1 graus.
- c) campo de visada de +/- 50 graus.
- d) operacionais em satélites spin-estabilizados e três-eixos estabilizados.

#### 3.1.2.2.2 - SENSOR DE HORIZONTE

A Terra, seus continentes, seus mares e sua atmosfera serão sempre um dos principais objetivos das missões espaciais. Para os satélites de órbita baixa

(1000km) a Terra cobre 40% do céu e é o segundo corpo celeste mais brilhante, constituindo portanto um referencial magnífico para a orientação dos veículos espaciais em órbita. Neste contexto os sensores de horizonte terrestre têm um papel de extraordinária importância para o SCAO.

Dos vários tipos de sensores de horizonte os de tecnologia mais sensível são os usados nos satélites de observação e exploração dos recursos naturais da Terra estabilizados em três-eixos. O desenvolvimento deste sensor deverá redundar no domínio das tecnologias envolvidas nos sensores de horizonte tanto dos satélites estabilizados por rotação em baixa altitude como dos satélites geo-estacionários.

O sensor cujo desenvolvimento se recomenda deverá apresentar as seguintes características:

- a) baixo peso e consumo.
- b) precisão de +/- 0.1 grau.
- c) operacional na faixa de 200 a 800km de altitude.
- d) próprios para satélites estabilizados em três-eixos.

### 3.1.2.2.3 - SENSORES INERCIAIS

Os esforços nesta área deverão corroborar no sentido de se desenvolver, testar e qualificar uma plataforma inercial em três eixos, onde a eletrônica de alimentação, tratamento e processamento de sinais (determinação de atitude) seja um projeto totalmente nacional, testado e qualificado espacialmente.

A fabricação do sensor propriamente dito (giroscópio) por envolver uma tecnologia sensível e estratégica, cara no seu desenvolvimento mas de aplicação ampla (satélites, foguetes, aviões, tanques, navios, etc.) deverá ser incentivado e ter uma política nacional de desenvolvimento próprio. O INPE deverá participar incentivando e sensibilizando outros parceiros afeitos a área, no estabelecimento de um programa nacional de desenvolvimento de giroscópios, que objetive a independência tecnológica do país.

As principais características da plataforma inercial cujo desenvolvimento se recomenda são:

- a) baixo peso e consumo.
- b) baseadas em giroscópios do tipo "dry-tuned"
- c) com o sistema computacional baseado em microprocessadores de 16 bits auxiliados por co-processadores aritméticos.
- d) deriva insensível à gravidade menor que 0.1 grau/hora.
- e) capacidade de medida dentro da faixa de +/-10 graus/sec.

#### 3.1.2.2.4 - SENSORES MAGNÉTICOS

Os sensores do campo magnético terrestre apresentam uma série de características que os tornam especialmente interessantes nas aplicações espaciais. São sensores vetoriais (medem a magnitude e a direção do campo magnético), leves, confiáveis, de baixo peso, não têm partes móveis e não envolvem tecnologias sofisticadas ou de domínio restrito.

A qualificação de magnetômetros para uso no espaço, com o domínio de toda a tecnologia envolvida na sua concepção deve ser uma preocupação estratégica as suas



características principais, a servirem como um ponto de partida neste desenvolvimento são:

- a) baixo peso e consumo.
- b) operacionais em satélites estabilizados em três eixos e por rotação.
- c) altitude de operação: 150 a 800 Km.
- d) precisão de medida: +/- 2%.
- e) capacidade de medida em três ortogonais.

#### 3.1.2.2.5 - SENSORES ESTELARES

Os sensores estelares são particularmente interessantes naquelas missões onde a precisão de apontamento é muito rigorosa (segundos de arco), usualmente missões científicas de observação astronômica. Esta precisão tem como preço um elevado peso, uma elevada potência e alta demanda computacional.

Tais sensores envolvem tecnologias sofisticadas dentro de vários campos de conhecimento (ótica, mecânica de precisão, eletrônica, computação), desta forma o

projeto e a qualificação de um sensor estelar constitui um grande desafio que cedo ou tarde o país deverá enfrentar.

A identificação e preparação de competências é o primeiro passo no sentido de projetar, desenvolver e testar sensores estelares.

Sugere-se que como ponto de partida que seja desenvolvido um sensor usando tecnologia CCD, onde a varredura é eletrônica (sensor sem partes móveis), com campo de visada na ordem de 5x5 graus e precisão na ordem de 10 segundos de arco.

### 3.1.2.3 - ÁREA DE ATUADORES

Esta área terá essencialmente que conceber, projetar, testar e qualificar os atuadores do SCAO. Os esforços deverão estar concentrados nos seguintes atuadores:

#### 3.1.2.3.1 - RODAS À REAÇÃO

A roda à reação é dentre os mecanismos de controle de atitude um dos mais extensivamente usados, notadamente nos satélites estabilizados em três eixos.

Nos sistemas ativos as rodas comandadas pelo SCAO servem para absorver os torques perturbadores a que o satélite está sujeito ou então para atuar nas manobras de reorientação da atitude do satélite.

Sob o ponto de vista mecânico os problemas de suporte (mancais) e fricção (lubrificação) constituem tecnologias sensíveis neste tipo de atuador, já na parte eletrônica o motor, sua alimentação e controle são os maiores desafios.

Dado o seu largo emprego e importância, a roda à reação constitui um desafio tecnológico a ser enfrentado imediatamente. Sugere-se, a princípio, desenvolvimento de uma roda e a da sua eletrônica associada com as seguintes características:

- baixo peso e consumo
- capacidade: 1.0 a 2.5Nms
- torque máximo: 0.1 a 0.2Nm.

### 3.1.2.3.2 - VOLANTES DE INÉRCIA

Os volantes de inércia são na verdade rodas à reação projetados para operarem com quantidade de movimento angular elevada (alta rotação). A rigidez giroscópica proporcionada pelo volante é a filosofia de estabilização usada por muitos satélites nos dias de hoje.

Como as diferenças entre um volante de inércia e uma roda à reação não são tão acentuadas, espera-se que se evolua de forma natural e sem grandes esforços, para o domínio da tecnologia do volante de inércia, uma vez vencidas as barreiras de construção de um modelo de voo de uma roda à reação.

### 3.1.2.3.3 - ATUADORES MAGNÉTICOS

Os atuadores magnéticos são usados normalmente em órbitas baixas, são leves, não apresentam partes móveis, são simples e baratos. O aspecto consumo é especialmente atrativo neste atuador a despeito das magnitudes pequenas dos torques gerados e a dependência dos mesmos da posição orbital do veículo.

Essencialmente são três os tipos de bobinas magnéticas: com núcleo com ímã permanente (usados para estabilização), com núcleo de ar e com núcleo de material ferro-magnético (estes dois últimos usados tanto para estabilização como para manobras de atitude).

As tecnologias envolvidas são fundamentalmente de materiais e uma vez que bobinas com núcleo de ar já são fabricadas/qualificadas no país, julga-se interessante que se procure desenvolver bobinas com núcleo ferro-magnéticos. Como referência sugere-se o desenvolvimento de uma bobina com as características:

- núcleo de material magnético
- momento do dipolo: 10-20Am
- baixo peso, dimensão e potência.

#### 3.1.2.3.4 - JATOS DE GÁS

Sistemas de controle ativo que envolvem jatos de gás são eficientes na execução de manobras, simples de operar, independem de um ambiente externo específico (ao contrário das bobinas magnéticas); contudo são caros, tem um hardware complexo e são limitados no seu tempo de vida.

Os jatos de gás podem gerar forças e torques que servem normalmente para: (1) controle de atitude, (2) controle de velocidade de rotação em satélites assim estabilizados, (3) controle de nutação, (4) dessaturação de rodas à reação e (5) controle e transferência de órbita.

Diante da versatilidade de aplicações qualquer ambição futura no campo espacial passa obrigatoriamente pelo domínio da tecnologia dos propulsores baseados em jatos de gás. Em termos das necessidades de um futuro não muito distante é estratégico ao país o domínio da tecnologia deste tipo de atuador, desde o propelente (hidrazina) ao hardware (tanques, válvulas, tubeiras, filtros etc.) propriamente dito.

As primeiras necessidades do país deverão convergir para sistemas propulsivos baseados em motores de hidrazina com empuxos na faixa de 0.2 a 5N, assim é para estes tipos de sistemas que as pesquisas/desenvolvimentos deverão estar orientadas.

#### 3.1.2.3.5. ATUADORES PASSIVOS

Esta classe de atuadores, que normalmente são sistemas mecânicos usados em satélites estabilizados por

rotação ou gradiente de gravidade, não se caracterizam, sob o ponto de vista tecnológico, como elementos de preocupação estratégica. São bem específicos e de uso restrito e as opções com tecnologia mais refinada, como a dos apêndices extensíveis por exemplo, podem ser substituídas por outros mecanismos de forma a contornar dependências tecnológicas indesejáveis. Em suma, existem nestes tipos de atuadores tecnologias não dominadas ainda no país, no entanto não são comprometedoras sob o ponto de vista estratégico.

#### 3.1.2.4 - ÁREA DE ELETRÔNICA DE CONTROLE

Esta área deverá projetar, desenvolver, testar e qualificar os seguintes elementos do SCAO:

##### 3.1.2.4.1 - UNIDADE LÓGICA DE CONTROLE

Este elemento do SCAO é constituído pelo hardware e o software básico onde são materializados a lógica e o procedimento de controle do SCAO. A versatilidade, capacidade de reconfiguração e processamento de informações fazem dos microcomputadores uma tendência irreversível na realização desta função. Em se tratando de plataformas multimissões, então, as vantagens dos microcomputadores se evidenciam muito mais.

Os obstáculos tecnológicos são realmente muito grandes e a dependência a nível de componentes, não de sistema, é flagrante. Um esforço de desenvolvimento e domínio tecnológico deve ser levado a efeito no sentido de configurar um computador de bordo qualificado espacialmente que tenha como características principais:

- baixo peso e consumo
- alta velocidade de processamento
- 16 bits
- interfaces e memórias expandíveis
- capacidade de operação com processadores aritméticos.

#### 3.1.2.4.2 - INTERFACES

Se entende por interface aqui os meios através dos quais os elementos do SCAO (sensores, atuadores e unidade lógica de controle) se comunicam entre si e com os outros subsistemas do satélite.

O desenvolvimento, projeto e qualificação desta interface (talvez barramento fosse um melhor nome), é



de grande relevância, pois ela traz em si implicações muito significativas sobre os demais equipamentos do SCAO. A definição de um padrão para os satélites brasileiros é portanto de extraordinária importância e urgente no tempo.

As tecnologias associadas ao desenvolvimento e qualificação desta interface envolvem desde técnicas de proteção à radiação de componentes eletrônicos à técnicas de hibridização de circuitos eletrônicos.

Desta maneira o desenvolvimento destas interfaces, com a definição de um padrão redundará em grandes benefícios para o país, além, é claro, de atender aos fins estratégicos que a independência tecnológica impõe.

### 3.1.3 - TECNOLOGIAS ESTRATÉGICAS ASSOCIADAS AO SCAO

Pode-se identificar quatro áreas principais de pesquisa e desenvolvimento que estão associadas ao esforço de qualificação dos equipamentos mencionados no item precedente. São elas:

- (1) Mecânica de precisão: com destaque para os mecanismos com rotores, presentes na roda à reação, no volante de inércia, nos giroscópios e nos sensores de horizonte. O problema dos mancais e da

sua lubrificação, que venha a garantir um longo tempo de vida e uma qualificação espacial, são obstáculos a serem equacionados.

- (2) Eletrônica: com destaque para os motores, presentes na roda à reação, nos volantes de inércia, nos giroscópios e nos sensores de horizonte. Drivers de corrente e sensores de deslocamento angular e velocidade de rotação constituem também elementos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, assim como os sistemas computacionais de bordo e as técnicas de hibridização de circuitos eletrônicos e prevenção de falhas, decorrentes de deteriorização por radiação no espaço.
- (3) Ótica: os problemas de filtros, lentes e detetores, seja no infravermelho (sensor de horizonte) ou no visível (sensor solar fino e sensor estelar) constituem um vasto campo de pesquisa e desenvolvimento. Os desafios existem e tecnologias como o CCD por exemplo podem, uma vez dominadas, significar a economia e queima de muitas etapas na busca de sensores mais precisos e confiáveis.
- (4) Materiais e fabricação: os materiais constituem a base sob a qual se fazem todas as conquistas no campo tecnológico, desta maneira os desenvolvimentos na área espacial passam obrigatoriamente pela pesquisa e qualificação dos

mesmos. Neste contexto, se destacam os sistemas propulsivos. A síntese de propelentes e seu emprego de forma eficiente é talvez nesta área a maior e mais estratégica fronteira tecnológica a ser vencida. Também no núcleo da bobina magnética, no detetor ótico do sensor de horizonte, no lubrificante do rotor da roda, enfim em praticamente todos os equipamentos do SCAO os materiais terão sempre participação importantes, se não vitais.

A fabricação, ou seja a integração e materialização dos resultados provenientes da pesquisa e projeto de um dado equipamento, constitui o ponto terminal de todos os esforços, assim é óbvio que o parque industrial tem que estar preparado para atender as necessidades de qualquer desenvolvimento tecnológico que se ambicione fazer na área espacial, portanto o domínio e a capacitação dos processos de fabricação tem também importância estratégica e fundamental no contexto das conquistas espaciais.

Como pode-se observar a área espacial traz em si vasto campo de pesquisa e desenvolvimento. Um dos fatos de maior relevância e que se evidencia é o caráter multidisciplinar das pesquisas e das suas conseqüentes aplicações. Na área espacial, talvez como em nenhuma outra, os sub-

produtos tecnológicos decorrentes do esforço de se dominar os conhecimentos associados são tão importantes como o próprio conhecimento adquirido.

