



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/08.21.12.44-RPQ

ESTUDO DE CASOS EM MODELAGEM E GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE TESTES DESENVOLVIDOS NA DISCIPLINA DE VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE SISTEMAS ESPACIAIS

Ana Maria Ambrosio, Paulo Diego Barbosa da Silva, João Batista Brandolin,
Emerson H.S. Oliveira, Juliana Joria Padilha, Moacyr Gonçalves Cereja Junior.

Estudo de casos em Verificação e
Validação de Sistemas usando mo-
delos de estados e ferramentas para
geração de testes no contexto do
curso de pós-graduação em Enge-
nharia e Tecnologia Espaciais, ori-
entado pela Dra. Ana Maria Am-
brosio

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3GSJNNP>>

INPE
São José dos Campos
2014

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/08.21.12.44-RPQ

ESTUDO DE CASOS EM MODELAGEM E GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE TESTES DESENVOLVIDOS NA DISCIPLINA DE VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DE SISTEMAS ESPACIAIS

Ana Maria Ambrosio, Paulo Diego Barbosa da Silva, João Batista Brandolin,
Emerson H.S. Oliveira, Juliana Joria Padilha, Moacyr Gonçalves Cereja Junior.

Estudo de casos em Verificação e
Validação de Sistemas usando mo-
delos de estados e ferramentas para
geração de testes no contexto do
curso de pós-graduação em Enge-
nharia e Tecnologia Espaciais, ori-
entado pela Dra. Ana Maria Am-
brosio

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3GSJNNP>>

INPE
São José dos Campos
2014



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista do cofre pelo lado externo da agência, Caso 1.....	4
Figura 2 – Visão geral do funcionamento do sistema, Caso 2.	6
Figura 3 – Diagrama de contexto do EE-MEXP/SARA, Caso 3.	7
Figura 4 – O SUT, Caso 4.	9
Figura 5 – MEF do Sistema de entrega e recebimento de malotes em agências bancárias, Caso 1.	16
Figura 6 – MEF do Portal SMS, Caso 2.	18
Figura 7 – MEF do serviço de contratação de assinatura, Caso 2.	20
Figura 8 – MEF do serviço de cancelamento de assinatura, Caso 2.	21
Figura 9 – MEF dos serviços de bloqueio e desbloqueio de acesso, Caso 2. .	21
Figura 10 – MEF do serviço de consulta de conteúdos, Caso 2.	22
Figura 11 – MEF do serviço de detalhamento de conteúdos, Caso 2.	22
Figura 12 – MEF do comportamento de exceções especificadas do cenário 1, Caso 2.	23
Figura 13 – MEF do comportamento de exceções especificadas do cenário 2, Caso 2.	24
Figura 14 – MEF da Comunicação entre OBC, PC e LOAD, Caso 3.	26
Figura 15 – Modelagem final do ASTS feita na MME, Caso 4.	29
Figura 16 – MEF do serviço Elevation Mask, Caso 4.	31
Figura 17 – MEF do serviço Data Rate, Caso 4.	32
Figura 18 – MEF do serviço Aiding Mode, Caso 4.	32
Figura 19 – MEF do serviço Receber Dados do GPS, Caso 4.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de Eventos de entrada, Caso1.....	14
Tabela 2 – Lista de Saídas, Caso1.	15
Tabela 3 – Estados do Sistema, Caso1.	15
Tabela 4 – Lista de Entradas, Caso 2.	17
Tabela 5 – Lista de Saídas, Caso 2.	17
Tabela 6 – Lista de Estados, Caso 2.....	17
Tabela 7 – Lista de entradas do sistema, Caso 3.	25
Tabela 8 – Lista de saídas do sistema, Caso 3.....	25
Tabela 9 – Lista de estados, Caso 3.	26
Tabela 10 – Lista de Entradas, Caso 4.	27
Tabela 11 – Lista de Saídas, Caso 4.	28
Tabela 12 – Lista de Estados, Caso 4.....	28
Tabela 13 – Diagrama de Sequência, Caso 4.....	30
Tabela 14 – Conjunto de casos de teste gerados pelo método UIO, Caso1....	40
Tabela 15 – Parte dos conjuntos de casos de teste gerados pela Condado, Caso 1.....	41
Tabela 16 – Casos de teste gerados pelo método W, Caso 2.	42
Tabela 17 – Lista de parte do conjunto de testes gerados pela Condado, Caso 2.	42
Tabela 18 – Número de casos de teste por serviço, Caso 2.....	43
Tabela 19 – Alguns casos de teste gerados pela Condado para as MEFs parciais, Caso 2.....	43
Tabela 20 – Casos de teste gerados pelo método W, Caso 3.	44
Tabela 21 – Parte do conjunto de casos de teste gerados pela Condado, Caso 3.	45
Tabela 22 – Parte dos casos de teste gerados pelo método HSI, Caso 4.	46
Tabela 23 – Parte do conjunto de casos de teste gerado pela Condado, Caso 4.	46
Tabela 24 – Número de casos de teste por serviço, Caso 4.....	47
Tabela 25 – Casos de teste gerados pela Condado para as MEFs parciais, Caso 4.....	47
Tabela 26 – Avaliação das MEFs, Caso 1.....	51
Tabela 27 – Métricas dos conjuntos de casos de testes gerados, Caso 1.....	51
Tabela 28 – Avaliação das MEFs, Caso 2.....	52
Tabela 29 – Métricas dos conjuntos de casos de testes gerados, Caso 2.....	53
Tabela 30 – Avaliação das MEFs, Caso 3.....	53
Tabela 31 – Métricas dos conjuntos de casos de testes gerados, Caso 3.....	54
Tabela 32 – Avaliação das MEFs, Caso 4.....	54
Tabela 33 – Métricas dos conjuntos de casos de testes gerados, Caso 4.....	55

