

# VALIDAÇÃO DOS MODOS DE OPERAÇÃO DO SATÉLITE ITASAT-1 ATRAVÉS DE UMA ABORDAGEM DE MELHORIA DA QUALIDADE DE REQUISITOS BASEADA EM MODELOS DE ESTADOS

Marcelo Henrique Essado de Moraes<sup>1</sup> e Ana Maria Ambrosio<sup>2</sup>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,  
Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial,  
Curso de Sistemas Espaciais (CSE), São José dos Campos, SP, 12227-010  
<sup>1</sup>messado@dem.inpe.br e <sup>2</sup>ana@dss.inpe.br

**Resumo:** Este trabalho apresenta a aplicação de uma abordagem para melhoria da qualidade de requisitos dos modos de operação de um satélite de pequeno porte. A abordagem de refinamento de requisitos, chamada de COFI-ref (Conformance and Fault Injection for Requirement Refinement) foi aplicada nos requisitos de missão do satélite ITASAT-1, o primeiro satélite universitário e tecnológico do Brasil. Esta abordagem é uma agregação à metodologia de geração automática de casos de teste e injeção de falhas conhecida como COFI (Conformance and Fault Injection). Este artigo busca, com a abordagem apresentada, mitigar problemas de requisitos incompletos definindo uma sistemática e garantindo consistência no refinamento dos requisitos.

**Palavras-chaves:** refinamento de requisitos; sistemas espaciais; verificação e validação; métodos formais.

## 1 Introdução

Aplicações espaciais dependem cada vez mais de sistemas computacionais para aumentar a autonomia de operações que envolvem satélites, balões meteorológicos, espaçonaves, foguetes e clima terrestre. Novos algoritmos e recursos computacionais estão sendo utilizados a fim de realizar os mais diversos tipos de controle destas operações (Larson; Wertz 1992). Sistemas de controle automático são encontrados em abundância em setores da indústria, tais como controle de qualidade e fabricação de produtos, linha de montagem automática, sistemas de transporte, sistemas de potência, robôs, sistemas bélicos, tecnologias espaciais incluindo monitoramento do clima terrestre e muitos outros (Ogata 1970; Yoneyama, *et al.* 2000; Robinson 2007).

Este artigo aborda a utilização de uma sistemática baseada em modelos de estados para a validação dos requisitos de missão e de modos de operação do satélite ITASAT-1, podendo ser estendido no âmbito de aplicações espaciais (Ambrosio *et al.* 2008). O trabalho está inserido no contexto do Programa ITASAT, financiado pela Agência Espacial Brasileira (AEB) e desenvolvido através de cooperação entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e universidades nacionais e internacionais. O trabalho coloca em evidência os requisitos das fases iniciais do projeto, do qual o resultado deste trabalho foi aplicado na revisão de requisitos de sistemas do projeto. Busca-se, com este trabalho, apresentar o satélite ITASAT-1 e os resultados obtidos com a melhoria na qualidade dos requisitos.

Este artigo está organizado da seguinte maneira:

- O item 2 apresenta em detalhes o Programa ITASAT e o satélite ITASAT-1;
- O item 3 apresenta a aplicação da COFI-ref nos requisitos dos modos de operação do satélite;
- O item 4 discute os resultados obtidos; e
- O item 5 apresenta uma conclusão do trabalho.

## 2 O Programa ITASAT

O Programa ITASAT compreende o planejamento, o desenvolvimento, o lançamento e a operação de um satélite universitário e tecnológico de pequeno porte. De órbita terrestre baixa deve ser capaz de prover um serviço

operacional de Coleta de Dados e oferecer meios para testar, em órbita, cargas úteis experimentais. Inclusive, uma das finalidades da missão é dar continuidade ao Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (ITASAT Mission Description Document, 2010; Yamaguti et al 2009).

O Brasil possui um programa conhecido como Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais, (Yamaguti et al 2009), cujo segmento espacial é formado pelos satélites SCD-1, SCD-2 (Satélite de Coleta de Dados 1 e 2, respectivamente) e CBERS-2 (sigla em inglês para, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres). O objetivo primário deste sistema é automatizar a aquisição de dados ambientais por meio de Plataformas de Coleta de Dados (PCD) que obtêm, processam e transmitem seus dados em modo contínuo para os satélites, em um período de 40 a 220 segundos. Quando o satélite atinge o ponto de visibilidade da PCD e da Estação Terrena, parte do segmento solo de uma missão espacial, os dados transmitidos pela PCD são retransmitidos para a respectiva estação pelo satélite. Após o recebimento dos dados a Estação Terrena retransmite-os para o Centro de Missão, para processamento, gerenciamento e distribuição dos dados gerados pelas PCDs. Na Figura 1, ilustram-se os principais elementos do Programa de Coleta de Dados Brasileiro, como as plataformas, as estações terrenas de Cuiabá e de Alcântara e o Centro de Missão representando o segmento solo da missão, o satélite ITASAT representando o segmento espacial e, por fim, a disponibilização dos dados aos usuários através da Internet.

