

*Referência:*

**CPA-037-2006**



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

*Versão:*

**2.0**

*Status:*

Ativo

*Data:*

25/fevereiro/2007

*Natureza:*

Aberto

*Número de páginas:*

60

*Origem:*

GT-07 – Prospecção

*Revisado por:*

Odim Mendes Júnior

*Aprovado por:*

Equipe do GT7

*Título:*

**Versão Final do Estudo do GT7 – Prospecção Científica e Tecnológica**

*Lista de Distribuição*

Organização	Para	Cópias
INPE	Grupos Temáticos, Grupo Gestor, Grupo Orientador e Grupo Consultivo do Planejamento Estratégico do INPE.	

## Histórico do Documento

Versão	Alterações
1.0	Versão elaborada pelo Grupo Temático de Prospecção Científica e Tecnológica Espacial, em 21 de dezembro de 2006 e editorada pela CPA em 08/janeiro/2007.
2.0	Versão aprimorada pelo Grupo Temático de Prospecção Científica e Tecnológica Espacial, em 14 de fevereiro de 2007 com base em análise preliminar dos documentos de prospecção dos consultores internacionais e editorada pela CPA em 25/fevereiro/2007.

## Equipe

José Oscar Fernandes	CEA
<b>Odim Mendes Junior (Coordenador)</b>	CEA
Carlos Afonso Nobre	CPTEC
Ralf Gielow	CPTEC
<b>Regina Célia dos Santos Alvalá (Relatora)</b>	CPTEC
Mauricio Goncalves Vieira Ferreira	CRC
Fabiano Luis de Sousa	ETE
Mário Luiz Selingardi	ETE
Roberto Vieira da Fonseca Lopes	ETE
Aguinaldo Martins Serra Junior	CTE
João Paulo Barros Machado	CTE
José Osvaldo Rossi	CTE
Fernando de Souza Costa	CTE
Neidenei Gomes Ferreira	CTE
Adalberto Pacífico Comiran	LIT
Antonio Miguel Vieira Monteiro	OBT
Douglas Francisco Marcolino Gherardi	OBT
Evlyn Marcia Leao de Moraes Novo	OBT
João Roberto dos Santos	OBT
<b>Rafael Petroni (Consultor)</b>	GEOPI

## Sumário

Equipe.....	3
Glossário, Siglas e Abreviaturas .....	5
1. Introdução.....	6
2. Resultados .....	8
Idéias-força.....	9
<b>2.1 Ciências Espaciais</b> .....	9
<b>2.2 Ciências do Sistema Terrestre</b> .....	13
<b>2.3 Tecnologias Espaciais</b> .....	16
<b>2.4 Tecnologias Espaciais Associadas</b> .....	21
3. Comentários adicionais (marketing institucional).....	26
4. Conclusão .....	26
5. Anexos.....	27
Anexo 1: Clima Espacial.....	27
Anexo 2: Resposta do consultor em Tecnologias Espaciais a perguntas de esclarecimento. .....	28
Anexo 3: Apreciação do documento contratado de Prospecção em Tecnologias Espaciais Associadas .....	34
Anexo 4: Prospecção interna para as Tecnologias Espaciais Associadas (fev. de 2007) ....	35
Anexo 5: Demandas atendidas atualmente pelas tecnologias espaciais associadas em pesquisa e desenvolvimento de produtos e sistemas para o setor espacial.....	57

## Glossário, Siglas e Abreviaturas

A Tabela 1 apresenta as definições de termos relevantes utilizados no estudo, como também siglas e abreviaturas utilizadas no documento.

<b>Tabela 1 – Siglas e abreviaturas do documento</b>	
<b>Sigla/Abrev.</b>	<b>Significado</b>
OPCT	Observatório Prospectivo de Ciência e Tecnologia
GEOPI	Grupo de Estudos sobre Organização da Pesquisa e da Inovação
CTE	Centro de Tecnologias Especiais
ETE	Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
LIT	Laboratório de Integração e Testes
CRC	Centro de Rastreamento e Controle de Satélites
OBT	Coordenação Geral de Observação da Terra
CEA	Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MPOG	Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão

## 1. Introdução

Para a adequada compreensão do trabalho desenvolvido, a Prospecção Científica e Tecnológica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é definida como a "antevisão" das possibilidades futuras em Ciências e Tecnologias no escopo do INPE, considerando os prazos de cinco, dez e vinte anos. Nesta segunda versão procedeu-se um aprimoramento do conteúdo anterior considerando a análise preliminar dos documentos de prospecção dos consultores internacionais, que somente chegaram ao final de 2006 e início de 2007.

Assim, os objetivos do estudo do Grupo Temático de Prospecção Científica e Tecnológica (designado abreviadamente por GT7) foram identificar e analisar tendências de desenvolvimento científico e tecnológico nas áreas de atuação do INPE e em áreas correlatas, focando necessidades e oportunidades para o INPE.

Inicialmente, dada a complexidade das atividades desenvolvidas no INPE, após uma análise geral da Instituição, o GT7 definiu quatro domínios de busca, de uma forma ampla, sem exclusão de atividades em curso. Essa caracterização visou promover uma prospecção integrada para o estabelecimento das bases das pesquisas científicas e tecnológicas no INPE para os prazos considerados.

Os seguintes domínios de busca ficaram estabelecidos:

*Ciências Espaciais (Space Sciences):*

Ciências que tratam do ambiente espacial, compreendidas como as áreas Astrofísica, Geofísica Espacial e Aeronomia.

*Ciências do Sistema Terrestre (Earth System Sciences):*

Ciências que estudam as interações entre as várias dimensões que influenciam a dinâmica do planeta Terra (atmosfera, oceanos, terras, população, etc).

*Tecnologias Espaciais (Space Technologies):*

As tecnologias necessárias (estabelecidas e inovadoras) para projetar, construir, testar e operar satélites.

*Tecnologias Espaciais Associadas (Associated Space Technologies):*

Pesquisas, desenvolvimentos e inovações em física do plasma, ciência de sensores e novos materiais, ciência de combustão e tecnologias de propulsão, ciências da computação e matemática aplicada, áreas que constituem um conjunto indispensável para aplicações em sistemas espaciais e do ambiente terrestre.

A metodologia utilizada incluiu:

- Contratação, com especialistas internacionais, de quatro estudos correspondentes a cada um dos domínios de busca:
  - Ciências do Sistema Terrestre – Jagadish Shukla (Cola / IGES), documento CPA-029-2006
  - Ciências Espaciais – Jean Maurice Bonnet (ISSI – Suíça), documento CPA-055-2006
  - Tecnologias Espaciais – Guy Cerutti Maori (Consultor Independente – França), documento CPA-048-2006

- Tecnologias Espaciais Associadas – Alexander Koslov (MAI – Rússia), documento CPA-047-2006
- Painel de especialista (para discussão do estudo de Ciências do Sistema Terrestre):
  - Participação dos Dr. Jagdish Shukla (Cola / IGES), Dr. Guy Brasseur (NCAR) e Dr. Daniel Hogan (Unicamp) como painelistas e a participação de mais de 40 especialistas do INPE, em especial das áreas CPT, OBT, ETE, CTE, CEA e DIR, além de convidados da USP e INMET. O evento foi realizado em 3 dias de trabalho do dia 30 de novembro a 02 de dezembro de 2006, em local adequadamente escolhido para um trabalho de esforços concentrados.
- Prospecção interna para cada domínio de busca utilizando: consulta a especialistas do INPE, busca em artigos/"reports" em revistas especializadas e na Internet, e resultados de outras prospecções.

Para a obtenção dos melhores resultados, as prospecções internas de cada domínio de busca foram apresentadas e discutidas em reuniões especiais do GT7, sempre abertas à comunidade interessada.

Outra atividade adicional desenvolvida pelo GT7 foi o planejamento e a proposição de um Observatório Prospectivo de Ciência e Tecnologia (designado preliminarmente OPCT) para o INPE, no qual se desenvolverão sistematicamente atividades de Prospecção e Monitoramento em Ciência e Tecnologia. Essa proposta preliminar, apresentada no documento CPA-061-2006, deverá ser apreciada pelo Grupo Gestor para os aprimoramentos necessários e para avaliação de transversalidades com outros instrumentos institucionais propostos por outros GTs.

### **Dinâmica do trabalho**

Houve 20 reuniões semanais regulares ao longo de 7 meses e alguns encontros extraordinários para providências específicas. Fez-se uma apresentação intermediária de resultados em setembro de 2006, dentro do Workshop intermediário do PE-INPE, com o conteúdo já organizado segundo a definição dos quatro domínios de busca. Com a chegada dos documentos de prospecção dos consultores internacionais contratados, uma série de cinco reuniões adicionais, em fim de janeiro e início de fevereiro de 2007, foram realizadas para uma análise preliminar dos conteúdos desses documentos. Os resultados dessa análise estão incorporados, embora de forma limitada ainda, a este documento como um aprimoramento.

O GT7 desenvolveu as cinco primeiras etapas, que foram da sua competência, de um total de sete sugeridas pela metodologia de Prospecção apresentada pelo GEOPI. Essas etapas consistem em:

1. Definição dos objetivos de trabalho e dos domínios de busca;
2. Seleção das fontes de informação, dos métodos e das ferramentas;
3. Obtenção das informações desejadas;
4. Análise e interpretação das informações;
5. Preparação das propostas para a tomada de decisão;
- (6. Avaliação das propostas e início dos projetos);
- (7. Avaliação do processo e retorno ao passo 1).

As atividades mencionadas nos tópicos seis e sete acima poderão ser oportunamente desenvolvidas pela curadoria proposta pelo GT7.

Da implementação da cultura de prospecção científica e tecnológica no INPE, esperam-se os seguintes resultados:

- os melhores caminhos para atingir o mais alto nível dos desenvolvimentos científicos e tecnológicos nas áreas de atuação do INPE e, assim, contribuir para o desenvolvimento do conhecimento, da tecnologia, da economia, do bem estar da sociedade brasileira e para as estratégias de segurança nacional;
- formas de contribuir para a expansão das Pesquisas Científicas e Tecnológicas Espaciais e Atmosféricas no Brasil em todos os sentidos (universidades, institutos de tecnologia e científicos, empresas e políticas relativas a tecnologia, segurança, meio ambiente, educação, saúde, comunicações e transportes, etc).

## 2. Resultados

No desenvolvimento da prospecção, a partir das análises e discussões sobre o INPE, considerando a diversidade, abrangência e complexidade da Instituição, constatou-se que os domínios de busca inicialmente definidos representam na verdade os eixos técnico-científicos de atuação do Instituto.

Essa clara identificação da estrutura de atuação institucional possibilitou os primeiros resultados de percepção de transversalidade de conteúdos e ações entre as partes do INPE: primeiro encontrando organicidade interna aos eixos e posteriormente permitindo um aumento futuro da organicidade entre os eixos.

Decorrente dessas caracterizações de eixos percebeu-se presentemente, em um diagnóstico sobre as atividades de responsabilidade do Instituto, que:

- as Ciências Espaciais precisam ainda ser consolidadas;
- as Ciências do Sistema Terrestre precisam ainda ser integradas;
- as Tecnologias Espaciais precisam ainda de aprimoramentos para um melhor foco para as necessidades espaciais;
- as Tecnologias Espaciais Associadas precisam ainda de aprimoramentos para um melhor foco para as necessidades espaciais;
- e o INPE, como um todo, pode ser significativamente melhorado em sua sinergia.

Portanto, esses são também desafios a serem vencidos pelo PE-INPE com o auxílio do conteúdo e das propostas contidas neste documento, além da estrita prospecção.

Em dezembro de 2006, na medida do possível nesta etapa do Planejamento Estratégico do INPE, o GT7 buscou considerar também algumas informações resultantes dos trabalhos de outros Grupos Temáticos do PE-INPE, principalmente Demandas (GT1), Cooperação (GT2) e Diagnóstico (GT6). Um grande valor dessa análise foi perceber que o GT7 sinalizou complementarmente as demandas invisíveis, para as quais a sociedade em geral não tem percepção. Em janeiro e fevereiro de 2007, com a análise dos documentos de prospecção e com resultados de discussões no Grupo Gestor, confirmou-se o caráter multissetorial do INPE



(Ciências Espaciais, Ciências do Sistema Terrestre e Tecnologias Espaciais), o que lhe dá uma identidade institucional toda própria que deve ser preservada, tendo em vista que este caráter amplia o escopo de relacionamento e de inserção das várias atividades do INPE no universo dos grandes desafios nacionais e das políticas públicas, como também na excelência internacional.

A seguir, apresentam-se as idéias-força, que são os grandes objetivos estratégicos que o GT indica ao planejamento visando avanços institucionais mais expressivos com base neste estudo de prospecção, e as descrições específicas dos estudos dos quatro domínios de busca, com os aspectos seguintes destacados:

- Oportunidades e Desafios: que são os alvos que deverão ser perseguidos nos próximos cinco anos pelo INPE para a implementação das idéias-força
- Diretrizes/Ações: que são os caminhos que podem e devem ser trilhados para aproveitar as oportunidades e enfrentar os desafios.

#### Idéias-força

- Fortalecimento do caráter multissetorial, mas integrado, do INPE, identificado como Ciências Espaciais, Ciências do Sistema Terrestre e Tecnologias Espaciais, materializado pelas pesquisas científicas e desenvolvimentos tecnológicos de vanguarda.
- Estabelecimento, no INPE, de 5 núcleos de atividades: (i) Clima Espacial, (ii) Astrofísica Instrumental e (iii) Ciências do Sistema Terrestre, (iv) Tecnologias Espaciais e (v) Tecnologias Espaciais Associadas. Entenda-se núcleo como a articulação de competências e meios em torno da idéia-chave para a realização de objetivos científico-tecnológico-sociais.
- Estabelecimento de um programa de satélites tecnológicos para qualificação "em vôo" de tecnologias estratégicas para atender as demandas das missões espaciais brasileiras, com aquisição de capacidade para especificar/projetar/desenvolver/testar/operar satélites com alto índice de compactação (razão massa/volume do satélite) e de automação (capacidade de autogerenciamento, processamento interno de sinais/dados, etc).
- Aprimoramento da capacitação humana e infra-estrutura das tecnologias espaciais associadas, com ampliação da interação com os demais eixos de atuação do INPE.

## 2.1 Ciências Espaciais

A Astrofísica pode ser entendida como um desafio da Ciência Humana para entendimento de processos cósmicos. Quanto ao ambiente espacial próximo, a que a Terra se acopla, há um esforço de entendimento do complexo e amplo processo de acoplamento Sol, meio-interplanetário, magnetosfera, ionosfera, atmosfera, interior do planeta e, também, da biosfera.

Inerentemente, a condução de estudos nessas áreas requer atuação tanto nas fronteiras do conhecimento quanto nos limites do que podem oferecer os recursos das tecnologias e dos métodos. As atividades decorrentes desses estudos geram novos paradigmas, criam soluções inovadoras tecnológicas e sustentam futuros novos serviços de observação e monitoramento da Terra, que inevitavelmente alteram o cotidiano da sociedade.

Para a prospecção das Ciências Espaciais, consideraram-se as seguintes questões orientadoras:

- Análise da evolução provável das Ciências Espaciais e estratégias possíveis para um país em desenvolvimento como o Brasil contribuir para os avanços das Ciências Espaciais.
- Aspectos regionais de fenômenos das Ciências Espaciais e aplicações dessas ciências para o Brasil e a América do Sul, considerando potencialmente seus impactos para a sociedade, seja, por exemplo, em termos de economia, tecnologia ou ambiente de vida.
- As interrelações das Ciências Espaciais com (a) as Ciências do Sistema Terrestre, (b) a computação de alto desempenho, e (c) as tecnologias envolvidas em sistemas de observação, envolvendo, por exemplo, satélites, plataformas suborbitais e sensores de superfície.
- As necessidades de recursos humanos, de formação de recursos humanos, de recursos computacionais e de sistemas de observação para o avanço com excelência nas Ciências Espaciais.

Inicialmente, uma vez que o estudo contratado ao especialista internacional, que receberá a identificação CPA-055-2006, ainda não havia chegado a época da primeira versão deste relatório, uma prospecção feita por especialistas do INPE foi realizada, que teve por base principal as informações dos seguintes documentos:

- National Research Council The Sun to the Earth - and beyond. A Decadal research strategy in solar and space physics, 2003. p. 176.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) Space 2030 Exploring the Future of Space Applications, 2004. p. 234.
- NASA 2006 NASA Strategic Plan, 2006. p. 48.
- ESA ESA's Report to the 36th. COSPAR Meeting, Beijing, China, July 2006. p. 149.
- Indian Space Research Organization Space Research in India (Jan. 2004 - Dec. 2005). Scientific Report prepared to COSPAR 2006, China, 2006. p. 147.
- MCT Estudo PROSPECTAR um estudo de prospecção tecnológica nacional. Brasília, 2003. p. 584.
- Treumann, R. A. Perspectives in Space Plasma Theory. Advances in Space Research, 37:1482-1496, 2006.

Nesta segunda versão, relata-se que a prospecção feita pelo consultor internacional confirma e complementa as tendências e prioridades já identificadas. As análises da prospecção em Ciências Espaciais devem ser continuadas e aprofundadas em 2007.

Dessa prospecção, os seguintes conteúdos foram evidenciados:

- Aplicações para a segurança de satélites, estações espaciais e sondas interplanetárias;
- Uso de serviços meteorológicos e de emergência baseados em satélites;
- Desenvolvimento de satélites de telecomunicações;
- Implementações de um conjunto amplo de aplicações espaciais com conseqüências civis, tanto públicas quanto privadas;

- Exploração da área de serviços de lançadores civis, podendo ter impacto econômico e de mercado ;
- Pesquisas para desenvolvimento em astronáutica e aeronáutica;
- Pesquisas para as ciências biomédicas;
- Uso de aplicações ou desenvolvimentos espaciais para a medicina;
- Pesquisas de Ciências Espaciais para posição de vanguarda no conhecimento;
- Pesquisas de Ciências Espaciais para indução de inovações tecnológicas Espaciais;
- Transferência de aplicações espaciais para o cotidiano da sociedade
- Uso de telescópios no espaço para observações remotas muito distantes e mesmo na origem do Universo;
- Implementações de novas tecnologias observacionais para objetos muito distantes, identificando a física e a química;
- Novos conceitos mecânicos e eletrônicos para permitir melhores missões pelos satélites;
- Missões de satélites e sondas com otimização de concepção para observar e monitorar astros, resultando em benefícios científicos e tecnológicos para acompanhamento das mudanças globais na Terra, melhores registros de clima, tempo e comoções naturais;
- Estudos de clima espacial, focando entendimento de processos e aplicações;
- Acoplamento Sol-Terra;
- Pesquisas de interação atividade solar e efeitos tecnológicos;
- Relação do clima espacial e das condições atmosféricas e climáticas;
- Implantação de antena de espaço profundo para integrar-se a *deep space antenna network*, com várias conseqüências benéficas para o INPE, por exemplo, nos estudos do clima espacial do Instituto;
- Modelos teóricos e computacionais para a física de plasmas espaciais e eletrodinâmica planetária, podendo ter várias aplicações potenciais para a sociedade;
- Estudos da Lua, Marte e outros planetas do sistema solar;
- Estudos de exoplanetas;
- Estudos de astrobiologia;
- Experimentos de microgravidade;
- Novas tecnologias na superfície para observação do espaço;
- Plataforma multimissão para balões estratosféricos, tanto para uso científico como para ser utilizada no desenvolvimento e testes de equipamentos e dispositivos para satélites e cargas úteis científicas;
- Lançamento de balões estratosféricos para vôos transoceânicos de longa duração;
- Sistemas aprimorados para resgate de carga útil de plataformas sub-orbitais;
- Pesquisas do Eletrojato Equatorial e Anomalia Magnética do Brasil, podendo ter inúmeras aplicações para a sociedade brasileira;

- Pesquisas da química atmosférica e da eletrodinâmica atmosférica, podendo ter inúmeras aplicações para a sociedade;
- Investigação dos processos e efeitos no sistema acoplado Sol-magnetosfera-ionosfera-atmosfera-biosfera.