3.1.4 - A SITUAÇÃO DO INPE FRENTE AOS DESAFIOS DE DESENVOLVIMENTO INERENTES A UM PROGRAMA ESPACIAL

Uma vez identificados os elementos fundamentais e objetos de pesquisa tecnológica em cada uma das áreas em que o SCAO foi subdividido, resta avaliar em linhas gerais a capacitação do Instituto e do país diante de perspectiva de desenvolvimento.

Na área de Análise e Modelagem, que atua mais a nível de subsistema, existe no INPE competências perfeitamente capazes de dar todo suporte que o programa espacial venha a necessitar. Obviamente o intercâmbio técnico-científico, com o exterior principalmente, é desejável, pois contribui para uma evolução muito mais rápida das equipes e como consequência um avanço em passadas mais largas rumo ao domínio tecnológico. Esta última assertiva vale naturalmente para todas as áreas de conhecimento e pesquisa envolvidas com o SCAO.

Na área de sensores, o INPE tem toda a competência para desenvolver e gerir os programas de desenvolvimento anteriormente identificados. Além das atividades de desenvolvimento em curso (sensor solar e magnetômetro) existem dois elementos de tecnologias sensíveis que precisam ser encarados, face as necessidades de um futuro próximo. São eles: o sensor de horizonte e a plataforma inercial. A conjugação de esforços e determinação de se dominar as tecnologias envolvidas nestes dois sensores, dentro de um programa bem definido com recursos garantidos são condições essenciais para se alcançar o sucesso de tal empreitada.

Na área de atuadores o grande desafio são os sistemas propulsivos. Enquanto a tecnologia dos mesmos não for dominada, toda e qualquer ambição na área espacial estará sempre numa posição para conduzirem o país à independência tecnológica desejada no assunto; também aqui a determinação, com a alocação e comprometimento de recursos, é condição essencial para com sucesso se alcançar o objetivo.

A roda à reação é outro atuador de maior relevância e seria dado o seu uso previsto nas próximas missões espaciais brasileiras (sensoriamento remoto), o trabalho já desenvolvido e as competências formadas no

assunto, desastroso não se incentivar e garantir o trabalho de desenvolvimento e qualificação já iniciado.

Na área de eletrônica de controle, o maior desafio talvez não seja na construção da unidade lógica de controle (computador de bordo) uma vez que já se tem um computador, em fase de qualificação espacial sendo integrado. A definição e projeto de uma interface deve ser o maior obstáculo aliado ao problema sempre presente da robustez a radiação.

O INPE se encontra perfeitamente habilitado para fazer frente aos desafios tecnológicos da área espacial, obviamente a participação das universidades e empresas, seja do país ou não, são necessárias e importantes. A fabricação de satélites fruto de acordos bilaterais de transferência e absorção tecnológica entre o Brasil e outros países é uma alternativa que merece ser considerada.

De qualquer forma a orientação determinada, a programação e o gerenciamento adequados, que procure quase que de forma obstinada vencer os obstáculos de um subdesenvolvimento tecnológicos são condições fundamentais e primárias para a libertação científica que uma nação como no Brasil não pode prescindir.

### 3.2. TELECOMUNICAÇÕES

Este capítulo tem por objetivo apresentar subsídios para a elaboração de um Programa Estratégico de Desenvolvimento de Tecnologia Espacial, na área de Telecomunicações. Dentro deste contexto, a área de Telecomunicações de bordo foi dividida em três partes:

- Antenas (inclui alimentadores e filtros em guia de ondas);
- Transponder TM/TC (inclui decodificador);
- Comunicações (de carga útil).

#### 3.2.1 - SITUAÇÃO ATUAL

Apresenta-se a seguir uma breve descrição da capacitação técnica hoje existente no INPE, na área de equipamentos de Telecomunicações para utilização a bordo de satélites.

## o Antenas

Para o satélite de coleta de dados da MECB foram desenvolvidas as antenas para os subsistemas de carga útil (Transponder PCD) e de Telecomunicações de Serviço (TMTC). Para este tipo de satélite a cobertura ideal é a omnidirecional e para isso utilizam-se duas antenas, uma em cada face do satélite. Essas antenas são do tipo hélice quadrifilar a qual pode ser descrita como dois elementos bifilares alimentados em quadratura de fase e montados ortogonalmente um em relação ao outro. Este tipo de antena emite polarização circular (à direita, neste caso).

Com relação a estas antenas já foram construídos os modelos BB (breadboard) e RFM (radio frequency mock-up), sendo que no modelo RFM já foi feita uma pre-qualificação, com testes em temperatura e de vibração, os quais apresentaram resultados satisfatórios. Desta forma, a tecnologia para a construção deste tipo de antena está completamente dominada. É conveniente ressaltar que este tipo de antena poderia ser usado para a transmissão de dados da câmera do satélite de sensoriamento remoto.

Com relação às antenas usadas em satélites de comunicações, embora não se tenha experiência específica no projeto deste tipo de antena, a equipe tem experiência



efetiva no projeto, construção e medidas em antenas refletoras e alimentadores para estações terrenas. Além disso, existe disponível um certo número de programas de computador para o projeto e análise de antenas e alimentadores usados em satélites de comunicações, sendo que grande parte deste "software" já foi validado através de trabalhos realizados em estágios no exterior.

#### o Transponder TM/TC

Este subsistema realiza as comunicações entre o satélite e o segmento de solo para as três funções básicas referentes à operação da espaçonave: rastreamento, telemetria e telecomando.

O subsistema desenvolvido no INPE é composto basicamente do transponder propriamente dito (incluindo o diplexer), em banda S e do decodificador de telecomando, ambos operando em configuração redundante. Tanto o transponder quanto o decodificador encontram-se atualmente em fase final de montagem do modelo BB (que já está numa forma bastante próxima do MI). É conveniente mencionar que este Transponder TM/TC que está sendo desenvolvido no INPE destina-se ao segundo satélite de coleta de dados; no primeiro satélite será usado o modelo importado (NEC/Japão).

Para uso em um satélite de sensoriamento remoto pode-se usar exatamente o mesmo Transponder TM/TC que está sendo desenvolvido no INPE; para um satélite de comunicações, poderia ser usado o mesmo decodificador de telecomandos que está sendo desenvolvido no INPE, enquanto o Transponder propriamente dito deveria ser bastante alterado, por ser usual a utilização da banda C nesses tipos de satélites.

#### o Comunicações

O subsistema Transponder PCD, que é a carga útil do satélite de coleta de dados, tem por finalidade receber os sinais emitidos por um certo número de PCDs, espalhadas pelo território nacional, e transmitir estas informações para uma estação terrena receptora. Este equipamento foi inteiramente concebido e projetado no INPE, tendo-se já fabricados os modelos BB e MI. Dessa forma, foram adquiridos importantes conhecimentos tecnológicos necessários à fabricação de um subsistema deste tipo (que inclui recepção em 401MHz, modulação em fase e transmissão de microondas em 2,2GHz) com qualificação espacial.

Foi desenvolvida capacitação tecnológica na área de projeto de amplificadores de potência em microondas com FETs, para aplicação em estações terrenas, tendo-se

projetado e construído protótipos na faixa de 6GHz com potências de saída de 1W, 5W e 10W. Além disso, está em fase de montagem um protótipo de amplificador com FETs na banda X (8 -8,4GHz) com 10W de potência. É conveniente ressaltar que este tipo de tecnologia com as devidas modificações para equipamentos espaciais, é aplicável a satélites de sensoria-mento remoto e a satélites de comunicações pois nestes satélites a tendência é substituir as TWTs por amplificado-res a FET.

Além disso, desenvolveram-se técnicas de projeto de amplificadores de baixo ruído, tendo-se cons-truído vários protótipos com figura de ruído de 1dB (80K) na faixa de 4GHz, também para estações terrenas.

Tem-se trabalhado também no desenvolvimento de moduladores BPSK e QPSK para taxas elevadas, tendo-se cons-truído um protótipo exploratório que opera em 70MHz com 400 Kbit/s.

Estão sendo desenvolvidos também trabalhos na área de modulação codificada - que possibilita ganhos na taxa de erro de bits sem aumento de banda - e de códigos convencionais para correção de erros, com possível aplicação em repetidores regenerativos para satélites.

### 3.2.2 - ÁREAS DE DESENVOLVIMENTO/PESQUISA

A seguir apresentam-se áreas onde detectou-se a necessidade de trabalhos de desenvolvimento/pesquisa:

- estudo de otimização de sistemas alimentadores para antenas refletoras, tendo como principal objetivo o projeto elétrico de antenas para satélites de comunicações;
- desenvolvimento de "software" para projeto/análise de antenas adequadas a satélites de sensoriamento remoto (por exemplo, antenas monopolos, antenas "microstrip" etc.);
- estudo de filtros e diplexadores em guia de ondas para uso em satélites de comunicações;
- estudo de métodos para efetuar a compressão de dados e consequente redução de faixa de um sinal de imagem, para possível aplicação em satélites de sensoriamento remoto;
- estudo do comportamento físico de dispositivos semicondutores utilizados em RF/microondas, incluindo análise de modos de falhas do componentes, de forma a possibilitar sua melhor utilização, tendo como

objetivo final a elevada confiabilidade necessária para os satélites de comunicação.

### 3.2.3 - DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

Dentro do horizonte de tempo estabelecido (8 anos), foram identificadas diversas necessidades de desenvolvimento tecnológico.

#### 3.2.3.1 - NO INPE

- desenvolvimento de componentes de antenas refletoras para satélites de comunicações entre os quais pode-se citar:
  - a) refletor propriamente dito;
  - b) as cornetas dos conjuntos alimentadores;
  - c) os combinadores em linha TEM;
  - d) antena de telemetria/telecomando;
- desenvolvimento de amplificadores a FET para aplicação espacial:
  - a) amplificadores de baixo ruído (LNA) em 6 GHz;
  - b) amplificadores de potência em 4 GHz (para satélites de comunicações);

- c) amplificadores de potência em 2 GHz para transponder TM/TC;
- desenvolvimento de moduladores com alta taxa de bits para satélites de sensoriamento remoto;
  - desenvolvimento de transponder TM/TC em 4/6 GHz, para satélites de comunicações, incluindo projeto de VCOs com linearidade e estabilidade elevadas (atualmente estes VCOs são importados);
  - desenvolvimento de um codificador de telemetria com maior taxa de aquisição de dados, melhor resolução e utilizando componentes resistentes à radiação de forma a possibilitar sua utilização em missões de longa duração ( 8 anos);
  - quanto ao decodificador, identifica-se a necessidade de desenvolvimento de um demodulador completamente digital e a implementação do sincronizador de quadros usando microprocessador de modo a melhorar o desempenho do subsistema como um todo.

#### 3.2.3.2 - EXTERNAMENTE AO INPE

- desenvolvimento de circuladores com qualificação espacial;

- fabricação do refletor da antena em material composto; neste caso existem firmas no país que trabalham com esta tecnologia;
- desenvolvimento de FETs de baixo ruído em UHF/microondas; tem-se notícias de que a USP trabalhou na fabricação de FETs, entretanto não se tem informações atuais sobre o andamento destas atividades.

#### 3.2.4 - TECNOLOGIAS NECESSÁRIAS

As seguintes tecnologias foram consideradas necessárias (ou pelo menos muito desejáveis):

##### 3.2.4.1 - DISPONÍVEIS NO PAÍS

- material composto: para a confecção do refletor da antena e de outros elementos estruturais para a antena;
- mecânica fina: confecção dos combinadores em linha TEM, filtros, diplexadores, etc.;
- tecnologia de fabricação de placas de circuito impresso multi-camadas para aplicação espacial.

3.2.4.2 - NÃO DISPONÍVEIS NO PAÍS

- fabricação de componentes de estado sólido para aplicações espaciais, inclusive os de microondas;
- tecnologia de fabricação de subsistemas (de telecomunicações) com alta confiabilidade para uso em satélites de tempo de vida longo (8-12 anos); deve incluir a fabricação do subsistema propriamente dito e também a correta aplicação dos diversos componentes.



### 3.3 - MECÂNICA ESPACIAL

#### 3.3.1 - INTRODUÇÃO

No texto que segue, focado na área de mecânica, subáreas de térmica, estruturas, materiais, mecanismos, gasdinâmica e mecânica orbital, são delineados os tópicos cujo domínio tecnológico/científico viabilizaria o desenvolvimento de satélites de órbita baixa, reentráveis e geoestacionários.

Neste contexto, dentro do posicionamento detectado junto ao pessoal envolvido com cada subárea, procurou-se classificar as respectivas perspectivas quanto aos seus aspectos computacionais, tecnológicos, de pesquisa e de desenvolvimento, excetua-se aqui a subárea de mecânica orbital, cuja característica básica contempla a atividade de pesquisa mormente voltada a procedimentos computacionais.

### 3.3.2 - TÉRMICA

#### 3.3.2.1 - ASPECTOS COMPUTACIONAIS

Em termos computacionais o desenvolvimento de maior relevância visa a ampliação e o aperfeiçoamento do pacote de análise térmica. Dentre os tópicos que merecerão atenção especial pode-se destacar:

- . Introdução de fator de correção, devido a variação de parâmetros no interior dos elementos de cálculo.
- . Introdução de técnicas de correção das discrepâncias da matriz dos fatores de forma.
- . Modelagem de tubos de calor.
- . Modelagem de mudança de fase.
- . Introdução de técnicas de integral de contorno para fatores de forma.
- . Implementação de rotinas automáticas para geração ótima de malha e escolha de processo de cálculo para fatores de forma.