## 2.1 Requisitos dos modos de operação do satélite ITASAT-1 com a aplicação da metodologia COFI-ref

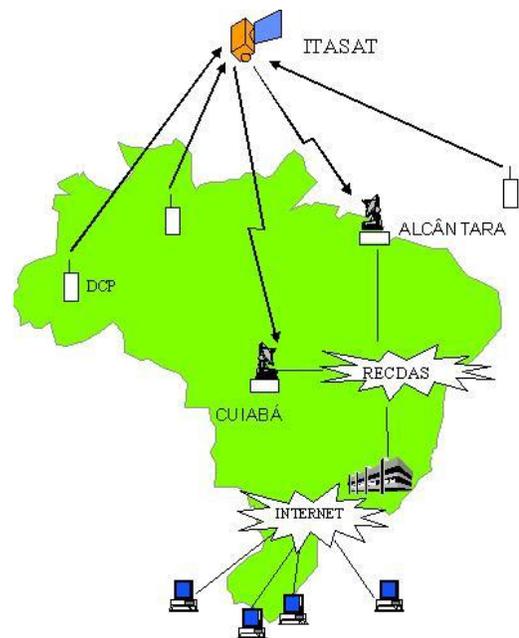
Os requisitos que estabelecem os modos de operação do satélite ITASAT-1, especificados no Documento de Especificação de Requisitos da missão são relacionados abaixo:

A seguir são relacionadas às fases de desenvolvimento durante as quais o satélite ITASAT-1 pode ser operado:

- Montagem, Integração e Teste (AITP, sigla em inglês para *Assembly, Integration and Test Phase*);
- Preparação para Lançamento (LRP, sigla em inglês para *Launch Readiness Phase*);
- Pré-lançamento (PLP, sigla em inglês para *Pre-launch Phase*);
- Lançamento e Aquisição de Órbita (LEOP, sigla em inglês para *Launch and Early Orbit Phase*);
- Aceitação de Órbita (CP, sigla em inglês para *Commissioning Phase*);
- Operacional (OP, sigla em inglês para *Operational Phase*); e
- Descarte (DP, sigla em inglês para *Decommissioning Phase*).

Para cada fase de operação há, pelo menos, um requisito associado, são elas:

- AITP: Durante a AITP o satélite é integrado e testado e o segmento solo é preparado para a missão.
- LRP: A LRP contém o final de todos os testes de aceitação, o transporte para o sítio de lançamento e a demonstração do escopo de operação do segmento solo. Nesta fase os operadores são instruídos e treinados.
- PLP: A PLP contém o transporte até o sítio de lançamento, bem como a campanha de lançamento, da qual incluem os serviços de check-out do satélite e sua integração no lançador, incluindo últimos testes.
- LEOP: A LEOP contém o lançador propriamente dito, a separação do satélite do lançador, a primeira inicialização do satélite bem como sua primeira aquisição de dados.
- CP: Nesta fase o satélite faz seu primeiro contato com o segmento solo, incluindo a primeira transmissão de dados de telemetria e o recebimento dos primeiros telecomandos. Durante esta fase todos os subsistemas e



**Figura 1. O Programa ITASAT e sua relação com o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais.**

dispositivos são testados e o subsistema de controle de atitude inicia a manobra do satélite para estabilização da atitude. As cargas úteis também são testadas. O segmento solo confirma a operacionalidade do satélite e o cliente a funcionalidade do segmento espacial, quando será entregue ao cliente e passa-se para a fase seguinte.

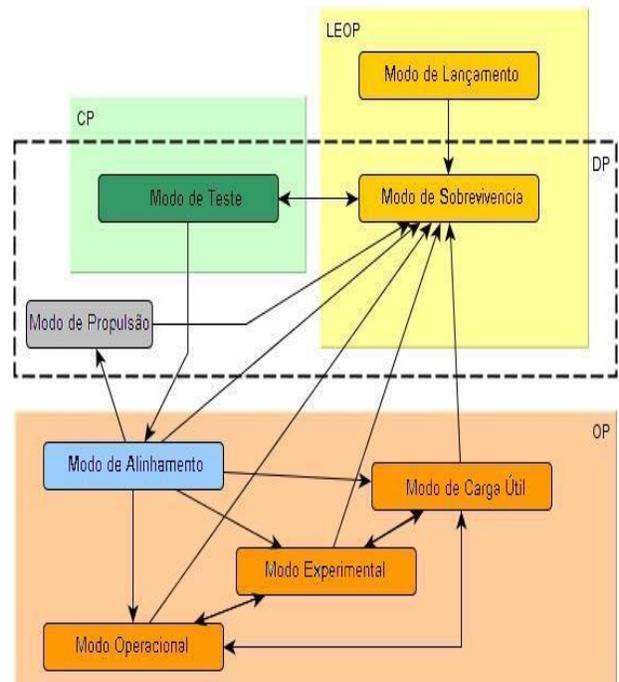
- f) OP: Nesta fase dá-se início ao uso operacional das cargas úteis e os testes experimentais. Se possível, esta fase pode ser maior que os dois anos de vida útil do satélite.
- g) DP: Se a vida útil do satélite expirou e o cliente decidir por descartá-lo é assinado um termo de descarte. Com este evento a fase de descarte é iniciada. Se necessário, uma manobra orbital deverá ser executada e todo o satélite descartado. Não mais do que em 25 anos o satélite entrará na atmosfera terrestre e será queimado.