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Al	Mecanismo do tipo alçapão motorizado com sensor para indicar status aberto/fechado (interior dos compartimentos Ee e Ei).
ASTS	Software de Testes de Sensores e Atuadores.
Ca	Câmera para verificação de presença de malote no compartimento (interior dos compartimentos Re e Ri).
CT	Casos de testes.
DEA	Divisão de Eletrônica Aeroespacial do INPE.
Ee	Compartimento de acesso externo para entrega de malotes à AB.
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory.</i>
EE-MEXP / SARA	Eletrônica Embarcada do Módulo Experimental do Satélite de Reentrada Atmosférica.
Ei	Compartimento de acesso interno para entrega de malotes à TV.
Fc	Fechadura eletrônica com saída de sinal para indicar status travada/destravada (Cada porta dos compartimentos contém Ee, Re, Ei e Ri).
GPS	<i>Global Positioning System.</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JPlavisFSM	<u>J</u> AVA - <u>P</u> latform for <u>V</u> erification and <u>I</u> ntegration of <u>S</u> oftware in <u>S</u> pace <u>S</u> ystems using <u>F</u> inite <u>S</u> tate <u>M</u> achines (em português, Plataforma para Verificação e Integração de Software em Sistemas Espaciais desenvolvida em JAVA e dedicada a modelos de Máquina de Estados Finitos).
Lb	Leitor de código de barras bidimensional, com mira óptica e flash (interior dos compartimentos Ee e Ei).
Ld	LEDs para iluminação do compartimento (interior dos

	compartimentos Re e Ri).
Mc	Microcomputador com acesso à rede do banco (interior ao cofre).
MEF	Máquina de estados finitos.
MME	Modelador de Máquinas de Estado.
MMBox	<i>Multi Media Box.</i>
Mp	Maçaneta mecânica para abertura da porta com sensor de posição (Cada porta dos compartimentos contém Ee, Re, Ei e Ri).
OBC	<i>On-board Computer.</i>
PC	<i>Personal Computer.</i>
Re	Compartimento de acesso externo para recebimento de malotes da AB.
Ri	Compartimento de acesso interno para recebimento de malotes da TV.
SMS	<i>Short Message Service</i> , em português corresponde a Serviço de mensagens curtas.
Sp	Sensor da porta para indicar status aberta/fechada (Cada porta dos compartimentos contém Ee, Re, Ei e Ri).
SUT	<i>System Under Test.</i>
Te	Terminal externo de acesso ao cofre com teclado, display e impressora (corpo do cofre).
Ti	Terminal interno de acesso ao cofre com teclado, display e impressora (corpo do cofre).
Ts	Teclado eletrônico para senha de abertura/fechamento, com entrada de sinal para habilitar/desabilitar sua operação (Cada porta dos compartimentos contém Ee, Re, Ei e Ri).
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter.</i>
VM	<i>Virtual Machine.</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASOS.....	3
	Caso 1 – Cofre para entrega e recebimento de malotes em agências bancárias.....	3
	Caso 2 – Portal SMS para gestão de conteúdos.....	5
	Caso 3 – Sistema de comunicação do computador de bordo da EE-MEXP/SARA.....	7
	Caso 4 – Software de testes de sensores e atuadores.....	8
3	MODELAGEM.....	13
	3.1 – Caso 1.....	14
	3.2 – Caso 2.....	16
	3.3 – Caso 3.....	24
	3.4 – Caso 4.....	26
4	GERAÇÃO DE CASOS DE TESTE.....	35
	4.1 – Métodos e ferramentas.....	35
	4.2 – Geração e Análise de Mutantes.....	37
	4.3 – Caso 1.....	39
	4.4 – Caso 2.....	41
	4.5 – Caso 3.....	44
	4.6 – Caso 4.....	45
5	RESULTADOS.....	49
	5.1 – Métricas para Avaliação.....	49
	5.2 – Caso 1.....	51
	5.3 – Caso 2.....	52
	5.4 – Caso 3.....	53
	5.5 – Caso 4.....	54
6	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

Este relatório compila e analisa os resultados da modelagem de quatro trabalhos experimentais realizados durante a disciplina de Verificação e Validação de Sistemas Espaciais (CSE-207-4), ministrada pela professora Dra. Ana Maria Ambrosio, no terceiro período letivo de 2013, do curso de pós-graduação em Engenharia e Tecnologias Espaciais (PG-ETE).

Os trabalhos experimentais constam da criação de modelos de estados e da geração automática de testes a partir de modelos representando o comportamento de sistemas reativos, através de técnicas e ferramentas de teste baseadas em máquinas de estados finitos.

A partir dos modelos criados, conjuntos de casos de teste são gerados automaticamente com o uso da Plataforma JPlavisFSM (Simão *et al.*, 2005) e das ferramentas MME (Melo e Junior, 2003) e Condado (Martins *et al.*, 1999). A plataforma JPlavisFSM permite aplicar diferentes métodos para gerar conjuntos de casos de testes baseados nos modelos de estados finitos (MEFs), bem como avaliar tais conjuntos de casos de teste com base em mutantes de MEFs, servindo como uma ferramenta para apoio a atividades de verificação e validação.

O objetivo da compilação dos trabalhos realizados na disciplina é comparar os resultados obtidos dos diferentes conjuntos de casos de teste gerados pelos métodos da JPLAVISFSM e da Condado, bem como, servir de exemplo para outros estudos.

Ao todo são analisados quatro trabalhos de áreas diferentes, de acordo com a realidade profissional de cada aluno. Nesse relatório são abordados os seguintes trabalhos: (i) sistema de comunicação do Computador de Bordo da Eletrônica Embarcada do Módulo Experimental do Satélite de Reentrada Atmosférica (EE-MEXP/SARA), (ii) o software de testes de sensores e atuadores chamado ASTS, desenvolvido no INPE, (iii) o portal de serviços de

mensagens curtas (SMS) para gestão de conteúdos de caixa de multimídia (MMBox) e (iv) o modelo de funcionamento de um cofre automático para entrega e recebimento de malotes em agências bancárias.

Este relatório está organizado da seguinte forma: na Seção 2 são descritos os trabalhos experimentais considerados aqui, os estudos de caso; na Seção 3 são mostrados os modelos criados para cada estudo de caso individualmente; a Seção 4 apresenta os resultados obtidos pelos diferentes métodos de geração automática de teste; na seção 5 são discutidos os resultados de acordo com métricas de avaliação pré-definidas; e por fim, na Seção 6 são apresentadas as conclusões.

2 DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASOS

Esta seção descreve os quatro sistemas modelados. Cada sistema caracteriza um estudo de caso e é representado neste relatório como: Caso 1, Caso 2, Caso 3 e Caso 4. Utilizando esta notação, faremos menção a cada estudo de caso nos vários capítulos até o final desse trabalho.

