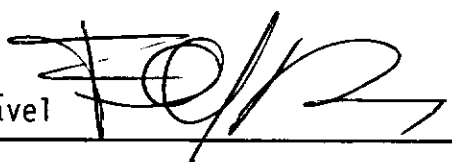


1. Publicação nº <i>INPE-3730-RPI/147</i>	2. Versão	3. Data <i>Dez, 1985</i>	5. Distribuição ☒ Interna ☐ Externa ☐ Restrita
4. Origem <i>DIT/DII</i>	Programa <i>INTES</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>INTEGRAÇÃO E TESTES</i> <i>PLANO</i> <i>SEQUÊNCIA DE INTEGRAÇÃO E TESTES</i>			
7. C.D.U.: <i>629.7.018:629.783</i>			
8. Título <i>PLANO DE INTEGRAÇÃO E TESTES PARA O SATÉLITE DE COLETA DE DADOS DA MECB-VERSÃO PRELIMINAR</i>		10. Páginas: <i>29</i>	
		11. Última página: <i>19</i>	
9. Autoria <i>Fernando Manuel Ramos</i> <i>Stephan Stephany</i>		12. Revisada por <i>Carlos de Oliveira Lino</i> <i>Carlos de Oliveira Lino</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Marco Antônio Raupp</i> <i>Diretor Geral</i>	
14. Resumo/Notas <i>Este documento apresenta uma versão preliminar do Plano de Integração e Testes para o Satélite de Coleta de Dados da MECB. Descrevem-se resumidamente as facilidades de integração e testes, apresenta-se uma filosofia de trabalho e, por último, propõe-se uma sequência de atividades para a integração e para os testes do Satélite.</i>			
15. Observações			

ABSTRACT

A preliminary version for the Data Collection Satellite Integration and Tests Plan is presented. The integration and test facilities are briefly described, a working philosophy is presented and, finally, a general sequence for the satellite integration and test activities is proposed.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE SIGLAS	vii
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REQUISITOS GERAIS</u>	1
2.1 - Facilidades de integração e testes	2
2.1.1 - Laboratório de integração	2
2.1.2 - Laboratório de testes ambientais	2
2.2 - Documentação	3
2.2.1 - Procedimento de integração ou teste	3
2.2.2 - Relatório de teste	5
2.2.3 - Boletim de integração e teste (BIT)	6
2.2.4 - Relatório de falha	6
2.2.5 - Requisição de teste	7
2.2.6 - Matriz de teste	7
3 - <u>FASE DE INTEGRAÇÃO</u>	9
3.1 - Sequência de integração	9
4 - <u>FASE DE TESTES</u>	10
4.1 - Testes ambientais	11
4.2 - Testes funcionais	12
4.3 - Sequência de testes	12
4.4 - Critério de retestagem	16
5 - <u>CONCLUSÃO</u>	16
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	18

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Facilidades para testes ambientais	4
2 - Matriz de testes para o subsistema de suprimento de energia (exemplo)	8
3 - Sequência de testes do MA	14

LISTA DE SIGLAS

BT - Banco de Teste
CA - Controle de Atitude
MI - Modelo de Integração
MQ - Modelo de Qualificação
MT - Matriz de Teste
MV - Modelo de Voo
PE - Procedimento Específico
PG - Procedimento Geral
SB - Supervisão de Bordo
SE - Suprimento de Energia
TFs - Testes Funcionais
TM/TC/R - Telemetria, Telecomando e Rastreo
TSIs - Testes de Sistema Integrado
TVCs - Testes de Vibração e Choque
TVTs - Testes de Vácuo-Térmicos

1 - INTRODUÇÃO

A fase de integração e testes no desenvolvimento de um satélite constitui a sequência metódica de operações de montagem, medida, verificação, teste e análise, cujo objetivo básico é assegurar que o sistema satisfaça os requisitos de desempenho funcional estabelecidos pela missão.

O objetivo deste documento é apresentar uma versão preliminar, ao nível de sistema, do Plano de Integração e Testes para o Satélite de Coleta de Dados da Missão Espacial Completa Brasileira. Este documento contém uma descrição:

- dos meios de integração e testes, da documentação utilizada (item 2);
- da sequência de atividades de integração do satélite (item 3);
- da sequência de testes funcionais e ambientais do satélite (item 4).