Como resultado das considerações e informações anteriores, obtiveram-se, para as Ciências Espaciais do INPE, as oportunidades e desafios, diretrizes e ações e, por último, alguns resultados esperados, expostos a seguir:

### **Oportunidades e desafios**

1. Estabelecer um programa de pesquisas do Clima Espacial (Anexo 1), fomentando pesquisas de vanguarda em Ciências Espaciais, a implantação de um centro de monitoramento magnetosférico-ionosférico, como também da alta atmosfera e a criação de tecnologias, com a disseminação de conhecimentos e tecnologias para subsidiar ações em benefício da sociedade.
2. Consolidar um núcleo de astrofísica robusto e inovador com forte desempenho no desenvolvimento instrumental, podendo impulsionar avanços tecnológicos com benefícios para a sociedade.
3. Consolidar um centro de excelência para lançamentos de balões, para observações in-situ, observações remotas e testes de equipamentos para observações espaciais e atmosféricas, auxiliando as pesquisas científicas e inovações tecnológicas.
4. Implantar uma antena para o espaço profundo (deep space antenna), para inserção nos projetos internacionais de observação do ambiente espacial e, principalmente, nas pesquisas de tempo e clima espaciais.
5. Consolidar as Ciências Espaciais identificando nichos para pesquisas avançadas, visando a excelência internacional e impacto de atuação junto às instituições nacionais.
6. Ampliar recursos para a rede de coleta de dados científicos por experimentos de solo (observatório astrofísicos, magnéticos e aeronômicos; rádio-sondadores, redes de GPS, etc.) e embarcados (em balões, foguetes e satélites), e a implantação de uma antena de espaço profundo (deep space antenna), estratégicos para as áreas de modelagem e pesquisas observacionais do INPE com impacto futuro.

### **Diretrizes e ações**

1. Formar uma equipe completa de alta competência em tópicos de vanguarda e capacidade de solução em Ciências Espaciais.
2. Auxiliar na formação de núcleos em Universidades e na atualização dos conhecimentos dos professores, a partir da estruturação do INPE como uma referência inequívoca em Ciências Espaciais e da utilização de métodos modernos de comunicação e interação.
3. Implementar cooperações de Ciências Espaciais com impacto também nas Tecnologias Espaciais do INPE.

4. Aprofundar o conhecimento detalhado de processos naturais críticos relativos ao ambiente espacial que afetam a Terra e, em particular, a região brasileira.
5. Recompôr o número necessário de profissionais altamente qualificados no INPE para condução das Ciências Espaciais, com impacto de Estado do Brasil perante as relações internacionais em seus vários sentidos (por exemplo: Economia, Meio Ambiente, Tecnologia, Segurança Nacional, etc).
6. Estabelecer uma equipe completa para um centro de Clima Espacial e processos ionosféricos, envolvendo, por exemplo, engenheiros de software e matemáticos aplicados especializados para desenvolvimento de novos algoritmos e códigos, considerando inclusive computadores de alto desempenho (estimativa de 60 pessoas a mais e a infra-estrutura para esse centro).

Como resultado da consolidação das Ciências Espaciais, espera-se permitir ao Instituto:

- realizar pesquisas em tópicos avançados espaciais e atmosféricos, liderando, no Brasil, o desenvolvimento de conhecimentos científicos e tecnológicos de vanguarda, tornando-se referência em questões espaciais e atmosféricas para as políticas brasileiras, universidades/institutos e empresas tecnológicas.
- implementar novos conceitos tecnológicos para a pesquisa espacial e atmosférica, podendo impulsionar desenvolvimentos tecnológicos inovadores, que serão de utilidade para a sociedade brasileira.
- representar a visão de vigoroso esforço para a exploração ousada dos domínios do espaço e da atmosfera, com desenvolvimento da tecnologia espacial para uso do espaço e da atmosfera, relacionado ao atendimento das necessidades presentes e futuras da sociedade brasileira.
- contribuir para o Brasil representar a visão de Estado verdadeiramente capaz e soberano junto aos demais Estados internacionais, com contribuições científicas e tecnológicas.

## 2.2 Ciências do Sistema Terrestre

A síntese dos resultados alcançados pelo GT-7 relativos à prospecção em ciência e tecnologia para o domínio de busca estabelecido como Ciências do Sistema Terrestre (Earth System Sciences) se encontra no documento “*Summary Report of the Expert Panel on Earth System Sciences resulting from plenary discussions on the central questions posed to the Expert Panel and to the participants of the meeting*” (contido no documento CPA-029-2006).

Esse documento reflete o resultado da dinâmica estabelecida para o Painel de Especialistas montado para o estudo deste Tema. Este documento apresenta as respostas de um conjunto de seis (6) questões apresentadas e debatidas no período de 30 de novembro a 2 de dezembro/2006 com participantes refletindo as áreas de Meteorologia, Ciências Espaciais, Engenharia, Observação da Terra e Tecnologias Associadas do INPE além de convidados externos, participando como observadores, como o INMET e a USP.

Considerando a posição singular do INPE no cenário nacional, que conta com:

1. um centro consolidado na área de previsão de tempo e clima com extensivo uso de modelos numéricos computacionais apoiados em máquinas de alto desempenho;
2. uma atuação e um centro consolidado na área de aplicações de dados de sensoriamento orbital e com o controle da operação de satélites e estações de coleta, recepção e distribuição de dados orbitais variados;
3. uma interlocução importante para os sistemas de decisão nas áreas ambientais e climáticas;
4. uma história de competência técnico-científica, que inclui grupos de excelência com trabalhos em várias das áreas associadas ao domínio de busca Ciências do Sistema Terrestre;
5. uma experiência consolidada em cooperações técnico-científicas internacionais com diversos graus de participação em grandes projetos interdisciplinares e inter-institucionais,

uma janela de oportunidade se apresenta para o estabelecimento de uma agenda técnico-científica avançada, mobilizadora e integradora. Para isso faz-se necessário planejar e organizar as vocações institucionais, ampliando a agenda científica para além das mudanças climáticas, com um caráter único e inovador, um foco temático na interface entre Ciências do Sistema Terrestre e uma agenda de Desenvolvimento para o País. Essa temática, no escopo da prospecção, requer uma organização interna para o estabelecimento no INPE de uma agenda focada em Ciências do Sistema Terrestre e Desenvolvimento.

Decorrentes das discussões e análises do painel de especialistas para as Ciências dos Sistemas Terrestres apresentam-se a seguir:

### **Oportunidades e Desafios**

1. Embora não exista uma definição universalmente aceita para o campo da Ciência do Sistema Terrestre (Earth System Science) é claramente reconhecido que ela é parte de um processo que vem se estabelecendo e se consolidando desde os anos 80, que estabelece uma visão integrada para a compreensão do funcionamento do planeta Terra, envolvendo as interações e os acoplamentos entre os seus sistemas naturais e os sistemas sociais. A demanda para ampliar os esforços de integração entre diferentes disciplinas nos domínios de conhecimento necessários ao estudo do planeta como um sistema complexo tem crescido e está associada ao campo da Ciência do Sistema Terrestre que tem sido entendido como central para o futuro de nossa sociedade.
2. No novo campo da Ciência do Sistema Terrestre, a área das interfaces entre componentes do sistema e as questões relativas ao acoplamento entre as diferentes escalas dos fenômenos envolvidos, apresenta oportunidades e desafios para a pesquisa científica e tecnológica no estado-da-arte.
3. A agenda científica para a Ciência do Sistema Terrestre é mais ampla que a agenda dominante de mudanças climáticas, e este fator se apresenta como uma oportunidade para trabalhar de forma mais integrada incluindo as interações entre a Terra e o Sol, a química da atmosfera, a geofísica espacial, os processos de mudança de uso e cobertura da Terra, entre outros.

4. A atividade espacial é parte integral e fundamental no campo da Ciência do Sistema Terrestre. É este fato que apresenta grandes oportunidades e desafios para os programas operacionais de observação da Terra por satélites e os de coleta de dados in-situ. Novas tecnologias para sensores, para estações de coleta in-situ, inovação nos métodos de análise para os dados existentes e futuros e estratégias que melhorem a razão custo/benefício de programas satelitários, considerando a crescente necessidade de coleta e de análise de dados, são vitais para o sucesso do campo técnico-científico definido em torno da Ciência do Sistema Terrestre. Em particular, a área de assimilação de dados apresenta crescente oportunidade, considerando que ela agrega valor as observações obtidas.
5. Um desafio importante: dados sócio-econômicos são parte integral do campo definido pela Ciência do Sistema Terrestre. A integração deste tipo de dado com os dados de caracterização da paisagem física precisa ser equacionada.
6. O desenvolvimento de uma nova geração de modelos integrados e de novas técnicas de assimilação de dados exige recursos humanos especializados, que por ora não existem em disponibilidade, e que devem vir de diferentes recortes disciplinares. Esta situação oferece uma oportunidade para a construção de capacidades no setor. Por exemplo, as novas arquiteturas dos computadores envolvidos neste nível de modelagem necessitam de cientistas da computação, programadores e matemáticos com perfil e formação adequados para enfrentar este desafio. A oportunidade está aberta para fomentar esta formação.
7. A Ciência do Sistema Terrestre requer uma grande melhoria na comunicação entre os domínios das ciências naturais e das ciências sociais. Embora esse seja um processo de tempo mais longo que requer das duas comunidades a vontade em desenvolver uma linguagem comum e uma apreciação mútua, há aí oportunidades e desafios relacionados ao desenvolvimento deste mecanismos de interação, que requerem para já iniciativas educacionais inovadoras.
8. O desafio levantado pela questão, sem resposta, de como obter desenvolvimento social com base na equidade enquanto, ao mesmo tempo, se reduz a pressão sobre as variáveis ambientais do sistema, é a grande oportunidade para a formulação de uma agenda para as aplicações e inovações derivadas de um programa em Ciência do Sistema Terrestre, que chamaremos aqui de Ciência do Sistema Terrestre Aplicada.
9. Identifica-se ainda que o esforço de aprimorar e ampliar as pesquisas em sensoriamento remoto e suas aplicações possibilitam desenvolver capacidades de vanguarda para atender as necessidades científicas e tecnológicas da missão do Instituto, com impacto no país.

### **Diretrizes e Ações**

1. Uma contribuição única para um programa em Ciência do Sistema Terrestre, no caso do Brasil, seria o seu estabelecimento em torno de uma temática: Ciência do Sistema Terrestre e Desenvolvimento, que não se encontra na agenda global e estabelece uma necessidade do país.
2. Um programa em Ciência do Sistema Terrestre deve ser visto como um elemento fundamental para qualquer programa de desenvolvimento, uma vez que são os setores mais desprovidos da sociedade aqueles mais afetados pelas mudanças climáticas e ambientais. Por isso, as aplicações do programa devem procurar tratar da gestão de

ecossistemas, biodiversidade, urbanização, segurança alimentar, disponibilidade de água, ciclo de carbono, suprimento de energia e saúde humana.

3. Um programa em Ciência do Sistema Terrestre, no INPE, deve promover a capacitação e formação de recursos humanos através da elaboração de um programa de pós-graduação, que deve observar e estabelecer as colaborações necessárias com outros programas similares e/ou em áreas complementares já existentes no país e no mundo.
4. Para o estabelecimento de uma nova agenda de pesquisa científica e tecnológica com base na Ciência do Sistema Terrestre, a abordagem indicada é o estabelecimento de um nó líder para o programa, que está fortemente conectado a uma rede de instituições participantes do programa. Para o nó líder do programa, um staff de 200 profissionais, entre cientistas e engenheiros, e que inclui cientistas sociais, é uma estimativa inicial. O INPE foi apontado como tendo todo o potencial para ser este nó líder do programa, caso os recursos necessários sejam disponibilizados.
5. Nos próximos 5-10 anos, o desenvolvimento de uma nova geração de modelos e de métodos análise de dados vai necessitar de um pequeno número de centros de modelagem com facilidades computacionais com a capacidade de cálculo na ordem de petaflop (capability machines) e vários outros centros com facilidades computacionais com a capacidade de cálculo na ordem de teraflop (capacity machines). O Brasil deve buscar estabelecer facilidades computacionais da ordem de teraflop, e deve estabelecer uma forte conexão com as facilidades globais na escala de petaflop.
6. O programa brasileiro em Ciência do Sistema Terrestre deve centrar sua operação em produzir, em bases regulares, cenários ambientais de 1 a 10 anos, com modelos em escala local e regional, e trabalhar em cooperação estreita com os centros que produzem projeções de 100 anos na escala global.
7. O programa brasileiro em Ciência do Sistema Terrestre deve envolver cientistas sociais desde sua fase de planejamento, e deve criar espaços de aproximação entre as comunidades através de oficinas, encontros e projetos conjuntos, que apresentem questões que sejam percebidas como desafios para ambos os campos.
8. O programa em Ciência do Sistema Terrestre deve ter como meta a produção regular de um boletim que divulgue para toda a sociedade uma síntese de sua temática: O Estado do Ambiente e do Desenvolvimento no Brasil. Esta experiência pode ser expandida para toda a América do Sul, estabelecidas as colaborações necessárias.

### 2.3 Tecnologias Espaciais

Tecnologia espacial compreende o projeto, desenvolvimento, testes e operação de plataformas espaciais. Estas plataformas compreendem satélites em órbita da Terra, espaçonaves para missões planetárias, e módulos pressurizados para vôo tripulado. A prospecção realizada pelo GT-7 em Tecnologia Espacial foi focada em satélites.

A prospecção foi realizada por meio de consulta a:

- Documentos (artigos, livros, *reviews*, etc),
- Especialistas do INPE e,
- Contratação de um *position paper* a um especialista estrangeiro sobre o tema.



Quanto ao *position paper* (CPA-048-2006), o documento foi entregue recentemente e passou por uma revisão de especialistas do INPE, que o consideraram satisfatório para o segmento espacial; mas com pouca informação em relação ao segmento solo e a Integração&Testes. Por outro lado, mesmo em relação ao segmento espacial, alguns pontos que precisavam de maior esclarecimentos foram levantados e enviados ao autor. As respostas a essas questões, à exceção de uma ainda não respondida, estão no Anexo 2. De uma maneira geral, as grandes tendências de desenvolvimento para a tecnologia espacial, apontadas no *position paper*, corroboram com as informações colhidas pela prospecção realizada internamente pelo GT-7. De qualquer maneira, o *position paper* traz uma série de informações específicas que, em conjunto com os esclarecimentos enviados pelo autor sobre algumas questões levantadas por especialistas do INPE, estão sendo muito úteis na definição de oportunidades de P&D na área. Essa análise de tendências e prioridades precisa ser continuada e aprofundada a partir de 2007.

O escopo do trabalho de prospecção realizado sobre a documentação disponível e na consulta a especialistas do INPE foi colocado como o termo de referência para o *position paper*, conforme descrito a seguir:

1. An analysis of current status and its likely evolution for the next 5, 10 and 20 years of mission and satellite architectures for telecommunications, meteorological, Earth observation and scientific applications;
2. An analysis of current status and its likely evolution for the next 5, 10 and 20 years of type of payloads for telecommunications, meteorological, Earth observation and scientific applications;
3. An analysis of current status and its likely evolution for the next 5, 10 and 20 years of System Engineering and Product Assurance for satellite design;
4. An analysis of current status of satellite subsystem technologies and its likely evolution for the next 5, 10 and 20 years;
5. An analysis of current status of satellite ground segment technologies and its likely evolution for the next 5, 10 and 20 years;
6. An analysis of current status of satellite test and integration technologies and its likely evolution for the next 5, 10 and 20 years;
7. Identification of new technologies and processes that may significantly affect the development of satellites, their subsystems and payloads in the future.

A seguir são descritos as principais conclusões obtidas a partir da leitura da documentação disponível e da consulta aos especialistas do INPE.

### **Em relação à Missão dos satélites**

#### 1) Satélites de telecomunicações:

- Satélites GEO comerciais devem continuar a crescer em tamanho e potência.
- Arquitetura tipo constelação pode “renascer” no futuro.

#### 2) Satélites de observação da Terra/meteorológicos:

- Tendência à “miniaturização” e utilização de constelações, em conjunto ou não com GEOs, para dar cobertura global com baixo tempo de revisita e possibilidade de monitoramento em tempo real em várias escalas.
- Conceito de satélites integrados a uma rede de sensores terrestres e aero-transportados: *sensorweb*.

### 3) Satélites científicos:

- Existe uma grande diversidade de tipos de satélites científicos em razão dos diferentes tipos de missões a que eles se destinam. Todavia, em relação ao passado, existe uma tendência à utilização de plataformas espaciais menores para atender este tipo de aplicação, mesmo em missões planetárias e futuros telescópios espaciais. Estes tipos de missões também são mais propícias a cooperação internacional.

### 4) Satélites de posicionamento:

- Modernização das constelações existentes (GPS e GLONASS); criação de novas constelações para uso global (GALILEO) e regional (China e Índia).

### **Em relação à Tecnologia dos satélites**

- Novas tecnologias em MEMS, materiais, TI, antenas, etc, permitiram uma redução no tamanho dos satélites/cargas úteis e aumento de desempenho funcional. Os telecoms GEO continuam aumentando de tamanho/potência pela forte demanda por capacidade de transmissão de dados (quanto mais transponders, melhor).
- Aumento na densidade e/ou quantidade de potência exige desenvolvimento/utilização de novas tecnologias para o controle térmico.
- Missões SAR, grandes satélites telecom GEO exigem utilização de grandes estruturas *deployable* no espaço.
- Intensa pesquisa no melhoramento do desempenho de células solares e novos tipos de baterias.
- Aumento da capacidade de processamento de dados *on board*; satélites inteligentes.
- Nanotecnologia é provavelmente a tecnologia de maior impacto no longo prazo. Os desenvolvimentos nos próximos 10 anos serão mais em pesquisa.

### **Em relação ao Segmento Solo**

- Tendência à redução de tamanho e automação das estações de recepção de sinais e de controle/monitoramento de satélites.

### **Em relação à Integração e Testes**

- Tendência à busca de otimização dos procedimentos/seqüência de realização dos testes ambientais e funcionais (em laboratórios com grande cadência de satélites).
- Com a instalação da nova câmara vácuo-térmica do LIT (última *facility* incorporada no processo de expansão do laboratório), o INPE irá dispor de todos os meios necessários para realizar todas as atividades de I&T para os programas de satélites antevistos de se materializarem dentro do horizonte do PE.