Os modos de operação do ITASAT-1, de acordo com o documento ITASAT Mission Description Document (U1000-DDD-01, 2010) são:

- a) Modo de lançamento;
- b) Modo de sobrevivência;
- c) Modo de teste;
- d) Modo de alinhamento;
- e) Modo de carga útil;
- f) Modo experimental;
- g) Modo operacional;
- h) Modo de propulsão.

A Figura 2 apresenta os modos de operação do ITASAT-1 e suas relações.

Na Figura 2 ilustram-se as possíveis mudanças entre os modos de operação do satélite. Esta figura, também indica as fases em que os modos ocorrem: de Lançamento e Aquisição de Órbita (LEOP), de Aceitação de Órbita (CP), de Descarte (DP) e Operacional (OP). Os modos de Lançamento e Sobrevivência pertencem à fase de LEOP.



**Figura 2 - Modos de operação do satélite ITASAT-1.**

O Modo de teste pertence à fase de Aceitação de Órbita (CP).

Os modos de Teste, Sobrevivência e Propulsão pertencem à fase de Descarte. Já os modos de Alinhamento, Operacional, Experimental e Carga Útil pertencem à fase Operacional. Esta observação permite visualizar a complexidade de gestão e monitoramento do satélite.

De acordo com o Documento de Especificação de Requisitos do ITASAT-1, as condições de cada modo de operação são:

- a) Modo de lançamento: Durante o lançamento o satélite permanece no Modo de lançamento. Este modo provê todos os requisitos da fase de lançamento: não há fornecimento de energia elétrica para todos os subsistemas e todos os mecanismos estão seguramente travados.
- b) Modo de sobrevivência: Após a injeção do satélite seu estado é alterado para o Modo de sobrevivência. Neste modo a atitude do satélite e sua taxa de rotação são indefinidas. Neste modo todas as cargas úteis (operacionais e experimentais) são desligadas. O mesmo acontece com o ACS (sigla em inglês para Attitude and Control System, isto é, o subsistema de controle de atitude). Neste modo a tarefa do satélite é prover a energia necessária para mantê-lo em órbita e para garantir sua habilidade de comunicação. No caso de uma falha (failure) ou mal funcionamento (malfunction) que afete todo o satélite seu estado é alterado automaticamente para o Modo de sobrevivência, independentemente do estado atual.

- c) Modo de teste: A partir do Modo de sobrevivência o satélite comuta para o Modo de teste. Este modo possibilita que todos os subsistemas e cargas úteis sejam testados antes que o satélite entre em operação de regime. O Modo de teste provê todas as funções ao Modo de sobrevivência e neste modo o primeiro telecomando é recebido. Após este modo, o satélite pode ser alterado para o Modo de alinhamento ou Modo de carga útil. A partir deste modo é possível descartá-lo.
- d) Modo de alinhamento: O Modo de alinhamento é para ajuste da posição do satélite (de-tumbling) para sua orientação especificada no sistema de coordenadas de voo. É um modo intermediário entre os modos de teste, de carga útil, do experimental e do operacional ou de propulsão.
- e) Modo operacional: Neste modo a carga útil experimental é desenergizada (turned off) e apenas a carga útil operacional está habilitada, inclusive os subsistemas.
- f) Modo de propulsão: O subsistema de propulsão é utilizado para a correção de órbita (de-orbiting) e também para a fase de descarte.
- g) Modo de carga útil: Neste modo, habilitado a partir do Modo de alinhamento por um comando de solo, todos os subsistemas do satélite incluindo a carga útil, mas excluindo o sistema de propulsão estão na sua configuração final de operação. Os dados tecnológicos da missão são coletados e transmitidos a Terra durante o período de visibilidade.
- h) Modo experimental: Neste modo apenas os subsistemas de cargas úteis experimentais estão funcionando. Este modo provê tempo para
- i) os experimentos e para os testes, por exemplo, do novo computador de bordo.
- j) Como complemento da descrição dos modos de operações do ITASAT-1 a Tabela 4.1 relaciona, para cada modo de operação do satélite, como devem estar os subsistemas do satélite onde, “on” significa ligado ou ativo, “off” desligado ou desativado e “test” significa que testes serão realizados.

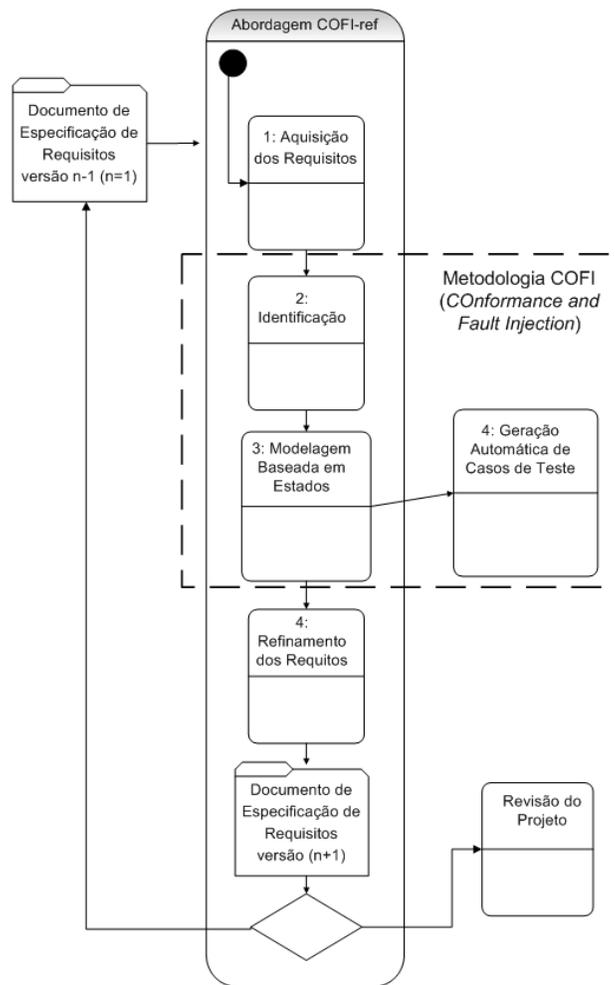
De posse do Documento de Especificação de Requisitos do ITASAT-1 deu-se início à aplicação da metodologia COFI-ref, apresentada na seção seguinte.

