



CONASAT
CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES AMBIENTAIS

CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES PARA COLETA DE DADOS AMBIENTAIS

Plano de Verificação

Versão 1.0

CNS-MNG- PV-001

AGOSTO, 2012

Registro de Propriedade do Documento

Autores	Organização	Data	Assinatura
Jeanne Samara dos Santos Lima	INPE/CNPq	25/07/2011	

Aprovação	Organização	Data	Assinatura
Manoel Jozeane Mafra de Carvalho	INPE		

Histórico de Revisão

Revisão	Data	Descrição
00		1ª Edição

Lista de Distribuição

Destinatário	Organização

ÍNDICE

1. DOCUMENTOS APLICÁVEIS E DOCUMENTOS REFERENCIADOS.....	5
1.1 DOCUMENTOS APLICÁVEIS.....	5
1.2 DOCUMENTOS REFERENCIADOS.....	5
2. INTRODUÇÃO	6
2.1 OBJETIVO.....	6
3. ATIVIDADES DE VERIFICAÇÃO	7
4. MÉTODO DE VERIFICAÇÃO, NÍVEIS E ETAPAS	8
4.1 MÉTODOS DE VERIFICAÇÃO.....	8
4.2 NÍVEIS DE VERIFICAÇÃO.....	8
4.3 ETAPAS DE VERIFICAÇÃO	8
5. DOCUMENTO DE VERIFICAÇÃO	11
5.1 DOCUMENTAÇÃO FORMAL.....	11
5.2 DOCUMENTAÇÃO DE VERIFICAÇÃO POR REVISÃO	12
6. FILOSOFIA DE VERIFICAÇÃO.....	13
7. CATEGORIAS E MATRIZ.....	14
7.1 CLASSIFICAÇÃO EM CATEGORIAS	14
7.2 MATRIZ	15
8. TESTES PARA ATIVIDADE DE VERIFICAÇÃO	16
8.1 TESTES AMBIENTAIS	16

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principais elementos constituintes do ciclo de vida de um projeto na área espacial.

.....**Erro! Indicador não definido.**

Figura 2. Filosofia de Verificação do CONASAT - Preliminar 13

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Categoria do Produto 9

Quadro 2. Documentação de Verificação por Revisão 12

Quadro 3. Modelos para verificação 13

Quadro 4. Equipamentos versus Categoria e Quantidade 14

Quadro 5. Matriz de Equipamentos..... 15

Quadro 6. Teste para classe de equipamentos 17

1. Documentos Aplicáveis e Documentos Referenciados

1.1 Documentos Aplicáveis

Código/Número	Título do Documento	Publicação
[DA1]	Estudo de Uma Missão Espacial para Coleta de Dados Ambientais Baseada em Nano Satélites	INPE/CRN
[DA2]	Documento de Descrição da Missão - DDM	CONASAT
[DA3]	Documento de Requisitos Preliminares – DRP Fase A	CONASAT
[DA4]	Plano de Gerenciamento do Projeto	CONASAT
[DA5]	Glossário de Termos	CONASAT

1.2 Documentos Referenciados

Código/Número	Título do Documento	Publicação
[DR1]	ECSS-E-ST-10-02C – Space Engineering: verification	ECSS
[DR2]	ECSS-E-ST-10-03A – Space Engineering: testing	ECSS
[DR3]	ECSS-M-30A – Project Phasing and Planning.	ECSS
[DR4]	Testes Ambientais e Verificação de Requisitos em Projetos da Área Espacial	INPE/SJC

2. Introdução

2.1 Objetivo

Em projetos espaciais, o fator qualidade engloba não só o grau de adequação do produto final aos requisitos de projeto, mas também a capacidade de atendimento aos requisitos dos interessados/usuários. Assim, uma verificação em cada fase do projeto e nível de exigência, baseada tanto nos requisitos do programa, quanto na “linha de base¹” aprovada na revisão de projeto anterior, deve ser realizada.

Este documento, Plano de Verificação (PV) estabelece e define os aspectos relacionados à filosofia e a matriz de verificação do projeto, e é aplicável a todos os componentes do sistema durante todas as fases do ciclo de vida do projeto. Nesta Fase A, o escopo deste documento abrange apenas, a definição preliminar da filosofia de verificação a ser empregada no Projeto CONASAT, para as fases seguintes, as atividades de verificação são mais bem detalhadas no item, a seguir.