## **Alguns comentários gerais sobre tecnologia e aplicações espaciais**

- Novas tecnologias permitiram o surgimento de novas aplicações. Tecnologias terrestres mais competitivas economicamente minaram algumas aplicações espaciais.
- A viabilidade de uma aplicação espacial depende não somente da sua demanda, mas também da sua viabilidade técnica e se será atrativa, economicamente ou *estrategicamente*, aos usuários.
- *drive* de uma aplicação espacial pode mudar com o tempo.
- Aplicações comerciais requerem sistemas altamente confiáveis. Tendência ao uso de tecnologias consolidadas.
- Custo de acesso ao espaço é um fator limitante para utilização de novas aplicações. Pouco progresso esperado no acesso ao espaço nos próximos 30 anos.
- Estes fatores provavelmente continuarão a ser importantes no desenvolvimento do setor espacial no futuro.
- No projeto de seus satélites, o INPE tem levado em consideração o problema da geração de detritos espaciais (space debris) como "recomendação de projeto", mas não existe no instituto um procedimento formalizado sobre a matéria. Seria oportuno que o assunto fosse tratado de maneira mais formal, através da elaboração de normas que entrassem como requisitos de projeto no desenvolvimento de novos satélites, bem como por meio da participação de representantes do Instituto em organizações internacionais sobre o tema, como a Inter-agency Space Debris Coordination Committee.

### **Em relação a idéia-força**

- Estabelecer um programa de satélites tecnológicos para qualificação "em vôo" de tecnologias estratégicas para atender as demandas das missões espaciais brasileiras daria foco e objetivo aos programas de P&D da ETE, que passariam a contar com recursos específicos. A pós-graduação da ETE e de outras áreas do INPE também seriam afetadas positivamente com um programa como esse, na medida em que haveria a possibilidade de trabalhos de dissertação/tese estarem associadas diretamente a um produto/tecnologia que seriam testados em vôo. Os produtos, satélites e cargas úteis, advindos deste programa poderiam também ser desenvolvidos em conjunto com a indústria e universidades brasileiras, atendendo também as demandas de capacitação industrial e formação de recursos humanos para o setor espacial. Embora com o caráter primordial de missão tecnológica, os satélites deste programa poderiam ser construídos de forma a contar com um nível de confiabilidade que atendessem as missões operacionais com certo risco, desta forma oferecendo oportunidades adicionais para concretização de missões de aplicação (observação da Terra, telecomunicações, meteorológicas, científicas, etc). O desenvolvimento dessa atividade se daria simultaneamente com a aquisição de capacidade para especificar / projetar / desenvolver / testar / operar satélites com alto índice de compactação (razão massa/volume do satélite) e de automação (capacidade de autogerenciamento, processamento interno de sinais/dados, etc).

### **Oportunidades e Desafios**

## **Segmento espacial, por sistemas e sub-sistemas**

- Sistemas: Capacitação em técnicas modernas de automação na concepção, documentação e acompanhamento de sistemas.
- Controle térmico: Capacitação (especificação/projeto/desenvolvimento/qualificação) em dispositivos/técnicas para lidar com satélites que apresentem regiões com alta densidade de dissipação térmica.
- Potência: Desenvolvimento de dispositivos (baterias e células solares) com alto desempenho e baixa massa.
- Estruturas/Mecanismos/Projeto Mecânico: Adquirir capacitação no desenvolvimento/projeto/especificação de grandes estruturas flexíveis. Desenvolver metodologia para projeto da arquitetura mecânica com alto empacotamento.
- Propulsão: Qualificação espacial de propulsores iônicos para satélites GEO e LEO. Desenvolvimento de propulsores de apogeu para satélites GEO.
- Supervisão de bordo: Desenvolvimento de sistemas com alta capacidade de processamento e de autonomia funcional podendo utilizar técnicas de empacotamento eletrônico, de engenharia de software e de inteligência computacional.
- Controle de atitude: Capacitação em dispositivos e softwares para controle de satélites em 3 eixos visando alta capacidade de automação (independência de operação remota).
- Comunicações: Capacitação em dispositivos/técnicas que incrementem significativamente a capacidade de transmissão de dados do satélite (antenas, transmissores, receptores, etc), mas que apresentem alto índice de compactação.
- Cargas úteis:
  - Desenvolvimento de imageadores ópticos que incorporem tecnologias/soluções avançadas de compactação de sistemas ópticos e de alta integração de plano focal.
  - Capacitação em imageadores SAR (Radar de Abertura Sintética)
  - Capacitação em compressão de dados de alta taxa sem perdas

## **Segmento solo**

- Capacitação (hardware e software) em estações de rastreamento/controlado com alto índice de automação.
- incentivar projetos de verificação, validação e teste de software voltados para definição de um procedimento de aceitação de software (adquiridos de terceiros ou desenvolvidos pelo INPE) para a área espacial, como uma forma de melhorar a qualidade do produto.
- ampliar a atuação do INPE no Consultive Committee for Space Data Systems (CCSDS).

## **Integração e Testes**

- Aprimorar a infra-estrutura de integração e testes de satélites e suas partes

## Diretrizes e ações

- Direcionar os projetos de P&D para o desenvolvimento das tecnologias consideradas estratégicas para as futuras missões.
- Garantir que o desenvolvimento de novas tecnologias seja subsidiado pelos programas de satélites operacionais.
- Incentivar a parceria com universidades/indústrias no desenvolvimento de satélites tecnológicos como forma de qualificar as novas tecnologias.
- Na medida do possível, utilizar os satélites operacionais como plataforma para qualificar experimentos tecnológicos.
- Definir um processo de desenvolvimento de software que privilegie a automatização das estações de rastreamento e controle.
- Aumentar e capacitar o efetivo de recursos humanos das áreas.
- Atualizar e incrementar a infra-estrutura laboratorial das áreas.

## 2.4 Tecnologias Espaciais Associadas

A Tecnologia Espacial Associada caracteriza-se por um perfil predominantemente científico, voltado a temas direta ou potencialmente ligados ao campo de atividades espaciais, ou em áreas estratégicas de P&D nas quais seus pesquisadores possuem reconhecida competência.

A pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias associadas à aplicação espacial sempre foram considerados estratégicos em países desenvolvidos. Do universo destas tecnologias, o Brasil possui algumas delas em empresas, centros de pesquisa e universidades, em diferentes graus de desenvolvimento. Um investimento nessa área leva geralmente a um retorno em curto prazo para a sociedade através da transferência destas tecnologias para as empresas nacionais, gerando novos produtos com tecnologia agregada e empregos.

A prospecção foi realizada por meio de consulta a:

- Documentos (artigos, livros, *reviews*, etc),
- Especialistas do INPE e,
- Contratação de um estudo a um especialista estrangeiro sobre o tema. Este não foi entregue até a presente data; somente um *draft*.

O escopo do trabalho de prospecção realizado sobre a documentação disponível e na consulta a especialistas do INPE foi colocado como o termo de referência para o estudo (CPA-047-2006). Por necessidade específica, uma prospecção interna complementar ao documento do consultor internacional foi realizada (Anexos 3 e 4). Os aspectos principais da prospecção em Tecnologias Espaciais Associadas estão descritos a seguir:

*The study shall focus on those topics with key advances foreseen to happen in a time frame of 5, 10 and 20 years from now.*

*1. PLASMA technologies encompassing, for example:*

- *Ion thrusters*
- *Detectors and instruments for scientific satellites*

- *High temperature plasmas applied to alternative energy source*
  - *Plasma technology for developing materials intended for space applications*
2. *SENSORS AND MATERIALS encompassing, for example:*
- *Solar cells, solar panels (miniature devices)*
  - *Electrodes, batteries and capacitors*
  - *Diamond films and related materials, solid lubricants*
  - *Infrared sensors and Environmental sensors*
  - *MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)*
  - *Metalic Alloys, nanostructured ceramics and composite materials*
  - *Microgravity experiments for materials*
3. *COMBUSTION AND PROPULSION encompassing, for example:*
- *Propulsion systems for orbit correction, attitude control, apogee motors and auxiliary propulsion*
  - *Modeling of combustion chambers*
  - *Hybrid propulsion systems for transport of small payloads into LEO*
  - *Scramjets*
  - *Combustion in microgravity*
4. *COMPUTATIONAL MODELING AND HIGH PERFORMANCE COMPUTING FOR SPACE AND ENVIRONMENTAL APPLICATIONS encompassing, for example:*
- *Computational and mathematical modeling*
  - *System and software engineering and information system security*
  - *Analysis, processing and extraction of information*
  - *Architectures for high performance computing*
5. *Information on human and computational resources and test facilities for developing Associated Space Technologies for the next 5, 10 and 20 years.*

A seguir são descritas as principais conclusões obtidas a partir da leitura da documentação disponível e da consulta aos especialistas do INPE.

### **Em relação a sensores e materiais**

- **Fabricação e Processamento de Materiais de uso espacial.** Apresenta um alto indicador de expectativa de crescimento. Tem disponibilidade média de recursos humanos e financeiro no país, atualmente. Investimentos em infra-estrutura e recursos humanos nesta categoria levarão a um rápido alcance das expectativas (horizonte de realização de 2007 a 2010).
- **Desenvolvimento de sensores para aplicação espacial.** Apresenta uma expectativa de crescimento um pouco menor que a do item anterior; porém conta atualmente com

menor disponibilidade de recursos no país, necessitando, portanto de maiores investimentos visando resultados mais objetivos (horizonte de realização de 2008 a 2012).

- Três fontes de energia (células solares, células térmicas e baterias com células a combustível) apresentam um alto indicador de expectativa de crescimento e contam atualmente com disponibilidade média de recursos no país. A geração de energia para a aplicação espacial é uma área estratégica que necessita, portanto, de recursos direcionados (horizonte de realização de 2007 a 2010).
- Nanotecnologia para aplicação espacial (nanotubos de carbono, supercapacitores, baterias, cerâmicas nanoestruturadas, sistemas de nano-eleto-mecânica NEMS em silício, epitaxia de feixe molecular de nanoestruturas de compostos IV-VI). Com a tendência de redução no tamanho e peso dos dispositivos, apresenta um alto indicador de expectativa de crescimento e conta atualmente com uma disponibilidade média de recursos no país.
- Materiais à base de carbono (diamante CVD, carbono tipo diamante DLC). Estes materiais apresentam alta resistência ao desgaste e baixo coeficiente de atrito, sendo de grande importância na aplicação como lubrificante sólido em sistemas e subsistemas espaciais. Apresentam um alto indicador de expectativa de crescimento e contam com uma disponibilidade alta de recursos humanos e financeiro no país.

### **Em relação a ciência e tecnologia de plasma**

Todas as áreas abaixo apresentam um alto indicador de expectativa de crescimento e contam atualmente com uma disponibilidade baixa de recursos humanos e financeiros no país. Foram observados inúmeros indicativos de investimentos por parte de países desenvolvidos nestas áreas.

- Detectores e instrumentos para satélites científicos.
- Propulsores iônicos.
- Tecnologia de plasma para o desenvolvimento de materiais espaciais.
- Fonte de energia alternativa por plasma de alta energia.
- Desenvolvimento de fontes compactas pulsadas para sistemas embarcados.

### **Em relação à computação e matemática aplicada**

Todas as áreas abaixo apresentam um alto indicador de expectativa de crescimento e contam atualmente com uma disponibilidade média de recursos humanos e financeiros no país. Foram observados inúmeros indicativos de investimentos por parte de países desenvolvidos nestas áreas. O horizonte de realização é de 2007 a 2009.

- Modelamento computacional e matemático.
- Implementação de métodos matemáticos inovadores.
- Sistemas e softwares de engenharia e segurança de sistemas de informação
- Análise, processamento e extração da informação.
- Pesquisa de desenvolvimento de programas para arquiteturas de alto desempenho.

### **Em relação a combustão e propulsão**

Todas as áreas abaixo apresentam um alto indicador de expectativa de crescimento e contam atualmente com uma disponibilidade média de recursos (humanos e financeiros) no país.

- Propulsores mono e bipropelentes para controle de órbita, atitude, motores de apogeu e rolamento.
- Instabilidades da combustão, ignição e transientes em câmaras de combustão e propulsão.
- Queima de gotas e sprays.
- Modelagem e simulação escoamentos reativos multifásicos e transferência de calor em câmaras de combustão e propulsão.
- Catalisadores para sistemas de propulsão espacial.
- Células a combustível.
- Propulsão por plasma pulsado.
- Propulsão híbrida para motores de apogeu, foguetes e pequenos lançadores.
- Ramjets e Scramjets.
- Combustão em microgravidade
- Flamabilidade de materiais

### **Alguns comentários gerais sobre Tecnologia Espacial Associada**

As tecnologias associadas à aplicação espacial apresentaram de um modo geral alto indicador de expectativas de crescimento com uma disponibilidade média de recursos no país. Investimentos em infra-estrutura de pesquisa e em recursos humanos nestas áreas serão com certeza muito bem aproveitados, pois apresentam um retorno rápido para a sociedade, já que essas tecnologias, quando transferidas para a indústria nacional, geram novos produtos com alto valor agregado e empregos.

Considerando o INPE na área da Tecnologia Espacial Associada, hoje podem ser verificados mais de 60 projetos já concluídos ou em andamento em pesquisa e desenvolvimento de produtos e sistemas para o setor aeroespacial (Anexo 5). Muitos destes projetos em parceria com os outros eixos de atuação: Tecnologias espaciais, Ciências do Sistema Terrestre e Ciências espaciais. Essas parcerias tendem a aumentar como consequência natural da interação entre as áreas do INPE sob o planejamento estratégico.

Atualmente a Tecnologia Espacial Associada também tem atendido algumas das demandas de pesquisa e desenvolvimento de produtos e sistemas das empresas da área aeroespacial. Exemplos desta categoria compreendem o desenvolvimento de lubrificantes sólidos (DLC) para a Fibraforte e simuladores para a qualificação de painéis solares para a Orbital.

### **Quanto à idéia-força**

Como em termos de prospecção das áreas de pesquisa e desenvolvimento da Tecnologia Espacial Associada é verificado sempre um alto nível de expectativa de crescimento para no



mínimo os próximos 5 anos, abaixo são relatados alguns objetivos estratégicos que visam o avanço institucional, mas que estão diretamente relacionados a questões políticas e organizacionais.

É importante salientar que as observações abaixo, as oportunidades e desafios e as diretrizes e ações estão intrinsecamente relacionadas.

É imprescindível incrementar e melhorar a capacitação humana e de infra-estrutura dos laboratórios associados para ampliação e consolidação tanto das atividades específicas quanto das interações de acordo com a missão do INPE. Não só a Tecnologia Espacial Associada, mas quase todas as áreas do INPE produzem constantemente inovação científica e tecnológica, sendo assim é de grande objetivo estratégico para a instituição a criação de uma área interna de proteção à propriedade intelectual. Pode-se e deve-se aproveitar exaustivamente as competências da Tecnologia Espacial Associada já detectadas, e aumentar sua interação com os outros eixos de atuação do INPE, bem como estimular a obtenção de recursos dentro e fora da esfera do MCT.

### **Oportunidades e Desafios**

- Estímulo das agências de fomento e do MCT/INPE para estudos em cooperação com outros centros de excelência do Brasil e do exterior. Renovação do quadro de funcionários da Tecnologia Espacial Associada em função do elevado número de aposentadorias esperadas para os próximos cinco anos.
- Abertura nas dependências do INPE de um escritório de patentes e de transferência de tecnologias para consolidar as inovações desenvolvidas no Instituto.
- Criação de uma comissão, composta por representantes dos quatro eixos de atuação do INPE, para o estudo de outras intersecções das pesquisas e desenvolvimentos entre a Tecnologia Espacial Associada e as demais áreas.
- Aprofundamento de análises nas seguintes tendências e oportunidades para as tecnologias espaciais associadas: sensores; novos materiais; nanotecnologia; processamento de alto desempenho; modelagem computacional e numérica avançada; técnicas inovadoras de análise, processamento e extração da informação; tratamento de superfícies a plasma; fontes pulsadas compactas; diagnósticos de plasma; fusão termonuclear controlada (energia); propulsão e combustão.

### **Diretrizes e ações**

- Estruturação de uma força-tarefa para atuar constantemente junto ao MCT, MPOG, e outros ministérios (governo) no sentido de facilitar a captação de recursos humanos e financeiros para o INPE.
- Nomeação, dentro de cada laboratório da Tecnologia Espacial Associada, de um representante que ficará responsável pelo contato com o escritório de patentes e transferência de tecnologia.
- Criação de uma ferramenta de busca e informação, a todos os quatro domínios de busca, dos editais em vigência nas agências de fomento (captação de recursos). Realização de um congresso interno do INPE que poderá acontecer de uma forma periódica (interação entre as áreas).

### **3. Comentários adicionais (marketing institucional)**

Ao longo do trabalho do GT7, referente a um prazo de cinco anos, identificaram-se necessidades relacionadas ao marketing científico e tecnológico institucional. Algumas sugestões essenciais, que podem contribuir para isso, são então apresentadas:

- O INPE deveria fortalecer a sua “marca”, com procedimentos de valorização coletiva da comunidade do Instituto e sobrepondo-se ao individualismo.
- Com base no material produzido no PE, o INPE deveria contratar a produção de um livro redigido em um estilo adequado para disseminação e valorização da imagem do Instituto junto à sociedade (Sugestão: O INPE, o Brasil e o Espaço).
- Para disseminação da sua imagem, o INPE deveria aprimorar seus meios de informática para permitir maior acesso da sociedade a recursos desenvolvidos pelo INPE (Observação remota, Ensino à distância de tópicos especiais, etc).
- Caracterização e ampliação de atividades de treinamento, junto à comunidade externa, em tópicos da competência do instituto visando claramente a disseminação de imagem, a transferência de tecnologia, a capacitação de recursos humanos em áreas de fortalecimento de identidade, etc.

### **4. Conclusão**

Os resultados do GT7 podem contribuir fortemente com os objetivos do PE-INPE de criar uma identidade clara do Instituto por meio das suas atividades bem caracterizadas.

## 5. Anexos

### Anexo 1: Clima Espacial

Apresenta-se neste anexo uma visão simplificada e esquematizada do tema Clima Espacial.

Clima Espacial está sendo considerado no sentido de um aumento significativo de entendimento do ambiente espacial e seu impacto na vida e na sociedade, suportando-se com atividades experimentais, teóricas e de modelagens. Embora, para os propósitos do INPE, o tema deva ser considerado em acepção mais ampla, seu conteúdo de forma simplificada, em inglês e extraído do Cawses News – Climate and Weather of the Sun-Earth Systems. Vol. 3 No. 2 Sep. 2006, está descrito como:

- 1) Solar influence on climate
  - Assesment of evidence for the solar influence on climate
  - Investigation of the mechanism for the solar incluence on climate
- 2) Space Weather: science and aplications
  - Enhanced resolution GPS TEC maps
  - Magnetospheric observations
  - Solar sources of geoeffective disturbances
  - Continuous H-alfa imaging Network
  - Space weather applications
  - Models, simulation and data assimilation
  - Coordinate data analysis
- 3) Atmospheric coupling processes
  - Dynamical coupling and its role in the energy and momentum budget of the middle atmosphere
  - Coupling via photochemical effects on particles and minor constituents in the upper atmosphere: solar/terrestrial influences and their role in climate
  - Coupling by electrodynamics including ionospheric/magnetospheric processes
- 4) Space Climatology
  - Solar irradiance variability
  - Heliosphere near-Earth
  - Radiation belt climatology
  - Climatological variation of the ionosphere and upper atmosphere
- 5) Capacity building and education

## **Anexo 2: Resposta do consultor em Tecnologias Espaciais a perguntas de esclarecimento.**

Appendix to Space Technology Study Report

Response to questions and clarification requests

This appendix gives the responses to the different questions coming from INPE.