Ainda no terreno de cálculos (não necessariamente vinculados ao pacote computacional acima referido),

pretende-se pesquisar e implementar procedimentos para itens tais como:

- . modelo para trocas laterais e transversais de calor.
- . modelo bidimensional para superisolante multifolicular ("MLI").
- . Projeto térmico de baterias para satélites.
- . modelagem dos problemas térmicos de reentrada na atmosfera.

#### 3.3.2.2 - ASPECTOS TECNOLÓGICOS

Dentre os aspectos tecnológicos diretamente envolvidos com procedimentos de controle térmico e que serão indispensáveis para se atender as especificações dos satélites previstos para o INPE a curto e médio prazos, deve-se destacar o desenvolvimento da capacitação de projeto, construção e qualificação dos sistemas, bem como da qualificação dos materiais apresentados a seguir:

- . Tubos de calor, item este que pode ser partilhado desde já com a Universidade de Campinas e a Universidade Federal de Minas Gerais.

- . Termostatos, cujo desenvolvimento já tem sido iniciado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas bem como pelas indústrias elétricas.
- . Venezianas térmicas.
- . Sistemas de mudança de fase.
- . Revestimentos térmicos.
- . Fitas adesivas de controle térmico, cujo desenvolvimento deverá ser compatilhado com indústrias como por exemplo a Toga.
- . Superisolantes, também em interação com a Toga.
- . Sistemas de purgagem e limpeza de superisolantes multifoliculares.
- . Atuadores tipo liga/desliga para resistores de controle térmico.
- . Baterias.
- . Fixações isolantes (e.g. arruelas plásticas).
- . Adesivos.

Estas atividades devem abranger estudos a nível de pesquisa básica, bem como de projeto mecânico, especificação de processos, fabricação e qualificação para voo.

Preferencialmente, todos os tópicos acima devem envolver outras instituições (Universidades, indústrias) de forma viabilizar os estudos e garantir a difusão das tecnologias envolvidas.

Já num ambiente de pesquisa a ser preliminarmente compartilhada com institutos de pesquisa e organismos espaciais, pode-se citar:

- . Desenvolvimento de sistemas de metalurgia no espaço (fornos etc.).
- . Experimentos de fabricação de substâncias especiais em ambiente espacial.

### 3.3.3 - ESTRUTURAS

#### 3.3.3.1 - ASPECTOS COMPUTACIONAIS

Implantação no sistema computacional existente de um programa de elementos finitos adequado ao nível de qualidade exigido de um projeto estrutural, e.g. Nastran no VAX 11/780, com previsão de utilização futura de um computador mais ágil.

Instalação de uma estação gráfica inteligente munida de pacotes próprios para projeto auxiliado por computador, possuindo inclusive opção para desenvolvimento de aplicativos, utilitários etc., em linguagem computacional tipo Fortran e ambiente de plotagem associado.

Instalação de microcomputador aparelhado para o uso de linguagens tipo Fortran/Basic visando desenvolvimento de pequenos programas de análise estrutural com saída gráfica.

Instalação de microcomputador visando integrar sistemas de banco de dados, texto técnico, processador de palavras, gráficos, relatórios, desenhos auxiliados por computador, troca de informações entre módulos etc.

Implantação de ambiente de desenvolvimento em microcomputador, abrangendo aspectos de sistema operacional, utilitários, ferramentas, implantação etc.

Implantação de infra-estrutura de cálculo numérico em microcomputador, abrangendo algoritmos, otimização, modelamento de sistemas contínuos etc.

Todos os itens acima deverão ser preferencialmente estribados em cursos/treinamentos ministrados por especialistas de cada área e/ou de cada fornecedor de equipamentos.

### 3.3.3.2 - ASPECTOS DE DESENVOLVIMENTO

Dentre os itens diretamente ligados ao projeto e desenvolvimento de estruturas para satélites, alguns deverão merecer especial atenção no contexto de pesquisa e aperfeiçoamento. Dentre estes deve-se mencionar:

- . Contexto vibracional: utilização de técnicas de análise, critérios de projeto etc.:
- . elementos finitos: estratégias de estabelecimento de malhas, modelagem dinâmica etc.;
- . técnicas de pré e pós-processamento de modelos estruturais;
- . fixadores: catálogos, especificações, normas, processos de aplicação etc.;
- . colagem: catálogos, especificações, normas, processos, restrições, vantagens, problemas associados;

- . recursos do Nastran: elementos complexos, colméia, colagem, juntas, materiais compostos, desníveis etc.;
- . processos: demonstrações de alternativas, vantagens, restrições etc. a serem efetuadas em ambientes como EMBRAER ou entidades já envolvidas com o desenvolvimento de satélites.

Todos os itens acima deverão se basear em cursos/estágios de curta duração a partir de instituições plenamente qualificadas para administrá-los.

#### 3.3.3.3 - ASPECTOS DE PESQUISA

Dentre os aspectos cuja tecnologia/ciência deverá ser devidamente dominada para o desenvolvimento dos satélites mencionados no contexto deste documento, cumpre destacar os seguintes:

- . Dinâmica de estruturas, principalmente estruturas com partes móveis com especial atenção para estruturas flexíveis.
- . Interação entre modelos analíticos e resultados de ensaios.
- . Otimização estrutural.



Também nestes itens seria salutar o levantamento do potencial de intercâmbio com instituições de pesquisa no Brasil.

#### 3.3.4 - MATERIAIS

##### 3.3.4.1 - ASPECTOS TECNOLÓGICOS

Desenvolvimento de vasos de pressão:

- . selantes metálicos e elatoméricos: fora do INPE, no Brasil;
- . reforço com fibras: no INPE.

Processamento de compostos tendo poliimidas como matriz: infra-estrutura para desenvolvimento disponível na EMBRAER.

Processamento de compostos como matriz metálica: tecnologia disponível fora do país.

Técnicas para fabricação de moldes e peças com baixa distorção térmica (necessários por exemplo para guias de ondas): tecnologia disponível fora do país.

#### 3.3.4.2 - ASPECTOS DE DESENVOLVIMENTO

Dentre os itens associados mais a projeto, dever-se-á enfatizar a atualização técnica da utilização espacial de:

- . metais: aços, alumínio, magnésio, titânio etc., em termos de propriedades, fornecedores, literatura, outros satélites;
- . materiais compostos: propriedades, aplicações, homologação de fabricantes, processos, alternativas, restrições;
- . colagem: propriedades, homologação de fabricantes, processos, alternativas, restrições.

#### 3.3.4.3 - ASPECTOS COMPUTACIONAIS

Aproveitamento de toda a infra-estrutura computacional proposta para estruturas no sentido de

abranger o emprego dos materiais supracitados no projeto de estruturas espaciais.

### 3.3.5 - MECANISMOS

#### 3.3.5.1 - ASPECTOS DE DESENVOLVIMENTO

Dentre os aspectos ligados ao desenvolvimento de mecanismos sobressaem os seguintes:

- . simulação: modelagem de corpo rígido, análise de erro vibracional, modelagem de sistemas contínuos etc.;
- . projeto: juntas, otimização de membros, mecânica de corpos rígidos, estratégias de controle para detecção de características etc..

Neste campo, também a utilização integrada da infra-estrutura computacional proposta para a engenharia de estruturas deverá ser extensiva e intensamente utilizada.

### 3.3.6 - GASDINÂMICA

#### 3.3.6.1 - ASPECTOS DE PESQUISA

Dentre os aspectos que merecerão atenção especial em termos de pesquisa e desenvolvimento de procedimentos de cálculo apropriados para os diversos tipos de satélite, pode-se destacar:

#### 3.3.6.2 - SATÉLITES DE ÓRBITA BAIXA E REENTRÁVEIS

- . voo atmosférico;
- . escoamento molecular;
- . efeitos de ionização no arrasto e nas comunicações com o satélite;
- . aerodinâmica hipersônica;
- . aspecto estrutural (tensões);
- . aspecto térmico;
- . estabilidade.
- . previsão de trajetória, levando em conta coeficientes aerodinâmicos;

- . previsão da vida do satélite;
- . atitude e estabilidade sob o ponto de vista dos coeficientes aerodinâmicos.

#### 3.3.6.3 - SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS

- . Colocação do satélite numa órbita geoestacionária: análise da mudança de órbita, possivelmente com otimização da queima de combustível.
- . Perturbações gravitacionais da órbita.
- . Manutenção da órbita.

#### 3.3.6.4 - SATÉLITES EM GERAL

- . gasdinâmica reativa (escoamento com reações químicas);
- . interferência do jato com o satélite;
- . influência do escoamento molecular sobre a atitude do veículo.

### 3.3.7 - MECÂNICA ORBITAL

Visando prover suporte para planejamento, análise e operação de missões espaciais, através de estudo, projeto, implantação e qualificação de sistemas computacionais de métodos e procedimentos para controle dos veículos espaciais dentro do escopo deste documento os tópicos para pesquisa e desenvolvimento deverão se concentrar em:

#### 3.3.7.1 - DINÂMICA DE ÓRBITAS

Procedimentos analíticos, semi-analíticos e numéricos de propagação de órbita de satélites com altitude baixa, média e alta (geoestacionários).

Estudos de manobras de correção da órbita visando otimização de combustível: estratégia, simulação e análise.

Estudos de manobras de transferências sucessivas de órbita, visando atingir uma órbita alta com otimização de combustível: estratégia, simulação e análise.

Estudos de procedimentos de determinação de órbita de satélites, usando processamento em lote ou sequencial das observações.

Estudo e desenvolvimento de procedimentos de pré-processamento de dados observados utilizando técnicas de suavização e compressão de dados.

Estudos e desenvolvimento de procedimentos de encontro orbital: estratégia, simulação e análise.

Estudos e desenvolvimento de procedimentos de reentrada na atmosfera e recuperação de carga útil.

#### 3.3.7.2 - DINÂMICA DE ATITUDE

Estudo, desenvolvimento e teste de procedimentos de determinação de atitude através do processamento de dados de sensores inerciais e não inerciais.

Estudo e desenvolvimento de procedimentos de pré-processamento usando técnicas de suavização e compressão de dados de telemetria.

Estudo e desenvolvimento de procedimentos de propagação de atitude para satélites estabilizados por "spin", "dual-spin", gradiente de gravidade e 3 eixos.

Modelagem e análise da dinâmica de atitude de satélites com apêndices flexíveis e estudos de otimização da distribuição de massa em satélites, visando analisar os primeiros modos de vibração.

Estudos de definição de requisitos de manobras de correção de atitude, visando otimização de combustível: estratégias, simulação e análise de manobras.

Análise dinâmica de sistemas de controle de atitude: concepção e simulação do desempenho.

#### 3.3.7.3 - ANÁLISE DE MISSÕES

- . modelagem da baixa atmosfera;
- . cálculo da trajetória de reentrada;
- . otimização de trajetórias;
- . otimização de aquisição de órbita;
- . manutenção de órbita.



### 3.4 - INSTRUMENTAÇÃO (CARGA ÚTIL)

#### 3.4.1 - RESUMO

De acordo com a projeção do Capítulo 2 as cargas úteis que deverão ser desenvolvidas pelo INPE nos próximos anos.

TABELA 1

RESUMO DO CRONOGRAMA INSTITUCIONAL E DAS CARGAS ÚTEIS  
PREVISTAS. OS ACRÔNIMOS TÊM O SEGUINTE SIGNIFICADO:

CD Coleta de Dados/MECB  
 CC Cooperação com a China (em negociação)  
 SC Satélite Científico (existem 3 propostas)  
 SR Sensoriamento Remoto/MECB  
 SATCOM Satélite de Telecomunicações (EMBRATEL) (carga útil do INPE em negociação)

Tipo de Satélite		Faixa Espectral	
SOB SOG	X	VIS	MICROONDAS
CD1			Transponder
CD2			Transponder
CC		Câmera?	Radiômetro?
SC1	Telescópio?		
SC2		Fotômetro?	
SC3			Radiômetro?
SR1		Câmera	
SR2		Câmera	
SATCOM		Câmera?	

### 3.4.2 - AS CARGAS ÚTEIS

Segue um levantamento da situação atual e das perspectivas futuras das cargas úteis que aparecem na Tabela 1.

#### 3.4.2.1 - CD1, CD2

A carga útil dos primeiros dois satélites da MECB (1989,1991) está bem definida. Trata-se de um transponder que retransmitirá para a estação de recepção de Cuiabá, os sinais transmitidos por plataformas de coletas de dados ambientais distribuídos em diversos pontos do território brasileiro. O desenvolvimento desta carga útil não apresenta desafios especiais tendo em vista a tradição e a experiência existentes no INPE nesta área. O transponder para a MECB foi inteiramente projetado e desenvolvido no INPE e está sendo fabricado no Instituto, com o apoio da indústria nacional na confecção da caixa que serve como invólucro. As perspectivas futuras são de repassar à indústria nacional, com suporte tecnológico do INPE, futuras eventuais cargas úteis deste tipo, liberando assim as equipes do Instituto para novos projetos (por exemplo transponders para satélites de telecomunicações). Os maiores desafios em termos tecnológicos ligados a este tipo de carga

útil são assunto do capítulo deste Plano Estratégico dedicado às Telecomunicações.

#### 3.4.2.2 - CC

A participação brasileira numa cooperação com a China para o lançamento de um satélite sino-brasileiro em 1991 poderá incluir uma carga útil ainda a ser definida. Do lado chinês está prevista uma carga útil de sensoriamento remoto de alta resolução espacial nas faixas do visível e do infravermelho próximo e termal. Três possibilidades surgem para uma carga útil complementar brasileira:

- a) Uma câmera com detetor CCD linear, de baixa resolução espacial mas com um grande campo de visada para um levantamento de alta repetitividade de índices globais de vegetação e/ou estudos oceanográficos. É necessário um estudo de órbitas para determinar a viabilidade desta opção.
- b) Um espectrômetro imageador programável, com detetor CCD de área, para o estudo do efeito de mudanças no imageamento variando as bandas espectrais e utilizando bandas estreitas.