¹ O termo linha de base representa o conjunto de documentos aprovados em uma determinada revisão de projeto. Tal conjunto de documentos sofre congelamento de status e constitui a base para fabricação, teste e verificação de cada modelo subsequente a esta revisão (ECSS, 2004).

3. Atividades de Verificação

A equipe do CONASAT deve conduzir as atividades de verificação para o satélite, cada subsistema, e componentes até o nível mais baixo. Ainda, manter um banco de dados, que inclui toda a informação relacionada com as atividades de verificação do projeto associadas a cada fase.

- Fase A:
 - ✓ Elaboração do Plano de Verificação - PV, incluindo a filosofia e matriz modelo.
- Fase B:
 - ✓ Elaboração da Matriz de Verificação, com todos os requisitos verificáveis, e os métodos de verificação selecionados;
 - ✓ Elaboração de Documento de Controle de Verificação (DCV), que enumera os requisitos a serem verificados, os métodos selecionados e mostra como e quando cada requisito será revisado. O DCV deve garantir a rastreabilidade de requisitos durante as fases C e D.
- Fase C:
 - ✓ Execução de verificação por meio de análise e revisão de design em níveis mais baixos e elaboração de relatórios de análise associados (RA) e relatório de revisão do projeto (RR);
 - ✓ Elaboração das Especificações de Testes (ET) e procedimentos de teste (PT) aplicáveis aos diferentes níveis;
 - ✓ Manutenção do DCV com o status atualizado de cada requisito e documentação associada.
- Fase D:
 - ✓ Execução de qualificação e testes de aceitação em equipamentos e níveis de subsistemas e elaboração de relatórios de teste associados (RT);
 - ✓ Execução de testes de aceitação do segmento e nível de sistema e do relatório de teste (RT) associado.
- Fase E:
 - ✓ Execução de testes em órbita e elaboração de (RT) associado.

4. Método de verificação, níveis e etapas

4.1 Métodos de verificação

As verificações são efetuadas ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento de um produto espacial, e seguem um ou mais dos seguintes métodos, ordenados conforme a confiabilidade dos resultados.

O cumprimento dos requisitos deve ser provado através de um ou mais dos seguintes métodos de verificação, a seguir, conforme ECSS-E-ST-10-02C.

- Análise;
- Teste;
- Inspeção;
- Demonstração.

4.2 Níveis de verificação

A verificação deve ser efetuada ao nível do sistema a seguir:

- Sistema;
- Segmento;
- Subsistema;
- Equipamentos e software.

4.3 Etapas de verificação

A verificação é realizada durante as fases do ciclo do projeto, e de acordo com sua especificidade, e seguem em geral, as seguintes etapas, abaixo, conforme norma ECSS-E-ST-10-02C.

1. qualificação
2. aceitação
3. pré-lançamento
4. em órbita
5. pós-aterissagem

Qualificação

- a. O objetivo da etapa de qualificação é demonstrar que o projeto, incluindo a margem de segurança cumpre todos os requisitos aplicáveis.
- b. Deve ser realizada no hardware e software e representar a configuração do produto final em termos de design, materiais, ferramentas e métodos.
- c. O programa de qualificação deve ser elaborado considerando a categoria do produto, tal como definido no Quadro 1.

Quadro 1. Categoria do Produto

Categoria	Descrição	Programa de Qualificação
A	Off-the-shelf produto sem modificações e • submetidos a um programa de teste de qualificação, pelo menos, tão severo quanto ao imposto pelas especificações reais do projeto; • produzidos pelo mesmo fabricante ou fornecedor e usando as mesmas ferramentas, processos e procedimentos de fabricação.	nenhum
B	Off-the-shelf produto sem modificações. No entanto: Tem sido submetido a um programa de teste de qualificação menos severo ou diferente do imposto pelas especificações do projeto.	Programa de qualificação Delta, decidida caso a caso.
C	Off-the-shelf produto com modificações. Modificação inclui alterações de design, peças, materiais, ferramentas, processos, procedimentos, fornecedor ou fabricante.	Programa de qualificação Delta ou completo (incluindo testes), decidido caso a caso, dependendo do impacto da modificação.
D	Produto recém-projetado e desenvolvido.	Qualificação completa

Fonte: ECSS-E-ST-10-02C – Space Engineering: verification

Aceitação

- O objetivo da etapa de aceitação é demonstrar que o produto não tem defeitos de fabricação e está pronto para o uso operacional.
- Deve ser feito na configuração final do hardware e software.