### 3 Abordagem COFI-ref para melhoria da qualidade de requisitos

A abordagem COFI-ref (*Conformance and Fault Injection for Requirement Refinement*) apresenta-se como uma sistemática baseada em modelos de estados para apoiar a melhoria na qualidade de requisitos e como uma técnica de verificação e validação (V&V) a ser aplicada no desenvolvimento de missões espaciais. A idéia principal desta técnica é aplicar uma variação da metodologia de teste denominada COFI (*Conformance and Fault Injection*) (Ambrosio et al. 2005) durante o ciclo de vida de requisitos como um meio de apoiar a identificação de requisitos mal escritos, incompletos e ausentes visando evitar problemas futuros conseqüentes desta atividade.

A metodologia COFI consta de uma metodologia para geração automática de casos de testes que agrega a técnica de injeção de falhas e os conceitos de teste de conformidade para validação de software. A metodologia orienta o projeto de casos de teste e de casos de falhas de forma sistemática, obedecendo a um critério que permite quantificar e projetar os casos de testes com antecedência no ciclo de desenvolvimento do software. Além disso, aplicando-se a metodologia COFI e seguindo-se os passos recomendados, a dependência da experiência e percepção da pessoa responsável pelos testes na qualidade do conjunto de casos de teste é reduzida, sem impedir, no entanto, a valiosa contribuição intelectual do ser humano. A abordagem COFI desfruta dos resultados positivos da geração automática de teste baseada em métodos formais (Ambrosio et al. 2004).

O uso da abordagem COFI-ref aplica-se na fase inicial do Projeto, durante as atividades de especificação de requisitos. A Figura 3 ilustra os passos principais da abordagem e destaca sua relação com a metodologia COFI. Para dar início aos passos do refinamento é necessário que o Documento de Especificação de Requisitos esteja disponível. O primeiro passo, a aquisição dos requisitos, é estabelecido através de uma revisão de projeto. Como pode ser observado na figura, os passos 2 e 3 foram incorporados da metodologia COFI. No entanto, para o passo 2 uma adaptação mostrou-se necessária e que será citada mais adiante. Estes passos correspondem a Identificação de Serviços e Modelagem baseada em estados, respectivamente.



**Figura 3. Passos para o refinamento de requisitos da metodologia CoFI-ref.**

De posse do documento é iniciado então a identificação dos serviços e, logo após, são elaborados os modelos de estados baseados nos resultados do passo anterior. O último passo da abordagem COFI-ref, Refinamento dos Requisitos, é subdividido em etapas de modo que o foco passa a ser o refinamento.

No próximo item será apresentado o refinamento dos requisitos do satélite ITASAT-1 com foco nos resultados obtidos deste procedimento.

#### **4 Refinamento dos requisitos de operação do satélite ITASAT-1 através da metodologia COFI-ref**

Passado o primeiro passo estabelecido pela COFI-ref, de Aquisição dos Requisitos, através de uma revisão entre as equipes envolvidas, inicia-se o passo de Identificação. Neste passo são identificadas três propriedades do Sistema Em Especificação, são elas:

- a) Serviços;
- b) Falhas físicas; e
- c) Eventos e ações.

A adaptação realizada a partir da metodologia COFI é que para esta são necessárias a análise de quatro propriedades e não três. A quarta propriedade é descrita como facilidades e/ou restrições do Sistema em Teste de acordo com os Pontos de Observação Controláveis identificados.

Para o Sistema Em Especificação o único serviço identificado é categorizado como Mudança de Modos de Operação do Satélite. Para a Modelagem Baseada em Estados, obtêm-se as falhas físicas, os eventos e as ações do Sistema Em Especificação, como apresentado abaixo.

### Falhas físicas

Na Tabela 1 a seguir mostram-se as falhas físicas que podem ocorrer no hardware que o Sistema em Especificação deve resistir.

**Tabela 1. Falhas físicas do Sistema em Especificação.**

Falha	Mnemônico	Descrição
Carga útil experimental	f.exp	anomalia na carga útil experimental do satélite
Carga útil operacional	f.opp	anomalia na carga útil operacional do satélite
Carga útil	f.pay	anomalia na carga útil do satélite
Propulsão	f.prp	anomalia no sistema de propulsão do satélite
Plataforma do satélite	f.bus	anomalia na plataforma do satélite
Estrutura	f.str	anomalia na estrutura do satélite

A lista de eventos e ações identificados é apresentada na Tabela 2. Esta tabela apresenta as respectivas entradas e saídas do Sistema Em Especificação que estão relacionadas com o Modo de Operação Normal, apresentado na Figura 4 em seguida.