Os sistemas tratados neste relatório são das áreas, bancária, de telefonia celular e dois da área espacial, a saber:

1. Caso 1 – consta de um Sistema de controle de um cofre para entrega e recebimento de malotes em agências bancárias.
2. Caso 2 – é um aplicativo da área de celulares, o Portal de serviços de mensagens curtas (SMS) para gestão de conteúdos de caixa multimídia (MMBox).
3. Caso 3 – trata do Sistema de Comunicação do Computador de Bordo da Eletrônica Embarcada do Módulo Experimental do Satélite de Reentrada Atmosférica (EE-MEXP/SARA).
4. Caso 4 – é o Software de Testes de comunicação entre um computador de bordo de satélites e os equipamentos: GPS, Rodas de Reação, Magnetômetro, Giroscópio e Sensores de Estrelas.

Caso 1 – Cofre para entrega e recebimento de malotes em agências bancárias.

Neste primeiro caso, o sistema modelado é um cofre automatizado, destinado à entrega e ao recebimento de malotes em agências bancárias provenientes das diversas empresas que realizam transportes de valores.

O sistema é composto por um cofre com acesso bilateral pelos lados interno e externo da Agência Bancária (AB), que tem a finalidade de servir como depósito para a permuta de malotes de dinheiro e de documentos com a empresa Transportadora de Valores (TV). Basicamente, ele é constituído por quatro compartimentos: Ee, Re, Ei e Ri, e dois terminais de acesso, Te e Ti, distribuídos conforme indicado na Figura 1 a seguir:

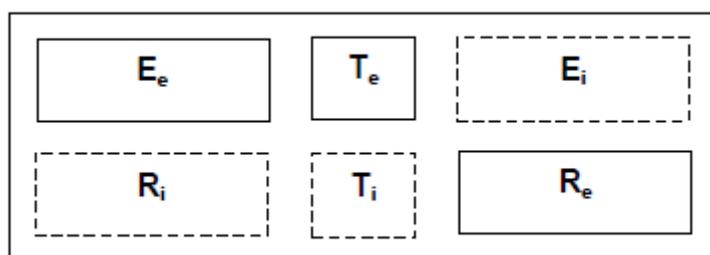


Figura 1 – Vista do cofre pelo lado externo da agência, Caso 1.

A operação do sistema consiste na entrega e recebimento mútuo de malotes por parte dos funcionários habilitados da empresa de transporte TV e da agência bancária (AB).

A empresa TV consegue acessar o cofre após se identificar no terminal Te. Para entregar o malote à AB, a TV abre a porta do compartimento Ee, com a senha digitada no teclado eletrônico Ts/Ee, e deposita o malote no interior do cofre, de modo a ser possível para o leitor Lb/Ee ler o código de barras gravado na etiqueta do malote. A seguir, fecha a porta do compartimento Ee e aguarda o fim da operação de entrega do malote, com a abertura e fechamento automático do alçapão Al/Ee, e a emissão do comprovante pela impressora do terminal externo Te.

Para receber o malote da agência AB, a empresa TV abre a porta do compartimento Re, com a senha digitada no teclado Ts/Re, e retira-o do seu interior. A seguir, fecha a porta do compartimento Re e aguarda o fim da operação de recebimento do malote, e a emissão do comprovante pela impressora do terminal Te.

De modo semelhante, a agência AB também tem acesso ao cofre, porém, do lado interno, realizando um procedimento semelhante ao descrito para empresa TV.

Dois requisitos de segurança que restringem o uso do sistema de modo compartilhado entre ambas, a empresa TV e a agência AB são: (i) a porta do compartimento Re deve permanecer travada pelo tempo em que o alçapão de Ei estiver aberto; e (ii) a porta do compartimento Ee deve permanecer bloqueada enquanto a porta do compartimento Ri estiver destravada.

Caso 2 – Portal SMS para gestão de conteúdos.

O segundo sistema modelado é o software do Portal de serviços de SMS da plataforma MMBox, que gerencia conteúdos multimídia disponibilizados aos clientes de uma operadora de serviços de comunicação em celulares. Os serviços disponibilizados são do tipo: *Play, Downloads* e Tons e Imagens.

O *Front-end* de serviço de mensagens rápidas (SMS) permite a localização de conteúdos como vídeos, músicas e jogos, visualização de detalhes, contratação e cancelamento de assinaturas, além de bloqueios e desbloqueios de acesso por meio de envio de mensagens de texto ou SMS.

As mensagens são encaminhadas para o portal a partir da Central de SMS (*Short Message Center - SMS-C*). Dependendo do comando enviado, o Portal SMS aciona a API de Busca nos *front-ends* ou no *Adm Cluster Ext API* para operações de assinaturas e bloqueios. A Figura 2 ilustra o sistema a ser modelado, isto é, o Portal SMS, indicado como SUT, do inglês *System under Test*, e os componentes com os quais o Portal interage para execução de seus serviços.

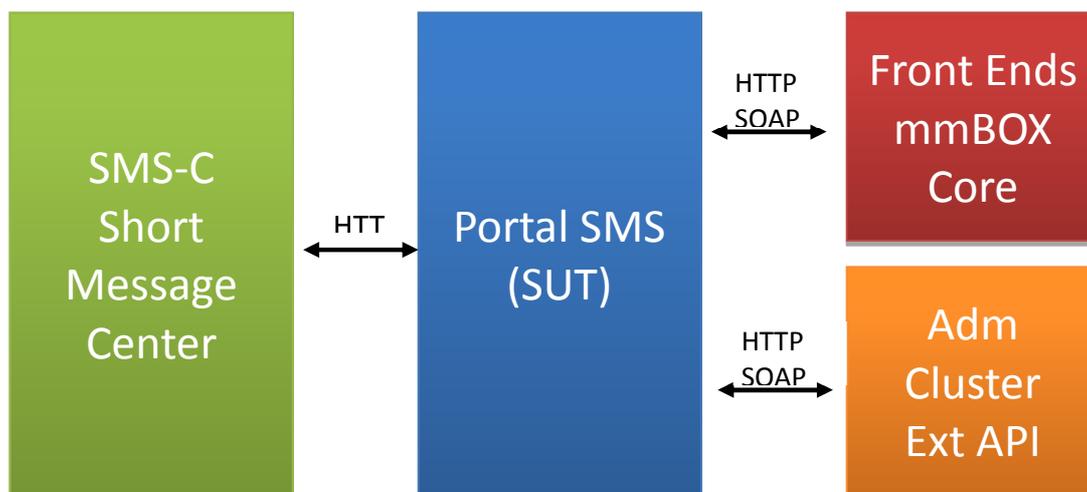


Figura 2 – Visão geral do funcionamento do sistema, Caso 2.