As atividades de integração e de teste no campo de lançamento não fazem parte do escopo deste trabalho.

2 - REQUISITOS GERAIS

A implementação bem sucedida do programa de integração e testes do Satélite de Coleta de Dados exige:

- a utilização de facilidade adequadas, tais como laboratórios, salas limpas e equipamentos de teste;
- a normalização de documentação gerada;
- a unicidade dos critérios adotados.

Os dois primeiros tópicos acima são discutidos com mais detalhes nas seções a seguir.

2.1 - FACILIDADES DE INTEGRAÇÃO E TESTES

As facilidades descritas a seguir estão agrupadas no Laboratório de Integração e Testes.

2.1.1 - LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO

Constituído por uma área de integração e testes funcionais e por outra para execução de operações de alinhamento, possui as seguintes características:

- superfície de área limpa: 450m²;
- climatização: temperatura: $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$,
umidade relativa: entre 40% e 60%,
limpeza: classe 10.000 (Fed STD 209B).

Em área anexa localiza-se a Sala de Controle do Banco de Testes, responsável pela monitoração, execução e controle das rotinas automáticas de testes funcionais do satélite.

2.1.2 - LABORATÓRIO DE TESTES AMBIENTAIS

Este laboratório é composto pelo Hall de Testes, que abriga os meios de testes ambientais e medidas físicas, e por áreas anexas de suporte, que proporcionam condições materiais e ambientais para a realização de operações de teste, medida e manuseio com satélites.

O Hall de Testes possui as seguintes características:

- superfícies: área de qualificação: 1204m²,
área de desenvolvimento: 336m²,
- climatização:
 - . área de qualificação: temperatura: $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$,
umidade relativa: entre 40% e 60%,
limpeza: classe 100.000 (Fed STD 209B);

- . área de desenvolvimento: temperatura: $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$,
umidade relativa: entre 40% e 60%.

Os meios de testes ambientais e de medidas físicas estão descritos na Figura 1.

2.2 - DOCUMENTAÇÃO

Alguns documentos utilizados durante a integração e testes do satélite são definidos nas seções a seguir.

Toda a documentação produzida durante as fases de integração e testes deve ser organizada e arquivada de modo a possibilitar o acesso a quaisquer dados de montagem, teste ou medidade, de qualquer equipamento do satélite. Este banco de dados permitirá uma completa avaliação do sistema ao final do programa de testes.

2.2.1 - PROCEDIMENTO DE INTEGRAÇÃO OU TESTE

Um procedimento define e descreve com precisão e clareza todo conjunto de operações necessárias à realização de uma atividade de integração ou de teste. Um procedimento inclui:

- introdução (objetivo e descrição resumida da atividade de integração ou de teste);
- documentos aplicáveis (desenhos e especificações do espécime, referências, normas, etc.);
- constituição da equipe responsável pela execução do procedimento;
- critérios aplicáveis (retestagem, segurança, tolerância, atribuições da equipe responsável, etc.);
- descrição das facilidades utilizadas (equipamentos, instrumentação, instalações, etc.);
- descrição das atividades de preparação do espécime;