**Tabela 2. Lista de eventos de entrada e de saída do Sistema Em Especificação.**

ID	Entrada	Saída	Descrição
A	FIRST_TC	FIRST_TM	Envio do primeiro telecomando e recebimento da primeira telemetria
B	PAYLOAD_TEST	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_OFF; EXP_TEST; OPP_TEST; PRP_OFF	Início do teste de carga útil e execução de testes
C	PAYLOAD_TEST_NOK	SC_MALFUNCTION	Carga útil funcional e teste mal sucedido
D	PAYLOAD_TEST_OK	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_ON; EXP_OFF; OPP_OFF; PRP_OFF	Testes de carga útil operacional e experimental funcionais e execução de alinhamento do satélite
E	SC_DECOM	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_ON; EXP_OFF; OPP_OFF; PRP_ON	Executa manobra de correção de órbita e executa operação nas cargas úteis
F	OPERATIONAL_INIT	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_ON; EXP_OFF; OPP_ON; PRP_OFF	Executa manobra de ajuste de posição e liga carta útil operacional

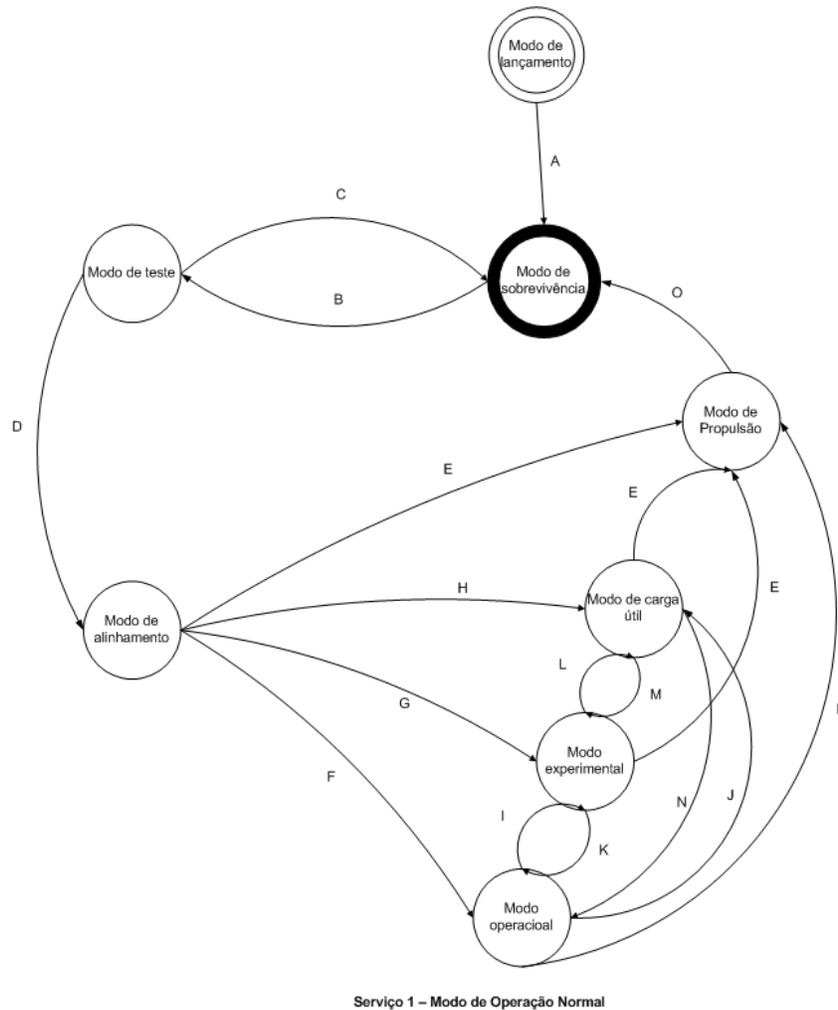
G	EXPERIMENTAL_INIT	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_ON; EXP_ON; OPP_OFF; PRP_OFF	Carga útil experimental é inicializada
H	PAYLOAD_INIT	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_ON; EXP_ON; OPP_ON; PRP_OFF	Subsistemas e carga útil são inicializados
I	OPP_2_EXP	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_ON; EXP_ON; OPP_OFF; PRP_OFF	Operação da carga útil experimental é inicializada
J	OPP_2_PAY	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_ON; EXP_ON; OPP_ON; PRP_OFF	Inicializa operação de carga útil e subsistemas
K	EXP_2_OPP	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_ON; EXP_OFF; OPP_ON; PRP_OFF	Indicação de sucesso no ajuste de órbita e operacionalização de carga útil
L	EXP_2_PAY	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_ON; EXP_ON; OPP_ON; PRP_OFF	Carga útil operacional é desligada e experimental ligada
M	PAY_2_EXP	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_ON; EXP_ON; OPP_OFF; PRP_OFF	Carga útil operacional é inicializada com visibilidade da estação solo
N	PAY_2_OPP	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_ON; EXP_OFF; OPP_ON; PRP_OFF	Carta útil operacional inicia transmissão e experimental é desligada
O	PROPULTION_INIT	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_ON; EXP_OFF; OPP_OFF; PRP_ON	Propulsão é inicializada para manobra e correção de órbita, cargas úteis são desligadas e descarte é iniciado
P	PAYLOAD_NOK	SC_MALFUNCTION	Indicação de mal funcionamento de carga útil. Modo sobrevivência é inicializado
Q	EXPERIMENTAL_NOK	SC_MALFUNCTION	Indicação de mal funcionamento de carga experimental. Modo sobrevivência é inicializado
R	OPERATIONAL_NOK	SC_MALFUNCTION	Indicação de mal funcionamento de carga operacional. Modo sobrevivência é inicializado
S	SC_TEST_DECOM	TCS_ON; EPS_ON; TT&C_ON; ACDH_ON; ACS_ON; EXP_OFF; OPP_OFF; PRP_ON	Inicia descarte do satélite
T	ALIGNMENT_NOK	SC_MALFUNCTION	Indicação de mal funcionamento no alinhamento do satélite. Modo sobrevivência é inicializado