Entre algumas operações permitidas aos usuários, encontram-se as seguintes:

- O usuário pode responder a mensagem de texto com o número de uma das opções, se o número se refere à pasta o portal lista o conteúdo da pasta, se for uma música, então são listados os detalhes da mesma.
- Para localizar um dado grupo de conteúdos, o usuário deve mandar uma mensagem de texto contendo uma palavra-chave. Por exemplo, se enviar o nome de um artista, o portal retornará ao usuário uma lista com pastas e demais conteúdos referentes ao artista.
- O usuário pode cancelar o acesso ao portal enviando uma mensagem de texto contendo a palavra chave "bloquear". Para desbloquear faz-se o envio da palavra chave "desbloquear".
- Se o usuário deseja fazer uma assinatura de um novo serviço, ele deve enviar uma mensagem de texto contendo a palavra "contratar"; o portal então retorna para ele uma lista de todas as assinaturas disponíveis.
- Caso deseje contratar um dado serviço ele deverá enviar "contratar + código", referente ao serviço que foi listado previamente pela operadora como assinaturas disponíveis.

- Caso deseje cancelar uma dada assinatura ele deverá enviar uma mensagem de texto contendo a palavra "cancelar"; o portal retornará uma lista de todas as assinaturas do usuário, que deverá enviar "cancelar + código" referente ao serviço do qual deseja fazer o cancelamento.

Caso 3 – Sistema de comunicação do computador de bordo da EE-MEXP/SARA.

O terceiro estudo de caso consiste de um sistema de comunicação entre o Computador de Bordo da Eletrônica Embarcada do Módulo Experimental do Satélite de Reentrada Atmosférica (EE-MEXP) do projeto do Satélite de Reentrada Atmosférica (SARA, 2013), um Computador Pessoal (PC) e um Experimento denominado *LOAD*, como ilustrado na Figura 3.

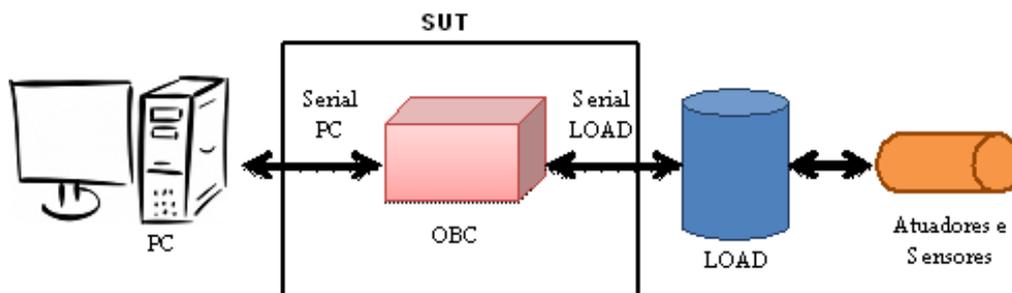


Figura 3 – Diagrama de contexto do EE-MEXP/SARA, Caso 3.

A EE-MEXP/SARA é formada por um Computador de Bordo, denominado OBC (*On Board Computer*) que tem como função estabelecer a interface de comunicação entre um PC e as cargas úteis denominadas aqui de *LOAD*.

O sistema a ser modelado (o *System Under Test* – SUT) é formado pelo OBC e suas interfaces de comunicação são independentes, do tipo serial RS422, com

o PC e com o *LOAD*, destacado na Figura 3. Portanto, as entradas e saídas do PC e do *LOAD* serão simuladas e observadas.

Caso 4 – Software de testes de sensores e atuadores.

O quarto sistema modelado é o Software de Testes de Sensores e Atuadores, chamado ASTS. Este software tem como função, executar os testes de comunicação com o GPS, as Rodas de Reação, o Magnetômetro, o Giroscópio e os Sensores de Estrelas que farão parte do Computador de Bordo (OBC) em desenvolvimento no grupo SUBORD (Grupo de Supervisão de Bordo) da Divisão de Eletrônica Aeroespacial (DEA) do INPE. A parte do ASTS a ser modelada, isto é, o SUT, consta do Menu de Opções do software e na parte que diz respeito a comunicação do GPS, o qual será chamado de SUT a partir deste momento neste documento.

O SUT contém um Menu de Opções exibido em uma interface do tipo terminal com o usuário. A troca de mensagens no formato ASCII se dá através de uma das portas seriais do OBC e um micro auxiliar chamado, neste documento, de PC.

Cabe ressaltar que até o momento o ASTS é carregado diretamente no OBC no lugar do **software de voo**¹ e que o OBC possui apenas duas portas seriais chamadas de UART-A e UART-B. Assim, o OBC e o ASTS serão considerados o mesmo e serão chamados apenas de ASTS. O ASTS troca mensagens com o PC através da UART-A e com o GPS através da UART-B.

Como o ASTS é carregado diretamente na EEPROM do OBC assim que ligamos o OBC, o ASTS já estará em execução deixando de funcionar apenas no momento em que o OBC for desligado.

As UARTs A e B compreendem o domínio de conexão, mas não serão consideradas no contexto deste trabalho por serem consideradas

¹ Software de voo - corresponde ao software que será usado quando o satélite estiver em operação no espaço.

suficientemente rápidas e confiáveis. A Figura 4 ilustra o SUT e suas interfaces. O relógio dentro do SUT indica que este sistema tem controle interno de temporizadores.

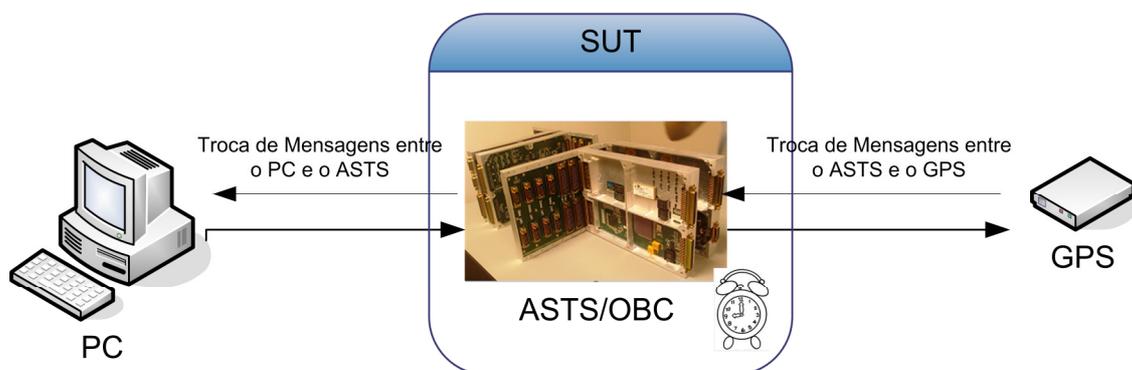


Figura 4 – O SUT, Caso 4.