- c) Um radiômetro de microondas para obter dados nesta faixa espectral de uma parte da cena imageada pelas câmeras chinesas.

Nos três casos trata-se de instrumentos a serem ainda desenvolvidos. Os protótipos da câmera CCD e do radiômetro de microondas já realizados no INPE favorecem, porém, a consideração destas cargas úteis para a cooperação com a China. No caso das câmeras CCD deverá haver um desenvolvimento para satisfazer à MECB3SR, independentemente da cooperação com a China. No caso do radiômetro de microondas, por outro lado, a cooperação poderia abrir um caminho favorável para consolidar e desenvolver uma nova área com um futuro muito promissor (faixa espectral que fornece dados independentemente da presença de nuvens e da iluminação solar e que fornece informações complementares às obtidas na faixa do visível/infravermelho).

#### 3.4.2.3 - SC

Existem três propostas para a carga útil do satélite científico do INPE previsto para 1992:

- a) Um telescópio de raios X para a pesquisa de fontes astronômicas deste tipo de radiação.

- b) Fotômetros na faixa do visível para a observação da alta mesosfera e da termosfera.
- c) Um radiômetro submilimétrico para o estudo de variações na atividade solar.

Nos três casos o desenvolvimento de tecnologias para a carga útil ficará a cargo da Área de Ciência Espacial, com participação eventual e esporádica da ETE. É importante porém, manter um fluxo de informações entre as áreas para viabilizar uma assistência recíproca em pontos específicos de interesse comum através do compartilhamento de conhecimentos, metodologias e equipamento. Neste contexto se destacam o projeto, a fabricação o manuseio e a caracterização de componentes e sistemas ópticos e a calibração de instrumentos de observação.

#### 3.4.2.4 - SR

Os satélites de sensoriamento remoto da MECB, previstos para 1994, deverão transportar uma câmera de observação da Terra de resolução média ou baixa, limitada pela taxa de dados disponível e pela massa satelizável. Existem duas propostas para a carga útil MECB/SR:

- a) Uma câmera quadrangular com duas bandas espectrais fixas e com alta frequência de recobrimento do território brasileiro, utilizando um detetor CCD linear.
- b) Um Imageador Espectral Programável, com a possibilidade de variar as bandas espectrais (e incluindo bandas muito estreitas), utilizando um detetor CCD de área.

O desenvolvimento tecnológico da primeira opção está mais adiantada no INPE. A eletrônica de uma câmera monocanal com detetor CCD linear foi projetada fabricada e testada em aeronave há alguns anos. Não foi possível até o momento alcançar um estágio comparável nos aspectos opto-mecânicos deste tipo de instrumento no INPE, mas a indústria nacional tem manifestado interesse e em princípio possui as condições necessárias para enfrentar este desafio. O maior problema reside no projeto e fabricação de um sistema óptico de grande visada estável em termos mecânicos e térmicos.

A segunda opção é mais complexa, requerendo um sistema óptico corrigido numa faixa espectral muito ampla, a utilização de um elemento dispersor e vários estágios de imageamento e de colimação, além do uso de um detetor CCD de área. A curto prazo um imageador espectral programável tem

aplicação em aeronave para fins de pesquisa e de preparação das especificações de instrumentos orbitais futuros. A longo prazo, com um aumento na massa satelizável e na taxa de dados transmissível, este instrumento deverá ter importantes aplicações orbitais.

#### 3.4.2.5 - SATCOM

O satélite de telecomunicações da EMBRATEL previsto para 1994 poderá incluir uma carga útil de sensoriamento remoto, para fins meteorológicos e possivelmente para a observação global do território brasileiro com altíssima frequência. Esta é uma excelente oportunidade de aproveitar uma plataforma poderosa e dedicada aos interesses nacionais para um desenvolvimento de uma carga útil de interesse tecnológico e aplicativo. Um primeiro levantamento das possibilidades existentes foi realizado recentemente. Seria importante dar sequência a estes estudos preliminares para dimensionar com maior precisão, as opções mais promissoras em termos de viabilidade tecnológica e de mais ampla aplicação.



### 3.4.3 - ALGUMAS OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

Não incluído no Cronograma Institucional existem outras atividades relevantes para a área de Cargas Úteis do INPE, a curto e médio prazo, muito importantes para uma capacitação a longo prazo. A Tabela 2 resume tais atividades que envolvem aeronaves (AN), balões estratosféricos (BE), foguetes suborbitais (FSO), satélites orbitais recuperáveis (SOR) e veículos interplanetários (VIP).

TABELA 2

ALGUMAS OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

TIPO DE VEÍCULO	OBSERVAÇÕES
AN	Teste de câmeras CCD. Estudos de efeitos atmosféricos em latitudes tropicais. Teste de radiômetros de microondas. Teste de imageadores de infravermelho.
BE	Teste das cargas úteis dos satélites científicos. Teste de radiômetros de infravermelho e microondas. Plataforma interessante para um primeiro passo no desenvolvimento de uma capacitação em SOR (rastreamento e controle ativo do paraquedas; recuperação da carga útil em local preestabelecido).
FSO	Teste/desenvolvimento de cargas úteis para satélites científicos. Início de estudos experimentais para o processamento de materiais em microgravidade. Plataforma interessante para um segundo passo no desenvolvimento de uma capacitação em SOR (medida e controle de atitude; propulsão no espaço para freiar a carga útil; questões aerodinâmicas).
SOR	Classe importantíssima de veículos espaciais: de interesse a longo prazo: )aplicações militares. )uso rotineiro do ambiente microgravitacional para processamento de materiais; perspectivas comerciais. )primeiro passo para uma capacitação a longo prazo em vôos tripulados. Se a área espacial tiver o desenvolvimento histórico da aviação, esta área virá ser de interesse no Brasil. A primeira experiência brasileira neste campo deverá ocorrer em cooperação com a União Soviética na estação MIR, a curto/médio prazo.
SIP	De inestimável valor científico, possível a médio prazo através de cooperações internacionais.

#### 3.4.4. CONCLUSÕES

Tendo em vista as considerações acima, é possível concluir que é importante, para a ETE, considerar prioritários os seguintes pontos na elaboração de seus projetos e nos investimentos de seus recursos.

##### 3.4.4.1 - ÓPTICA/MECÂNICA

- Projeto de objetivos e sistemas óptico incluindo considerações térmicas.
- Projeto de objetivas grandangulares ( 60 graus), e acromáticas (400 a 1000 nanômetros).
- Participação no projeto nacional de vidros ópticos (cooperação com a Alemanha Oriental) para a inclusão nos acordos de vidros de interesse espacial.
- Mecânica de precisão de relevância em óptica (levantamento de necessidades já efetuado a nível de INPE).
- Partes móveis para espelhos de varredura ou apontamento para uso em aeronave ou satélite.

#### 3.4.4.2 - DETETORES

- Técnicas de esfriamento de detetores, principalmente para o infravermelho.
- Acompanhamento do progresso no exterior de detetores CCD na faixa do infravermelho além de 1000 nanômetros.
- Desenvolvimento de detetores nacionais; ênfase em ligas ternárias (LAS) e CCD (LME/USP), para cobrir a faixa do infravermelho e para otimizar aplicações.

#### 3.4.4.3 - ELETRÔNICA

- Amplificadores de baixo ruído para sinais de vídeo.
- Processamento/compactação de dados.
- Compactação de circuitos; hibridização; projeto de CI para eletrônica de detetores CCD.

#### 3.4.4.4 - OPTO-ELETRÔNICA/RADIOMETRIA

- Caracterização e calibração de radiômetros e imageadores.

3.4.4.5 - MICROONDAS (ALÉM DE TELECOMUNICAÇÕES)

- Antenas, extensão a medidas em frequências mais elevadas, calibração, modelamento, tratamento e interpretação de dados.

3.4.4.6 - OUTROS

- Colaboração com outras áreas do Instituto (cálculo óptico, calibração de instrumentos de sensoriamento remoto, teste e validação de instrumentos, elaboração SATCOM).

### 3.5 - SUPRIMENTO DE ENERGIA

#### 3.5.1 - INTRODUÇÃO

Um sistema convencional de suprimento de energia para satélites tem as seguintes funções básicas:

- a) Converter a energia solar incidente em energia elétrica através do gerador solar.
- b) Armazenar energia na bateria para complementar a função do gerador solar durante os períodos de sombra.
- c) Fornecer potência elétrica para os vários subsistemas do satélite nos níveis requeridos de termos e potência.

Existe uma grande diversidade de topologias de sistemas para atender estas funções, variando de acordo com o fabricante e as características da missão. Pode-se dividi-los no entanto em dois grandes grupos:

- sistemas não-regulados.
- sistemas regulados.

Os sistemas não-regulados surgiram primeiro e são hoje mais utilizados pelos EUA.

A ESA optou por sistemas regulados com tensões de 28V e 50V e está desenvolvendo agora um sistema para 100V. Desenvolveu também um barramento AC que tem a vantagem de simplificar o circuito de interface do usuário, que pode substituir o conversor DC/DC por um circuito composto pelo transformador e retificador.

A uniformização das interfaces de potência tem uma série de vantagens, pois evita custos de desenvolvimento em novos programas. Existe um esforço da ESA/NASA nesta direção, apesar da dificuldade de compatibilizar a grande variedade de padrões não regulados usados nos EUA.

Os geradores solares utilizam células de Si, montadas no corpo do satélite ou em painéis com mecanismos de extensão. As células de Ga estão em desenvolvimento mas não foram ainda utilizadas no espaço. As baterias não compostas por células de NiCd ou mais recentemente de NiH<sub>2</sub>.

Estão à nível de pesquisa alternativas às topologias apresentadas envolvendo a automatização do

sistema ou outras fontes de geração de energia, tendo portanto um horizonte de aplicação mais distante.

Princípio:

- . a bateria e o consumo de potência determinam a tensão do barramento.

Vantagens:

- . simples para o projeto do sistema de potência.

Desvantagens:

- . não é eficiente exceto em algumas missões de órbita baixa.
- . muito complexo para o usuário.

Princípio:

- . Os reguladores mantem a tensão do barramento constante.

Vantagens:

- . simples para o usuário
- . eficiente
- . diminui problemas de EMC



Desvantagens:

. mais complexo.

### 3.5.2 - SITUAÇÃO ATUAL NO INPE

Foi desenvolvido no INPE O suprimento de energia para o 1o. satélite da MECB.

Optou-se por um sistema com barramento regulado em 26.5V e conversor DC/DC centralizado.

Apresenta-se a seguir cada um dos equipamentos que compõe o sistema:

#### 3.5.2.1 - GERADOR SOLAR

O gerador solar será fabricado pela MBB (alemã) utilizando células solares da Spectrolab (americana). Envolve 4 áreas:

- a) projeto e simulação - desenvolvido em parte pela MBB e em parte pelo INPE que dispõe da competência necessária para a área;

- b) fabricação de painéis solares - montagem das células solares sobre a estrutura. Este processo está sendo desenvolvido no INPE contando com a experiência adquirida no acompanhamento de fabricação de painéis na MBB. Estão sendo firmados convênios com a indústria nacional para fabricação em 1988 de um painel para qualificar o processo;
- c) células solares - O INPE/LME (USP) fabricam hoje células para aplicações espaciais em pequena escala. Foram feitos contatos para viabilização da produção das células pela indústria nacional.
- d) teste e reparo de painéis - o INPE adquiriu um LAPSS para teste dos painéis e equipamento para reparo de painéis. A MBB treinará um estagiário do INPE nestas operações.

#### 3.5.2.2 - BATERIA

A bateria será fornecida pela Eagle Picher e um estagiário do INPE acompanhará a sua fabricação e qualificação.

### 3.5.2.3 - ELETRÔNICA

A eletrônica de vôo foi desenvolvida no INPE e se compõe de 3 equipamentos:

- a) Unidade de Condicionamento de Potência (PCU) - envolve o regulador shunt, o carregador e o descarregador de bateria.
- b) Conversor DC/DC que deverá ser descentralizado nos próximos satélites.
- c) Unidade de distribuição de potência (PDU).

### 3.5.2.4 - EQUIPAMENTOS DE TESTE

A maior parte dos equipamentos de teste como simulador de array solar, condicionador de bateria e as cargas dinâmicas foram adquiridas no exterior. Para os próximos satélites os equipamentos necessários poderão ser encomendados na indústria nacional.

### 3.5.3 - PRÓXIMOS PROGRAMAS

A projeção dos possíveis engajamentos em futuros projetos, indicada no Capítulo 2, fornece uma diretriz para os desenvolvimentos futuros na área.

Os satélites da MECB e o científico são de pequeno porte e utilizarão o mesmo sistema do 1o. satélite com alguns aperfeiçoamentos e modificações. A meta principal neste caso é avançar na nacionalização da bateria e dos painéis solares.

Os satélites chineses e de comunicações são de maior porte e envolvem novos desenvolvimentos. Um problema adicional é a possibilidade de opção por sistemas a barramento não regulado para estes satélites.

Tendo em vista estas projeções o INPE além de desenvolver as atividades de curto prazo previstas pela MECB deveria desenvolver esforços nas seguintes direções:

#### 3.5.3.1 - SISTEMA DE POTÊNCIA

- . simulação, análise e dimensionamento de sistemas de potência.

- . consolidação do sistema de baixa potência desenvolvida para a MECB.
- . desenvolvimento de um sistema para 1000 a 1500W.
- . estudos para uniformização das interfaces de potência.
- . EMC - desenvolvimento da capacidade de análise de EMC em satélite. O INPE dispõe hoje de um bem montado laboratório de testes mas não dispõe da competência desenvolvida na área de Engenharia. No exterior esta atividade aparece ligada geralmente aos grupos de energia.