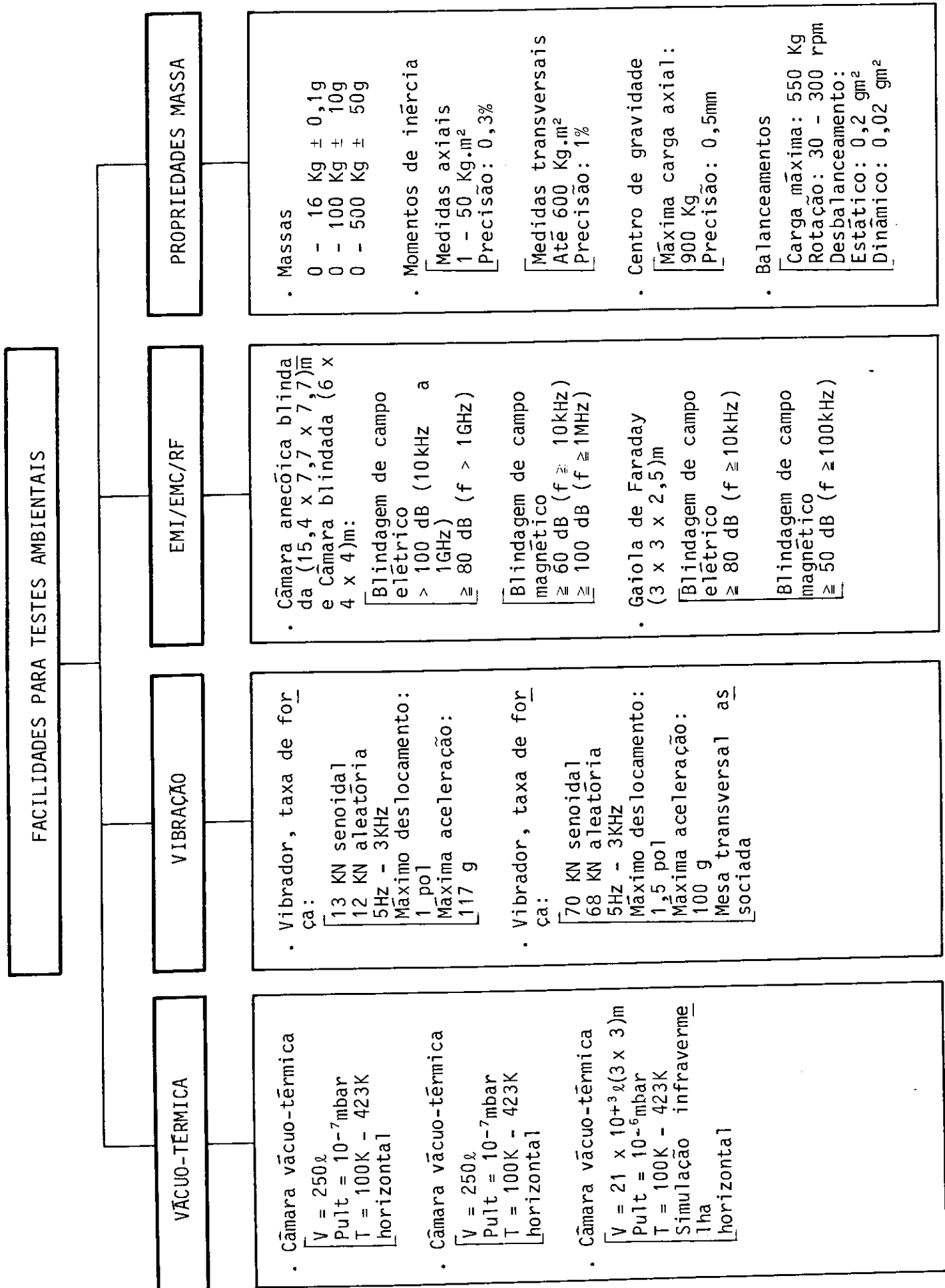


Fig. 1 - Facilidades para testes ambientais.

- descrição da configuração dos equipamentos de teste e/ou de medida;
- descrição da sequência de operações de integração e/ou teste relativos ao procedimento;
- recomendações para o processamento dos dados obtidos e para a apresentação dos resultados.

Os procedimentos são classificados em duas categorias:

- Procedimento Específico, que descreve um conjunto de operações de uma atividade de integração ou de teste em particular.
- Procedimento Geral, que estabelece uma ordem sequencial na aplicação dos procedimentos específicos. Um PG faz sempre referência a um conjunto de PEs e situa-se hierarquicamente num nível acima destes.

Como norma estabelece-se que toda operação de integração ou de teste com o satélite deve estar descrita a ser executada de acordo com um procedimento correspondente.

O procedimento deve também explicitar com destaque as medidas de segurança pertinentes a cada atividade. Operações com algum elemento crítico do ponto de vista de segurança (pirotécnicos, vasos de pressão, etc.) devem receber atenção especial.

2.2.2 - RELATÓRIO DE TESTE

Após a realização de alguma atividade de teste, quando determinado no procedimento pertinente, elabora-se um relatório de teste que contém:

- introdução: objetivo do teste;
- data da realização dos teste;
- equipe responsável por sua realização;

- descrição resumida da montagem e do procedimento do teste;
- resultados:
 - . gráficos, listagens, tabelas, fotos, etc.,
 - . irregularidades ocorridas durante os testes,
 - . modificações efetuadas nos procedimentos de teste,
 - . resumo explicativo dos pontos relevantes nos resultados,
- conclusões e recomendações.