Os cinco testes principais realizados pelo ASTS são listados a seguir:

1. Testes do GPS

A comunicação entre o GPS e o ASTS deve ser feita através do envio/recebimento de um caractere ASCII através da porta serial UART-B.

De acordo com o protocolo adotado neste projeto, as mensagens devem ser iniciadas pelo caractere STX (0x02) e finalizadas pelo caractere ETX (0x03). Toda mensagem deve ter uma sequência de 3 caracteres após o STX que identifique a mensagem, por exemplo, a mensagem de *acknowledge* é formada pelos caracteres F98. O *checksum* das mensagens é formado pela operação de “ou exclusivo” entre todos os caracteres após o STX e antes do ETX.

Para validar um comando recebido pelo GPS é verificado o *checksum*, caso esteja correto retorna-se a **mensagem F98**².

2. *Elevation Mask* (EM)

² Mensagem padrão, enviada pelo sistema após ter recebido uma resposta correta ou esperada.

Quando comandado pelo usuário o ASTS deve executar o teste de *Elevation Mask* (EM). Este teste realiza as seguintes tarefas:

- a. O ASTS envia a mensagem pela UART-B e a mostra no PC, assim que o usuário mandar enviar a mensagem; então,
- b. Espera uma resposta do GPS;
- c. Mostra a resposta recebida no terminal do **Gtkterm**³.

O teste EM deve solicitar os seguintes parâmetros:

- a. O valor da máscara de elevação que deve estar contido no intervalo de -90.0 a +90.0;

Nota: para representar o sinal de '+' deve ser digitado o caractere 's';

- b. O valor do tempo de espera pela resposta dada à mensagem enviada.

3. *Data Rate* (DR)

Quando comandado pelo usuário o ASTS deve executar o teste de *Data Rate* (DR). Este teste realiza as seguintes tarefas:

- a. O ASTS envia a mensagem pela UART-B e a mostra no terminal do Gtkterm; assim que o usuário mandar enviar a mensagem, então,
- b. Espera uma resposta do GPS;
- c. Mostra a resposta recebida no terminal do Gtkterm.

O teste DR deve solicitar os seguintes parâmetros:

- a. O número que representa a mensagem a ser configurada;
- b. O intervalo de saída da mensagem.

³ É um programa/terminal que permite a comunicação do computador com outro (s) PC (s) e/ou equipamentos.

Nota 1: o intervalo pode ser de -1 até 127, onde -1 é para desativar a mensagem e 0 é para enviar apenas 1 vez.

Nota 2: para o valor do intervalo equivalente a -1 deverá ser digitado o grupo de valores 0-1, pois corresponde ao padrão de 3 caracteres.

- c. O valor do tempo de espera pela resposta dada a mensagem enviada.

4. *Aiding Mode* (AM)

Quando comandado pelo usuário o ASTS deve executar o teste de *Aiding Mode* (AM). Este teste realiza as seguintes tarefas:

- a. O ASTS deve enviar essa mensagem pela UART-B e mostrar no terminal do Gtkterm; assim que o usuário mandar enviar a mensagem; então,
- b. Esperar uma resposta do GPS;
- c. Mostrar a resposta recebida no terminal do Gtkterm.

O teste AM deve solicitar os seguintes parâmetros:

- a. O número que habilita ou desabilita o modo ('0' desabilita e o '2' habilita);
- b. O valor do tempo de espera pela resposta dada a mensagem enviada.

5. Receber Dados do GPS

Quando comandado pelo usuário o ASTS deve executar o teste de Receber Dados do GPS. Este teste realiza as seguintes tarefas:

- a. Esperar mensagens do GPS;
- b. Mostrar a mensagem recebida no terminal do Gtkterm.

3 MODELAGEM

Esta seção apresenta a modelagem do comportamento dos quatro sistemas abordados neste relatório. Primeiramente são listados os eventos de entrada e de saída que serão tratados em cada SUT. Na sequência, é apresentado o comportamento do SUT em uma Máquina de Estados Finitos (MEF).

Uma MEF é um modelo matemático geralmente utilizado para representar o comportamento de sistemas reativos e circuitos lógicos. Ela é composta por estados e transições. As transições representam os eventos de entrada e as saídas geradas pela MEF em função destas entradas. Uma MEF pode ser representada formalmente por uma 7-tupla $M = (I, Q, \delta, q_0, F, O, \lambda)$, onde: Q : conjunto finito não vazio de estados; q_0 : estado inicial, tal que $q_0 \in Q$; I : conjunto finito não vazio de símbolos de entrada; F : conjunto finito não vazio de símbolos de saída; O : conjunto de estados finais; DM : domínio da especificação, tal que $DM \subseteq (Q \times I)$; δ : função de transição, tal que $\delta: DM \rightarrow Q$; e λ : função de saída, tal que $\lambda: DM \rightarrow F$.

As MEFs deste trabalho são construídas utilizando o modelo de máquinas de Mealy. A máquina de Mealy é uma máquina de estados finitos que produz um resultado, ou gera uma saída, representada na função de saída e baseada no estado em que se encontra e na entrada recebida.

Nesse trabalho foram utilizadas as ferramentas MME-Condado e a JPlavisFSM para apoio a construção das MEFs.

A JPlavisFSM, de 2010, é uma nova versão da PLAVIS desenvolvida no projeto “PLAVIS – Plataforma para Validação e Integração de Software em Sistemas Espaciais” (Simão, *et al.* 2005). A JPlavisFSM disponibiliza os métodos W, UIO, HSI e SPY, que são métodos para geração automática de casos de teste e também incorpora a geração de mutantes para MEFs (Pinheiro e Simão, 2010).

A Ferramenta MME (Melo, 2003) é um editor de máquinas de estado, que tem como objetivo facilitar o uso da ferramenta CONDADO (Martins *et al.*, 1999), a qual gera casos de teste a partir de uma MEF.