O próximo passo da abordagem COFI-ref é a modelagem baseada em estados, do qual faz-se necessário a elaboração de modelos parciais por meio da representação por Máquinas de Estados Finitos (MEF) de Mealy (Mealy, 1955) do comportamento do Sistema Em Especificação. Para facilitar a legibilidade e aumentar a precisão dos modelos, estes são desenvolvidos do ponto de vista de quatro representações do comportamento, a saber:

- a) Modelo do Comportamento Normal;
- b) Modelo do comportamento frente às Exceções Especificadas;
- c) Modelo de Caminhos Furtivos, representando o comportamento do sistema frente aos eventos corretos ocorridos em momentos inoportunos; e

- d) Modelo de Tolerância a Falhas, cobrindo o comportamento frente às falhas de hardware e do ambiente externo.

Para efeito didático, é apresentado neste trabalho o Modelo do Comportamento Normal de operação, apresentado na Figura 4 em seguida. Este modelo representa o perfeito funcionamento do sistema nas condições normais de operação de acordo com o Documento de Especificação de Requisitos.



**Figura 4. Máquina de Estados Finitos do Comportamento Normal do Serviço Mudança de Modos de Operação do ITASAT-1.**

O passo quatro da abordagem COFI-ref é o Refinamento dos Requisitos, subdividido nas seguintes etapas:

- a) Análise dos Modelos de Estados: uma análise das transições dos modelos é realizada;
- b) Elaboração de Questões: questões são levantadas a partir dos resultados da análise de transição; e
- c) Modificação de Requisitos: é realizada a modificação do requisito original ou um novo é sugerido.

Para a primeira etapa a Tabela X é elaborada. Nesta etapa separa-se a análise das MEFs que representam o comportamento documentado das MEFs que representam o comportamento não necessariamente documentado em atividades, a saber:

- Análise de Transição das MEFs Normal e de Exceções Especificadas; e
- Análise de Transição das MEFs de Caminhos Furtivos e de Tolerância a Falhas.

A Tabela 3 mostra, na primeira coluna, o identificador do requisito. Na segunda coluna, o requisito original e na terceira, o(s) modelo(s) em que este requisito foi mapeado. Neste caso, os modelos em que o requisito R5 foi mapeado foram: modo de operação normal, modo de exceções especificadas, caminhos furtivos 1 e caminhos furtivos 2.

**Tabela 3. Mapeamento entre Requisitos e Modelos de Estados.**

Requisito	Descrição	Modelo
R5	CP: Nesta fase o satélite faz seu primeiro contato com o segmento solo, incluindo a primeira transmissão de dados de telemetria e o recebimento dos primeiros telecomandos. Durante esta fase todos os subsistemas e dispositivos são testados e o subsistema de controle de atitude inicia a manobra do satélite para estabilização da atitude. As cargas úteis também são testadas. O segmento solo confirma a operacionalidade do satélite e o cliente a funcionalidade do segmento espacial, quando será entregue ao cliente e passa-se para a fase seguinte.	Normal, Exceções Especificadas; Caminhos Furtivos 1; Caminhos Furtivos 2

Na segunda etapa, Elaboração de Questões, são formuladas perguntas a partir de análises de transições das MEFs. As questões são levantadas seguindo a premissa de que todos os requisitos foram mapeados para as MEFs. Este mapeamento é visualizado na construção da Tabela 3. A idéia é facilitar a identificação dos requisitos incompletos, inconsistentes e faltantes no Documento de Especificação de Requisitos fazendo com que este seja revisto.

Os principais objetivos das questões são:

- Identificar pontualmente os problemas nos requisitos; e
- Fazer com que a especificação de requisitos seja revista.

A Tabela 4 apresenta uma questão elaborada, a partir da Tabela 3. A primeira coluna indica o modelo da MEF analisado. A segunda coluna mostra a questão elaborada e a terceira uma justificativa da questão. Esta justificativa é importante, pois é desta forma que outros envolvidos no processo, inclusive o cliente, se entendem.