2.2.3 - BOLETIM DE INTEGRAÇÃO E TESTE (BIT)

O BIT contém um relato diário resumido de todas as operações de integração e testes realizados com o satélite, tais como:

- instalação/remoção de equipamentos;
- procedimentos executados;
- transportes ou deslocamentos;
- incidentes, falhas, etc.

2.2.4 - RELATÓRIO DE FALHA

Toda anomalia estrutural ou funcional do satélite detectada durante a execução de um procedimento, que indica alguma deficiência de projeto, fabricação ou qualidade e ocasiona o não-cumprimento dos requisitos de desempenho estabelecidos, é definida com falha no sistema (US Air Force, MIL-STD-1540B, 1982).

A ocorrência de qualquer falha em algum subsistema ou equipamento do satélite deve ser formalmente relatada num relatório de falha, no qual devem constar:

- identificação do item em falha;
- identificação do instante e das condições de ocorrência da falha;
- descrição da falha:

- . primeiros indícios,
- . causas aparentes ou confirmadas,
- . efeitos aparentes ou confirmados;
- descrição da ação corretiva empreendida;
- recomendações;
- conclusões.

2.2.5 - REQUISIÇÃO DE TESTE

A solicitação de um teste é feita através de uma requisição expedida pelo grupo interessado, especificando:

- objetivo e necessidade do teste;
- data solicitada para a execução do teste;
- configuração de teste desejada;
- critérios aplicáveis;
- condições e especificações do teste e das medidas a serem executadas;
- outras recomendações.

2.2.6 - MATRIZ DE TESTE (MT)

A Matriz de Teste define e ordena as atividades de teste funcional e ambiental para cada subsistema. As atividades de teste e verificação funcional de cada subsistema são listadas em coluna, enquanto as atividades de testes ambientais são dispostas em linha. O cruzamento destas informações permitirá o estabelecimento de uma sequência de testes para cada subsistema e, em conjunto com outras MTs, para o satélite como um todo. A Figura 2 apresenta um exemplo de MT para o subsistema de suprimento de energia.

TF - 1		EMI/EMC		TVC		TF - 2		TVT		TF - 3		S/S SUPRIMENTO DE ENERGIA (SSE)
X		X				X				X		Verificar (V,I) baterias
X		X				X				X		Verificar (I) regulador carga
X		X				X				X		Verificar (I) regulador shunt
X		X				X				X		Verificar (V,I) in, (V,I) out do conversor DC/DC
X		X		X				X		X		Verificar integridade das interconexões elétricas
X				X				X		X		Verificar integridade das baterias
X						X				X		Testar atuação dos TM/TC
								X				Verificar temperaturas do SSE
								X				Verificar temperaturas das baterias

Fig. 2 - Matriz de Teste para o Subistema de Suprimento de Energia (exemplo).

3 - FASE DE INTEGRAÇÃO

A integração dos diversos modelos de satélite compreende a instalação de equipamentos e subsistemas, o estabelecimento das interligações elétricas e a realização de testes funcionais. O objetivo é produzir, a partir de um conjunto de elementos desenvolvidos separadamente, um sistema integrado que atenda os requisitos de desempenho funcional especificados.

O plano de desenvolvimento da MECB prevê a integração dos seguintes modelos do Satélite de Coleta de Dados:

- Modelo de identificação (MI): desenvolvido a partir de componentes com qualificação comercial e/ou militar, permitirá a identificação de problemas de configuração e de compatibilidade mecânica, elétrica e eletromagnética.
- Modelo de qualificação (MQ): idêntico ao de vôo, desenvolvido a partir de componentes com qualificação espacial, permitirá a certificação global do projeto do satélite e a validação dos procedimentos de integração e testes.
- Modelo de vôo (MV): desenvolvido a partir de componentes com qualificação espacial, será integrado e testado de acordo com procedimentos já qualificados com o MQ.
- Modelo de qualificação e vôo (MQV): constituído pelo MQ após a substituição de componentes eventualmente desgastados pelos testes de qualificação, poderá servir de reserva para o primeiro satélite ou de MV para o segundo lançamento.