3.1 – Caso 1

Nesta seção são apresentadas a lista de eventos de entrada, a lista das saídas esperadas ou ações, os estados do SUT e a MEF que representa o comportamento do SUT do Caso 1, o Sistema de entrega e recebimento de malotes em agências bancárias.

A Tabela 1 lista os eventos de entrada que o sistema deve reconhecer (na primeira coluna) e descreve o significado dos eventos que ocorrem durante o seu funcionamento (segunda coluna). Enquanto que as Tabelas 2 e 3 apresentam respectivamente a lista de saídas e os estados identificados no sistema.

Tabela 1 – Lista de Eventos de entrada, Caso1.

Entradas	Descrição
Reset	Evento que dispara inicialização do sistema.
EntT	TV seleciona entrega de malote.
RecT	TV seleciona recebimento de malote.
AbrEe	TV digita senha para abertura do compartimento Ee.
AbrRe	TV digita senha para abertura do compartimento Re.
MaPoT	TV posiciona malote corretamente.
nMaPoT	TV posiciona malote não corretamente.
FecEe	TV digita senha p/ fechamento de Ee.
CbOkT	Indicação de código de barras correto.
nCbOkT	Indicação de código de barras incorreto.
PorReAb	Indicação de porta do compartimento Re aberta.
PorReFe	Indicação de porta do compartimento Re fechada.
FecRe	TV digita senha para fechamento de Re.
FimSvT	TV informa fim do serviço no Te.
AbrApA	Indicação de alçapão aberto de Ei.
nAbrApA	Indicação de alçapão fechado de Ei.
TravRi	Indicação de fechadura travada de Ri.
DestRi	Indicação de fechadura destravada de Ri.

Tabela 2 – Lista de Saídas, Caso1.

Saídas	Descrição
Msgld	Emitir msg: “Digitar Identificação” no Te.
EntDisT	Disponibilizar entrega.
RecDisT	Disponibilizar recebimento.
EntIndT	Não disponibilizar entrega.
ReclndT	Não disponibilizar recebimento.
TravEe	Travar fechadura de Ee.
DestEe	Destruir fechadura de Ee.
TravRe	Travar fechadura de Re.
DestRe	Destruir fechadura de Re.
MaOkT	Emitir msg: “Posição Malote Correta” no Te.
nMaOkT	Emitir msg: “Posição Malote Incorreta” no Te.
AbrApT	Abrir alçapão de Ee.
nAbrApT	Não abrir alçapão de Ee.
CpEntT	Emitir comprovante de entrega do malote.
CpRecT	Emitir comprovante de receb do malote.
ReAbT	Emitir msg: “Re está Aberto” no terminal Te.
MsgRetMaT	Emitir msg: “Retirar Malote” no terminal Te.
MsgFeReT	Emitir msg: “Fechar Re” no terminal Te.
Idle	Saída nula.

Tabela 3 – Estados do Sistema, Caso1.

Estados	Descrição
Ini	Estado inicial após o reset.
SventT	Serviço de entrega selecionado pela TV.
InsEe	Digitação de senha Ee habilitada.
SvrecT	Serviço de recebimento selecionado pela TV.
InsRe	Digitação de senha Re habilitada.
shEe	Porta Ee destravada com senha.
shRe	Porta Re destravada com senha.
abEe	Malote posicionado corretamente com porta Ee aberta.
feEe	Porta Ee travada.
meT	Malote entregue.
mrT	Malote retirado.
feRe	Porta Re travada.

A Figura 5 ilustra o Diagrama de transição de estados da MEF do sistema do Caso 1. Este diagrama foi gerado com a ferramenta JPlavisFSM, a definição dos estados, das entradas e das saídas é dado nas tabelas acima.

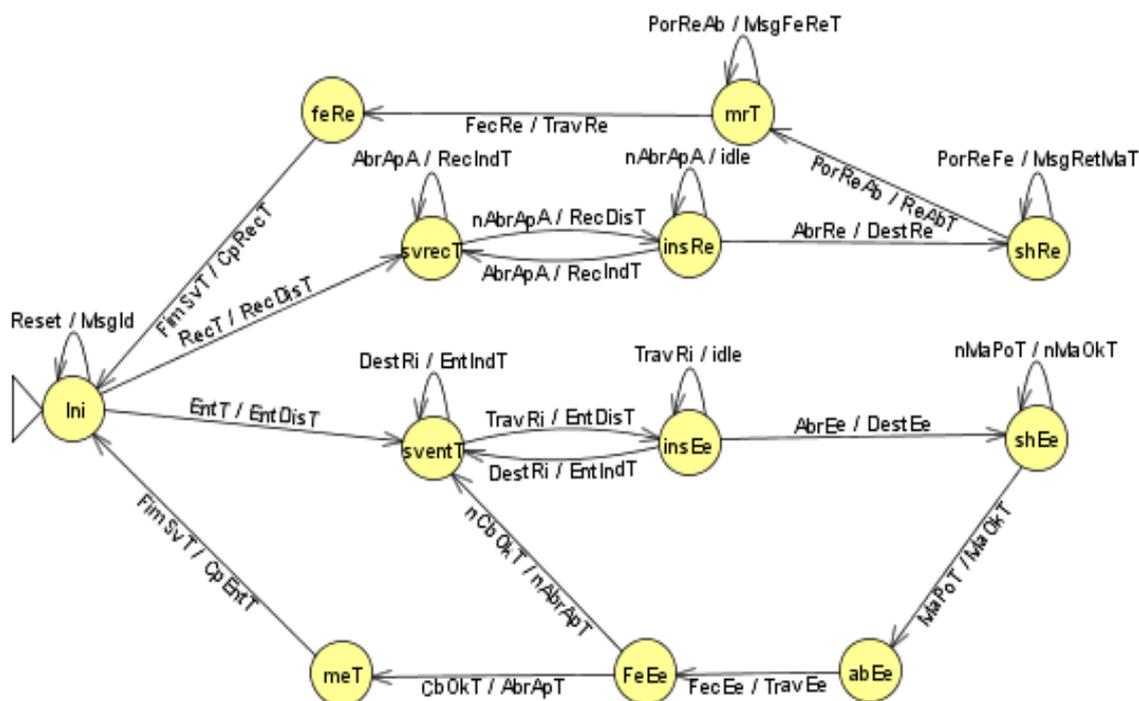


Figura 5 – MEF do Sistema de entrega e recebimento de malotes em agências bancárias, Caso 1.