Pré-lançamento

- O objetivo do estágio de pré-lançamento é verificar se o equipamento/subsistema está configurado corretamente para o lançamento e as operações iniciais.
- Confirmar que o produto é capaz de funcionar conforme o planejado durante o lançamento e operações iniciais.

Em órbita

- Garantir que não ocorreu degradação durante a fase do lançamento, e órbita inicial, e antes do uso operacional específico.
- Complementar a verificação, proporcionando condições de funcionamento que não podem ser totalmente, ou com baixo custo, duplicadas ou simuladas em terra.
- Caracterizar se o sistema tem condições operacionais, especialmente no que diz respeito aos aspectos que não podem ser determinados antes do lançamento.
- Confirmar que os elementos espaciais e terrestres são compatíveis uns com os outros.
- Realizar a calibração e ajuste de atividades específicas para a carga útil da missão.

Pós-aterrissagem

- a. A verificação do estágio de pós-aterragem deve abordar a integridade do produto e desempenho após a missão.
- b. No caso do produto se destinar a ser relançado, a verificação deve abordar:
 1. um exame de saúde, em intervalos periódicos, acordado com o cliente, durante período de armazenamento;
 2. o desempenho do produto após o reparo, modificação ou substituição;
 3. a prontidão para reutilização.

O CONASAT deve ter as seguintes etapas de verificação:

- qualificação,
- aceitação,
- pré-lançamento, e
- órbita.

5. Documento de verificação

5.1 Documentação formal

A Equipe do CONASAT é responsável pela documentação relacionada com as atividades de verificação em cada revisão formal do Projeto. Os principais elementos constituintes do ciclo de vida de um projeto espacial são mostrados na Figura 1.

O projeto CONASAT prevê 09 revisões formais:

- Revisão de Definição da Missão - MDR;
- Revisão dos Requisitos Preliminares - PRR;
- Revisão dos Requisitos do Sistema - SRR;
- Revisão do Projeto Preliminar - PDR;
- Revisão Detalhada do Projeto - CDR;
- Revisão de Qualificação - QR;
- Revisão de prontidão para voo - FRR;
- Revisão de Aceitação - AR;
- Revisão de Prontidão para Operação – ORR.