### **Section 2.3 Technology Procurement**

*What is your suggestion to deal with the international restrictions related to the procurement of the technologies mentioned on your report, especially those coming from ITAR?*

Due to ITAR, you must try to use technologies available outside the USA and to have contacts with others suppliers from Europe, Russia, Japan, China, India... For parts, a solution is the use of COTS. In a first step, selection of parts must to be done for keeping parts able to withstand space radiations eventually with the help of shields. In the second step, use of many selected parts instead of one Hi-Rel part leads to an acceptable circuit but with lower performances, higher mass and higher power consumption.

### **Section 2.6 Brazil's location**

*In your opinion, which are the opportunities for future INPE space missions due to Brazil geographic location?*

For a LEO sun-synchronous polar satellite, the revisiting time of a scene is between 3 days and 26 days and the observation is always done at the same local time. This so long revisiting time is not compatible with some applications which need quasi permanent observation (GEO satellite) or 5 to 10 observations per day (LEO equatorial satellite). Today, meteorological satellite system is designed for good weather prediction over North America and Europe. Do tropical/ equatorial regions need specific instrumentation for a better weather prediction in GEO satellite or in LEO equatorial satellite? Forest fire detection is another opportunity. Today Europe should develop LEO Fuego constellation, similar mission is possible with one LEO equatorial satellite for Brazil or a small payload on a GEO satellite. Precision farming is a mission devoted to the monitoring of agriculture production: irrigation control, plant illness, dryness stress, offer estimate for setting the prize in advance, fertilizer use. Brazil location allows the use of LEO quasi-equatorial satellite. Another application is GEO data relay satellite for LEO satellites over South America, ground or sea beacons, government links...

### **Section 3.1 Telecommunications satellites**

*List the foreseen technologies that will be necessary to design the higher data rate modulators required for the on board future systems (greater than several Gbps)*

**To be completed**

### **Section 6.1 Power Subsystems**

*Give more details on:*

- *Battery charge and discharge electronic management topologies;*
- *Power subsystem new topologies and architectures;*
- *New methods applied to power supply subsystem design and analysis;*
- *New technologies applied to power supply electronic components, manufacturing and process.*

Li-ion batteries are space qualified and offer for this application 100 Wh/kg with an objective of 140 Wh/kg in a near future (180 Wh/kg for ground applications). Their advantages are:

- Low mass,
- High open circuit voltage,
- No memory effect,
- Low self discharge rate.

A unique drawback of the Li-ion battery is that its life span is dependent upon aging from time of manufacturing (shelf life) regardless of whether it was charged, and not just on the number of charge/discharge cycles. So an older battery will not last as long as a new battery due solely to its age, unlike other batteries. At a 100% charge level, a typical Li-ion laptop battery that is full most of the time at 25 °C, will irreversibly lose approximately 20% capacity per year. The capacity loss begins from the time the battery was manufactured, and occurs even when the battery is unused. Different storage temperatures produce different loss results: 6% at 0 °C, 20% at 25 °C, 35% at 40 °C. When stored at 40% charge level, these figures are reduced to 2%, 4% and 15% for the previous temperatures. A stand-alone Li-ion cell must never be discharged below a certain voltage to avoid irreversible damage. Therefore all on-ground systems involving Li-ion batteries are equipped with a circuit that shuts down the system when the battery is discharged below the predefined threshold; this is one of the reasons Li-ion cells are never sold as such to consumers, but only as finished batteries designed to fit a particular system.

It is very difficult to give recommendations for Li-ion battery space uses without to speak of a particular application, furthermore I need to respect industry knowledge.

## **Section 6.2 Structures and Mechanism Subsystem**

- *Give more details on high performance metal like gossamer technologies.*
- *Which kind of metals would be of interest to be used in this kind of technology?*
- *What are the pros and cons of using inflatable structures in space?*
- *Which are the promising manufacturing processes in composites?*
- *Which are the promising ceramics materials?*
- *Which are the design alternatives for low shock pyrotechnic components?*
- *Explain what you mean by "2-axis deployment mechanisms"*
- *Add in your report comments on space application of:*
  - Shape Memory Alloys (SMA)*

- b. Cold welding coating technologies (like Diamond Like Carbon – DLC)*
- c. Hinge mechanism bearing coatings*
- d. Satellite appendices deployment control*
- e. Among the deployable structures, which would be of major interest (boom, mast, lattice, ...)*
- f. Nanocomposites*

Choice of promising technology needs to know firstly the application and secondly the selected architecture and available manufacture means. Many composite types are used in space industry, each of them for specific applications:

- PMC (polymer matrix composite) like CFRP (carbon fiber) or GFRP (glass fiber) or AFRP (aramid fiber),
- MMC (metal matrix composite),
- CMC (ceramic matrix composite),
- CC (carbon-carbon composite).

For example, if we want to manufacture a high resolution telescope, many solutions are possible:

1. Mirrors in Zerodur (glass ceramic with very low thermal expansion) associated with a structure in CFRP with epoxy resin (epoxy is the main resin used for space applications).
2. Mirrors in Zerodur (glass ceramic with very low thermal expansion) associated with a structure in CFRP with cyanate ester resin.
3. Mirrors in Zerodur (glass ceramic with very low thermal expansion) associated with a structure in CC.
4. Mirrors in SiC (isotropic ceramic with medium thermal expansion) associated with a structure in the same SiC.

The 4 solutions give same telescope performances but each induces specific constraints:

This solution needs monitoring of CFRP thermal expansion, of CFRP moisture expansion and of the structure moisture state during ground and space lifetime.

1. This solution needs monitoring of CFRP thermal expansion, with a relaxed monitoring for CFRP moisture expansion and structure moisture state during ground and space lifetime, the cyanate ester resin manufacturing process is more difficult that of epoxy resin.
2. This solution is the best for thermo-elastic but CC use is not so easy (CC procurement, CC mechanical characteristics lower than CFRP, mechanical links between elements).
3. This solution needs the same temperature on all telescope elements (mirrors and structure), use of SiC is not so easy (SiC procurement and machining and assembly, high stiffness and brittle material, complex thermal control).

C-SiC is a CMC which presents anisotropic characteristics, it could be used too for telescope structure but its future main use should be hot structures (for re-entry), hot control surfaces, thermal protection structures.

Classical pyrotechnic devices induce shock. For shock reduction, different solutions are space qualified or in development.

1. The fused release nuts of NEA are easy to use.
2. For solar generator, Fokker has developed a device using a Kevlar cable tightened on a thermal knife, when the knife is warmed up, the cable makes longer then breaks.
3. CNES is developing 2 devices, the first uses heated solder (at higher temperature, solder breaks) and the second uses pyrotechnic device with a calibrated hole.
4. Another solution is the use of Shape Memory Alloys but such materials is limited to ambient temperature, it is good for satellite internal equipment but not for external equipment like a solar generator. It is necessary to do attention to the storage temperature on ground too.

For hinge mechanism bearing, the coating is MoS<sub>2</sub>, another solution is the selection of Carpentier joint which uses springs for a deployment mechanism. In the report, 1 axis deployment mechanism corresponds to a classical solar array. If we consider 3 panels with dimensions 4x2 m, in folded configuration, the SA size is 4x2 m and after deployment, its size begins 12x2 m. In the case of a solar array with 9 panels, with a 2 axis mechanism, in folded configuration the SA size is 4x2 m but after deployment, its size begins 6x12 m. Concerning deployment control, at the stroke departure, energy is given by springs. At the stroke end, it is necessary to introduce a brake:

- With a mechanical brake, a shock appears at the stroke end,
- With an electrical motor, it slows down the moving mass and stops its, then it carries the moving mass to its final position without shock.

Inflatable and rigidization structure correspond to disruptive technology enabling new space applications due to their low mass, their low volume in folded configuration and their low manufacturing cost. Their major applications are relative to orbital assemblies and manned missions today, and to high resolution Earth observation from geostationary orbit in the future. Some technological developments have been done on the below equipments:

- 1 dimension structure
  - o Deployable mast
  - o Aerobraking sail
- 2 dimension structure
  - o Sunshield
  - o Solar sail
  - o Reflect array
  - o Solar array
- 3 dimension structure

- o Solar concentrator
- o Parabolic antenna

## **Section 7.1 Telecommunication payloads**

*Present a trade-off analysis comparing the mechanically steerable antenna (for example, using gimbals) versus the active phase array antenna, focusing the analysis for the Earth Observation Satellite case.*

*Present a trade-off analysis comparing TWTA x SSPA high power amplifiers for the Earth Observation Satellite image data X-band downlink.*

At the end of 90s, during the definition phase of LEO Skybridge constellation, a trade-off between active phase array antenna and mechanically steerable antenna using gimbals has been done. The best solution was the mechanically steerable antenna. This choice is still valid today. The advantages of TWTA high power amplifiers are:

- Better efficiency (around 70%) which induces
  - o Low power consumption,
  - o Low thermal dissipation.

The advantages of SSPA high power amplifiers are, for efficiency half of TWTA one:

- o Lower cost,
- o Lower mass,
- o Lower volume.

The 2 solutions are equivalent in term of reliability and procurement (TWTAs are produced by Thalès, SSPAs are produced by some European manufacturers). Choice between the 2 solutions must be done at system level, particularly for small satellite:

- o In the case where the power budget is critical, TWTA seems to be the good choice,
- o In the case where the mass budget is critical, SSPA seems to be the good choice.

## **Chapter 8 Ground Segment**

- *How do you see, in practice, standards like CCSDS, ECSS, applied to space missions?*
- *How do you see light out operation for complex satellites?*
- *How do you see Ground Station equipment automations?*
- *How do you see operations of a multimission control center?*
- *According the ECSS\_E\_70, a way to ensure mission success in a cost-effective manner is to establish the coordination during all phases of the space system project, between space and ground segment and between ground segment entities. Some critical areas that shall be addressed are:*
  - *Commonality between processes and elements of the ground segment such as AIT and mission operations (e. g. commonality between EGSE and MCS);*



- *Re-use, to maximum possible extent, of space segment operations data (e.g.: telemetry and telecommand list, procedures) between space segment design, AIT and mission operations.*
- *How do you see this way in the future?*

ESA/ESOC approach is not the most efficient due to the complexity of European geographical return rules with the different actors: European agencies, national space agencies, space companies...

An efficient approach is those of Telecommunications satellite commercial market which uses multi-mission control center. Furthermore, the complexity of satellites is increasing with severe competition between the primes.

For each satellite, a specific control center is developed and it is based on a data base common to the different satellites manufactured by a same prime.

The architecture of this data base is very important for cost reduction between different programs and needed important manpower effort in the past by prime. The data base is filled up by the system team and is used by the AIT team and by the control center team, only a few persons are allowed to update the data base. The objectives of AIT team and control center team are not the same so the commonality between EGSE and MCS is very low: the 2 teams could only use some common modules. By conception, the control center is autonomous and does not need permanent presence of men, a small team is under compel, ready to do intervention 24 hours per day if needed. Presence of men is only needed for important maneuvers.

For another satellite, the control center is identical to the previous one (same architecture, same alarms in the same locations...), so an unique team could control easily different satellites. In the case where a satellite needs an improvement of its control center, the other control centers must be retrofitted. In the future, the virtual spacecraft approach will introduce a common data base for all the satellites.

## **Section 10.2 MEMS sensors**

*The use of micro-bolometers for infrared cameras operating in the SWIR bands can be envisaged in a near future?*

No, in the SWIR band, the infrared signal is too low for detection by micro-bolometers. Today for SWIR band, the best detector is Cd Hg Te linear or area array manufactured by Sofradir.

### **Anexo 3: Apreciação do documento contratado de Prospecção em Tecnologias Espaciais Associadas**

Pela existência de algumas lacunas, como também pela forma da prospecção realizada pelo consultor internacional, os especialistas das Tecnologias Espaciais Associadas do INPE sentiram a necessidade de fazer uma apreciação específica sobre o documento do consultor internacional. Uma parte fica aqui descrita para exemplificar. Abaixo os comentários a respeito da prospecção do Dr. Kozlov na área de Materiais e Sensores.

1. Para a área de Sensores e Materiais foram exemplificadas 7 sub-áreas no documento de contrato e foram prospectadas 3 sub-áreas no relatório final elaborado pelo Dr. Kozlov. Ficou entendido que o Dr. Kozlov tinha pouco tempo hábil para realizar a prospecção de tantas áreas e sub-áreas do conhecimento que contemplam a Tecnologia Espacial Associada.
  2. Levando em consideração às condições do contrato (prospecção de muitas áreas do conhecimentos em relativo pouco tempo) foi considerada aprovada a prospecção referente a Materiais e Sensores.
  3. É necessário uma revisão do inglês do documento do consultor, lembrando principalmente dos termos técnicos específicos de cada área do conhecimento.
- consultor contratado baseou-se na literatura russa, o que não é muito recomendado em termos de prospecção para a realidade brasileira.

Para um exemplo mais detalhado, descreve-se a análise sobre a sub-área de microgravidade:

A prospecção feita pelo Prof. Kozlov limita-se, basicamente, a pesquisas relativamente antigas feitas em facilidades russas na MIR e, um pouco mais recentemente na parte russa da ISS. Pesquisas na área de materiais em microgravidade são muito amplas, podendo ser do tipo stand-alone, isto é, o pesquisador envia o próprio equipamento para processamento, ou utilizando as várias facilidades já existentes na ISS. Muitas outras devem ser brevemente colocadas em órbita pelas agencias espaciais ESA e JAXA, assim que tiverem seus módulos acoplados na ISS. Também a NASA, Roscosmos e CSA possuem facilidades multiusuários, por exemplo, fornos para crescimento de cristais, prontas para serem colocados na ISS, dependendo apenas de vaga para lançamento, pois todo o processo foi atrasado devido aos acidentes com os ônibus espaciais. Não se deve esquecer ainda das inúmeras possibilidades de pesquisas em foguetes de sondagem, inclusive brasileiros, cujo custo é menor do que as orbitais. Para uma ampla visão sobre as pesquisas atuais e perspectivas futuras em ciência dos materiais em microgravidade recomenda-se visitar os sites das agências espaciais acima citadas, além do site "Erasmus Experiment Archive" da ESA: (<http://spaceflight.esa.int/eea/index.cfm>).

Dessa forma, uma providência complementar foi realizar um trabalho interno mais intenso de prospecção quanto às Tecnologias Espaciais Associadas, que está apresentado no Anexo 4 deste documento.

## **Anexo 4: Prospecção interna para as Tecnologias Espaciais Associadas (fev. de 2007)**

### **INTRODUÇÃO**

Este documento foi gerado dentro do Planejamento Estratégico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), coordenado pelo Grupo Temático de Prospecção Científica e Tecnológica (GT7), visando proporcionar uma prospecção interna das atividades que podem ser desenvolvidas em Tecnologias Espaciais Associadas, aqui entendidas como pesquisas, desenvolvimentos e inovações em ciências e tecnologias dos plasmas, de sensores e novos materiais, ciência de combustão e tecnologias de propulsão, e ciências da computação e matemática aplicada. Vale ressaltar que esta prospecção foi feita considerando as competências existentes nos laboratórios associados que constituem a Coordenação dos Laboratórios Associados (CTE), ou seja, Laboratórios Associados de Combustão e Propulsão (LCP), de Computação e Matemática Aplicada (LAC), de Plasmas (LAP) e de Sensores e Materiais (LAS), e que ela não é exaustiva. A elaboração deste documento contou com a participação dos chefes dos laboratórios, doutores José Demísio Simões da Silva (LAC), Demétrio Bastos Netto (LCP), Maria Virgínia Alves (LAP) e Irajá Newton Bandeira (LAS). Para o tema específico da Fusão termonuclear controlada, colaborou o Dr. Gerson Otto Ludwig.

Os temas aqui apresentados foram escolhidos considerando a importância da atividade inovativa como condição primária para a obtenção e manutenção da competitividade de países, empresas e organizações, e reconhecendo as competências existentes como ativos estratégicos de grande especificidade. Inicialmente apresentaremos uma breve descrição dos temas considerados como estratégicos, por Laboratório, como relatados pelas chefias dos laboratórios. Ao final, procuraremos apresentar os temas apresentados para as Tecnologias Espaciais Associadas (no escopo do CTE) como um todo, considerando as superposições e complementaridades existentes entre os mesmos.

#### **1. Temas estratégicos identificados dentro das atividades desenvolvidas pelo Laboratório Associado de Combustão e Propulsão (LCP)**

O LCP desenvolve atividades de pesquisa e desenvolvimento em combustão, propulsão e catálise para aplicações espaciais e, como resultado dessas, são também desenvolvidas atividades de pesquisa na área ambiental e de pesquisa e desenvolvimento na área industrial.

A seguir são apresentadas descrições resumidas das atividades estratégicas do LCP.

##### **1.1. Propulsores mono e bipropelentes para controle de órbita, atitude, motores de apogeu e rolamento.**

Os propulsores a monopropelentes utilizam compostos químicos que se decompõem ao atravessar leitos catalíticos e/ou sob a ação do calor. Os monopropelentes mais comuns são a hidrazina  $N_2H_4$  e o peróxido de hidrogênio  $H_2O_2$ . Os propulsores a bipropelentes utilizam uma reação de combustão entre um oxidante e um combustível para produzir os gases em condições adequadas para o emprego na propulsão. Entre as substâncias utilizadas como oxidantes temos o tetróxido de nitrogênio –  $N_2O_4$ , o ácido nítrico –  $HNO_3$ , o oxigênio líquido -  $O_2$  etc. Como combustíveis são utilizados o querosene –  $C_{10}H_{\approx 19}$ , a hidrazina -  $N_2H_4$ , as hidrazinas modificadas monometilhidrazina, MMH–  $N_2H_6C$ , dimetilhidrazina assimétrica, UDMH -  $N_2H_8C_2$ , o hidrogênio líquido –  $H_2$  etc. Na propulsão aeroespacial dá-se preferência

a pares cuja ignição seja espontânea, dispensando o emprego de dispositivos de ignição. Os propulsores a monopropelentes são conceitualmente simples e seu desempenho depende essencialmente da qualidade dos catalisadores empregados. Esses propulsores são utilizados para o controle de órbita e atitude de satélites e sua eficiência global, traduzida pelo parâmetro impulsão específica, é relativamente baixa (cerca de 200 s). Os propulsores a bipropelentes podem chegar a níveis muito elevados de complexidade e o empuxo produzido por eles vai de alguns quilogramas até várias toneladas, com impulsões específicas relativamente elevadas (aproximadamente de 300 a 460 s). São utilizados em diversas funções nos veículos lançadores tais como motores principais e motores de controle de rolamento. Em satélites são utilizados como motores de apogeu, isto é, para conduzi-los da órbita de estacionamento até a definitiva. O LCP tem desenvolvido ao longo dos anos, dentre outros, propulsores monopropelentes a hidrazina e bipropelentes a MMH e  $N_2O_4$ . Em futuro próximo deverá desenvolver propulsores para sistemas espaciais do INPE e do IAE.