**Tabela 4. Questões e justificativas elaboradas a partir das MEFs e dos Requisitos.**

Modelos	Questões	Justificativa
Normal	<b>Q1)</b> Como o sistema efetuará a transição do Modo de Alinhamento para os modos de Carga útil, de Experimental e de Operacional ? Será por meio de um telecomando, um evento interno ou outro ?	Esta afirmação não está clara no DRD. Uma vez que o satélite iniciará suas atividades após o primeiro telecomando, verificar se o sistema poderá executar esta transição de modo autônomo.

A terceira e última etapa diz respeito à Modificação dos Requisitos. Por meio da correspondência entre os requisitos, às questões e justificativas obtidas, é possível determinar claramente qual requisito deve ser modificado. A Tabela 5 apresenta a correspondência entre os modelos, às questões e os requisitos que respondam a esta questão.

A primeira coluna indica a MEF relacionada. A segunda coluna mostra a questão elaborada. A terceira coluna apresenta o identificador do requisito e a quarta o requisito que a responde à respectiva questão.

**Tabela 5. Identificação dos requisitos que atendem às questões elaboradas.**

Modelos	Questões	ID	Requisito
Normal	<b>Q1)</b> Como o sistema efetuará a transição do Modo de Alinhamento para os modos de Carga útil, de Experimental e de Operacional ? Será por um telecomando, um evento interno ou outro ?	R5	CP: Nesta fase o satélite faz seu primeiro contato com o segmento solo, incluindo a primeira transmissão de dados de telemetria e o recebimento dos primeiros telecomandos. Durante esta fase, todos os subsistemas e dispositivos são testados e o subsistema de controle de atitude inicia a manobra do satélite para estabilização da atitude. As cargas úteis também são testadas. O segmento solo confirma a operacionalidade do satélite e o cliente a funcionalidade do segmento espacial, quando será entregue ao cliente e passa-se para a fase seguinte.

Após identificado qual o requisito que deve ser modificado, dá-se início à elaboração das sugestões de reescrita deste requisito. O procedimento de reescrita deve ser realizado por um analista que possua experiência, uma vez que quanto maior o conhecimento do analista, melhor será o resultado. Esse procedimento é baseado em um processo indutivo e conhecimento empírico (Peirce 1878; Polya 1957; Tall 1991).

A Tabela 6 apresenta as modificações dos requisitos originais. Na primeira coluna apresenta-se a questão elaborada no último passo da COFI-ref. Na segunda coluna o requisito original obtido do Documento de Especificação de Requisitos. Na terceira coluna o novo identificador do requisito e na última o requisito sugerido.

**Tabela 6. Modificação dos Requisitos a partir das questões elaboradas.**

Questões	Requisito Original	ID	Requisito Modificado
Q1) Como o sistema efetuará a transição do Modo de Alinhamento para os modos de Carga útil, de Experimental e de Operacional ? Será por um telecomando, um evento interno ou outro ?	R5) CP: Nesta fase o satélite faz seu primeiro contato com o segmento solo, incluindo a primeira transmissão de dados de telemetria e o recebimento dos primeiros telecomandos. Durante esta fase todos os subsistemas e dispositivos são testados e o subsistema de controle de atitude inicia a manobra do satélite para estabilização da atitude. As cargas úteis também são testadas. O segmento solo confirma a operacionalidade do satélite e o cliente a funcionalidade do segmento espacial, quando será entregue ao cliente e passa-se para a fase seguinte.	R5.A	CP: Nesta fase o satélite deve transitar para o Modo de teste e iniciar os testes de: a) Subsistemas de cargas úteis; e b) Subsistemas da plataforma. Nota: Entende-se por cargas úteis as cargas operacionais e experimentais.
		R5.B	CP: Nesta fase o subsistema de controle de atitude deve iniciar a manobra do satélite para sua estabilização.
		R5.C	CP: Nesta fase, o satélite deve efetuar a primeira transmissão para o segmento solo com os seguintes dados de telemetria: a) A definir.
		R5.D	CP: Nesta fase, o satélite deve receber a primeira transmissão do segmento solo com os seguintes dados de telecomando: a) A definir.

		R5.E	CP: Após o recebimento de telemetria o segmento solo deve confirmar a operacionalidade do satélite. Neste momento o cliente deve atestar a funcionalidade do segmento espacial.
		R5.E .1	CP: Após o aceite do cliente esta fase é finalizada e a Missão passa para a fase seguinte.

Repare que o requisito R5 pode ser reescrito em 6 (seis) novos requisitos. Os novos requisitos seguem as boas práticas (ECSS-E-10 Part 1B 2004; IBM Corporation 2008) adotadas pela Engenharia de Requisitos para escrita de requisitos. Em algum destes requisitos foi necessário a inclusão do termo “A definir”, pois no Documento de Especificação de Requisitos não havia uma especificação clara do objeto a ser definido. Desta forma, este é um indicativo à Equipe responsável pelo documento que tal requisito deve ser completado.

## 5 Conclusão

Este trabalho apresentou uma abordagem baseada em modelos de estados para a melhoria de qualidade de requisitos do satélite ITASAT-1. Foi demonstrado, a partir de resultados obtidos com a aplicação da abordagem que é possível refinar um documento de requisitos de uma maneira eficaz. Tem como principal vantagem sua utilização no início do ciclo de vida do projeto, podendo ser aplicado tanto no âmbito da Engenharia de Sistemas quanto Engenharia de Software, uma vez que ambas contêm a área de Engenharia de Requisitos. Como limitação, a execução dos passos serem totalmente manuais e exigir um conhecimento prévio do analista responsável podem adicionar um custo na aplicação da abordagem, porém, sempre viabilizando sua utilização.