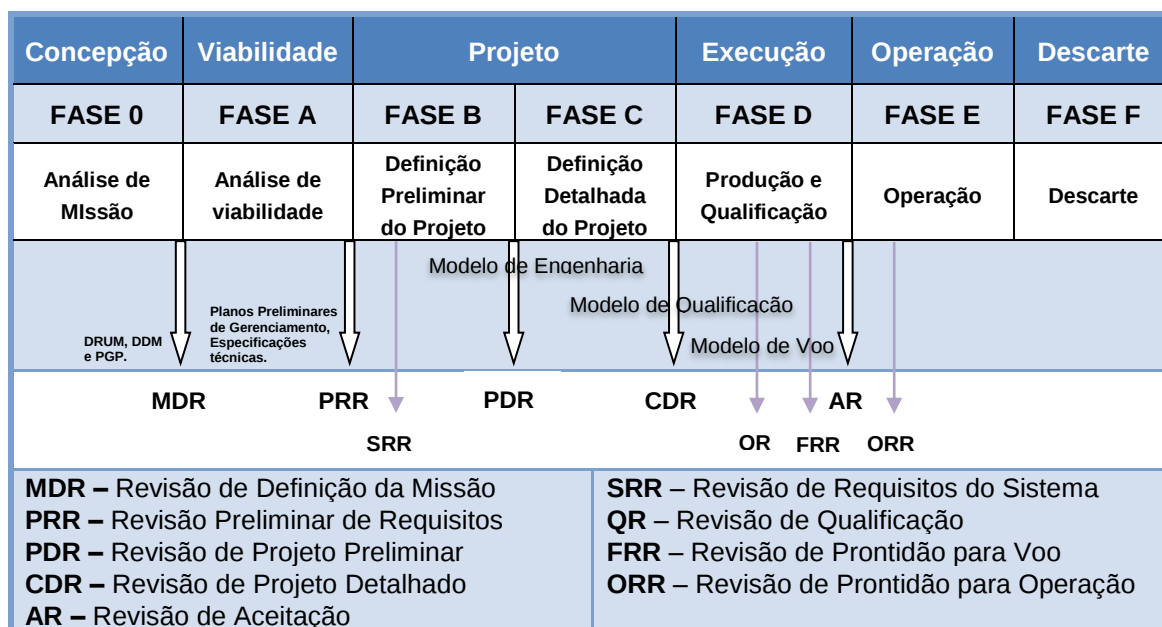


Figura 1. Ciclo de vida de Projeto Espacial

Fonte: Baseado no ECSS-M-ST-10C

Os documentos entregues ao final de cada revisão também se constituem atividades de verificação, como documentação formal.

5.2 Documentação de verificação por revisão

Os documentos relacionados com as atividades de verificação são apresentados no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2. Documentação de Verificação por Revisão

Título	Fase							Entrega	Preparado por
	0	A	B	C	D	E	F		
Plano de Verificação, com a filosofia e matriz		X						PRR	Equipe CONASAT
Matriz de Verificação			X	X				PRR, SRR, PDR, CDR	Equipe CONASAT
Documento de Controle de Verificação (DCV)			X	X	X	X	X	Periodicamente, no mínimo, no PDR, CDR, QR, AR, ORR, FRR, CR	Equipe CONASAT
Especificação de Teste				X	X			Vários meses antes do teste	Equipe de Subsistema
Procedimento de Teste				X	X	X	X	Poucas semanas antes do teste	Equipe de Subsistema
Relatório de Teste				X	X	X	X	Poucas semanas após testes	Equipe de Subsistema
Relatório de Análise				X	X	X	X	Poucas semanas após análise	Equipe de Subsistema

6. Filosofia de verificação

Este item descreve a filosofia de verificação, que é ilustrada na Figura 2.

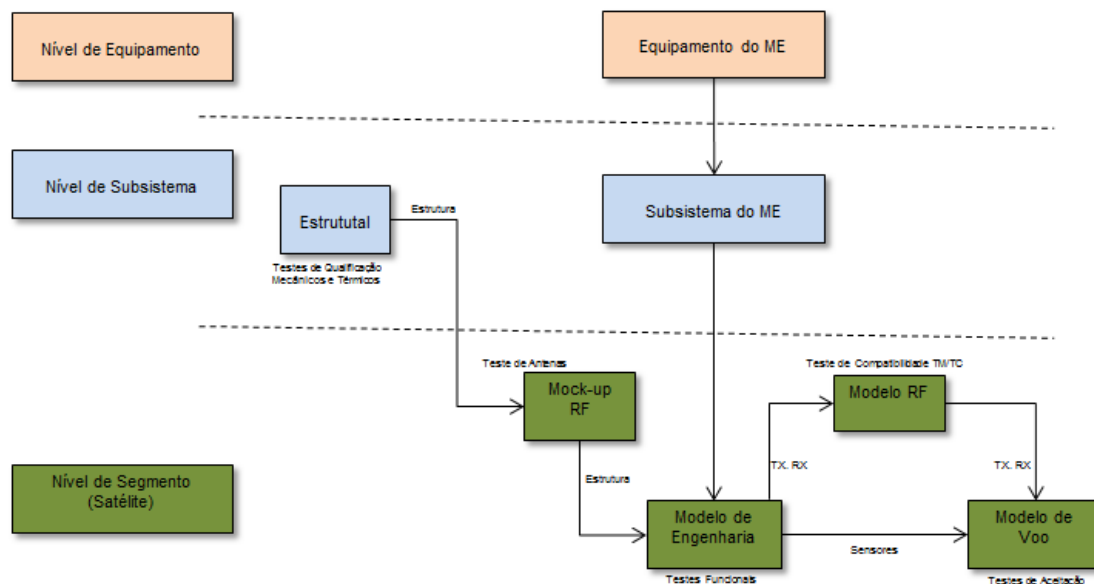


Figura 2. Filosofia de Verificação do CONASAT - Preliminar

O Quadro 3 seguir apresenta os modelos e as respectivas observações.