## **1.2. Propulsão híbrida para motores de apogeu e de rolamento**

Propulsão híbrida é aquela em que se utilizam propelentes em diferentes fases. Em geral, emprega-se o oxidante na fase líquida e o combustível na fase sólida. Propulsores híbridos são engenhos de baixo custo e de tecnologia intermediária entre os motores a propelentes sólidos e os motores a bipropelentes líquidos. Eles apresentam a possibilidade de modulação do empuxo e podem ser utilizados em motores de rolamento e de apogeu, dentre outras aplicações. O LCP vem desenvolvendo estudos sobre propulsão híbrida utilizando como oxidantes o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e o tetróxido de nitrogênio ( $N_2O_4$ ) e, como combustível, a parafina sólida. Em futuro próximo pretende-se também investigar outros propelentes, como o óxido nitroso ( $N_2O$ ) e o polibutadieno hidroxilado (HTPB).

## **1.3. Ensaio de propelentes e propulsores**

O LCP realiza testes de qualificação de propulsores em seus bancos de teste com simulação de altitude (BTSA) e em condições atmosféricas (BTCA) e avalia a qualidade de propelentes em seu laboratório de análise de propelentes (LANAP). É extremamente importante sejam estas unidades, em futuro próximo, credenciadas e acreditadas em conformidade com a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025/2005, possibilitando a abertura das unidades para clientes internacionais.

## **1.4. Instabilidades de combustão, ignição e transientes em câmaras de combustão e propulsão**

Propulsores estão sujeitos a instabilidades de combustão de diversas naturezas. Oscilações de pressão acima de um certo valor podem levar à destruição do propulsor e do veículo espacial. Os transientes durante a abertura e o fechamento de válvulas e durante o acionamento e desligamento de propulsores devem ocorrer de forma adequada para evitar o aparecimento de ondas de pressão nas linhas de alimentação. A ignição rápida e eficiente de propelentes é essencial para o desempenho de propulsores, e quando não realizada corretamente pode também ocasionar danos significativos. O LCP tem realizado ao longo dos anos estudos de instabilidades de combustão, envolvendo o controle ativo de combustão e estudos em tubos de Rijke. É mister notar que as atividades desenvolvidas no LCP têm sido realizadas também em intercâmbio com instituições de vários países.

### **1.5. Catalisadores para sistemas de propulsão espaciais**

Catalisadores são utilizados na decomposição de propelentes. O LCP tem atuado no desenvolvimento de catalisadores de alumina, nióbia e de óxidos mistos de alumínio e nióbio impregnados com irídio ou rutênio e de catalisadores de carbetos de metais de transição (Mo, W, Nb, etc), mono ou multimetálicos, para decomposição da hidrazina. Resultados promissores foram obtidos com o catalisador LCP-33R de irídio/alumina que atende integralmente aos requisitos da plataforma multimissão atualmente em desenvolvimento no INPE. Em futuro próximo pretende-se manter essas atividades além do desenvolvimento de catalisadores a base de nanofibras de carbono para decomposição do peróxido de hidrogênio e da hidrazina, atividade realizada em conjunto com a Universidade de Strasbourg. O LCP é pioneiro no emprego de catalisadores mássicos (carbetos, p.ex.) para decomposição de hidrazina. Como spin-offs foram desenvolvidos catalisadores para o craqueamento e hidrotratamento de petróleo, células a combustível e decomposição de combustíveis renováveis (biodiesel). Foi iniciado recentemente o estudo de catalisadores com vistas ao seqüestro de carbono da atmosfera para emprego na técnica de “chemical-looping combustion”. Esta atividade está sendo realizada com apoio da Petrobrás e outras instituições.

### **1.6. Novos materiais**

Materiais resistentes a altas temperaturas, a altas pressões e a ablação devem ser empregados em tubeiras e câmaras de combustão de propulsores. O LCP pretende desenvolver em futuro próximo uma camada a base de carbeto de silício para revestimento de compósitos de carbono reforçados com fibras de carbono.

### **1.7. Queima de gotas e sprays**

A eficiência da queima de propelentes em câmaras de combustão depende do entendimento do processo de queima de gotas e de sprays. Essa queima pode se dar em diversas condições de operação, como em processos de oscilação acústica ou em condições supercríticas. O LCP tem desenvolvido ao longo dos anos estudos teóricos e experimentais sobre a queima de gotas e sprays de combustíveis diversos, tais como álcoois, querosene e hidrazinas.

### **1.8. Modelagem e simulação de escoamentos reativos multifásicos e transferência de calor em câmaras de combustão e em propulsão**

A queima de propelentes em câmaras de combustão envolve processos reativos multifásicos com transferência de calor por condução, convecção e radiação. O LCP vem atuando, e pretende continuar a fazê-lo, no desenvolvimento de modelos e estudos desses processos visando otimizar o projeto de câmaras de combustão.

### **1.9. Propulsão por plasma pulsado**

Propulsores de plasma pulsado são propulsores elétricos que utilizam descargas elétricas aplicadas sobre um dielétrico sólido para causar sua vaporização e ionização. O plasma formado é ejetado a altas velocidades pelo campo magnético auto-induzido pela descarga. O LCP vem atuando no desenvolvimento de um propulsor de plasma de alta energia para controle de atitude e correção de órbita de satélites em cooperação com a Universidade de Southampton, Inglaterra.

### **1.10. Ramjets e Scramjets**

Ramjets e scramjets são reatores a combustão subsônica e supersônica, respectivamente, utilizados para propulsão de veículos aerospaciais dentro da atmosfera. O LCP tem testado ramjets usando polímeros como combustível. Está sendo finalizada a construção de uma segunda instalação de ar viciado visando a simulação das condições de operação de scramjets. A primeira delas operou de modo pioneiro no país na década de 1980.

### **1.11. Combustão de biomassa, incêndios e queimadas**

As queimadas na Amazônia provocam desequilíbrio nos ciclos biogeoquímicos do planeta, sendo um dos principais produtores de gases de efeito estufa do Brasil. O LCP tem realizado queimadas experimentais na Amazônia e testes em laboratório visando determinar, dentre outros dados, a eficiência de queima, consumo de biomassa, sequestro de carbono, estoque de carvão e as emissões de gases.

### **1.12. Flamabilidade de materiais**

A determinação das características de queima de materiais é importante em questões de segurança contra incêndios, resistência ao fogo, proteção térmica e para entendimento dos processos de combustão. Os dados obtidos podem ser empregados em modelos de propagação de incêndios e de queimadas. O LCP realiza estudos da ignição e queima de materiais em uma bancada de testes usando calorímetros cônico e cilíndrico.

### **1.13. Câmaras de combustão, fornos, queimadores e injetores**

Câmaras de combustão, fornos, queimadores e injetores são equipamentos industriais de grande importância, podendo ser utilizados na fabricação de inúmeros produtos e na incineração de resíduos. O LCP desenvolve diversos desses equipamentos visando otimizar sua operação, medir emissões, corrigir problemas, etc, em conjunto com outras instituições e a indústria, para quem oferece suporte permanente.

### **1.14. Célula a combustível**

Células a combustível são fontes de energia compactas com emprego na área espacial. Está sendo desenvolvido no INPE uma célula a combustível com convecção eletrocapilar (C3E) com o patrocínio da Petrobrás. O C3E busca materializar uma célula a combustível com partes e materiais de tecnologia nacional. Um protótipo já se encontra em funcionamento.

## **2. Temas estratégicos identificados dentro das atividades desenvolvidas pelo Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada (LAC)**

Em face aos grandes desafios enfrentados pela sociedade, há uma crescente busca pela aplicação de resultados científicos na tentativa de se obter soluções viáveis. A complexidade dos problemas tem exigido esforços conjuntos de diferentes áreas de conhecimento que cooperam e colaboram, trocando informações e experiências para a concepção de soluções. A quantidade de dados digitais sobre os diferentes tipos de fenômenos tem crescido e tem a tendência de permanecer crescendo, demandando o uso de recursos computacionais de alto

desempenho e novos meios de manipulação, processamento e análise. A missão do INPE é atender as demandas da sociedade através do desenvolvimento das ciências, tecnologias e aplicações espaciais. Assim, enfrenta os grandes desafios comuns às áreas científicas que demandam processamento de alto desempenho, de análise e de manipulação de grandes volumes de dados utilizados na concepção de modelos computacionais de fenômenos complexos que podem demandar a integração de áreas de conhecimento diferentes.

Com base no exposto acima, os seguintes tópicos delineiam-se como demandas para área de computação e matemática aplicada.

## **2.1 Processamento, manipulação, exploração e análise avançada de dados**

As diversas áreas de conhecimento têm se beneficiado enormemente dos avanços tecnológicos na área digital e de sensores, que têm permitido a construção de meios de aquisição de informação cada vez mais precisos gerando grandes volumes de dados que precisam ser armazenados, manipulados e tratados, para serem processados e permitir a extração de informação para geração de conhecimento. O crescimento de bases de dados demanda novos e avançados recursos computacionais e métodos de análise eficientes que possam automaticamente produzir informações adequadas para os tomadores de decisão, qualquer que seja a área de conhecimento ou aplicação. Apresenta-se assim, um grande desafio para a área de computação e matemática aplicada: o desenvolvimento de novos algoritmos, novos métodos e soluções avançadas para manipulação, exploração e processamento de dados.

O INPE é uma das instituições que lidam intensamente com o problema da existência de grandes volumes de dados - coletados por diferentes tipos de sensores, nas áreas de ciências, tecnologias e aplicações espaciais - gerando uma grande demanda por novos métodos, modelos e algoritmos, baseados em técnicas numéricas, estocásticas e adaptáveis. Estas atividades demandam, em sua maioria, recursos de processamento de alto desempenho, para armazenamento, tratamento, processamento e extração da informação, de maneira automatizada, viabilizando o uso dessas informações para responder às necessidades e os desafios específicos das áreas de aplicações.

Pode-se resumir então que, uma demanda para a área de computação e matemática aplicada, em particular no INPE, é desenvolver soluções inteligentes e eficientes que permitam a redução, o gerenciamento, a integração e a disseminação de informações, muitas vezes heterogêneas, provenientes de diferentes fontes, assim como o processamento dos dados, com o objetivo de facilitar a extração e a interpretação das informações úteis para as áreas de ciências, tecnologias e aplicações espaciais.

## **2.2 Processamento de alto desempenho**

Na área espacial, em particular nas aplicações espaciais, existem diferentes atividades que podem se beneficiar com as possibilidades que as redes de pesquisa em ambientes computacionais colaborativos podem gerar. Pela complexidade de instalação dessas redes e pela necessidade de extração do conhecimento, em particular para a modelagem computacional, a partir dos grandes volumes de dados, estas atividades demandam recursos com alto poder de processamento. A computação de alto desempenho é a subárea de conhecimento que responde às estas necessidades permitindo a exploração e integração eficiente das áreas.

O INPE, devido ao seu papel de liderança na condução das atividades espaciais no país, deve responder aos grandes desafios da sociedade, sendo um dos principais atores do cenário científico nacional que pode integrar-se ou ser um nó coordenador na formação de redes de pesquisa subsidiadas por computação de alto desempenho.

Assim, uma demanda para a área de computação e matemática aplicada no INPE é o desenvolvimento e a exploração eficiente de todas as possibilidades de processamento paralelo existentes, das máquinas multiprocessadas aos sistemas integrados pela formação de grades (*grids*) computacionais; com o objetivo de atender às necessidades de integração de centros de alto desempenho instalados em diferentes locais (no Brasil e/ou exterior).

Tais recursos são fundamentais para a obtenção de modelos que requeiram novos desafios no desenvolvimento e aplicação de técnicas computacionais avançadas, modelos e algoritmos adaptáveis, integrando conhecimento de diferentes abordagens computacionais, matemáticas e estocásticas, através do uso de grandes bases de dados.

### **2.3 Modelagem computacional de sistemas complexos e não-lineares**

As demandas por compreensão e previsão de fenômenos associados às ciências, tecnologias e aplicações espaciais, demandam a construção de modelos completos e integrados que sejam cada vez mais aderentes à realidade, exigindo necessariamente novas abordagens, multi e interdisciplinares, que possam gerar soluções para problemas desafiadores, que envolvem grandes volumes de dados e para as quais ainda não existem soluções analíticas.

Essa demanda exige um aumento expressivo de pesquisas e desenvolvimento de modelos, métodos avançados, algoritmos, ferramentas e recursos computacionais para a caracterização e modelagem de sistemas complexos e não-lineares de diferentes naturezas, integrando dados provenientes de diferentes sensores em diferentes escalas espaço-temporais.

A modelagem computacional avançada contribui significativamente para o desenvolvimento de ferramental para simulação, processamento, análise e estudos de fenômenos complexos e não-lineares usando abordagens adaptáveis e avançadas, respondendo ao desafio de combinar equações diferenciais, modelos estocásticos, inteligência computacional e métodos numéricos e computacionais, para caracterizar e representar fenômenos físicos complexos, que exibem e possuem características e propriedades dinâmicas, caóticas e aleatórias.

Isto permite a construção de soluções que integram dados e modelos parciais diferentes, na geração de modelos mais globais e aderentes à realidade, que permitam o estudo e a investigação de problemas ainda não tratados, por serem complexos e/ou por envolverem grandes volumes de dados.

Estes desafios constituem as demandas em que as ferramentas de computação avançada e de matemática aplicada podem contribuir significativamente na busca pela obtenção de modelos computacionais avançados. Tais modelos também demandam novas soluções das tecnologias de computação voltadas para o processamento e análise de dados e informações. Em adição deve-se considerar que dados são transmitidos e distribuídos em redes vulneráveis às ações mal-intencionadas demandando soluções capazes de prever e identificar estas ações de forma a garantir sua integridade. Além disso, vê-se a necessidade da manutenção e atualização de infraestrutura computacional avançada, que permita a construção colaborativa dos modelos em tempo real e a representação gráfica em ambientes computacionais de simulação e/ou de visualização gráfica.



Enfim, a área de modelagem computacional exige grandes avanços da ciência da computação, da física e da matemática aplicada na geração de soluções de análise, processamento e representações que permitam o suporte à tomada de decisão.

#### **2.4 Desenvolvimento de métodos e sistemas computacionais completos, com qualidade, corretos, seguros e persistentes**

Assim como a demanda existente nos diferentes setores da sociedade por desenvolvimentos de sistemas de tecnologia da informação para uso contínuo, que apresentem características como completude, segurança e tolerância a falhas, as ciências e aplicações espaciais demandam a construção de sistemas de software que sejam seguros e confiáveis, e que atendam às exigências e restrições associadas às suas especificidades técnicas.

O desenvolvimento de sistemas de software é uma necessidade premente para a área espacial. A produtividade e competitividade desses sistemas de software exigem a adoção de padrões de desenvolvimento que servem como indicadores para a medição da qualidade dos sistemas desenvolvidos.

As necessidades de software da área espacial, junto com os desenvolvimentos da tecnologia digital, geram uma demanda pela concepção e exploração de novos métodos e técnicas de desenvolvimento de software; que incorporem as características, exigências e restrições para o desenvolvimento de sistemas de software seguros, adaptáveis, completos, confiáveis e adequados para as aplicações embarcadas; o funcionamento dos sistemas de controle e rastreamento; a construção de simuladores e modelos computacionais de fenômenos espaciais para o teste e integração de satélites e dispositivos espaciais; o desenvolvimento de aplicações que usam dados coletados por satélites integrados com dados de redes de observação em terra; e que possam explorar todas as características providas pelas possibilidades dos sistemas de hardware atuais e futuros, como modularidade e processamento paralelo.

Além da necessidade de se conceber e desenvolver novas abordagens e métodos para o desenvolvimento de software, há uma necessidade cada vez maior de se realizar e documentar todos os processos e atividades relacionadas com os desenvolvimentos de sistemas de software.

Estas atividades, no entanto, precisam ser adequadas e adaptadas às necessidades para aferição de qualidade dos sistemas desenvolvidos, no âmbito internacional, permitindo assim a possibilidade da participação em mercados externos na área espacial, seja de forma comercial ou na distribuição gratuita de sistemas de software.

O uso de abordagens inovadoras e padrões estabelecidos mundialmente, em especial para a área espacial, podem garantir uma projeção diferenciada no cenário de desenvolvimento de software. Assim, há nas ciências, tecnologias e aplicações espaciais, uma grande demanda por novas pesquisas de modelos e métodos de tecnologias de desenvolvimento, teste e validação, que resultem em sistemas de software robustos, seguros, confiáveis, completos e adaptáveis, que possam atender as especificidades e restrições cada vez mais complexas da área espacial, permitindo que estas soluções possam ser evoluídas sem perdas de características.

Dentro do escopo das demandas relacionadas acima, as principais atividades no LAC inseridas em temas finalísticos do INPE são apresentadas a seguir.

- Análise, processamento e extração da informação – Projeto BRAVO (BRAZILIAN Astrophysical Virtual Observatory)

Um projeto que está mobilizando atualmente a comunidade de astronomia do Brasil é a criação de uma infra-estrutura de observatórios virtuais (Virtual Observatory – VO). O INPE é a primeira instituição no País a organizar um grupo e propor um projeto junto às agências de financiamento. O projeto BRAVO foi submetido à FAPESP em meados de 2006 tendo como coordenador um pesquisador da CEA – INPE e dois pesquisadores principais, sendo um deles do LAC.

O LAC participa com vários outros pesquisadores no projeto, para o desenvolvimento de software básico (banco de dados, aplicativos de serviços e aplicações Web) e sistema de mineração de dados (na maneira de como se aplica esta ferramenta no contexto da astronomia, isto pode ser caracterizado como software básico). O ambiente de computação em grade (grid-computing) é parte do software básico. Tanto no Brasil como em outros países, o ambiente de grade está em desenvolvimento, como uma solução de infra-estrutura fundamental para o desenvolvimento de observatórios virtuais e de aplicações que envolvem grandes volumes de dados compartilhados em redes de pesquisas.

Os pesquisadores do LAC envolvidos no projeto participam na análise de dados e extração de informação, empregando ferramentas avançadas ou desenvolvendo pesquisas por soluções computacionais para a manipulação, armazenamento, processamento, extração da informação, análise e caracterização de grandes volumes de dados espaciais.

- Computação paralela e de alto desempenho

O desenvolvimento ou migração de códigos do CPTEC para ambientes massivamente paralelos é uma questão estratégica para o CPTEC e para o País.

Graças a atuação coordenada de um dos membros do CTC (à época, membro da ABDi) e da coordenação do CPTEC, foi elaborado um projeto que culminou na compra de um computador com mais de 1000 processadores. Esta nova máquina será o ambiente para teste e desenvolvimento dos códigos em computação massivamente paralela.