3.1 - SEQUÊNCIA DE INTEGRAÇÃO

A fase de integração inicia-se com o recebimento dos subsistemas para ser integrados no satélite. Todo equipamento deve ser

entregue acompanhado de suas especificações, seu histórico de testes e outras recomendações. Deve obedecer, também, aos requisitos de limpeza especificados. No ato do recebimento cada equipamento é identificado, inspecionado visualmente, armazenado e testado se necessário.

Os subsistemas são integrados à estrutura de acordo com a sequência de integração. Esta sequência é ditada pelo grau de interfaceamento e pelas características funcionais de cada subsistema, como indicado abaixo:

- cablagem;
- cablagem + suprimento de energia;
- cablagem + SE + supervisão de bordo;
- cablagem + SE + SB + R/TM/TC;
- cablagem + SE + SB + R/TM/TC + controle de atitude;
- cablagem + SE + SB + R/TM/TC + CA + carga útil.

Cada unidade, após ser instalada sobre a estrutura primária, é conectada à cablagem e testada funcionalmente. Ao longo da integração cadeias funcionais são também testadas. O programa de testes deve assegurar que toda cadeia funcional, subsistema ou interface do satélite sejam verificadas.

4 - FASE DE TESTES

Cada modelo do satélite, completada sua integração, é submetido a uma sequência de testes cujo objetivo básico é verificar o desempenho do sistema integrado sob condições ambientais próprias do meio espacial. A filosofia de testes varia de acordo com o modelo a ser testado, segundo a norma MIL-STD-1540B (1982):

- Testes de desenvolvimento: aplicado ao MI, esta sequência de testes tem por objetivo verificar a viabilidade da configuração do satélite e a compatibilidade entre os diversos subsistemas que o compõem. É constituída basicamente por uma bateria de testes funcionais e medidas da compatibilidade eletromagnética do sistema.
- Testes de qualificação: aplicada ao MQ, esta sequência de testes deve demonstrar que o projeto, os meios e os métodos utilizados no desenvolvimento do satélite resultam num sistema apto para atender às especificações e aos requisitos exigidos pela missão.
- Testes de aceitação: aplicada ao MV, esta sequência de testes deve verificar o desempenho do sistema, detectando deficiências de fabricação e qualidade e possibilitando um envelhecimento inicial do satélite, cuja finalidade é minimizar a ocorrência de panes precoces em órbita.

4.1 - TESTES AMBIENTAIS

Os testes ambientais são especificados a partir do enveltope de condições ambientais a que o satélite estará exposto no solo, durante o lançamento e em órbita, com o nível variando em função do modelo a ser testado, segundo a norma MIL-STD-1540B (1982) da US Air Force:

- MV: os testes ambientais são especificados a partir das condições ambientais máximas previstas.
- MQ: neste caso, os testes ambientais são especificados acrescentando às condições ambientais máximas previstas as margens de projeto utilizadas pelas equipes de desenvolvimento.
- MI: em princípio, este modelo não é submetido a testes ambientais por não possuir componentes com qualificação espacial.

4.2 - TESTES FUNCIONAIS

Os testes funcionais são realizados basicamente por sequências automáticas de teste executadas pelo computador central do Banco de Teste. Cada sequência estabelece a configuração operacional dos equipamentos do espécime e executa a rotina de teste funcional, estimulando os subsistemas sob teste, armazenando resultados e/ou modificando limites de monitoração. O sistema de monitoração do Banco de Teste encarrega-se de supervisionar os principais parâmetros dos subsistemas em teste e de compará-los com as especificações armazenadas nas tabelas de monitoração do computador central de teste.

Cada sequência de testes funcionais aplicada a um subsistema de um dado modelo do satélite deve estar especificado na MT correspondente.

4.3 - SEQUÊNCIA DE TESTES

A sequência de teste do sistema tem início ao final da fase de integração, quando este passa a ser submetido a um conjunto de testes funcionais e ambientais, medidas físicas e operações de alinhamento.