#### 3.5.3.2 - GERADOR SOLAR

- . desenvolvimento de indústria para montagem de painéis.
- . desenvolvimento de células solares.
- . estudo sobre mecanismos de extensão de painéis solares.

#### 3.5.3.3 - BATERIAS

- . desenvolvimento de indústria para montagem da bateria.
- . estudo de viabilidade de produção de células de NiCd ou NiH<sub>2</sub> no Brasil.

#### 3.5.3.4 - ELETRÔNICA

- . projeto básico de conversor para barramento regulado e não-regulado a ser utilizado pelos usuários.
- . inversor para distribuição AC.
- . leito preferencial de componentes, materiais e processos.
- . modificação na unidade de condicionamento de potência.

#### 3.5.3.5- TESTES

- . montagem de laboratórios de testes de sistemas de potência utilizando os equipamentos adquiridos e automatizando a sua operação.

### 3.6 - PROPULSÃO

#### 3.6.1 - INTRODUÇÃO

Podemos inicialmente dividir as atividades de propulsão em duas parte:

- a) veículo lançador
- b) sistema de controle por reação.

O veículo lançador é o responsável pela colocação da carga útil em uma órbita baixa em torno da Terra. Para colocar a carga em órbita o veículo deve inicialmente fornecer a este energia potencial elevando-a à altura da órbita e em seguida acelerá-lo para que atinja energia cinética suficiente para se manter em órbita.

Da energia total fornecida pelo lançador à carga útil, mais de 90% são na forma de energia cinética sendo o restante para energia potencial, perda gravitacional e por atrito aerodinâmico.

O sistema de controle por reação é responsável pelo fornecimento dos v's à carga útil para aquisição, mudança e controle da órbita e atitude do satélite.

Uma vez injetado o satélite em órbita baixa pelo veículo lançador, o sistema de controle por reação deve fornecer a este os v's para que possa efetuar as manobras de:

- a) redução de movimentos residuais em torno de um eixo arbitrário resultante da separação do veículo lançador;
- b) elevação da órbita de injeção para a órbita final;
- c) correção da inclinação da órbita, resultante de imprecisão do lançamento;
- d) manutenção de órbita final;
- e) manutenção de atitude do satélite durante todas estas manobras podendo atuar em conjunto com outros mecanismos.



3.6.1.1 - ATIVIDADES DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM VEÍCULO LANÇADOR

Para um planejamento das atividades de Pesquisa e Desenvolvimento em Veículos Lançadores é necessário um levantamento preliminar das missões a que o Brasil se propõe a realizar no espaço, bem como as cargas e órbitas envolvidas.

Com base nestes dados serão determinados os requisitos dos veículos lançadores bem como as diferentes opções para se otimizar os sistemas lançadores no que se refere a empuxo de motores número de estágios.

Os parâmetros a serem considerados nesta análise são: custo de desenvolvimento, capacidade industrial do país, recursos humanos e capacitação tecnológica, custos de produção e de lançamento, benefício para o desenvolvimento tecnológico geral do país.

Dadas as dimensões do território brasileiro e os tipos de atividades econômicas e científicas aqui desenvolvidas (agricultura, recursos naturais, comunicações, transporte, desenvolvimento de materiais) considera-se plenamente justificável um esforço nacional visando

capacitar o país a lançar em órbita veículos para as diversas finalidades: exploração de recursos naturais, meteorologia, desenvolvimento de materiais especiais e exploração do universo.

Os sistemas de veículos lançadores desenvolvidos pelos diversos países com esta capacidade, são em sua maioria à base de combustíveis líquidos. Motores a combustível sólido são utilizados em sua maioria para lançar cargas pequenas em órbitas baixas e como "boosters" para o primeiro estágio.

Esta limitação dos lançadores a combustível sólido principalmente aos seguintes fatores:

- a) como a câmara de combustão é essencialmente o veículo inteiro, a estrutura inteira deve ser reforçada para resistir às altas pressões de forma que o fator estrutural torna-se excessivamente alto.

O desenvolvimento de materiais de alta resistência e baixo peso pode compensar de certa forma esta deficiência.

- b) O empuxo do motor só pode ser controlado pela composição e forma do combustível não podendo portanto ser alterado durante a queima, i.e. a curva de empuxo pode ser programada variando-se a forma da superfície de queima e composição do combustível.
  
- c) Devido à dificuldade de controle do empuxo a montagem em "cluster" desses motores também fica altamente prejudicada e de difícil controle.

Dado o longo tempo de desenvolvimento de tecnologias envolvidas em veículos lançadores a combustível líquido e o nível de atividade quase nulo nesta área no Brasil até agora, faz-se necessário iniciar com urgência um programa de capacitação em recursos técnicos (laboratórios) e humanos para que a médio prazo se possa estabelecer um programa de desenvolvimento de veículos lançadores compatíveis com as missões requeridas.

Em linhas gerais, o desenvolvimento de veículos lançadores requer o desenvolvimento dos seguintes dispositivos: motores, tanques de combustíveis e propelentes, sistema de pressurização de propelentes, sensores e atuadores para controle.

Os sistemas propulsivos a combustíveis líquidos apresentam as seguintes vantagens:

- empuxo controlável, o que permite maior precisão na injeção em órbita;
- maior impulso específico, especialmente no que se refere a motores criogênicos.
- Redução de peso dos tanques, já que existe sistema de pressurização autônomo e o armazenamento pode ser feito a pressão ambiente.

Na confecção e projeto de motores a combustível líquido conhecimentos específicos são requeridos nas seguintes áreas.

Materiais e ligas especiais para confecção da câmara de combustão, tuberia de expansão, rotores para bomba de pressurização e turbinas.

Processos de fabricação, soldagem e usinagem dos diversos componentes:

- Desenvolvimento de esquema de refrigeração da câmara de combustão e tuberia de expansão.

- Métodos analíticos para cálculos de parâmetros de câmara de combustão envolvendo dimensões, sistemas de injeção de combustível, estabilidade de queima e dispositivos de partida.
- Preparação e manipulação de combustíveis, estocagem, geradores de gás para acionamento de turbina de turbo-compressor. Estes geradores poderão ser obtidos a partir de decomposição de monopropelente, queima de propelentes sólidos, queima parcial de combustíveis ou sangramento de gás gerado no resfriamento regenerativo de câmara de combustão e tubeira.
- Métodos e códigos para cálculo estrutural de componentes submetidos a tensões e/ou ciclos térmicos extremos.

#### 3.6.1.2 - SISTEMAS DE CONTROLE POR REAÇÃO

No que se refere a sistemas para propulsão e controle de satélites podemos também distinguir entre os propulsores para transferência de órbita, especialmente para órbitas geo-estacionárias, e os propulsores para controle e correção de órbita e controle de atitude.

Os propulsores para transferência de órbita têm empuxo variando de 100N a alguns KN. Tais propulsores

podem ser de combustível líquido monopropelente, combustível líquido bipropelente ou combustível sólido.

Propulsores para controle de órbita e atitude tem empuxos na faixa de algumas dezenas de mN a 50N.

Propulsores para esta finalidade são em geral do tipo gás frio ou a monopropelente.

Da mesma forma que para os veículos lançadores as especificações dos propulsores de controle dependem da missão a ser executada, da massa do veículo, da órbita e das manobras que este executará.

Para missões comumente efetuados podemos estabelecer algumas faixas de empuxos desejáveis.

- Propulsores a gás frio na faixa de 10mN e 100mN.
- Propulsores catalíticos de hidrazina; 0,5N, 2N, 16N, 100N.
- Propulsores a Bipropelentes líquidos (bipergólicos); 100N.

Para os sistemas a propelentes líquidos deverão também ser desenvolvidos os sistemas de armazenamento, distribuição e controle do fluxo de combustível, o que envolve tanques com os mecanismos de expulsão, válvulas de enchimento e dreno, válvulas de controle, filtros e dispositivos de segurança.

Para o desenvolvimento destes motores será necessário construir laboratórios com bancadas de teste e sistema para medir desempenho.

Câmaras de altitude com sistemas de bombeamento de alta capacidade serão necessárias para testar motores na faixa 20N a 100N.

Para os motores de empuxo acima de 5N o uso de tubeiras contornadas é altamente desejável, para isto se faz necessário desenvolver e implementar códigos computacionais para o cálculo do perfil de tubeira.

### 3.6.2 - SITUAÇÃO ATUAL

Neste item são apresentadas áreas de trabalho onde o INPE conta com recursos humanos, experiências ou facilidades de testes.

De acordo com os tipos de sistemas propulsivos descritos:

#### 3.6.2.1 - SISTEMAS PROPULSIVOS A GÁS FRIO

- anteprojeto de propulsores com expansão de nitrogênio (empuxo 1 );
- modelamento matemático do circuito eletromagnético da válvula monoestável de controle (integrado ao propulsor);
- estudos de gerador de gás a decomposição catalítica/térmica de hidrazina ou peróxido de hidrogênio.

#### 3.6.2.2 - SISTEMAS PROPULSIVOS A DECOMPOSIÇÃO CATALÍTICA DE HIDRAZINA

- estudos sobre sistemas propulsivos para os satélites de sensoriamento remoto da MECB;
- simulação matemática do escoamento de hidrazina com decomposição em leito catalítico (regime permanente unidimensional e regime transiente - em andamento);



- anteprojeto de propulsor (empuxo de 2 a 20N) através de um programa de computador;
- processo de desidratação de hidrazina;
- equipamentos e procedimentos para controle analítico de hidrazina (parcial);
- pesquisa em processos de fabricação de alumina (20-30mesh) para fins espaciais;
- fabricação do ácido hexacloroirídico e impregnação de alumina (catalisador para decomposição de hidrazina);
- confecção de protótipos de propulsores e de válvulas mono e biestáveis (efetuados); de válvula de enchimento e dreno e de filtros de hidrazina;
- fabricação de protótipos de tanques pressurizados em material composto (em andamento);
- facilidades de testes, limpeza de materiais e segurança no manuseio de hidrazina:
  - . linha de alimentação de hidrazina (bancada de testes) para desenvolvimento de catalisador (em fase final);
  - . equipamentos para caracterização de alumina e catalisador (BET, cromatógrafos a gás etc., faltando, contudo, alguns);

- . câmara de vácuo de grande capacidade para desenvolvimento e qualificação de propulsores;
- . sistema de computador para aquisição e análise de dados dos testes executados na câmara de vácuo (importação);
- . dispositivo simples para testes de compatibilidade de materiais com hidrazina.

#### 3.6.2.3 - SISTEMAS PROPULSIVOS A BIPROPELENTE LÍQUIDO

- método para seleção de sistemas propulsivos para satélites;
- estudos preliminares em instabilidade de combustão em sistemas propulsivos líquidos;
- princípios para o anteprojeto da câmara de combustão e do sistema de injeção de propulsor a bipropelente (100 N);
- testes de gota para medida de atraso de ignição em pares hipergólicos.

3.6.2.4 - SISTEMA PROPULSIVO A PROPELENTE SÓLIDO

- facilidade de testes para medidas de admitância acústica em propelentes sólidos (queimados em T);
- facilidades para medidas de velocidade de queima de propelentes sólidos (bomba tipo Crawford);
- pesquisa em modulação de empuxo de propulsores a propelente sólido através da injeção de gases inertes;
- maceradores de propelentes para fabricação de "composites";
- bancada de testes para medida de empuxo e pressão na câmara de propulsor;
- anteprojeto de um propulsor ( 200kgf) com cilindro feito de material composto.

3.6.3 - ÁREAS DIRECIONADAS PARA DESENVOLVIMENTO OU PARA PESQUISA APLICADA

Quando se pretende partir para o objetivo de ter capacidade para construir sistemas propulsivos para satélites, pode-se esperar uma grande interação nas seguintes fases:

- definição ou especificação do sistema e de seus componentes, onde são analisadas as tecnologias disponíveis e/ou as necessidades de pesquisa;
- avaliação de alternativas, onde ocorre uma escolha entre as soluções disponíveis;
- construção de protótipo, onde são definidos os métodos de fabricação;
- testes, onde são medidos parâmetros de interesse, podendo ocasionar alteração do projeto;
- fabricação final do produto, onde se aplica o controle da qualidade; e
- término do projeto, onde se concluem os dossiês de fabricação e os manuais de operação.

Dentro desta visão, há necessidade de capacitação em todas as fases mencionadas.

Desta maneira, considerando-se os sistemas propulsivos escolhidos preliminarmente e a situação atual mencionados no Capítulo I, direciona-se as áreas de atuação a seguir para uma fase primeira de pesquisa aplicada (pesquisa necessária ao desenvolvimento de um produto definido).

### 3.6.3.1 - ÁREAS DIRECIONADAS PARA PESQUISA APLICADA

Embora no mercado internacional as tecnologias para os sistemas propulsivos mencionados no Capítulo I sejam em grande parte dominadas, há necessidade de capacitação humana, dentro da realidade brasileira, a fim de que possíveis transferências de tecnologia sejam realmente efetivadas e que viabilizem futuros desenvolvimentos tecnológicos.