O CPTEC conta com vários códigos: modelo global, modelo ETA, modelo BRAMS, modelo acoplado de circulação oceânica, modelo de ondas oceânicas e os códigos GPSAS e RPSAS. Destes códigos, pelo menos 2 deles serão paralelizados sob a responsabilidade do LAC (grupos do CPTEC e do LAC estão discutindo a questão de quais códigos ficarão sob a responsabilidade do CPTEC e quais ficarão sob a responsabilidade do LAC).

Além das atividades/projetos de alto desempenho descritos anteriormente, o LAC continua seus esforços de pesquisa em computação em grade e processamento de alto desempenho, capacitando-se para atender novas demandas científicas que envolvam grandes volumes de dados e que necessitam de alto desempenho computacional.

- Modelagem computacional e ambiental

A modelagem computacional, a simulação e a análise de dados constituem-se meios primordiais para os estudos de fenômenos físicos e científicos e de projetos de engenharia não podem ser desenvolvidos ou reproduzidos em laboratórios, como por exemplo, a previsão de catástrofes ou eventos extremos.

O escopo de problemas ambientais é vasto e envolve diferentes aspectos relacionados com clima, solo, espaço, água e meio ambiente, em escalas globais, regionais e locais.

Um tema importante para o estudo de efeitos e mudança do clima refere-se ao estudo do ciclo bio-geo-químico de gases como gás carbônico, metano e ozônio. O estudo e a simulação do balanço de carbono é hoje um tema chave do debate sobre questões como aquecimento global. Poucas instituições têm capacitação para tratar deste problema. O INPE foi a primeira instituição no Brasil a desenvolver uma ferramenta computacional para estimação da emissão e/ou absorção destes gases pelo solo. No INPE, esta competência foi desenvolvida e está concentrada no LAC.

A previsão de eventos extremos é outro exemplo de pesquisa e estudo que caracteriza-se como uma das atividades primordiais dentro dos cenários dos problemas ambientais atuais. Esta tarefa pode envolver grandes volumes de dados exigindo técnicas de manipulação, processamento, análise e extração de informação, de forma automatizada. O LAC atua em um projeto de eventos extremos, em cooperação com o CPTEC, utilizando e desenvolvendo abordagens adaptáveis e inteligentes para extração de informações que possam ser usadas na previsão meteorológica.

Além dos tópicos específicos mencionados acima, o LAC vem atuando e desenvolvendo técnicas em análise e modelagem ambiental. Tais métodos incluem resolução de equações diferenciais e/ou estocásticas, de inteligência artificial e de aplicação de técnicas matemáticas (como wavelets) e de operadores computacionais desenvolvidos por pesquisadores do LAC (análise de padrão gradiente e forma complexa da entropia). Esse ferramental metodológico desenvolvido, somado às competências existentes capacitam o LAC para atuar nos desafios existentes nos problemas das ciências, tecnologias e atividades espaciais, como por exemplo, modelagem ambiental.

- Georeferenciamento e otimização

O projeto Terra Network é uma atividade de pesquisa e desenvolvimento do Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada que busca atender as demandas por ferramentas de análise para o suporte à decisão em problemas de localização. Trata-se da pesquisa e desenvolvimento de um arcabouço que integra técnicas de geoprocessamento e métodos de otimização estocástica e combinatória na formação de um ambiente para diferentes tipos de simulações.

Engenharia espacial – sistemas, software e hardware

A área de projeto ótimo ou projeto inverso ("optimal design"/"inverse design") consiste em determinar configurações ou estimar dados e/ou funções que cumpram demandas de projeto (como um arranjo de tintas especiais ou recobrimentos para o projeto de um radiador espacial). O desenvolvimento de projetos ótimos em sistemas espaciais como um problema inverso foi introduzido no INPE por pesquisadores do LAC e hoje é aplicada em diferentes sistemas espaciais.

Exemplos de aplicação desta metodologia são o projeto de análise térmica da plataforma multi-missão (PMM) de satélites, e o arranjo de antenas para o projeto de radio-telescópico por interferometria (BDA). Estas atividades estão em desenvolvimento através de cooperação com a ETE e com a CEA.

Outra atividade importante em que o LAC está envolvido é no projeto de desenvolvimento de sistema de software confiáveis, particularmente para software embarcado. O desenvolvimento de sistema de testes automáticos é uma das metodologias adotadas neste tema.

Além disso, o LAC tem pesquisador treinado e certificado no modelo MSPBR (iniciativa brasileira para criar referência nacional na área de qualidade de software); tendo a

competência para contribuir com o INPE nos esforços de treinamento e de capacitação interna, de recursos humanos envolvidos com os processos de desenvolvimento de software, para tornar o INPE uma referência nacional na área de desenvolvimento de software no escopo de aplicações complexas.

### **Temas estratégicos identificados dentro das atividades desenvolvidas pelo Laboratório Associado de Plasma (LAP)**

A humanidade ocupa o 1% do universo em que a matéria não é ionizada; devido a isto, plasmas não fazem parte da nossa rotina diária. Entretanto, plasmas ocorrem em diversos contextos, variando de várias ordens de magnitude em densidade e temperatura. Os exemplos mais comuns são a descarga em gás nas lâmpadas de néon e os raios.

Além das propriedades básicas dos plasmas, muitas aplicações de plasmas têm sido vislumbradas ao longo dos aproximados setenta anos de existência da pesquisa na área: processamento por plasmas na fabricação de semicondutores, tratamento de superfícies, crescimento de novos materiais e energia por fusão. Importante ainda lembrar as muitas aplicações da ciência dos plasmas para as ciências espaciais, que vão desde os sistemas de propulsão para veículos espaciais baseados em plasma até as previsões de clima espacial para a magnetosfera e ionosfera, relevantes por exemplo, para as comunicações.

Após esta breve introdução, identificam-se os seguintes temas como estratégicos para o desenvolvimento das atividades em plasmas realizadas pelo INPE: propulsores iônicos; tecnologias de plasma para o desenvolvimento de materiais aeroespaciais; desenvolvimento de fontes compactas pulsadas de alta tensão para sistemas embarcados; instrumentos para satélites científicos; e fusão termonuclear controlada. Embora a fusão termonuclear controlada não esteja inserida diretamente nas atividades previstas como missão do INPE, consideramos que este é um tema estratégico para o país e que a competência existente neste assunto de conhecimento deve ser preservada e ampliada. Este tema será apresentado de forma um pouco mais ampla que os demais.

### **3.1 Propulsores iônicos**

Os propulsores elétricos (PEL) compreendem uma classe de tecnologias espaciais de propulsão que empregam eletricidade para acelerar um propelente por meio de processos eletrotérmicos, eletrostáticos ou eletromagnéticos. Ao contrário dos propulsores químicos, os propulsores elétricos requerem muito pouca massa para acelerar um veículo espacial. O propelente pode ser ejetado com velocidades até 20 vezes maiores que no caso dos propulsores químicos clássicos e, com isto, o desempenho e a eficiência de todo o sistema são aumentados consideravelmente. Os propulsores iônicos, uma classe particular de propulsores elétricos (tipo eletrostático), são dispositivos que produzem empuxos da ordem de milinewtons com impulsos específicos entre 1000 s e 20000 s.

Esses propulsores podem ser utilizados de maneiras distintas. Para satélites de órbita geoestacionária (GEO), podem servir para controle de posição (station-keeping) e para elevação de órbita. Para constelações de telecomunicação em órbita terrestre baixa (LEO), podem ser usados para transferência de órbita, compensação de arrasto e controle de atitude e órbita. Quando se trata de Missões interplanetárias e Missões científicas de observação da Terra, podem ser usados para apontamento ultra-fino, controle de atitude e órbita e compensação de arrasto (incluindo satélites livres de arrasto – drag-free).

A propulsão elétrica é considerada atualmente uma das tecnologias chave para as novas gerações de satélites comerciais e científicos. Iniciativas nesta área têm sido motivadas mundialmente buscando o desenvolvimento, a qualificação espacial de novos sistemas de propulsão elétrica e sua rápida implementação em novos satélites e sondas espaciais.

O uso comercialmente mais importante e, portanto, o domínio de aplicação motriz para a propulsão elétrica, é reconhecidamente o campo de telecomunicação em GEO, atualmente já em uso operacional na Rússia e nos EUA. A Europa começou a usar a PEL para esta aplicação no ano 2000. O uso da PEL nesta classe de satélites para propósitos de manutenção de posição e para a transferência para a órbita geoestacionária final, faz com que seja possível economizar várias centenas de quilogramas de propelente. Esta economia resulta eventualmente em uma vantagem econômica significativa, seja por permitir o uso de um lançador menor e mais barato, ou um aumento na massa de carga útil comercial ou uma extensão da vida operacional do satélite.

Seguindo esta tendência, o uso da PEL para outros domínios de aplicação está atraindo agora grande interesse. Em particular, o mais importante está relacionado às constelações de satélites de telecomunicação em LEO que atualmente estão sendo projetadas para usar propulsores elétricos para executar a transferência para a órbita operacional e outras funções. Graças à redução de massa pelo uso da PEL são necessários menos lançadores para colocar a constelação em órbita, e assim, permitir uma redução do custo para o serviço a ser oferecido.

A PEL também está sendo adotada por várias missões científicas e de observação da Terra, onde esta tecnologia será usada para prover a propulsão primária ou para executar operações de controle altamente precisas. Graças à propulsão elétrica, missões interplanetárias e de espaço profundo ocorrerão dentro de tempos de viagem mais curtos e com mais carga útil científica a bordo, do que nas missões convencionais que empregam propulsão química e complexos "fly-bys" planetários. Além disso, novas missões científicas sofisticadas, como por exemplo interferômetros espaciais, e constelações de satélites livres de arrasto, serão possíveis usando PE com propulsores capazes de produzir níveis empuxo extremamente baixos e precisos.

Os campos de aplicação de diversos tipos propulsores elétricos e o seu estágio de desenvolvimento na Europa até 2000 estão descritos por Saccoccia et al 2000 (G. Saccoccia, J. Gonzalez del Amo & D. Estublier, Electric Propulsion: A Key Technology for Space Missions in the New Millennium, ESA Bulletin 101 — February 2000).

Entre as décadas de 70 a 90, as pesquisas nos EUA se concentraram em propulsores elétricos à base de mercúrio e xenônio, em resistorjets e arcjets à base de hidrazina, propulsores magnetoplasmadínamicos (MPD) a base de hidrogênio, propulsores de plasma pulsado à base de teflon e propulsores hall à base de argônio. Na década de 90 podemos citar eventos importantes como o lançamento do satélite de comunicação pela Lockheed-Martin que usava arcjets a base de hidrazina; o lançamento de satélite de comunicação com primeiro propulsor comercial (PanAmSat 5) ; o "Deep Space 1" (DS1) da NASA que foi a primeira missão de longa duração com uso de propulsores elétricos; o colapso da União Soviética resultou na diminuição das atividades de desenvolvimento de propulsores elétricos.

A espaçonave Hayabusa da agência de exploração aeroespacial do Japão (JAXA) demonstrou as vantagens do uso de propulsores iônicos em sua missão de pousar sobre o asteroide Itokawa e transmitir amostras de sua superfície em 2007. Quando foi lançada ao espaço em maio de 2003, a Hayabusa veio a ser a primeira astronave a utilizar a propulsão elétrica como principal meio de propulsão. Em modo cruzeiro, 4 motores empregando xenônio foram desenvolvidos para operar durante o vôo. A JAXA anunciou recentemente que os motores do Hayabusa acumularam 20.000 horas de tempo operacional colocando em evidência as

vantagens dos motores elétricos: o motor consumiu apenas 20 kg de propelente durante esse tempo. A Hayabusa chegou ao Itokawa em Junho de 2005, após 5 meses em órbita helicoidal, quando as chances de pouso foram avaliadas pelos executores da missão após a avaliação das imagens feitas durante aproximação.

Atualmente, o LAP trabalha no terceiro protótipo (PION-3) de um propulsor iônico. Este foi projetado empregando-se simulações numéricas, e dois modelos foram concebidos: um com 15cm de diâmetro (PION-3-16) e outro com 5cm (PION-3-5) de diâmetro, ambos com câmara de descarga com comprimento de 2,5cm. Para o funcionamento destes protótipos foram desenvolvidos catodos ocos com insertos de folhas enroladas de tântalo além de diversos outros componentes tais como passadores isoladores de gás, anilhas de vedação para gás, sistema de aquecimento e novos processos de fabricação dos alojamentos dos insertos. Os catodos ocos podem produzir correntes de descarga de até 18 A empregando-se argônio. Os testes preliminares de funcionamento do PION-3-16 foram realizados com um consumo de propelente de apenas 2 sccm no catodo e de 4 sccm na câmara de ionização. Os testes de desempenho deste protótipo estão em andamento e o PION-3-5 deverá entrar em funcionamento em 2007. Para a medida de empuxo destes protótipos foi desenvolvida uma balança de empuxo tipo pêndulo. Esta balança permitirá a medida direta de empuxos com uma grande precisão, ao contrário das medidas indiretas realizadas por medidas de corrente iônica. Pretende-se, com os protótipos da série 3, a qualificação espacial de um propulsor iônico e possivelmente o seu lançamento em órbita. Para isto, foram estabelecidas diversas parcerias científicas nacionais e internacionais.

### **3.2 Tecnologias de Plasma para o desenvolvimento de materiais aeroespaciais.**

Esta área compreende o tratamento de superfícies metálicas e não metálicas com diferentes propósitos, tais como proteção térmica e anticorrosiva, resistência à abrasão, etc. O processo consiste na implantação de partículas de alta energia na superfície do substrato com a finalidade de modificar as propriedades de superfície, podendo resultar na obtenção de nanomateriais (10-200 nm) e metais ou pós-não-metálicos sob a superfície de substratos com profundidade entre 1e 50  $\mu\text{m}$ . Este processo visa também o tratamento de importantes materiais usados na indústria aeroespacial (polímeros e ligas de alumínio) com finalidade de produzir uma fina camada de óxido isolante protetora, melhorar a adesão e reduzir o coeficiente de atrito, dentre outros. De fato, é muito raro encontrar dispositivos ou veículos aeroespaciais que não utilizam tecnologia de plasma em sua construção. Por exemplo, sistemas de propulsão usam uma camada protetora resistente ao calor e antioxidante depositada nas superfícies externas das pás de turbinas ou internas de tubos de gás propelentes; dispositivos no espaço utilizam blindagens protetoras contra colisão de partículas ou objetos provenientes de lixo espacial, cuja resistência é aumentada por meio de tratamento de superfície através de implantação iônica. Além do mais, as técnicas de implantação iônica têm importantes aplicações industriais na produção de circuitos integrados e semicondutores.

### **3.3 Desenvolvimento de Fontes Compactas Pulsadas de Alta Tensão para Sistemas Embarcados.**

Nas últimas décadas, tem-se notado uma demanda crescente do uso da alta tensão em veículos espaciais e satélites. Muitos dispositivos de observação da terra e do espaço necessitam tensões de alimentação da ordem de  $\approx 5$  kV para ativação de analisadores, espectrômetros, câmeras, etc. Por outro lado, satélites de comunicação (com frequências de transmissão na faixa de GHz) usam tubos TWTs que exigem fontes de maior potência e tensão. Atualmente,

radares embarcados para observação meteorológica e terrestre usam TWTs operando com tensões acima de 15 kV. Por outro lado, aplicações futuras de observação da atmosfera terrestre (LIDAR) exigirão potentes sistemas de lasers (provavelmente a gás de dióxido de carbono), operando em tensões pulsadas extremamente altas (acima de 50 kV). Isto se deve ao fato da janela na atmosfera terrestre coincidir com os comprimentos de onda das harmônicas de radiação do laser de CO<sub>2</sub> (em 2–2.5, 3–4.2, 4.4–5 e 8–14 μm), o que facilita a análise remota de gases presentes na atmosfera através da espectroscopia no infravermelho. Projeções de longo prazo indicam ainda uma grande demanda no uso de alta tensão e de potência para as atividades espaciais nas próximas décadas. Em razão disto, o LAP está envolvido com a procura de novas tecnologias e configurações de circuito para o desenvolvimento de fontes pulsadas, extremamente compactas, de alta tensão/potência, com a finalidade de serem usadas em sistemas embarcados no ambiente espacial. Ainda, como um *spin-off* importante do uso desta tecnologia, tem-se a aplicação na construção de fontes compactas pulsadas empregadas no tratamento de superfícies por implantação iônica (descrita em 3.2), uma vez que redução de dimensões dos equipamentos é uma demanda importante em aplicações industriais.

### 3.4 Desenvolvimento de instrumentação para satélites científicos

A instrumentação para o diagnóstico de plasmas é variada, contemplando a detecção de fluxo de partículas (tanto carregadas como neutras), ondas e ótica. A ionosfera e a magnetosfera são muito ricas em fenômenos de plasma e todos os satélites científicos lançados levam como carga útil alguns instrumentos para o diagnóstico dos plasmas destas regiões. De particular interesse é a ionosfera equatorial, visto a posição geográfica do Brasil e os fenômenos associados à Anomalia do Atlântico Sul. A ionosfera equatorial tem sido pouco explorada por satélites, apesar de apresentar características únicas que interferem na transmissão de informação por satélites. Em geral, os países lançadores de satélites científicos estão localizados no hemisfério norte e a prioridade é o estudo das auroras e outros fenômenos ocorrendo naquela parte do globo terrestre. A experiência adquirida no passado no desenvolvimento de instrumentação para medidas dos parâmetros do plasma em laboratório bem como os aparatos e instrumentação associados existentes, podem ser utilizados para o desenvolvimento de instrumentos embarcados de sondagem de plasmas espaciais.

Apenas como exemplos, seguem alguns instrumentos que podem ser desenvolvidos para a carga útil de satélites científicos.

- Analisadores eletrostáticos de energia: Este tipo de instrumento é comum na maior parte dos satélites científicos lançados nos últimos tempos e, basicamente, pode ter duas configurações: na primeira, para energias menores que 100 eV, a análise de energia se dá por freamento da partícula carregada (íon ou elétron), utilizando-se duas ou mais grades planares separadas por uma pequena distância; na segunda, um analisador de placas paralelas, uma diferença de potencial é aplicada entre duas placas paralelas separadas por 2-3mm e partículas (íon ou elétron), com energia sintonizada com a diferença de potencial, são direcionadas para um detector. As geometrias cilíndrica e esférica são as mais utilizadas para as placas paralelas. O analisador eletrostático (ELISA) que está sendo desenvolvido para o EQUARS utiliza a geometria cilíndrica, visto que é mais fácil a construção mecânica de placas cilíndricas. Para um futuro satélite científico dedicado a monitorar o Clima Espacial, pode-se projetar um analisador com geometria esférica. A geometria esférica oferece um ângulo de visão bem maior que a cilíndrica. Isto demandará um bom desenvolvimento na construção mecânica, sendo que a parte eletrônica de baixa e alta tensão, interface com computador de bordo e telemetria terão por base o

desenvolvimento feito para o ELISA. A aplicação deste tipo de analisador é para energia menor que 40KeV.