O estudo mostrou que requisitos complexos, que agregam muitos requisitos em um só, devem ser desmembrados. Com o desmembramento em novos requisitos, muitos deles podem ficar na condição de pendentes (declaração “A definir”). Este levantamento é feito graças às necessidades levantadas nas questões. Neste caso, como ilustrado no requisito R5, novos requisitos são derivados a partir das respostas dadas as questões levantadas com a aplicação da COFI-ref.. Esta sistemática mostra-se capaz de antever problemas associados aos requisitos ao longo do projeto.

Pretende-se ainda, automatizar certos passos da abordagem COFI-ref para facilitar seu uso em sistemas com grande número de requisitos. Explora-se a possibilidade de se automatizar os passos referentes às etapas de especificação, modelagem e gestão de requisitos, sendo possível ainda integrar diferentes ferramentas já existentes.

Trabalhos futuros indicam a utilização desta metodologia nas especificações de requisitos para operações de segmento solo de missões de satélites, visando qualificar a sistemática nos diferentes setores que compõem uma missão aeroespacial, atendendo aos interesses do Programa Espacial Brasileiro. Busca-se estudar ainda a qualidade do refinamento de requisitos abordada pela COFI-ref fazendo estudos de diferentes métricas para avaliação da abordagem.

## Agradecimentos

Agradecemos à Agência Espacial Brasileira (AEB) pelo financiamento do projeto e ao apoio financeiro das seguintes entidades: FAPESP, CNPq, CAPES e FINEP. Agradecemos ainda ao Prof. Dr. Davi Fernandes do ITA e ao Wilson Yamaguti do INPE, ambos gerentes do projeto e a todos os colegas do Programa Itasat.

## 6 Referências

Ambrosio, A. M. COFI: uma abordagem combinando teste de conformidade e injeção de falhas para validação de software em aplicações espaciais. 2005. 209 p. (INPE-13264-TDI/1031). Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/09.06.13.34>>. Acesso em: 30 jul. 2009.

Ambrosio, A. M.; Martins, E.; Vijaykumar, N. L.; Carvalho, S. V. CoFI: a test process for space application service validation. In: WORKSHOP DOS CURSOS DE COMPUTAÇÃO APLICADA DO INPE, 4. (WORCAP), 2004, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2004. CD-ROM, On-line. (INPE-11622-PRE/7003). Disponível em: <<http://urlib.net/lac.inpe.br/worcap/2004/10.05.15.09>>. Acesso em: 30 jul. 2009.

Ambrosio, A. M.; Mattiello-Francisco, M. F.; Martins, E. An Independent Software Verification and Validation Process for Space Applications. In: CONFERENCE ON SPACE OPERATIONS 9., (SPACEOPS 2008), 2008, Hidelberg. Proceedings... 2008. p. 9. CD-ROM. (INPE-15303-PRE/10112). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mfc-m16@80/2008/06.18.15.35>>. Acesso em: 30 jul. 2009.

Cybulski, J. L. Automatic Refinement of User Requirements: A Case Study in Software Tool Evaluation. Proceedings of the Thirteenth Australasian Conference on Information Systems, pp. 757-771, Victoria University, Melbourne, Australia, 2002.

De Jong E., Jaco van de Pol, Jozef Hooman. Refinement in Requirements Specification and Analysis: a Case Study. In 7th IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer Based Systems (ECBS), 2000, pages 290-298.

Duren, R. M. Validation (not just Verification) of Deep Space Missions. IEEE, March 2006, 13pp.

ECSS-E-10 Part 1B, Space Engineering - System Engineering - Part1: Requirements and process. 18 November 2004.

Garcia-Duque Jorge ; Pazos-Arias José J. ; Lopez-Nores Martín ; Blanco-Fernandez Yolanda ; Fernandez-Vilas Ana; Diaz-Redondo Rebeca P. ; Ramos-Cabrer Manuel ; GIL-SOLLA Alberto. Methodologies to evolve formal specifications through refinement and retrenchment in an analysis and revision cycle. Requirements Engineering Journal, vol. 14, 2009, pages 129-153.

IBM Corporation. Get It Right the First Time: Writing Better Requirements. 2008.

ITASAT Mission Description Document (MDD), draft version 1.3, 19 de Fevereiro de 2010, U1000-DDD-01 rev. 0.

Mealy G.H. Method for synthesizing sequential circuits, Bell. System Techn. Jourhal, v.34, p.1045-1079, 1955.

Morais, M. H. E, Ambrosio, A. M. Metodologia CoFI (conformance and Fault Injection) aplicada a um exemplo didático. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. São José dos Campos, SP, 2009.

Peirce, C. S., "How To Make Our Ideas Clear", Popular Science Monthly 12. Indiana University Press, 286-302 o., 1878.

Polya, G. "How To Solve It: A New Aspect of Mathematical Method", 2nd ed., Princeton University Press, New Jersey, 1957.

Tall, D., "The Psychology of Advanced Mathematical Thinking", in Tall D. O. (ed.) Advanced Mathematical Thinking, Kluwer: Holland, 3– 21, 1991.