Quadro 3. Modelos para verificação

Modelo	Observações
Equipamentos do Modelo de Engenharia (ME)	Serão submetidos a testes funcionais antes da integração no subsistema de ME.
Subsistemas do Modelo de Engenharia (ME)	Devem ser submetidos a testes funcionais antes da integração.
Modelo de Engenharia (Modelo ME)	
Modelo de Estrutural	É submetido a testes mecânicos e térmicos para a fase de qualificação de estrutura.
Mock-up RF	O modelo de frequência de rádio (RF Mock-up) deve ser derivado a partir do Modelo Estrutural. Este modelo deve ser utilizado para aceder padrões de radiação de antena e acoplamento.
Modelo RF	Este é um modelo representativo do TM/TC do satélite, incluindo antenas e um modelo de computador de bordo, com software adequado para a verificação de TC de execução e os testes de compatibilidade com segmento solo, em todos os níveis (enlace físico e protocolos).
Modelo de Voo (FM)	Este modelo é submetido à aceitação e teste funcional e é o mesmo de voo.

7. Categorias e matriz

7.1 Classificação em Categorias

Conforme citado anteriormente, os equipamentos/subsistemas devem ser classificados de acordo com categorias, conforme Quadro 1, apresentado anteriormente. Para o CONASAT, o número e a categoria dos equipamentos/subsistema é apresentado no Quadro 4.

Quadro 4. Equipamentos versus Categoria e Quantidade

Subsistema	Equipamento	Quantidade	Categoria
Estrutura			
Estrutura 8U		1	
Controle de Atitude	Magnetorque	2	A
	Magnetômetro	2	A
	CPU ADCS + Interface	2	A,B
	Giroscópio	2	A
	Rodas de reação	2	A
Energia	Painéis Solares	10	B
	Baterias	2	A
	Placa EPS	2	A
Telemetria e Telecomando	Antenas	4	B
	Placa TRXUV	2	A
Computador de Bordo	Placa OCB	2	A
	Controle de Redundância	1	A
Carga Útil	Antenas Planares	3	C
	Módulo de Dados	2	D
	Interface com satélite	2	B

7.2 Matriz

Para o projeto CONASAT é apresentada, no Quadro 5 abaixo, uma matriz de equipamentos preliminar, onde são apresentados os subsistemas e os equipamentos relacionados aos modelos da filosofia de verificação.

Quadro 5. Matriz de Equipamentos

Sub Sistema	Equipamento	Modelos					Observações
		Eq. ME	Sub. ME	ME	Mock- Up RF	FM	
Estrutura				1	1	1	
Controle de Atitude	Magnetorque	2		2			
	Magnetômetro	2		2			
	CPU ADCS + Interface			2			
	Giroscópio			2			
	Rodas de reação			2			
Energia	Painéis Solares					10	
	Baterias			2		2	
	Placa EPS			2		2	
Telemetria e Telecomando	Antenas			4			
	Placa TRXUV			2			
Computador de Bordo	Placa OCB			2		2	
	Controle de Redundância			1		1	
Carga Útil	Antenas Planares			3		3	
	Módulo de Dados			2		2	
	Interface com satélite			2		2	

8. Testes para atividade de verificação

Em programas espaciais, se faz necessário simular todas as condições que o satélite irá enfrentar, desde o seu lançamento até o final de sua vida útil no espaço, e esta análise só pode ser realizada por meio dos testes ambientais. Existe uma vasta gama de testes a que o “hardware” de um satélite, seus subsistemas e equipamentos devem ser submetidos. Exemplos incluem: testes estáticos, testes de balanceamento dinâmico, testes de propriedades de massa e testes de alinhamento.

O padrão ECSS-E-10-03A define teste ambiental como sendo a simulação das várias restrições (juntas ou separadas) às quais um item está sujeito durante o seu ciclo de vida operacional.