Assim, numa primeira análise são visualizadas necessidades de pesquisas aplicadas nas seguintes áreas:

- Modelamento matemático estrutural de tanques pressurizados para fins espaciais (materiais metálicos ou compostos);
- princípios físicos aplicados a tanques pressurizados com direcionamento de propelente por tensão superficial;
- problemas de transmissão de calor nos propulsores;
- modelamento matemático do escoamento transiente ou em regime permanente de hidrazina em leito catalítico;
- geradores de gás por decomposição catalítica de hidrazina;

- processos de combustão de propelentes aplicados a propulsores bipropelente e propelente sólido;
- geometria de grãos de propelente sólido de motores de apogeu;
- instabilidades de combustão aplicados a propulsores bipropelente e propelente sólido de sistemas propulsivos;
- estudo de injetores e determinação de distribuição de gotas de propelentes líquidos;
- métodos de seleção de sistemas propulsivos envolvendo, além de outros parâmetros, análise de custo/benefício;
- análise de contaminação e geração de torques perturbadores etc. por jatos de gás em superfícies.

#### 3.6.3.2 - ÁREAS DIRECIONADAS PARA DESENVOLVIMENTO

Neste item são relacionadas áreas onde o trabalho de pesquisa aplicada é supostamente bastante reduzido, necessitando-se após uma fase inicial de especificações, um levantamento bibliográfico, aprendizagem (através de estágios ou não) e partindo-se para a confecção de protótipos. Ressalte-se a preocupação nas facilidades e na infra-estrutura de testes peculiares e cada desenvolvimento:

- processos de fabricação de tubos, conexões, tanques etc. com liga de titânio;
- processos de fabricação de propelentes (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, MMH, UDMH, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>);
- fabricação de elastômeros para membranas de tanques pressurizados de propelentes;
- fabricação de carcaça e de tubeira de motor de apogeu a propelente sólido, utilizando material composto;
- Reguladores de pressão. filtros de propelentes, eletroválvulas mono e biestáveis, válvulas de enchimento e drenagem, válvulas de alívio;
- Dispositivo de segurança (safe & arm device) de ignição de motores a propelente sólido);
- Aquecedores de componentes de sistemas propulsivos;
- Transdutores de pressão com amplificador acoplado para uso em satélites;
- Equipamentos de pressurização de tanques, de transferência de propelentes e de testes elétricos em sistemas propulsivos;
- Sistema de detecção de vazamentos externos e internos de componentes e de sistemas propulsivos;

- Infraestrutura de testes de componentes de sistemas propulsivos;
- Programa de computador para análise de dados resultantes de testes efetuados em propulsores.

### 3.6.3.3 - ITENS PARA DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

Embora o sistema propulsivo e seus componentes dependam principalmente da missão do satélite, pretende-se neste item indicar componentes que auxiliem na condução de uma política de desenvolvimento dos mesmos, interna ou externamente ao INPE.

Observe-se que decisões devem ser feitas à luz de custos de implantação e manutenção, de recursos financeiros, materiais e humanos no INPE, além de algum fator estratégico.

#### 3.6.3.3.1 - INTERNO AO INPE

##### 3.6.3.3.1.1 - A CURTO PRAZO

- propulsor a decomposição catalítica de hidrazina com empuxo na faixa de 1-10N;



- eletroválvula monoestável de controle de propulsor a hidrazina;
- catalisador alumina-irídio para decomposição de hidrazina com granulometria de 20-30mesh;
- válvula de enchimento e drenagem;
- eletroválvula bi-estável;
- tanque pressurizado coonstruído de material composto ( 50atm);
- tanque com membrana construído em ligas de titânio.

#### 3.6.3.3.1.2 - A MÉDIO PRAZO

- gerador de gás por decomposição catalítica de hidrazina;
- reservatório de gás de pressurização em material composto ( 200atm);
- propulsor a gás frio ( 0,5 a 1N);
- propulsor bipropelente líquido (20 400N);
- propulsor a decomposição catalítica de hidrazina (4 a 20N);
- catalisador Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ir (14-18mesh).

3.6.3.3.1.3 - A LONGO PRAZO

- propulsor bipolente ( ) 400N).

3.6.3.3.2 - EXTERNO AO INPE

3.6.3.3.2.1 - A CURTO PRAZO

- membrana de elastômero EPDM para tanque de hidrazina;
- transdutor de pressão com amplificador para uso em satélite;
- aquecedores de tubulação e de componentes de sistema propulsivo;
- processo de fabricação de alumina por "oil drop";
- filtros de propelentes (5 a 10 );
- tubulação e conexões em liga de titânio;
- equipamentos de pressurização de tanque, de transferência de propelentes e de testes elétricos em sistemas propulsivos.

3.6.3.3.2.2 - A MÉDIO PRAZO

- síntese de hidrazina;
- tanque de propelente em liga de titânio;
- reguladores de pressão para sistema propulsivo;
- tanque pressurizado de propelente por tensão superficial;
- síntese de monometilhidrazina, dimetilhidrazina assimétrica e tetróxido de nitrogênio;
- válvula de alívio para linha de gás pressurizado de sistema propulsivo;
- dispositivo de segurança (safe & arm device) de ignição de motores de apogeu a propelente sólido;
- motor de apogeu a propelente sólido.

3.6.4 - TECNOLOGIAS NECESSÁRIAS

Neste item pretende-se relacionar os procedimentos, análises, processos de fabricação, infra-estrutura de testes necessários para o desenvolvimento dos componentes citados anteriormente.

3.6.4.1 - NO PAÍS

- software de análise de dados de testes de propulsores - no INPE;
- laboratório de controle analítico de propelentes - no INPE;
- processo de solda eletrônica-beam e TIG - no setor industrial (IPEN, CELMA, NUCLEN);
- infra-estrutura para desenvolvimento de elastômero - na indústria (Kauchuk);
- laboratório para análise de compatibilidade de materiais com propelentes - no INPE;
- processos de fabricação de telas especiais - na indústria (Degussa);
- processos de fabricação de furos com precisão ( de 0.1 a 0.8mm +/- 0.01mm);
- processos de usinagem com precisão em paralelismo e perpendicularismo de superfícies - na indústria;
- processos de fabricação de tuberias com perfis especiais;
- processo de soldagem por brasagem para capilares.

BIBLIOGRAFIA

DEVEY; R.W. "Olimpus Combined Propulsion Subsystem". AIAA-84-1232.

FECONDA, R.T.; WEIZMAN, J.I. "Satellite Vontrol Subsystem with Augmented Catalitic Thrusters". AIAA-84-1235.

HOLCOM, L.B. "Satellite Auxiliary-Propulsion Telection Techniques". JPL-TR-32-1505, 1970.

PAHL, D.A.; SMITH, R.T. "Propulsion System Tradeoff Studies for Geosynchrnous Satellites". AIAA-83-1218.

PARKER, I "The Service Concept". In: Space, vol. 3, no. 1. Mar-Apr. 1987, pp.33.35.

SACKHEIM, R.L.; FRITZ, D.E.; MAKLIS, H. "The next Generation of Spacecraft Propulsion Systems". AIAA-79-1301.

SACKHEIM, R.L. HOWELL, G.W. "Trends in Propulsion Systems for Geosynchronous Satellites". 14th International Symposium on Space Technology and Science. Tokyo, Japan, May 1984.

### 3.7 - SISTEMAS DE SOLO

#### 3.7.1 - INTRODUÇÃO

Toda e qualquer atividade de desenvolvimento tecnológico aeroespacial depende, para seu sucesso, da disponibilidade de uma infra-estrutura de solo adequada. É impossível imaginar-se o desenvolvimento e o lançamento de satélites artificiais de qualquer tipo sem a existência em solo de meios que permitam o seu controle e monitoramento remotamente.

É um engano pensar que esta infra-estrutura de solo seja algo estático, um sistema que uma vez instalado só necessita de operação e de manutenção para manter-se em funcionamento. A infra-estrutura de solo é na verdade, um grande componente de um programa espacial, sendo um item com custos de implantação, operação e manutenção elevados e que possui um dinamismo próprio. Tal é a sua complexidade que em agências espaciais estrangeiras, como a ESA e o CNES, por exemplo, toda esta infra-estrutura está sob a responsabilidade de uma Diretoria e não apenas de uma Divisão ou Departamento.

As tecnologias envolvidas com esta infraestrutura encontram-se em constante evolução sendo necessários esforços e investimentos de vulto para mantê-la sempre atualizada, de forma a poder atender aos requisitos cada vez mais exigentes, impostos pelas novas tecnologias incorporadas aos satélites artificiais e suas novas aplicações.

Em resumo, os meios de solo exigem um intenso e constante esforço de desenvolvimento.

É possível identificar os seguintes componentes básicos na infraestrutura de solo para missões espaciais:

CENTRO DE CONTROLE

ESTAÇÕES TERRENAS

REDE DE COMUNICAÇÕES DE DADOS

CENTROS DE MISSÃO

O domínio das tecnologias para desenvolvimento de Estações Terrenas é de flagrante interesse estratégico para o país. O alto grau de dependência ao exterior em que nos encontramos atualmente é um fator que se tem demonstrado

capaz de impedir, ou pelo menos retardar, o desenvolvimento de nossas atividades na Missão Espacial Completa Brasileira. Como exemplo deste fato podemos citar o embaraço criado a esta missão pela recusa do governo norte-americano em autorizar a exportação para nós de dois sistemas de antena para rastreamento, os quais são elementos fundamentais para o prosseguimento daquela missão.

Ainda como consequência daquela recusa, um outro possível fornecedor, neste caso do Japão, tem demonstrado grande resistência em fornecer-nos sistemas semelhantes com receio de retaliações comerciais por parte do governo norte-americano.

Devemos ainda lembrar que as tecnologias necessárias ao desenvolvimento de Estações Terrenas para rastreamento e controle de satélites, possuem valor estratégico pois podem ter aplicações militares em sistemas de rastreamento de mísseis e foguetes e em mecanismos para apontamento de canhões. Além disso, este desenvolvimento é um desafio que servirá como considerável estímulo para o avanço tecnológico do país em áreas como: mecânica fina pesada, antenas refletoras móveis de grande diâmetro, componentes passivos para microondas, receptores, sistemas de controle, de telemetria, de telecomando, etc. Podemos ressaltar aqui que o retorno destes esforços é quase que imediato pois



econômico direto, a capacitação tecnológica, a publicidade e os novos mercados que se abrirão como consequência desta participação.

Como fator fundamental para o sucesso deste empreendimento, podemos citar o fluxo ininterrupto de recursos e de informações técnicas aos órgãos e empresas participantes. Cursos e estágios no exterior também funcionarão como estímulo considerável para as equipes de desenvolvimento, além de serem uma forma eficiente de adquirir experiência com tecnologias necessárias mas ainda não dominadas por nós. Contratos para transferência de tecnologias também deverão ser objeto de cuidadoso estudo, tendo-se o cuidado de verificar se as tecnologias que são objeto do contrato de transferência não são obsoletas e ainda de que o contrato permita realmente a transferência das tecnologias em questão.

O domínio das tecnologias para o desenvolvimento dos demais componentes da infra-estrutura de solo também possui aspectos de interesse estratégico para o país. É de importância, por exemplo, a consolidação da tecnologia de nós de comutação, de equipamentos auxiliares para comunicação de dados tais como os MODEMS, os conversores de protocolo, os multiplexadores, as fibras óticas, as redes locais, etc. Esta consolidação representará

existem amplas possibilidades de aplicação destas tecnologias em diversos campos de nossa economia: controle remoto de represas, fábricas, aeronaves, foguetes, estações terrenas para telecomunicações por satélites, etc.

Devemos ainda lembrar que com a entrada em operação de nossos satélites de sensoriamento remoto, um mercado de estações terrenas para recepção de imagens deverá se abrir para nossa indústria. Este mercado consistirá basicamente daqueles países amigos que ainda não detenham esta tecnologia, aos quais estaremos aptos a fornecer sistemas completos para aplicações em sensoriamento remoto que incluirão desde o satélite propriamente dito, até os sistemas de tratamento de imagens, sem esquecer de todo o "know-how" acumulado pelo INPE nas aplicações desta tecnologia. Temos aqui uma oportunidade que não deve ser desprezada pois grandes serão os retornos políticos e estratégicos tanto a nível local quanto internacional, oferecidos pela exploração deste mercado.

O projeto e desenvolvimento de Estações Terrenas é tarefa de vulto que não poderá ser levada a cabo pelo INPE exclusivamente. Seu sucesso dependerá do envolvimento de nossa indústria, universidades e centros de pesquisa e desenvolvimento. Será tarefa do INPE atrair estas empresas para participar do projeto, acenando com o retorno

a independência do país no que diz respeito ao desenvolvimento, operação e expansão futuras da rede de comunicação de dados empregada na infra-estrutura de solo.

Apresenta-se em seguida, a situação atual do INPE, no que diz respeito ao desenvolvimento e domínio das tecnologias relativas a estes componentes da infra-estrutura de solo, apontando-se também algumas áreas de interesse para investimentos em pesquisa e desenvolvimento para cada um destes componentes.

### 3.7.2 - SITUAÇÃO ATUAL

#### 3.7.2.1 - CENTRO DE CONTROLE

Este componente é composto de "hardware" e "software". Ele consiste basicamente em um conjunto de computadores de grande e médio porte ao qual estão agregados diversos periféricos, e nos quais estão instalados sistemas de tempo real para o controle de satélites, sistemas para a análise de satélites, sistemas para a análise de missões e sistemas para determinação e propagação de órbita e atitude.

Com relação às máquinas e seus periféricos, o INPE está adquirindo-os nos mercados nacional e

internacional. Com o desenvolvimento da indústria nacional de computadores e periféricos, espera-se que , cada vez mais, possamos tornar-nos independentes do mercado externo, beneficiando-se o país de todas as vantagens estratégicas que tal independência oferece.