- Instrumentos para medidas do campo elétrico: o campo elétrico é um dos parâmetros mais importantes a ser medido em plasmas espaciais, e também um dos mais difíceis. A técnica mais comum é usar duas sondas de Langmuir separadas por cerca de 10-100 metros. A dificuldade é a abertura em órbita de dois braços (booms) que mantêm as sondas separadas pela distância citada. Outra técnica mais moderna é fazer uso de uma fonte de íons (de lítio, por exemplo) situada no satélite e medir o tempo de vôo dos íons lançados até o retorno ao satélite; nesse caso torna-se necessário desenvolver a técnica de codificar o feixe. Esta técnica de medir o campo elétrico aplica-se bem quando o campo magnético é baixo (alguns nano-tesla, como ocorre na magnetosfera). Ambas as técnicas são difíceis de implementar ficando como uma possibilidade para fazer parte da carga útil de um futuro satélite dedicado ao clima espacial.
- Composição iônica: o desenvolvimento de um espectrômetro de massa tipo tempo de vôo permite medir os constituintes da ionosfera/magnetosfera. Um dos pontos essenciais deste tipo de instrumento são fontes compactas de alta tensão (10-20kV), como descritas em 3.3.

Diagnósticos de plasma estão sempre em evolução, tanto pelo aprimoramento dos já existentes com a utilização de novos materiais como com o desenvolvimento de novas técnicas de diagnóstico. Será primordial estar atento para acompanhar esta evolução. As técnicas de diagnóstico citadas como exemplo acima utilizam 1-10 W de potência e massa de 1-10 kg.

Um forte programa de cooperação internacional faz-se necessário para um bom andamento dos programas de satélites científicos.

## **2.5 Fusão Termonuclear Controlada (energia)**

### **2.5.1 Necessidade de novas fontes de energia**

O suprimento de energia é um dos requisitos mais importantes para a manutenção e o desenvolvimento da existência humana. Isto é evidenciado pelo forte e contínuo aumento, ocorrido nas últimas décadas, no consumo mundial de formas primárias de energia, e pelo forte vínculo entre utilização de energia e desenvolvimento econômico. O consumo mundial de energia deverá aumentar, não só e principalmente devido ao aumento da população, mas também devido à contínua industrialização, notadamente das economias emergentes na Ásia e na América Latina. Todavia, o suprimento global de energia consiste primordialmente de combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás natural, cuja utilização não é compatível com o desenvolvimento sustentável. Não somente tais fontes são finitas, como também a combustão continuada e crescente de hidrocarbonetos contribuirá cada vez mais para a degradação do meio-ambiente, em decorrência da emissão maciça de dióxido de carbono para a atmosfera. Desta forma, torna-se imperativo encontrar alternativas energéticas viáveis para substituição dos combustíveis fósseis em futuro próximo.

### **2.5.2 Fontes sustentáveis de energia**

Desenvolvimentos sustentáveis, que satisfaçam a necessidade de energia a partir da segunda metade deste século, só poderão ser realizados com base em três alternativas: fontes renováveis, reatores de fissão nuclear com ciclo regenerativo, e reatores de fusão



termonuclear controlada. Dentre as **fontes renováveis**, as de energia solar e eólica têm fortes atrativos (além das tradicionais fontes de energia hidráulica e biomassas), devendo ser implantadas com vigor nas próximas décadas. Entretanto, sua distribuição é irregular e não uniforme, requerendo vastas áreas para captação e grandes instalações para armazenamento e distribuição, caso a energia não seja utilizada localmente. A instalação de usinas de **fusão nuclear regenerativa** poderia aliviar o lapso futuro de energia, mas esta solução agravaria os problemas de proliferação das armas nucleares e de armazenamento dos resíduos nucleares em escalas geológicas de tempo. Por sua vez, a **fusão termonuclear controlada (energia)** demanda desenvolvimentos tecnológicos extraordinários para tornar-se uma fonte de geração de energia economicamente aceitável – o que também se aplica às outras opções energéticas em grande escala já mencionadas – mas oferece a melhor perspectiva como uma fonte duradoura de energia. A solução apresentada pela fusão simplifica consideravelmente as questões de disponibilidade de energia, eliminação de resíduos, e de segurança.

### 2.5.3 Fusão na cadeia energética sustentável

A fusão termonuclear de núcleos leves (deutério e trício em particular) tem enorme potencial para tornar-se uma fonte de energia limpa e segura, não agressiva ao meio ambiente, e praticamente inesgotável. Centrais localizadas de fusão serão elementos importantes no futuro panorama energético, assim como fontes renováveis, podendo suprir eletricidade diretamente ou através de uma cadeia baseada na utilização de hidrogênio e células de combustível. É importante esclarecer que a utilização do hidrogênio como combustível em meios de transporte, por exemplo, não resolve per se o problema energético ou de emissão do dióxido de carbono na atmosfera. O hidrogênio é um veículo de energia que não pode ser produzido diretamente, como na perfuração de um poço de petróleo ou de gás natural. Ele precisa ser extraído por processos químicos, notadamente a reformação de hidrocarbonetos (obtidos do gás natural ou frações da destilação do petróleo) por vapor de água em alta temperatura, resultando na produção de hidrogênio e dióxido de carbono. Este processo, cuja eficiência energética é de aproximadamente 65%, implica uma perda de energia em relação à queima direta do hidrocarboneto, utiliza fontes cada vez mais escassas, e requer o desenvolvimento de métodos eficazes de seqüestro do carbono. Por outro lado, o hidrogênio pode ser produzido de maneira sustentada por eletrólise da água em larga escala, com uma eficiência energética entre 60 e 80%. Entretanto, este método utiliza eletricidade, que é um veículo de energia livre de carbono e de poluentes, tal como o próprio hidrogênio que se pretende obter. A solução ideal, já apontada mais acima, seria obtida com centrais de fusão geradoras de energia elétrica que pudessem operar, fora dos picos de demanda, na produção por eletrólise do combustível para motores a hidrogênio. O processo de eletrólise também levaria à extração do deutério contido na água e necessário para a reação de fusão.

### 2.5.4 Situação mundial no desenvolvimento da fusão

O ideal da fusão nuclear – processo de geração de energia nas estrelas – vem sendo perseguido desde o início da era atômica, encontrando-se em vias de se tornar realidade. Em vista do grande progresso atingido nas últimas décadas, há condições de se dar o passo decisivo, envolvendo a construção de um reator destinado a gerar mais energia que a consumida, e a produzir uma reação auto-sustentada. O projeto ITER – *International Thermonuclear Experimental Reactor* (palavra que também significa “o caminho” em Latim) – consiste no desenvolvimento de um reator experimental para produzir 500 megawatts de potência por fusão termonuclear em pulsos de até 10 minutos de duração, com possibilidade de operação contínua dependendo de melhorias ulteriores (<http://www.iter.org/>). O projeto

tem o objetivo de fazer a transição entre os reatores experimentais de fusão que já existem e a primeira usina com fins comerciais. Este projeto internacional de pesquisa em fusão termonuclear por confinamento magnético tem um custo estimado de 5,6 bilhões de dólares, envolvendo a participação da União Européia, Japão, República Popular da China, Índia, República da Coreia, Rússia e Estados Unidos, com o apoio da Agência Internacional de Energia Atômica, membro do sistema de organizações das Nações Unidas. Recentemente, foi escolhido Cadarache, no sul da França, como local de construção do ITER, estando em curso os arranjos legais e financeiros para implementar este empreendimento internacional, que deverá estabelecer definitivamente as bases experimentais da energia por fusão utilizando tokamaks convencionais. O termo tokamak é um acrônimo para *câmara toroidal magnetizada*, em russo, utilizado para designar o sistema atualmente mais avançado para confinamento magnético de plasmas, inventado no final da década de cinquenta por cientistas soviéticos. O ITER representa a evolução do conceito tokamak, com início de construção em 2007 e operação prevista a partir de 2016. Os resultados do projeto darão novo impulso ao esforço para produzir comercialmente energia por fusão, em meados deste século, de maneira limpa, segura e renovável. Com o advento da fusão o suprimento mundial de energia aumentará de maneira significativa, em concomitância com reduções na poluição do ar e na emissão de gases que produzem aquecimento atmosférico.

Há também um grande interesse internacional nos resultados apresentados por regimes avançados de confinamento magnético e conceitos relativamente novos, como o tokamak esférico, que poderiam atingir as condições de operação dos reatores em máquinas mais eficientes, menores e mais simples. Atualmente, as pesquisas em tokamaks esféricos são lideradas pela Inglaterra e pelos Estados Unidos, com atuação também pioneira do Laboratório Associado de Plasma do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (LAP-INPE). É importante observar que novos experimentos baseados no tokamak esférico, embora apresentem resultados promissores, não substituem o ITER em seu plano atual de desenvolvimento de engenharia da fusão. Por outro lado, pode ser que, após o ITER, a construção de centrais geradoras de energia seja mais econômica se forem utilizados os tokamaks esféricos ou outros conceitos semelhantes em desenvolvimento.

### **2.5.5 Situação da fusão no Brasil**

No Brasil ainda não existe um programa oficial de desenvolvimento da fusão termonuclear controlada, apesar da atuação de alguns grupos nesta área. As condições da pesquisa em plasmas de fusão no País foram revigoradas com a entrada em operação, nos últimos anos, de máquinas de pequeno a médio porte com infra-estrutura mínima para a realização de experimentos científicos relevantes para o esforço internacional. Estas máquinas, localizadas notadamente no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IF-USP) e no Laboratório Associado de Plasma do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (LAP-INPE), permitem realizar pesquisas tanto na área de aquecimento e geração de corrente por injeção de radiofrequência, importante para todos os conceitos, como na área específica dos tokamaks esféricos.

Recentemente, a portaria MCT 870 de 21 de novembro de 2006 instituiu a Rede Nacional de Fusão, que tem por objetivo promover o avanço científico-tecnológico da fusão nuclear controlada no país, coordenando as atividades dos grupos atuantes nesta área. Note-se que as atividades desenvolvidas no LAP-INPE têm papel de destaque na operação da Rede. A finalidade precípua é consolidar e ampliar a pesquisa e o desenvolvimento em fusão nuclear, permitindo estabelecer a capacitação científica e técnica necessária para adotar esta fonte de energia primária na matriz energética do país, caso esta opção venha a se mostrar

economicamente atrativa no futuro. Através da Rede visualiza-se uma oportunidade de inserção do Brasil no esforço mundial pela independência energética. Independência esta que está sendo perseguida por outros países em desenvolvimento, como a China, a Índia e a República da Coreia, que já possuem programas ambiciosos e autônomos de energia por fusão.

### **2.5.6 Oportunidades de pesquisa em energia sustentável no INPE**

A realização de um futuro energético sustentável requer uma combinação de vários fatores: utilização mais eficiente de energia, exploração mais intensa de recursos renováveis, e desenvolvimento de novas fontes de energia tecnologicamente avançadas. É preciso acelerar o progresso das inovações tecnológicas na área de energia, desde a fase de pesquisa e desenvolvimento até a demonstração de funcionamento, colocação em disponibilidade, e difusão da aplicação. A fusão termonuclear proverá uma fonte de energia virtualmente inesgotável, ecológica e possivelmente econômica, mas seu desenvolvimento será longo e bastante caro. Para atender as necessidades de médio e longo prazo, é preciso que o Brasil também aplique recursos no desenvolvimento, tanto de fontes de energia renováveis, além da hidráulica e das biomassas, como de tecnologias avançadas de utilização da energia. Estas tecnologias envolvem o aperfeiçoamento e aplicação de células solares e de combustível, além de meios de transmissão de energia no espaço, por exemplo, através de fontes intensas de microondas. Seria também importante investigar a aplicação de concentradores solares, possivelmente em centrais híbridas que, na indisponibilidade da radiação solar, utilizariam o gás natural ou biomassa na produção de vapor para turbinas geradoras de eletricidade. Concentradores solares e aerogeradores em locais privilegiados poderiam ser utilizados, de maneira intermitente, na produção por eletrólise do hidrogênio como armazenador de energia. Muitas destas opções tecnológicas já estão disponíveis, mas requerem aperfeiçoamento, testes da aplicação e análise de viabilidade econômica.

É importante ressaltar que, além da iniciativa já em andamento na área da fusão, o INPE possui competência em várias das tecnologias relevantes para execução de um programa de energia sustentável. Seria interessante aliar as propostas recentes de envolvimento do INPE na modelagem e estudo dos processos de mudança climática e aquecimento global, com a busca efetiva de soluções para tais problemas por meio de fontes sustentáveis de energia. Obviamente, um programa deste porte requer futuramente, mas de maneira urgente, a criação de um novo instituto, ou vários, dedicados ao estudo das interações do homem com o espaço e o meio-ambiente, e suas necessidades energéticas, nos moldes da ENEA (<http://www.enea.it/com/ingl/default.htm>), órgão nacional italiano de pesquisa em energia e meio-ambiente. As iniciativas na área de energia e meio-ambiente, se levadas a término e bem sucedidas, seriam, sem dúvida, a maior contribuição que o INPE poderia trazer para o Brasil e a humanidade.

### **3. Temas estratégicos identificados dentro das atividades desenvolvidos pelo Laboratório Associado de Sensores e Materiais (LAS)**

As atividades em Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores no INPE são desenvolvidas no âmbito do Laboratório Associado de Sensores e Materiais (LAS) e visam, primariamente, a pesquisa e o desenvolvimento de materiais e sensores de interesse à área espacial. Dentre as atividades desenvolvidas pelo LAS, os seguintes temas são considerados estratégicos.

## 4.1 Sensores

A área de tecnologia de sensores relacionada à área espacial inclui, entre outros, o desenvolvimento de sensores para o infravermelho, sensores ambientais e sistemas micro-eleto-mecânicos (MEMS).

Uma das principais aplicações dos detectores infravermelhos termais é em câmaras para aquisição de imagem no infravermelho, por satélites de sensoriamento remoto para observação da Terra, aproveitando as janelas atmosféricas em faixas específicas da região espectral. A gama de sensores de radiação com aplicações espaciais envolve elementos detectores, redes de detectores, heteroestruturas, super-redes, poços e pontos quânticos, bem como a pesquisa básica e aplicada relacionada a seus processos de fabricação. Os sensores de infravermelho são desenvolvidos através de epitaxia de feixe molecular com estruturas de compostos IV-VI. No LAS, prioritariamente, a pesquisa e desenvolvimento são focados em processos micro e nanotecnológicos de interesse espacial, visando às atividades de crescimento de camadas epitaxiais de semicondutores de PbTe, PbSnTe e PbEuTe para obtenção de dispositivos opto-eletrônicos. O LAS tem longa tradição na preparação dessas amostras, objetivando a pesquisa no desenvolvimento desses dispositivos, em particular nos detectores de radiação para o infravermelho.

A pesquisa e o desenvolvimento de sensores ambientais cerâmicos englobam os sensores de umidade do solo e do ar e de gases, para uso em coleta de dados em várias áreas do INPE. Os materiais e dispositivos em desenvolvimento envolvem pesquisa e desenvolvimento de ponta, nas áreas de micro e nanocerâmicas de filmes e monólitos. O objetivo é desenvolver sensores adequados às características específicas para cada uma das regiões brasileiras, com coleta de dados por satélites. Devido ao grande interesse, estes sensores deverão ser testados na agricultura pela EMBRAPA (controle de irrigação) e no monitoramento de deslizamento de encostas (Defesa Civil) e conseqüentemente, a implementação da inovação tecnológica destes dispositivos.

Os MEMS têm como aplicações os sensores de grandezas mecânicas como pressão, aceleração e rotação, e os sensores térmicos de radiação. Outra aplicação importante é o uso das técnicas oriundas de micro-fabricação em contextos não necessariamente microscópicos. Entre elas estão as técnicas de solda direta e solda anódica, que permitem a união de materiais sem a interveniência de adesivos e sem o amolecimento dos materiais unidos, o que permite grande precisão dimensional; a técnica de corrosão anisotrópica do silício para a fabricação de emissores de elétrons em propulsores iônicos e dispositivos de alinhamento para fibras ópticas; e as técnicas de fabricação baseadas em foto-litografia em quaisquer materiais como, por exemplo, para a confecção de micro-antenas.

Mini-ressonadores mecânicos feitos de silício monocristalino foram fabricados pelo LAS em sua primeira versão, por encomenda da Divisão de Astrofísica, para serem testados como componentes de detectores de ondas gravitacionais, e um mini-motor levitado eletricamente está em desenvolvimento, por encomenda da DMC-ETE.

## 4.2 Novos Materiais

A pesquisa e desenvolvimento em novos materiais, que atendem a área espacial, englobam as células e painéis solares destacando-se a caracterização de células e radiômetros; materiais para dispositivos de armazenagem de energia como baterias e capacitores; diamantes e materiais relacionados, particularmente os lubrificantes sólidos; materiais compósitos cerâmicos para sensores ambientais; materiais compósitos de base carbono tipo diamante/matriz porosas para eletrodos do tipo sensores eletroquímicos planos e

tridimensionais; experimentos de solidificação e crescimento de ligas semicondutoras em microgravidade utilizando um tubo de queda livre e foguetes de sondagem. Em todas estas áreas é fundamental que se tenha também suporte teórico e de modelagem para as pesquisas, bem como a capacitação para sua análise e caracterização.

A área de células solares tem como importante objetivo o estudo e a caracterização de células solares de uso espacial, bem como o desenvolvimento de processos e técnicas de microeletrônica utilizados para a obtenção de células e outros dispositivos opto-eletrônicos. Para os próximos anos, células solares de silício de uso espacial continuarão sendo utilizadas em uma ampla variedade de missões. Algumas melhorias, visando aumentar sua eficiência e baixar o custo, como por exemplo, as células de filmes finos de silício, poderão garantir a continuidade do seu uso. Muitas aplicações futuras, também exigirão células solares de multi-junções com alta eficiência, fabricadas a partir de semicondutores do tipo III-V. Este tipo de célula será utilizada no CBERS 3 e PMM. A tendência é ter sua eficiência aumentada com o aumento do número de junções. Com o aumento da quantidade de materiais semicondutores utilizados, este tipo de célula se torna mais complexo, com custo de fabricação maior e com muitas dificuldades de especificação para os usuários. Será necessário acompanhar essa evolução e desenvolver sistemas apropriados para a caracterização das células de multi-junção. É também necessário entender seu funcionamento e seus mecanismos de correntes internas para caracterizá-las.

A participação do LAS, existente hoje, em projetos na área espacial, particularmente na aplicação dos dados dos “Experimentos Célula Solar” para ciências correlatas (Geofísica, Meteorologia, Sensoriamento Remoto, Mudanças Globais e outros), bem como o desenvolvimento de radiômetros e montagem de sistemas para sua calibração, utilizados em plataformas de coleta de dados, e o desenvolvimento de simuladores solares de baixo custo, deve ser ampliada. Neste contexto, o LAS desenvolveu simuladores solares: um para caracterização de células com 2 e 3 junções, cuja tecnologia foi transferida e está atualmente sendo utilizado por empresa ligada à área espacial para a caracterização das células da PMM, e outro, em uso no INPE, para caracterizar as células de silício do CBERS 2B.

Dentro de sua área de competência o grupo de células solares ao longo de sua existência no INPE, realizou o Experimento Célula Solar nos satélites SCD1 e SCD2; o projeto e contratação dos painéis solares do SCD1, CBERS1 e CBERS2 em parceria com a indústria nacional; a caracterização de células solares do CBERS2B e PMM; e a fabricação de radiômetros para as plataformas de coletas de dados meteorológicos do CPTEC.