3.2 – Caso 2

Nesta seção são apresentadas a lista de eventos de entrada, a lista das saídas esperadas ou ações, os estados e a MEF que representa o comportamento do SUT do Caso 2, o Portal de serviços de SMS para gestão da MMBBox.

A Tabela 4 lista os eventos de entrada que o sistema deve reconhecer (na primeira coluna) e descreve o significado dos eventos que ocorrem durante o seu funcionamento (segunda coluna). Enquanto que as Tabelas 5 e 6 apresentam respectivamente a lista de saídas esperadas e os estados identificados no sistema.

Tabela 4 – Lista de Entradas, Caso 2.

Entradas	Descrição
keyword	Indicação para listar pastas e conteúdos.
option	Indicação para listar conteúdos da pasta ou exibir detalhes do conteúdo.
bloquear	Indicação para bloquear acesso.
desbloquear	Indicação para desbloquear acesso.
contratar	Indicação para lista assinaturas para contratação.
contratarId	Indicação para contratar assinatura.
cancelar	Indicação para listar assinaturas contratadas.
cancelarId	Indicação para cancelar assinatura.
error	Indicação de erro.

Tabela 5 – Lista de Saídas, Caso 2.

Saídas	Descrição
listOptions	Listar opções.
detail	Detalhar o conteúdo.
home	Exibir opções gerais.
block	Bloquear.
unblock	Desbloquear.
subscriptionOperationErrorMsg	Emitir Mensagem de bloqueio com sucesso.
blockErrorMsg	Emitir Mensagem erro bloqueio/desbloqueio.
notAvailableMsg	Indicar que a aplicação está indisponível.
subscribe	Contratar assinatura.
availableSubscriptions	Exibir assinaturas disponíveis para contratação.
mySubscriptions	Listar assinaturas contratadas.
unsubscribe	Cancelar assinatura.

Tabela 6 – Lista de Estados, Caso 2.

Estado	Descrição
waiting	Em Espera.
subscribing	Realizando Ações Assinatura.
searching	Localizando Conteúdos.
blocking	Bloqueando/Desbloqueando Acesso.

A Figura 6 ilustra o Diagrama de Transição de Estados da MEF do sistema do caso 1. Este diagrama foi gerado com a ferramenta JPlavisFSM, a definição dos estados, das entradas e das saídas encontram-se nas tabelas acima.

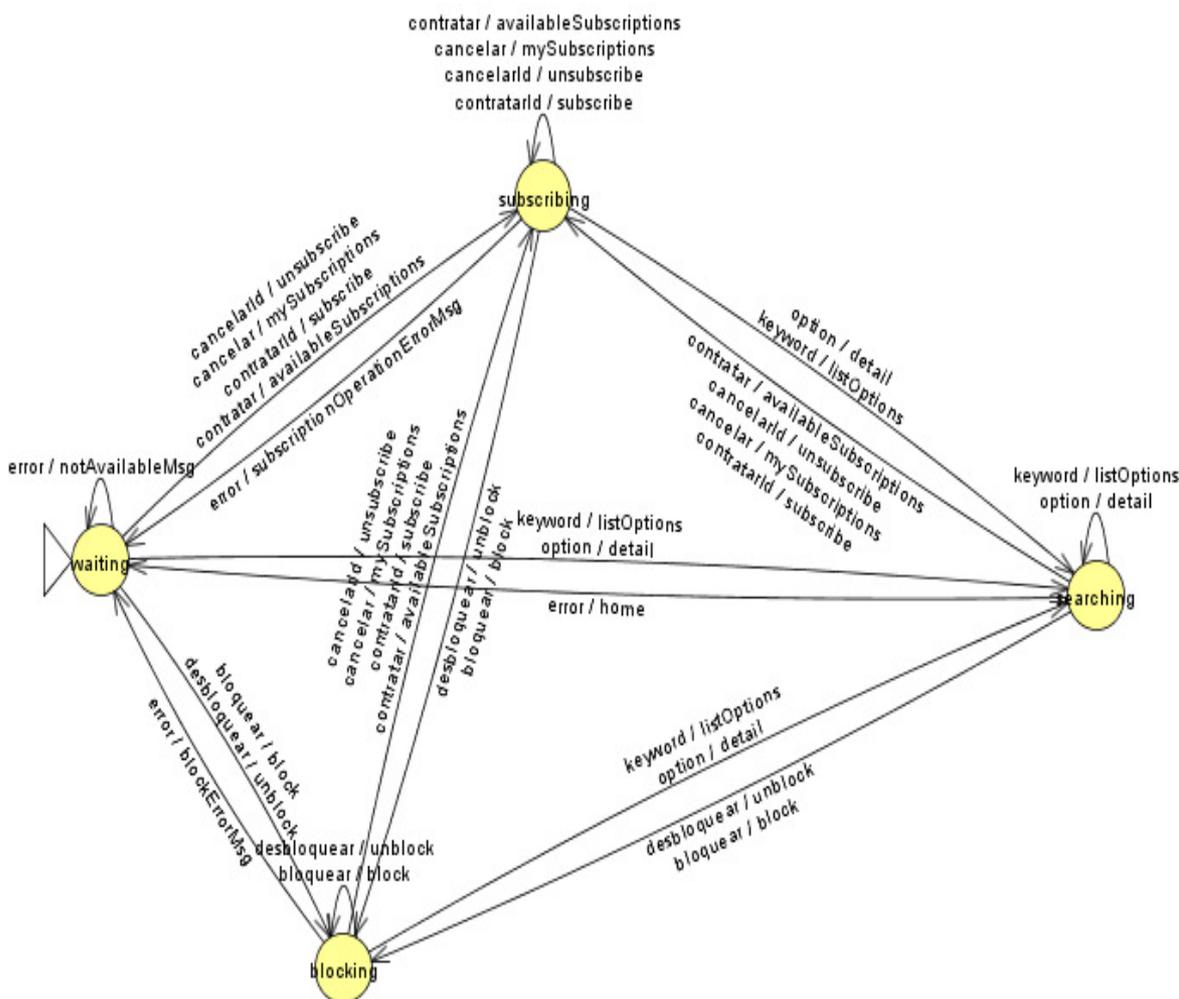


Figura 6 – MEF do Portal SMS, Caso 2.