Com relação ao "software", este não é um produto disponível no mercado, precisando sempre ser desenvolvido. O INPE encontra-se atualmente no processo de desenvolvimento deste "software". Entretanto, as restrições de cronograma e de pessoal impuseram severas limitações a esta primeira versão do "software" do Centro de Controle: o sistema que originalmente se propunha a ser multimissão não mais o será , pelo menos nesta primeira versão. Da forma como é concebido hoje, o sistema só terá capacidade para suportar um único satélite de coleta de dados de cada vez. Isto significa que após a instalação e a entrada em operação desta primeira versão, os esforços de desenvolvimento deverão ter continuidade com a finalidade de produzir um sistema que finalmente possa atender simultaneamente a um número de satélites de diferentes missões , incluindo-se aí os satélites de sensoriamento remoto.

Os trabalhos de desenvolvimento deste "software" em sua primeira versão estão sob a

responsabilidade da Diretoria de Programas Institucionais do INPE, através de sua Gerência do Segmento Solo.

Além do "software" mencionado acima, encontram-se em desenvolvimento diversos outros pacotes com aplicações em análise de missões, análise de satélites e previsão de órbita e atitude. Estes pacotes estão sendo, ou foram, desenvolvidos pelas equipes da Diretoria de Engenharia e Tecnologia Espacial do INPE. Dentre estes pacotes podemos citar o de cálculo de janelas de lançamento, de eclipses, de iluminação da superfície terrestre, de propagação de órbita através de métodos numéricos, de determinação de órbita por mínimos quadrados.

#### 3.7.2.2 - ESTAÇÕES TERRENAS

Este é, seguramente, o componente de maior complexidade tecnológica dentre todos os componentes da infra-estrutura de solo.

A capacitação tecnológica atual do INPE, bem como de nosso parque industrial e centros de pesquisa e desenvolvimento, não atingiu ainda o patamar necessário ao desenvolvimento deste componente de forma completa.

O INPE entretanto através de sua Diretoria de Engenharia e Tecnologia Espacial, está atualmente envolvido no desenvolvimento dos seguintes subsistemas deste componente:

Subsistema de Medida de Distância.

Subsistema de Telemetria de Serviço (parcial).

Subsistema Processador de Coleta de Dados.

Unidades de Controle e Monitoração.

Unidades de Comunicação Serial.

Estes subsistemas integram a chamada banda-básica da Estação Terrena que são, em resumo, aqueles subsistemas que independem da frequência utilizada na comunicação com os satélites.

Estes subsistemas incorporam diversas tecnologias já dominadas pelas equipes de desenvolvimento do INPE:

"Phase Locked Loops".

Deteção de sinais.

Modulação e demodulação PSK.

Modulação e demodulação PM.

Codificação e decodificação PCM.

Recuperação de subportadora, relógio e quadro.

Processamento de sinais em banda-básica e FI.

Circuitos a microprocessadores e periféricos.

"Software" de tempo real.

Além destas atividades, o INPE está também realizando o desenvolvimento do "software" do computador da estação com a finalidade de facilitar a operação das Estações Terrenas, através de sua automatização.

### 3.7.2.3 - REDE DE COMUNICAÇÃO DE DADOS

A análise da situação atual, no que diz respeito à Rede de Comunicação de Dados, se detém nos vários itens dos quais se compõe a rede: nós de comutação, computadores, linhas e enlaces de comunicação, protocolos de comunicação e equipamentos.

Os nós de comutação ou centrais de comutação, foram objeto de desenvolvimento no INPE durante o período 1983/1985, procurando-se na época, chegar a uma primeira versão simplificada. No decorrer deste período, a maturação do parque nacional de informática implicou no abandono do desenvolvimento em curso e na adoção de um computador disponível no mercado para realizar aquela função. Os procedimentos de comunicação, na época ainda não disponíveis nos computadores nacionais, prosseguiram como desenvolvimento interno no INPE. Finalmente, a partir de 1986, com a conclusão pelo CPqD/TELEBRÁS do projeto de um nó de comutação para redes por comutação de pacotes, o INPE optou então pela utilização destes nós para a composição e futura expansão de sua rede de comunicação de dados para aplicações espaciais.

Assim, a situação atual indica que a rede de comunicação de dados composta pelos nós de comutação do CPQd/TELEBRÁS, atenderá às necessidades de curto prazo (satélites SCD-1, SCD-2). Para o atendimento das necessidades de médio prazo (satélite sino-brasileiro, satélite científico, satélites SSR-1 e SSR-2 e satélite de comunicações) o volume de dados pode ditar a necessidade de expansão na capacidade da rede, especialmente se a transmissão de imagens for um serviço a ser considerado.



Este quadro caracteriza o binômio especificação/gerência, significando que o INPE deverá se ater , devido à maturação do parque industrial nacional, unicamente à especificação de futuros processadores (ou suas expansões) e à gerência dos desenvolvimentos encomendados a terceiros.

Quanto aos computadores, a mencionada maturação de nosso parque industrial de informática garante hoje a disponibilidade imediata de sistemas computacionais de uso geral, perfeitamente adequados às necessidades inerentes ao estabelecimento de uma rede de comunicação de dados. O Centro de Controle da rede é configurado a partir de um computador COBRA 540, com "software" aplicativo desenvolvido para este fim. Outros computadores, como por exemplo para o tratamento de comunicações que sigam as recomendações internacionais propostas pelo CCSDS, também são computadores de uso geral encontráveis no mercado nacional.

Assim, a situação atual mostra um atendimento completo no que diz respeito às necessidades de computadores para a rede de comunicação de dados, seja a curto ou médio prazo. Também aqui temos caracterizado o binômio especificação/gerência como atribuição do INPE.

A interligação de nós de comutação e computadores, formando a rede, viabiliza-se pela utilização de linhas físicas e enlaces para a transmissão de dados. As linhas físicas, de qualidade especial para a transmissão de dados, são fornecidas pelas empresas públicas prestadoras de serviços de telecomunicações, nas regiões em que se demanda o serviço. Isto significa que as necessidades atuais e futuras impostas pela rede serão sempre completamente atendidas em termos destes recursos.

Quanto aos enlaces radioelétricos (microondas), a situação atual é a de pleno atendimento a partir do aluguel deste serviço à EMBRATEL. Ainda que este seja um serviço de alta confiabilidade para a transmissão de dados, entende-se ser necessário o conhecimento detalhado do estabelecimento de tais enlaces visando um tratamento emergencial. Aqui também, mais uma vez, temos caracterizado como atribuição do INPE o binômio especificação/gerência.

Os aspectos relativos aos protocolos de comunicação são múltiplos. No que diz respeito ao acesso de usuários à rede de comunicação de dados, a recomendação internacional X.25 já está incorporada na quase totalidade dos computadores nacionais que podem ser considerados como possíveis hospedeiros da rede de comunicação de dados. Na situação atual, entretanto, existem computadores que

implementam apenas o acesso assíncrono. Para atender a estes casos, o INPE já dispõe de projeto e desenvolvimento de um equipamento conversor de protocolo (assíncrono/síncrono) como solução para o acesso à rede.

Quanto ao protocolo de transporte para o controle de mensagens fim-a-fim, entende-se como necessário, não só a existência deste controle, como também a busca de um atendimento das necessidades específicas das aplicações espaciais. Na situação atual, apesar da recente recomendação X.214 como protocolo de transporte para a comunicação de dados, a indústria nacional de computadores ainda não oferece este recurso. Ainda que venha a oferecê-lo em futuro próximo, isto não significa um atendimento das necessidades específicas das aplicações espaciais. Assim, deveremos buscar, como atividade estratégica, a padronização de um protocolo para missões espaciais, composto pelo protocolo de acesso padrão (X.25) e, como distinção básica, um protocolo de transporte que ofereça a melhor interface com o nível aplicativo característico das aplicações espaciais. Esta estratégia deverá refletir uma adequação constante às possíveis e previstas evoluções dos sistemas espaciais de dados. Na situação atual não existe qualquer padronização sendo empregada, evidenciando-se a necessidade de uma definição para um suporte padronizado já a partir do satélite SCD-2. Com este objetivo, o INPE acaba de concluir as especificações de uma primeira versão de um protocolo de

transporte que, juntamente com o "know-how" adquirido em implementações do protocolo de acesso X.25, representam os estágios finais do desenvolvimento de um protocolo padrão para missões espaciais.

Os aspectos de apoio cruzado, seja o apoio a missões de outras agências ou o apoio externo a missões do INPE, também não apresentam atualmente qualquer protocolo específico. O apoio cruzado para a missão do satélite SCD-1 consistirá no emprego de estações terrenas da Agência Espacial Européia (ESA). De uma forma mais ampla, já estão em curso alguns desenvolvimentos para o emprego do protocolo X.25, e no futuro, talvez seja também contemplado o protocolo X.75, como procedimento padronizado para o apoio cruzado de/para qualquer agência externa, em qualquer missão.

Quanto aos protocolos de comunicação temos então aqui, um binômio desenvolvimento/gerência como atividade do INPE. Isto significa uma necessidade de pesquisa aplicada visando o desenvolvimento de alguns aspectos estratégicos e em outros aspectos, apenas a gerência de um desenvolvimento executado fora do INPE.

O último item na composição de uma rede de comunicação de dados, diz respeito aos equipamentos de uso

diverso. Os conversores de protocolo, conforme já foi mencionado, representam atualmente, não só um projeto em desenvolvimento no INPE, mas também nossa capacitação no que diz respeito à implementação do protocolo X.25 propriamente dito. Com relação a MODEMs, existe um desenvolvimento que está sendo repassado à indústria, a qual já produz alguns tipos distintos. De qualquer forma, na situação atual, não se justificam novos desenvolvimentos nesta área dentro do INPE. Qualquer necessidade futura poderá ser atendida pela indústria nacional. Outros equipamentos, como por exemplo, os analisadores de protocolo, também encontram a indústria nacional plenamente capacitada a fornecê-los.

Caracteriza-se assim para estes equipamentos um binômio especificação/gerência, com uma pequena abertura para a conclusão dos desenvolvimentos de conversores de protocolo, atualmente em curso no INPE.

#### 3.7.2.4 - CENTRO DE MISSÃO

A análise da situação atual dos Centros de Missão (CM) pode ser vista sob três aspectos distintos: o Centro de Missão para as redes ARGOS e GOES, o Centro de Missão de Coleta de Dados e o Centro de Missão de Sensoriamento Remoto. A estes soma-se a perspectiva atual de atendimento aos satélites científicos e de telecomunicações.

Os CMs para as redes ARGOS (satélite ARGOS) e GOES (satélites NOAA e TIROS N), assim como para a missão de coleta de dados (satélites SCD-1 e SCD-2) implicam em breve análise das plataformas de coleta de dados (PCD). Estas PCDs, que coletam e enviam aos satélites os dados ambientais registrados em um certo período, compõem-se basicamente de uma interface, um transmissor, sensores e antena. Destes componentes, os sensores não serão tratados aqui pois são objeto de trabalho de outra sub-área da Diretoria de Engenharia e Tecnologia Espacial. Com relação aos demais componentes, a indústria nacional encontra-se plenamente capacitada a fornecê-los. Para o transmissor, entretanto, considera-se de interêsse estratégico o desenvolvimento no INPE dos osciladores de alta estabilidade. As PCDs então utilizam tecnologias já dominadas mas que encontram-se em constante evolução. Seu desenvolvimento e aperfeiçoamento podem ser levados a cabo tanto pela indústria quanto pela indústria em associação com o INPE.

No que diz respeito aos Centros de Missão, os principais componentes são antenas, eletrônica ("hardware") e computadores. Na situação atual, o CM dedicado à rede ARGOS (satélite de órbita baixa) necessita de uma antena parabólica para rastreamento de satélites. As tecnologias para estas antenas ainda não estão disponíveis no país. Para a rede GOES (satélites geoestacionários) a antena necessária é parabólica, fixa e de pequeno diâmetro, componente que o

nosso parque industrial encontra-se plenamente capacitado a fornecer. Com relação ao Centro de Missão para a missão de coleta de dados, este não possuirá sua própria antena pois utilizará a antena da Estação Terrena de Rastreamento e Controle a ser instalada em Cuiabá.

O "hardware" para o Centro de Missão da rede GOES já é produzido por uma indústria nacional. Já no caso da rede ARGOS o "hardware" para seu Centro de Missão é um desenvolvimento antigo no INPE. Novos desenvolvimentos estão em curso atualmente, pois o Centro de Missão de Coleta de Dados será o mesmo que atende à rede GOES.

Os computadores necessários ao tratamento dos dados no Centro de Missão são máquinas de uso geral fornecidas pela indústria nacional de informática.

Com relação ao Centro de Missão de Sensoriamento Remoto, este deverá incorporar uma série de equipamentos não disponíveis nos outros Centros de Missão. O gravador de dados em fita magnética e o processador matricial ("array processor") são exemplos de equipamentos deste Centro de Missão cuja tecnologia não está disponível no país. Além disso, esta situação não deverá alterar-se no futuro próximo pois o mercado para este tipo de equipamentos é ainda bastante restrito.

Em qualquer dos casos abordados, evidencia-se uma necessidade de grande interação com as áreas de aplicação. Os investimentos em pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico de interesse dos Centros de Missão deverão ser fruto de longos entendimentos entre a área de engenharia e as diversas áreas de aplicação de satélites espaciais.

### 3.7.3 - ÁREAS PARA PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

A complexidade e a característica multidisciplinar dos subsistemas componentes dos chamados meios de solo não permitem que se identifiquem, sem um estudo cuidadoso, todas as áreas onde deveriam ser feitos investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

Mencionaremos aqui apenas aquelas disciplinas que podem ser identificadas sem um estudo mais aprofundado devido a sua importância evidente para o projeto e desenvolvimento dos meios de solo no presente e no futuro.



### 3.7.3.1 - CENTRO DE CONTROLE

As atividades de desenvolvimento do Centro de Controle se resumem basicamente ao desenvolvimento de "software".