As pesquisas e aplicações de filmes de diamantes na área espacial são extensas e englobam o crescimento de filmes finos e auto-sustentados de diamante micro e nano estruturado e carbono tipo-diamante (DLC) a partir da deposição química da fase vapor (CVD) em diferentes substratos e superfícies. O crescimento de filmes de diamante dopados com boro sobre materiais porosos como tecidos e feltros de carbono, carbono vítreo reticulado, Si poroso e Ti puro poroso têm sido utilizados na obtenção de eletrodos de alta qualidade para uso em baterias recarregáveis e capacitores eletroquímicos.

No LAS, foram desenvolvidos: técnicas de preparação de substratos, modificações de superfícies, trabalhos de pesquisa fundamental com diagnósticos “in situ”, modelagem e caracterizações avançadas, visando sua aplicação em curto, médio e longo prazo em sistemas que vão da cobertura de ferramentas industriais à fabricação de janelas ópticas, cuja principal utilização está nos dispositivos espaciais. Nesta linha, foram desenvolvidos e repassados à empresa atuante na área espacial, filmes de Carbono Tipo Diamante (DLC) para atuar como lubrificante sólido em peças de satélites. Testes em escala de laboratório têm sido realizados em compósitos diamante/fibras de carbono e diamante/fibra de carbono/nanotubos, como

eletrodos de alta eficiência na intercalação eletroquímica de lítio, para uso em baterias recarregáveis de íons de lítio e capacitores eletroquímicos. Esses compósitos são inovadores na formação de eletrodos tridimensionais, com alta área superficial, que estão sendo também estudados para utilização na detecção de nitrato e em processos de oxidação de orgânicos em sistemas de tratamento de água.

É de interesse da área espacial a pesquisa e o desenvolvimento de processos de fabricação e caracterização de materiais e dispositivos para aplicações como sensores de gases, de umidade ambiente, de umidade de solos, ressoadores dielétricos e cerâmicos estruturais.

Outras áreas importantes em novos materiais incluem a pesquisa de sistemas micro e nanoparticulados, no desenvolvimento de cerâmicas covalentes, barreiras térmicas e propriedades mecânicas de materiais em altas temperaturas (fluência), a pesquisa e desenvolvimento de filmes cerâmicos nanoestruturados para aplicações eletro-eletrônicas, a pesquisa e desenvolvimento em técnicas de obtenção e caracterização de pós nanoestruturados, e a pesquisa e desenvolvimento de compósitos cerâmica-cerâmica, cerâmica-metal e cerâmica-polímeros parcialmente e totalmente nanoestruturados.

No que tange aos processos de fabricação de MEMS, a ênfase é dada às novas técnicas de processamento e materiais, como o entendimento quantitativo do processo de solda anódica vidro-metal e vidro-semicondutor.

Pesquisas em microgravidade são desenvolvidas e/ou incentivadas por todas as agências espaciais do mundo, com ênfase em processos biológicos, em fisiologia e em ciência dos materiais. As plataformas utilizadas são as torres e tubos de queda livre, os vôos parabólicos, os foguetes de sondagem (sub-orbitais), os satélites científicos de reentrada ou não e a Estação Espacial Internacional (ISS). Na área de microgravidade foi desenvolvido um forno de solidificação multi-usuário, que está disponível para experimentos da comunidade científica-tecnológica nos foguetes de sondagem VSB-30 do IAE-CTA. Neste forno, além dos experimentos próprios, foram processados materiais da UFPE. O LAS, juntamente com outras áreas do INPE, participa também da organização, seleção e coordenação dos experimentos da comunidade científica nacional, embarcados em foguetes sub-orbitais e na ISS em programas patrocinados pela AEB.

Para as pesquisas e desenvolvimentos propostos é fundamental o suporte fornecido pela pesquisa básica e por modelagem envolvendo as áreas de novos materiais, dispositivos semicondutores, sistemas eletrônicos fortemente correlacionados, supercondutividade, crescimento de cristais, fenômenos críticos e transições de fase, sistemas desordenados, superfícies e interfaces, propriedades ópticas e de transporte em semicondutores, estrutura eletrônica de nanoestruturas semicondutoras, fratura e plasticidade de materiais e spintrônica.

O LAS conta com um grupo de pesquisa básica nessas áreas, com nível e reconhecimento internacional. Também, ao longo de vários anos, estabeleceu métodos de caracterização de materiais para aplicação espacial, desenvolvidos não só no CTE, mas também pelas diversas áreas do INPE e de outras instituições, através das técnicas de microscopia óptica e eletrônica de varredura, difratometria de raios X, espectroscopia Raman, tribometria e perfilometria.

### **4.3 Nanotecnologia**

A pesquisa e o desenvolvimento em nanotecnologia estão estreitamente ligados à área de novos materiais voltados para aplicações espaciais. Neste contexto, podem ser destacadas as grandes frentes em desenvolvimento: materiais para estruturas espaciais como filmes, cerâmicas nanoestruturadas e nano pós cerâmicos (barreiras térmicas e de radiação),

polímeros reforçados com nanopartículas, nanotubos de carbono, compósitos metal-matriz, metais nanocristalinos e suas ligas; geração e armazenagem de energia; sensores térmicos, ambientais e de infravermelho; células solares multi-junção; camadas redutoras de atrito e desgaste (tribologia); nanoestruturas para sistemas espaciais inteligentes compreendendo spintrônica, computação quântica e nanotecnologia para armazenamento de dados.

## **CONCLUSÕES DA PROSPECÇÃO DO CTE**

Como pode ser observado pelo descrito acima, as atividades desenvolvidas pelos laboratórios sob a Coordenação dos Laboratórios Associados (CTE) são bastante diversificadas. Entretanto, algumas destas atividades podem ser agrupadas em torno de temas mais abrangentes e estratégicos para as atividades do INPE, conforme segue:

- **Propulsores**

A inclusão deste tema como estratégico encontra justificativa na seguinte frase, vinda da publicação da OECD - Space 2030 – Tackling Society’s Challenges: “Propulsão é um conhecimento crucial para futuras capacidades de lançadores e satélites (p. ex. satélites de observação da Terra). Em veículos lançadores, a propulsão é responsável por 70-90% do peso do veículo e por 40-50% do custo do sistema. A vida média de um satélite é limitada pelo tempo de duração da potência ou da propulsão, o que for menor, vindo daí a importância do desenvolvimento de satélites cada vez menores, mais leves, mais potentes e com menor custo para os sistemas de potência e de propulsão”. Aqui estariam inseridas as atividades do LAP com o propulsor iônico, as atividades do LCP com os propulsores mono, bipropelentes (1.1), híbridos (1.2) e por plasma pulsado (1.9), bem como os testes de qualificação de propulsores (1.3). A justificativa se aplica ainda ao desenvolvimento de fontes compactas pulsadas de alta tensão para sistemas embarcados (3.3).

- **Novos Materiais**

Aqui incluídos as células e painéis solares, as pesquisas e aplicações de filmes de diamantes na área espacial (4.2), as tecnologias de plasma para o desenvolvimento de materiais aeroespaciais (3.2), bem como o desenvolvimento de materiais resistentes a altas temperaturas e a altas pressões (1.6).

- **Sensores**

A área de tecnologia de sensores relacionada à área espacial inclui, entre outros, o desenvolvimento de sensores para o infravermelho, sensores ambientais (radiação UV-visível-IV, umidade, gases) e sistemas micro-eleto-mecânicos (MEMS).

- **Nanotecnologia**

A Nanotecnologia trata de aplicações e desenvolvimentos de nanoestruturas e nanodispositivos utilizando-se das propriedades físicas, químicas, elétricas e óticas de novos materiais e materiais avançados, e que resulta em uma maior miniaturização de dispositivos e sensores. Embora apareça aqui como um tema estratégico ela está intensivamente presente no

desenvolvimento de novos materiais (4.2, 3.2, 1.6), de sensores (4.1) e na busca da compactação dos satélites (3.3).

- **Desenvolvimento de instrumentação para satélites científicos**

A ionosfera e a magnetosfera são muito ricas em fenômenos de plasma e todos os satélites científicos lançados levam como carga útil alguns instrumentos para o diagnóstico dos plasmas destas regiões.

- **Processamento, manipulação, exploração e análise avançada de dados**

Trata do desenvolvimento de projetos de pesquisas e aplicações em análise de dados e extração de informação, empregando ferramentas matemáticas e computacionais avançadas ou buscando soluções computacionais para a manipulação, armazenamento, processamento, extração da informação, análise para a caracterização de fenômenos a partir de grandes volumes de dados espaciais.

- **Modelagem computacional de sistemas complexos e não lineares**

A área de modelagem computacional exige grandes avanços da ciência da computação, da física e da matemática aplicada na geração de soluções de análise, processamento e representações que permitam o suporte à tomada de decisão, através da simulação de fenômenos que não podem ser reproduzidos em laboratórios.

- **Processamento de alto desempenho**

Os recursos de processamento de alto desempenho são fundamentais para a obtenção de modelos que requeiram novos desafios no desenvolvimento e aplicação de técnicas computacionais avançadas, modelos e algoritmos adaptáveis, integrando conhecimento de diferentes abordagens computacionais, matemáticas e estocásticas, através do uso de grandes bases de dados, como na área espacial.

- **Fusão Termonuclear Controlada (fonte de energia)**

A realização de um futuro energético sustentável requer uma combinação de vários fatores: utilização mais eficiente de energia, exploração mais intensa de recursos renováveis, e desenvolvimento de novas fontes de energia tecnologicamente avançadas. É preciso acelerar o progresso das inovações tecnológicas na área de energia, desde a fase de pesquisa e desenvolvimento até a demonstração de funcionamento, colocação em disponibilidade, e difusão da aplicação. Embora se espere que a fusão termonuclear proverá uma fonte de energia virtualmente inesgotável, ecológica e possivelmente econômica, seu desenvolvimento será longo e bastante caro. A não participação do Brasil no esforço mundial para as pesquisas nesta área poderá, no futuro, impedir que o país tenha acesso a esta tecnologia a um custo acessível.



## **Anexo 5: Demandas atendidas atualmente pelas tecnologias espaciais associadas em pesquisa e desenvolvimento de produtos e sistemas para o setor espacial**

### Ciência e tecnologia de plasma:

1. Propulsão eletrostática – Desenvolvimento de propulsores à plasma para controle de atitude de satélites e desenvolvimento de fontes de íons para novos materiais;
2. Instrumentos embarcáveis para satélites científicos – Desenvolvimento do detector ELISA para o satélite EQUARS;
3. Teste do analisador eletrostático para o estudo de precipitação de elétrons com energias entre 0,1 e 40 keV na Anomalia Magnética do Atlântico Sul;
4. Capacitação do LAP em fontes de alta potência para o desenvolvimento de fontes compactas para uso em sistemas embarcados;
5. Tratamento de superfícies por implantação iônica por imersão em plasma (3IP) para diferentes materiais, com ênfase em aplicações espaciais (Kapton, polietileno e Mylar);
6. Desenvolvimento de instrumentos e técnicas de medida de momento magnético dos satélites brasileiros SCD-1, SCD-2A e SCD-2 e seus subsistemas; balanceamento magnético dos satélites;
7. Medidas do momento magnético do microsatélite científico SACI-I no LIT;
8. Participação no Projeto Gráviton da Divisão de Astrofísica do CEA/INPE – estudos e testes de cavidades reentrantes para a aplicação como transdutor eletromecânico em detectores de ondas gravitacionais.

### Materiais e sensores:

1. Experimento de célula solar nos satélites SCD1&2 desenvolvido em cooperação com o LME-USP;
2. Projeto e contratação dos painéis solares do SCD1 e CBERS1&2 em parceria com a indústria nacional;
3. Caracterização de células solares do CBERS2B e PMM;
4. Radiômetros para as plataformas de coletas de dados meteorológicos do CPTEC;
5. Desenvolvimento de simulador solar de baixo custo para a caracterização de células solares e testes de coletores solares térmicos;
6. Filmes de Carbono Tipo Diamante (DLC) para atuar como lubrificante sólido em peças de satélites;
7. Dispositivos de armazenamento de energia (baterias e supercapacitores) para aplicação espacial;
8. Dispositivos de micro-eleto-mecânica em silício;
9. Caracterização dimensional de mini-propulsores para satélites, por aquisição e processamento de imagens;
10. Fabricação de mini-ressonadores mecânicos para detector de ondas gravitacionais;

11. Desenvolvimento de micro-motor para aplicação em sensores inerciais;
12. Epitaxia de feixe molecular de estruturas de compostos IV-VI (PbTe, PbSnTe, PbEuTe) para aplicações em detectores de infravermelho;
13. Desenvolvimento de sensores ambientais (umidade, gases, temperatura, etc) para as PCDs;
14. Desenvolvimento de sensores de umidade do solo;
15. Cerâmicas nanoestruturadas e microporosas para aplicação em sistema de refrigeração de satélites;
16. Ressonadores dielétricos na faixa de microondas para aplicações em telecomunicações terrestres e espaciais;
17. Cerâmicas de zircônia nanoestruturadas para barreiras térmicas e filtros de radiação;
18. Filmes cerâmicos nanoestruturados para aplicações estruturais e MOS-FET;
19. Estudo de solidificação de ligas em vôo sub-orbital em foguete VS-30 (10-3 g em 4 min);
20. Caracterização de materiais para aplicação espacial, desenvolvidos não só no CTE, mas também pelas diversas áreas do INPE, através das técnicas de microscopia óptica e eletrônica de varredura, difratometria de raios X, espectroscopia Raman, tribometria e perfilometria;
21. Coordenação da parte científica dos experimentos para vôo na ISS / Soyuz na Missão Centenário do astronauta brasileiro.

#### Combustão e propulsão:

1. Qualificação do Propulsor 200 N da SNECMA (programa espacial francês);
2. Ensaio de partida do Propulsor de 400 N (rolamento do VLS);
3. Desenvolvimento de propulsores nacionais de 200 N (INPE);
4. Ensaio de propulsor a gás frio (booster da PMM);
5. Propulsor de 5N de hidrazina (Plataforma Multi-Missão);
6. Sistema Propulsivo da Plataforma Sub-orbital (PSO);
7. Nacionalização do catalisador do sistema propulsivo de correção de órbita e atitude de satélites (Ir/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>);
8. Desenvolvimento de novos catalisadores: carbetos e nitretos de metais de transição, nanotubos e nanofibras de carbono;
9. Nacionalização de catalisadores Ru/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Ir-Ru/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para utilização em sistemas propulsivos para correção de órbita e sistemas de emersão de submarinos;
10. Reforço de compósitos poliméricos avançados com nanofibras de carbono;
11. Pesquisas em propulsão química sólida, líquida mono e bi-propelente, híbrida e por estado-reatores;
12. Desenvolvimento de pequenos propulsores para aplicações específicas, como o propulsor para raio induzido construída em cooperação com a CEA;

13. Qualificação no Banco de Testes com Simulação de Altitude (BTSA) de propulsores utilizados em várias manobras espaciais necessárias para o posicionamento e manutenção das órbitas de satélites e plataformas espaciais;
14. Desenvolvimento de modelos matemáticos de combustão de gotas e da estrutura das chamas (cooperação com o Departamento de Engenharia Mecânica da COPPE);
15. Desenvolvimento de modelo matemático da queima de metano em meios porosos (cooperação com o Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC);
16. Estudo aerotermodinâmico de escoamento hipersônico rarefeito sobre bordos de ataque;
17. Estudo de incêndios e de queimadas, com medidas no campo e modelagem de queima e da emissão/destino/dos gases (cooperação com o CPTEC e a FEG/UNESP);
18. Combustores pulsantes;
19. Queimadores e injetores;
20. Fornos fixos e rotativos;
21. Combustão de biomassa e de materiais celulósicos;
22. Estado-reatores (Ramjets e Scramjets);
23. Modelo matemático de câmaras de combustão;
24. Chamas turbulentas;
25. Tomografia de chamas;
26. Propulsão híbrida.

#### Computação e matemática aplicada:

1. Ciência espacial: pesquisa aplicada para a paralelização de código para radiação cósmica de fundo em microondas;
2. Ciência Espacial: Desenvolvimento de métodos e algoritmos para eliminação de interferência em dados de explosão solar;
3. Ciência Espacial: Desenvolvimento de métodos, técnicas e operadores para manipulação de dados da área espacial (física solar);
4. Ciência Espacial: Aplicação de métodos matemáticos para investigações de Eletrodinâmica Planetária;
5. Engenharia espacial: Pesquisa aplicada e desenvolvimento no problema inverso em projeto ótimo dos defletores térmicos da Plataforma Multi-Missão (PMM);
6. Meteorologia: Pesquisa aplicada e desenvolvimento de software baseado em redes neurais para recuperação de perfis de temperatura e umidade utilizando dados de radiação atmosférica obtidos por satélites;
7. Meteorologia: Pesquisa aplicada e desenvolvimento de software baseado em redes neurais e mineração de dados para a previsão climática;
8. Meteorologia: Desenvolvimento de técnicas de assimilação de dados por redes neurais;

9. Meteorologia e Meio Ambiente: Desenvolvimento de modelo de turbulência para explicar a dispersão de poluentes na atmosfera;
10. Sensoriamento Remoto: Pesquisa aplicada por técnica de classificação de áreas agrícolas e de desmatamento em imagens de satélites utilizando redes neurais;
11. Hidrologia: Pesquisa aplicada e desenvolvimento de software baseado em técnicas de Pesquisa Operacional e redes neurais para a previsão de níveis de rios para geração de alertas;
12. Robótica: Desenvolvimento de modelos e algoritmos inteligentes para navegação robótica autônoma, usando redes neurais, aprendizagem por reforço e lógica nebulosa;
13. Controle e Rastreo de Satélite: Pesquisa aplicada para o desenvolvimento de sistema de planejamento inteligente de vôo de satélite usando inteligência artificial;
14. Processamento de Imagens: Desenvolvimento de algoritmos inteligentes e adaptáveis para segmentação, classificação e restauração de imagens de satélites;
15. Engenharia Espacial: Desenvolvimento de sistemas de software: Desenvolvimento de ambiente baseado na WEB para qualidade e produtividade de sistemas de software;
16. Engenharia Espacial: Desenvolvimento de sistemas de software para controle e rastreo de satélite (programa MECB);
17. Engenharia: Desenvolvimento de sistemas de software: Desenvolvimento de métodos de estimação de esforço de desenvolvimento de software para a área espacial, por redes neurais artificiais e técnicas de Pesquisa Operacional;
18. Logística em geoprocessamento: Desenvolvimento de sistemas de Pesquisa Operacional baseados em métodos de otimização para alocação de recursos, facilidades e serviços em cidades;
19. Segurança de informação e redes: Desenvolvimento de estratégias e políticas de segurança para os recursos de Tecnologia da Informação nos diversos setores do INPE;
20. Segurança de informação e redes: Desenvolvimento do projeto HoneyNet, como parte da aliança internacional para análise de ataques em SI (Solução pioneira de proteção para a operação e o patrimônio intelectual do INPE);
21. Segurança de informação e redes: Desenvolvimento de política e sistemas para identificação, classificação e tratamento de intrusões em sistemas de informação e redes, usando técnicas computacionais adaptáveis e inteligentes.