A sequência ilustrada na Figura 3, descrita a seguir com mais detalhes, corresponde à sequência de testes do MQ. No caso do MV, devem ser eliminadas as operações de teste que possam danificar o satélite, como por exemplo os testes de descarga eletrostática, reduzindo o nível dos testes ambientais. Em linhas gerais, entretanto, as duas sequências são idênticas.

a) Testes do Sistema Integrado I

Este primeiro segmento da sequência de teste é composto por:

a.1) Alinhamentos 1

a.2) Testes Funcionais 1 (TFs-1)

Após as operações de alinhamento, o sistema é conectado ao BT e testado funcionalmente como especificado nas MTs. Estes resultados são comparados com as especificações de performance do sistema com o objetivo de verificar se a configuração integrada não modificou o desempenho funcional dos subsistemas.

a.3) Testes de Compatibilidade e Interferência Eletromagnética (EMI/EMC).

Os testes de EMI/EMC têm por finalidade caracterizar os equipamentos elétricos do satélite pela medida de suas emissões, verificar o bom funcionamento destes equipamentos e sua susceptibilidade em relação aos outros e em relação ao ambiente.

São realizados os seguintes testes:

- medidas de emissão, modo conduzido e modo irradiado;
- medida de susceptibilidade, modo conduzido e modo irradiado;
- testes de descarga eletrostática:
 - . descarga elétrica nas proximidades do sistema,
 - . passagem de corrente elétrica pela estrutura.

a.4) Medidas Físicas 1

As operações de medidas físicas a seguir possibilitam a determinação precisa das características físicas do satélite, bem como eventuais correções em função das especificações e tolerâncias:

- balanceamento dinâmico;
- determinação da massa;
- determinação da posição do centro de gravidade;
- determinação dos momentos de inércia.

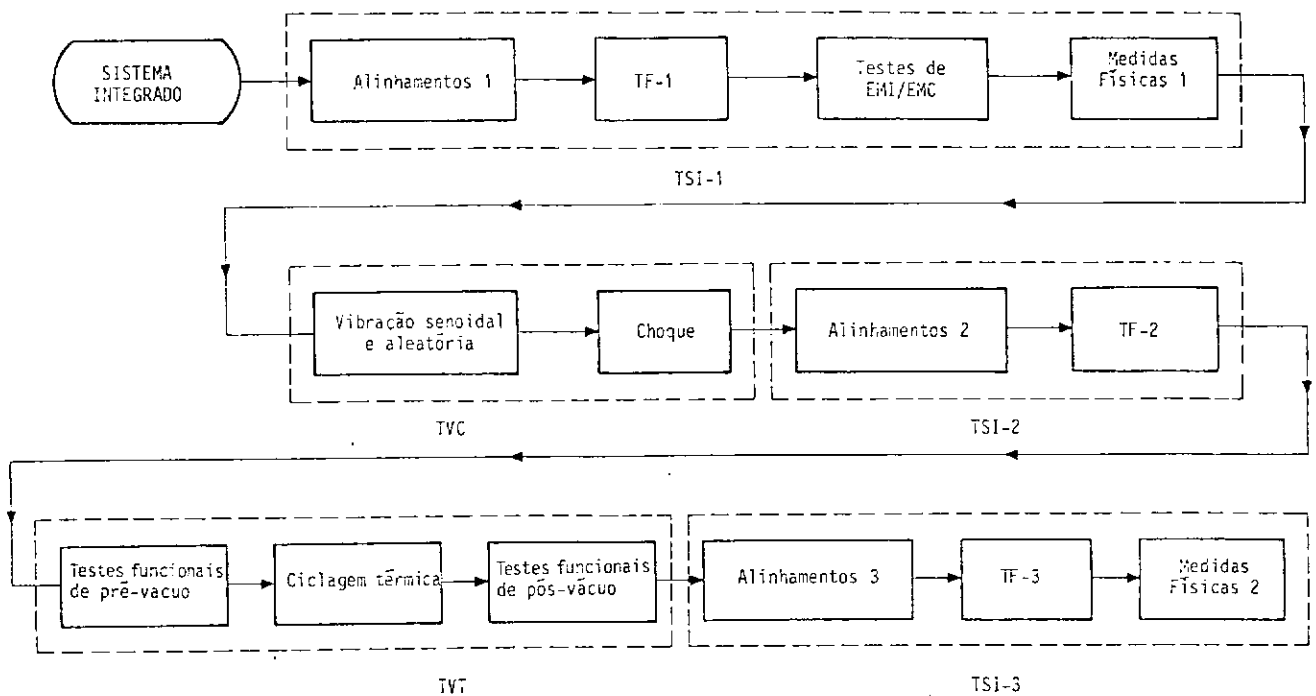


Fig. 3 - Sequência de testes do MA.

b) Testes de Vibração e Choque (TVCs)

Os TVCs devem demonstrar a capacidade do sistema de suportar os níveis de vibração e choque encontrados durante a fase de lançamento e ao longo de operações de transporte e manuseio em solo sem degradação do seu desempenho funcional.