#### 3.7.3.1.1 - PESQUISA BÁSICA

Na área de pesquisa básica, existe interesse em pesquisas de Inteligência Artificial devido ao seu potencial de aplicações no Centro de Controle.

#### 3.7.3.1.2 - DESENVOLVIMENTO E PESQUISA APLICADA

- Recomendações do CCSDS.
- Controle de atitude (análise e modelamento).
- Controle de órbita (análise e modelamento).
- Engenharia de "software".
- Gerenciamento de operações.
- Programas aplicativos de tempo real.
- Ambientes para Centros de Controle multi-missão.

### 3.7.3.2 - ESTAÇÕES TERRENAS

Para o desenvolvimento de Estações Terrenas é possível identificar de imediato as seguintes áreas para investimentos em pesquisa e desenvolvimento

#### 3.7.3.2.1 - PESQUISA BÁSICA

- Detecção e estimação de sinais.
- Componentes digitais e analógicos.
- Processamento e codificação digital de sinais.
- Circuitos de microondas.
- Teoria e sistemas de controle.
- Modulação e codificação para controle de erro.

#### 3.7.3.2.2 - PESQUISA APLICADA

- Sistemas de telecomunicações espaciais.
- Recomendações do CCSDS.
- Sistemas de telecomando.
- Sistemas de telemetria.

- Sistemas de rastreamento automático.
- Mecânica fina pesada.
- "Software" de tempo real.
- Filtros digitais.
- Antenas refletoras para microondas.

### 3.7.3.3 - REDE DE COMUNICAÇÃO DE DADOS

Em uma primeira análise, são as seguintes as necessidades de pesquisa aplicada ao desenvolvimento em redes de comunicação de dados.

#### 3.7.3.3.1 - PESQUISA APLICADA

- meios de comunicação (fibras óticas, etc.).
- processador de comunicação (para altas taxas).
- metodologias e ferramentas para análise de confiabilidade e desempenho.

#### 3.7.3.3.2 - DESENVOLVIMENTO

- nós de comutação.
- protocolos de comunicação.
- recomendações internacionais para sistemas espaciais de dados (CCSDS).
- equipamentos auxiliares para comunicação de dados (conversores de protocolo, multiplexadores, etc.).
- redes locais.

#### 3.7.3.4 - CENTROS DE MISSÃO

As necessidades relativas à pesquisa aplicada e ao desenvolvimento são apresentadas a seguir. Incluem-se nesta relação as plataformas de coleta de dados como componentes do Centro de Missão de Coleta de Dados.

##### 3.7.3.4.1 - PESQUISA APLICADA

- osciladores de alta estabilidade.
- sincronizadores de formato.
- sensores (PCDs).

#### 3.7.3.4.2 - DESENVOLVIMENTO

- eletrônica para PCDs.
- receptores para comunicação por satélite.

#### 3.7.4 - DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

Nesta seção são apresentados aqueles sistemas, subsistemas ou equipamentos cujo desenvolvimento é de interesse estratégico ao país, quer por já possuímos conhecimento e experiência suficientes para o seu desenvolvimento, quer por serem itens cuja importação pode sofrer embaraços, ou ainda por serem itens cujo desenvolvimento trará ao país avanços tecnológicos de relevância. Alguns desenvolvimentos deverão ser realizados pelas próprias equipes do INPE enquanto que outros deverão ser contratados nas Universidades, Instituições de Pesquisa e Desenvolvimento ou na própria indústria. Para identificar os órgãos ou empresas com melhor capacitação para executar cada um destes desenvolvimentos será necessário estabelecer com estes órgãos contatos com a finalidade de conhecer a capacitação tecnológica e o potencial de cada um deles.

3.7.4.1 - CENTRO DE CONTROLE

3.7.4.1.1 - INPE

- "Software" de tempo real.
- "Software" de dinâmica orbital.
- "Software" para análise de missão.
- "Software" para análise do satélite.
- Ambientes/estruturas de Centros de Controle multimissão.
- Programas de suporte para aplicativos de tempo real.
- Ambientes integrados para desenvolvimento de programas e controle de qualidade.

3.7.4.1.2 - EXTERNAMENTE AO INPE

Não é previsto qualquer desenvolvimento de "software" para o Centro de Controle fora do INPE.

3.7.4.2 - ESTAÇÕES TERRENAS

3.7.4.2.2.1 - DESENVOLVIMENTOS PELO INPE

- Equipamentos de telemetria.
- Equipamentos de telecomando.
- Equipamentos para medida de distância.
- Equipamentos para medida de velocidade.
- Equipamentos para processamento de sinal de carga útil.
- Sistema de disseminação de tempo e frequência.
- Receptores (FI).

3.7.4.2.2 - DESENVOLVIMENTOS EXTERNOS AO INPE

- Equipamentos para rastreamento automático.
- Antenas refletoras de aquisição e principal.
- Pedestal da antena e controlador.
- Amplificadores de baixo ruído.
- Diplexadores.

- Conversores de frequência.
- Transponders de teste.
- Equipamentos para comunicação de dados.
- Amplificadores de potência em microondas.

### 3.7.4.3 - REDE DE COMUNICAÇÃO DE DADOS

#### 3.7.4.3.1 - DESENVOLVIMENTOS PELO INPE

- equipamentos auxiliares para comunicação de dados.
- metodologias e ferramentas para a análise de confiabilidade e desempenho.

#### 3.7.4.3.2 - DESENVOLVIMENTOS EXTERNOS AO INPE

- meios de comunicação (fibras óticas, etc.).
- processadores de comunicação.
- nós de comutação.
- equipamentos auxiliares para comunicação de dados.
- redes locais.



3.7.4.4 - CENTROS DE MISSÃO

3.7.4.4.1 - DESENVOLVIMENTOS PELO INPE

- sincronizadores de formato.
- osciladores de alta estabilidade.
- sensores (PCDs).

3.7.4.4.2 - DESENVOLVIMENTOS EXTERNOS AO INPE

- eletrônica de PCDs.

3.7.5 - TECNOLOGIAS NECESSÁRIAS

Esta seção pretende apontar quais as tecnologias que deverão ser dominadas para levar a cabo o desenvolvimento no país dos diversos componentes dos meios de solo. As tecnologias já disponíveis são dominadas pelo INPE ou pelas Universidades ou ainda pela indústria, em alguns casos. Também aqui, a relação das tecnologias apresentadas a seguir não é de maneira nenhuma completa. Uma relação mais completa só poderá ser obtida após um estudo detalhado de cada componente dos meios de solo.

Para definir com exatidão se cada uma dessas tecnologias é atualmente dominada no país ou, caso negativo, se há ou não atualmente algum programa em andamento para conseguir o seu domínio se fará necessário , aqui também, realizar contatos com as Universidades e com a indústria.

#### 3.7.5.1 - ESTAÇÕES TERRENAS

##### 3.7.5.1.1 - DISPONÍVEIS NO PAÍS

- "Phase-locked loops".
- Filtros.
- Amplificadores de baixa e alta frequência.
- Osciladores.
- Moduladores PM e PSK.
- Demoduladores PM e PSK.
- Conversores de frequência.
- Amplificadores de baixo ruído.
- Componentes passivos para microondas.
- "Software" de tempo real.
- Filtros digitais.

3.7.5.1.2 - NÃO DISPONÍVEIS NO PAÍS

- Componentes eletrônicos digitais e analógicos.
- Mecânica fina pesada.
- Sistemas de controle para antenas de rastreamento.
- Projeto e fabricação de grandes refletores móveis.
- Amplificadores de potência em microondas.

3.7.5.2 - CENTRO DE CONTROLE

3.7.5.2.1 - DISPONÍVEIS NO PAÍS

- Engenharia de "software" ( parcialmente ).
- "Software" de tempo real ( parcialmente ).
- "Software" para sistemas de controle e atitude (parcialmente).
- "Software" para sistemas de controle de órbita (parcialmente).
- Técnicas para análise de missão (parcialmente).

3.7.5.2.2 - NÃO DISPONÍVEIS NO PAÍS

3.7.5.3 - REDE DE COMUNICAÇÃO DE DADOS

3.7.5.3.1 - DISPONÍVEIS NO PAÍS

- meios de comunicação (fibras óticas).
- nós de comutação.
- redes locais.
- MODEMs.
- conversores de protocolo.
- multiplexadores.

3.7.5.3.2 - NÃO DISPONÍVEIS NO PAÍS

- metodologias e ferramentas para a análise de confiabilidade e desempenho.

3.7.5.4 - CENTROS DE MISSÃO

3.7.5.4.1 - DISPONÍVEIS NO PAÍS

- eletrônica de PCDs.
- sincronizadores de formato.
- sensores (PCDs).

3.7.5.4.2 - NÃO DISPONÍVEIS NO PAÍS

- tecnologia de osciladores de alta estabilidade.

## CAPÍTULO 4

### ESTRATÉGIA PARA A ÁREA

Considerando o discutido no capítulo 3 e os objetivos maiores dos capítulos 1 e 2 a seguinte diretiva deverá ser adotada:

- Área de Controle e Guiagem:

- Manutenção de atividades de pesquisa em Análise e Modelagem visando criar e manter capacitação na área. Deve haver uma preocupação constante com a formação de pessoal.
- Elaboração de um programa em Plataformas Inerciais e Giros que busque junto à indústria nacional a independência tecnológica neste setor tão importante. A nacionalização de giroscópios em qualificação espacial é da maior importância estratégica. A estratégia a ser seguida deverá ser a seguinte:

Fase I: Identificação de um fornecedor confiável no exterior de giroscópios de baixo custo. A China tem-se mostrado com uma ótima opção.

Fase II: Concepção e desenvolvimento de Plataformas Inerciais no INPE utilizando os giros comprados. Paralelamente iniciar um programa para desenvolvimento de giros de tipo mais avançado no país.

Fase III: Fabricação de giros no Brasil e desenvolvimento de Plataforma Inercial totalmente nacional.

- Desenvolvimento de Sensores de Horizonte, Rodas de Reação, e sistemas micropulsivos. Estes desenvolvimentos deverão ser feitos já para os satélites da MECB e dentro deste Programa.

● Área de Telecomunicações:

- Vários desenvolvimentos foram consolidados existindo capacidade instalada nesta área. Visando atender as necessidades de um programa em satélites de comunicações, há a necessidade de transferência de várias funções e projetos hoje desenvolvidos pela área para o setor produtivo.
- Desenvolvimento de Antenas para satélites de Comunicações, e outros.

- Capacitação em transponders de comunicações nas bandas C e K, visando a participação efetiva nas próximas gerações de satélites de comunicações.
- Sistemas de compressão e transmissão de dados de alta velocidade.

- Área de Mecânica Espacial

- Deve-se buscar com certa urgência uma melhoria na capacidade computacional tendo em vista o grande volume de modelagens necessárias nos projetos espaciais. Nas áreas de dinâmica de estruturas e otimização estrutural ênfase deve ser dada àquelas com partes móveis ou flexíveis.
- Concepção de veículos de reentrada na atmosfera visando aplicações científicas e tecnológicas em ambientes de microgravidade nas áreas de novos materiais, química fina, biotecnologia etc.
- Desenvolvimentos tecnológicos de componentes para controle térmico, ativos e passivos; mecanismos para abertura de painéis, juntas etc., deverão ser feitos para o Programa MECB e dentro deste.



● Área de Instrumentação (Carga Útil)

- A capacitação, quer no INPE quer na indústria nacional, em projeto e construção de sistemas óticos para aplicações espaciais é da maior importância, devendo ser buscada grande determinação.
- Incentivar o desenvolvimento nacional dos elementos sensores (detectores) com ênfase em conjuntos ("arrays") de detectores de infra-vermelho e visível.
- Estender o espectro da instrumentação para a região de microondas através de um programa de desenvolvimento de sensores nesta faixa espectral.

● Área de Suprimento de Energia

- Nacionalização com urgência de painéis solares e baterias eletroquímicas visando desenvolver fornecedores locais para os programas futuros.
- Fomentar a pesquisa e o desenvolvimento de células solares de GaAs (na Universidade) de forma a assegurar ao país uma tecnologia mais promissora no futuro.

- Concepção e projeto de sistemas para fornecimento de potências da ordem de 1kW.
- Capacitação gradual na análise de EMC em satélites deve ser buscada de maneira a poder-se otimizar o projeto de potência de forma global.

● Área de Propulsão

- Desenvolvimento próprio de sistemas micropropulsores (a hidrazina) já para satélites da MECB. Buscar a capacitação nacional na produção de hidrazina grau monopropelente e de catalizadores metálicos suportados em alumínica porosa.
- Desenvolvimento de sistemas propulsores a bipropelentes líquidos para motores (na faixa de 100N) utilizados em transferência de órbitas. Todo um programa deverá ser feito baseando-se no potencial tecnológico existente no país de maneira a assegurar a independência no setor.
- Pesquisas deverão ser mantidas nas áreas de Combustão e Propulsão de forma a promover a constante formação de pessoal para esta área estratégica.

- Área de Meios de Solo

- Implementar programa de desenvolvimento de Estações para Rastreo de Satélites, no país. Concentração inicial deverá ser nas estações de recepção de dados (imagens em especial) de custo reduzido. Todos os aspectos deverão ser contemplados de maneira a garantir o fornecimento destes itens essenciais a quaisquer atividades com satélites. Estações para rastreo e controle deverão também ser contempladas.
- Prever a evolução das necessidades em redes de comunicação de dados de aplicações espaciais a partir da atual concepção adotada no programa MECB.

As diretrizes acima, dadas as áreas de atuação, são para a implantação inicial de um Programa de Desenvolvimento Tecnológico no campo Espacial. Entretanto a implantação de qualquer novo projeto no futuro, deverá ser pautada nas necessidades e diretrizes estratégicas desta documentação.