Para que haja uma definição do programa de testes, as seguintes diretivas são normalmente observadas:

- os pontos críticos e as interfaces devem ser testados no início do programa;
- o fluxo de ensaios deve minimizar a reincidência de testes;
- a viabilidade dos testes deve ser confirmada no início do programa;
- o programa de teste global deve cobrir os diferentes níveis de verificação, abrangendo a qualificação e a aceitação, e, conforme a necessidade, contemplar também, testes de pré-lançamento e testes em órbita.

As solicitações impostas aos satélites ocorrem desde o momento de seu lançamento até o fim de sua vida útil, sendo que durante o lançamento as solicitações são prioritariamente mecânicas, enquanto que, após, em órbita, as solicitações são prioritariamente térmicas.

8.1 Testes Ambientais

A filosofia de testes a ser utilizada durante o desenvolvimento do projeto CONASAT, está para ser definida (tbd – to be defined). Entretanto, a equipe de projeto deverá usar como referência os testes funcionais e ambientais adotados pelo INPE, como também os sugeridos pela ESA, programados para cada classe de equipamentos, e que pode ser visto no Quadro 6, a seguir.

Quadro 6. Teste para classe de equipamentos

TESTE		CATEGORIA/TIPO DE EQUIPAMENTO											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Propriedades Físicas	ESA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA
	INPE	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA
Vibração Randômica	ESA	QA	Q ¹ A ³	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	..
	INPE	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	..
Vibração senoidal	ESA	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	..
	INPE	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-
Choque Mecânico	ESA	Q ² a	q-	q-	q-	q-	..	q-	q-	qa	..	..	Q-
	INPE	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-
Teste Acústico	ESA	-a ⁴	Q ¹ A ³	..	q-	.	..	..	..	..	qa	qa	QA ⁷
	INPE	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	QA
Termo-Vácuo	ESA	QA ⁵	Qa	QA ⁵	QA	QA	qa	QA	QA	QA	qa	QA	QA ⁷
	INPE	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA
Ciclagem Térmica	ESA	QA	Qa	QA ⁶	QA	QA	qa	QA	QA	QA	qa	QA	qa
	INPE	QA	qa	QA	qa	qa	qa	qa	Qa	qa	Qa	Qa	qa
Pressão	ESA	Q3-	..	Q ² A ²	QA	QA	QA	Qa	..	..	..	..	..
	INPE	..	..	..	QA	QA	QA	Qa	..	..	..	..	..
Choque Térmico	ESA	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
	INPE	..	Q-	..	..	..	..	..	Q-	Q-	..	q-	Q-
Legenda:						Lista de Equipamentos							
Q Nível de qualificação (mandatório),						A= Equipamentos Elétricos e Eletrônicos							
A Nível de aceitação (mandatório)						B= Antenas,							
q Nível de qualificação (opcional)						C= Baterias,							
a Nível de aceitação (opcional)						D=Válvulas							
- Não requerido						E=Fluidos e Equipamentos de Propulsão							
Notas:						F= Vasos de Pressão							
1- Se apropriado pode-se optar pela escolha entre vibração randômica ou teste acústico;						G=Trusters							
2- Necessário para equipamento sensível às condições ambientais e localizado em zonas onde as condições ambientes são críticas;						H=Equipamentos Térmicos							
3- Necessário apenas para equipamento selado ou pressurizado;						I=Equipamentos Óticos							
4- Se o equipamento é sensível a ambiente acústico, o teste será realizado ao invés do teste de vibração randômica;						J= Equipamentos Mecânicos							
5- Necessário apenas para equipamento em unidades não seladas e de alta energia, Equipamento de RF;						K= Montagens Mecânicas							
6- Não necessário para baterias que não podem ser recarregadas após o teste;						L= Painéis Solares							
7- A não ser que já esteja incluso no teste do elemento.													

Fonte: Baseado no DR5.

A programação de testes a ser adotada será adaptada às necessidades e possibilidades do projeto CONASAT, e definida nas fases posteriores do ciclo de vida do projeto, quando da disposição de mais elementos para definição dos testes a serem executados, tendo como base, os principais testes realizados pelo INPE e ESA, conforme descrito anteriormente.