Durante o ensaio, o sistema é excitado pelo vibrador de 70kN segundo seus três eixos ortogonais nos modos aleatório e senoidal nos seguintes níveis:

- . baixo 1;
- . qualificação (ou aceitação);
- . baixo 2.

Os resultados do ensaio baixo 2, comparados com os resultados do ensaio baixo 1, possibilitam a verificação da influência do nível de qualificação (ou aceitação para o MV) sobre o sistema.

A duração e os níveis dos testes são especificados a partir da norma do lançador utilizado.

O ensaio de choque no eixo longitudinal do satélite encerra os TVCs.

Os testes são realizados com o sistema em modo operacional de lançamento, do ponto de vista de alinhamento.

c) Testes do Sistema Integrado 2

Nesta fase o satélite é submetido a novas operações de alinhamento e aos TFs-2.

c.1) Alinhamento 2

Os resultados são comparados com os resultados obtidos em a.1 com o objetivo de verificar a influência dos TVCs sobre os equipamentos, do ponto de vista de alinhamento.

c.2) Testes Funcionais (TFs-2)

Os resultados são comparados com os obtidos nos TFs-1 de modo a verificar se ocorreram degradações no desempenho funcional do sistema devido aos TVCs.

d) Testes Vácuo-Térmicos (TVTs)

Os TVTs devem demonstrar a capacidade do sistema de atender os requisitos de desempenho sob condições extremas de vácuo e temperatura características do ambiente espacial.

Em linhas gerais o desenvolvimento dos TVTs é o seguinte:

- Testes funcionais de pré-vácuo, realizados com o espécime já instalado na câmara de vácuo-térmica de 21m³.
- Ciclagem térmica, começando por um caso quente para evitar a condensação de resíduos sobre o satélite. A duração, o número de ciclos e os níveis aplicados são especificados a partir de dados do envelope de condições ambientais em órbita.
- Testes funcionais de pós-vácuo.

Equipamentos que permanecem ligados na fase de lançamento devem ser monitorados com relação ao efeito corona durante a evacuação da câmara.

e) Testes do Sistema Integrado 3.

Nesta fase são realizadas as últimas medidas de alinhamento, os TFs-3 e medidas físicas.

e.1) Alinhamento 3.

Verifica-se a influência dos TVTs sobre o alinhamento de alguns equipamentos comparando os resultados de e.1 com os obtidos em c.1 e a.1.

e.2) Testes Funcionais 3 (TFs-3).

Os resultados dos TFs-3, após comparação com os TFs-1 e TFs-2, avaliam a influência dos TVTs sobre o sistema.

e.3) Medidas Físicas 2.

4.4 - CRITÉRIO DE RETESTAGEM

Quando ocorre alguma falha do espécime durante a execução da sequência de testes, deve-se interromper o ensaio em curso e proceder a uma análise de suas causas e de suas consequências para o sistema. A natureza e a magnitude da falha determinam se o teste terá prosseguimento ou se deve ser realizado novamente. Quando a ação corretiva causar alterações substanciais no projeto ou na configuração do sistema, toda a sequência de testes deve ser reiniciada. A análise técnica e seus resultados devem constar no Relatório de Falha permanente.

5. CONCLUSÃO

Este documento procurou propor uma estrutura básica para o Plano de Integração e Testes do Satélite Coleta de Dados da MECB.

As suas lacunas evidenciam as linhas mestras para complementação deste trabalho, quais sejam:

- . especificação das MTs para cada subsistema;
- . especificação dos níveis e durações dos testes ambientais;

- . estabelecimento de uma sequência de integração detalhada ao nível de equipamento;
- . elaborar o Plano de Testes para os níveis de subsistemas e equipamento.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

U.S. AIR FORCE. *Test requirements for space vehicles; MIL-STD-1540B.*
Washington, 1982.