3.2.1 – Aplicação da metodologia CoFI

A MEF apresentada na Figura 6 quando submetida ao método *Switch Cover* implementado na ferramenta Condado produziu uma quantidade de casos de testes tal que o arquivo resultante excedeu o limite tratável pelo sistema operacional. Como exercício experimental de modelagem, foi aplicada a

metodologia CoFI (Ambrosio, 2005) que orienta o testador a representar o comportamento de um sistema em várias MEFs parciais, evitando a explosão do número de casos de testes gerados pela combinação exaustiva executada pelo algoritmo da Condado.

Como passo inicial indicado pela metodologia CoFI foram identificados 5 serviços do Portal oferecidos aos usuários. Os serviços do Caso 2 são descritos a seguir:

1 - Serviço de contratação de assinaturas (subscriptions): o usuário pode contratar ou cancelar uma assinatura; uma assinatura seria, por exemplo, comprar três jogos na semana por R\$ 5,00 (cinco reais), podendo ser vídeos, jogos, músicas diferentes com renovações diárias, semanais e mensais. Para esta ação o usuário envia uma mensagem “contratar”, então, o sistema apresenta as assinaturas disponíveis. Assim que o usuário responder o SMS com “contratar + código” a contratação é efetivada.

2 - Serviço de cancelamento de assinaturas: o Portal SMS permite que o usuário possa cancelar uma assinatura através do envio um SMS com o nome “cancelar + código” do serviço contratado.

3 - Serviço de bloqueio/desbloqueio: o Portal SMS oferece o serviço de bloqueio de acesso para a loja virtual multimídia; para ativar este serviço, basta o usuário enviar a mensagem contendo a palavra “bloquear”. A palavra “desbloquear” tem o efeito inverso liberando o acesso à loja virtual.

4 - Serviço de consulta de conteúdo (Content Discovery): esse serviço funciona da seguinte forma: caso o usuário esteja interessado, por exemplo, em uma música ou vídeo de um artista, o usuário envia uma palavra-chave qualquer como, por exemplo, "Elis Regina", então, o Portal SMS retorna uma lista de conteúdos e opções para detalhamento dos conteúdos (músicas, vídeos, jogos, *wallpapers*).

5 - Serviço de detalhamento de conteúdo: este serviço localiza conteúdos por meio de palavras-chave enviadas por SMS.

O comportamento normal de cada um dos serviços citados foi representado por uma MEF, as quais são ilustradas respectivamente nas Figuras de 7 a 11. Na elaboração dessas MEFs um novo evento foi identificado como “ok”, indicando uma confirmação positiva do usuário para o sistema.

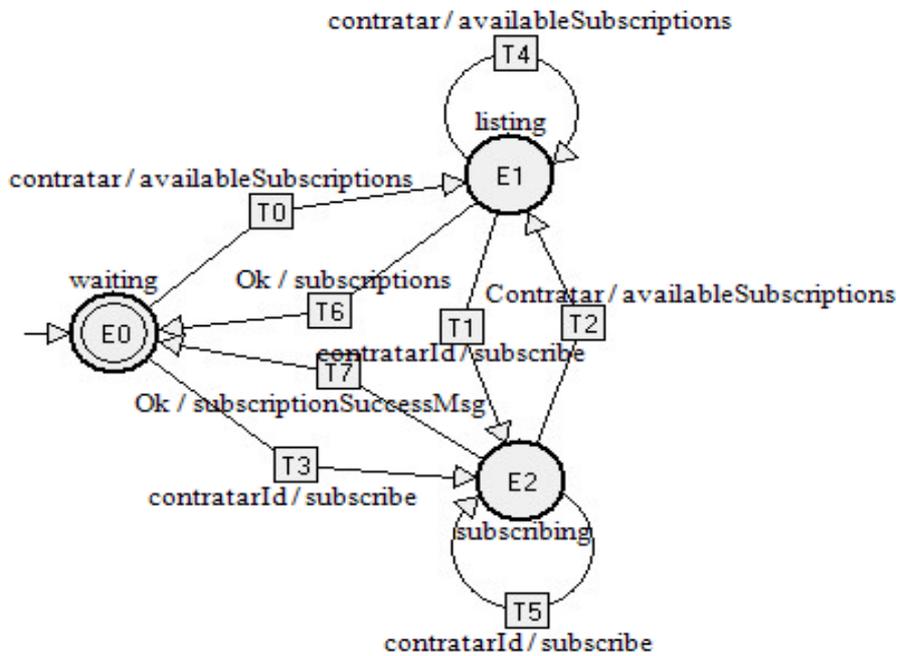


Figura 7 – MEF do serviço de contratação de assinatura, Caso 2.

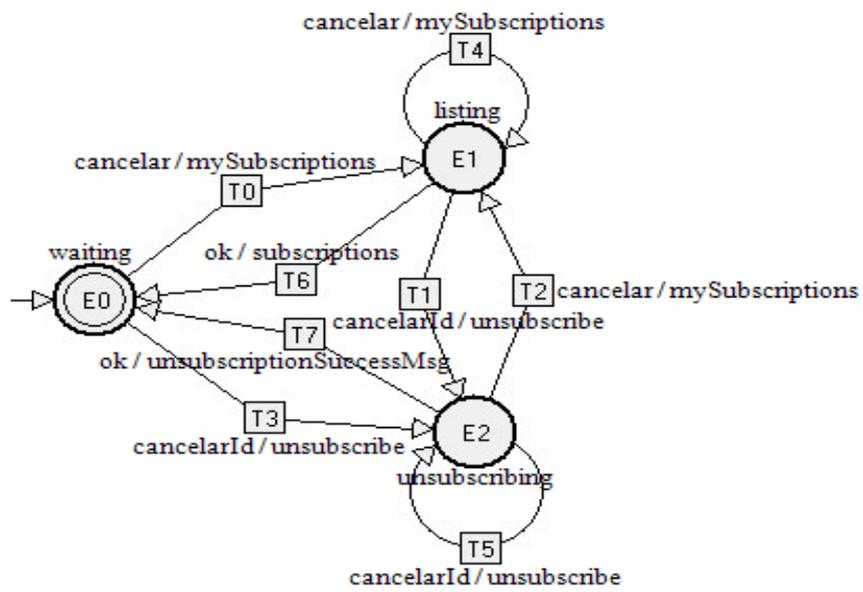


Figura 8 – MEF do serviço de cancelamento de assinatura, Caso 2.

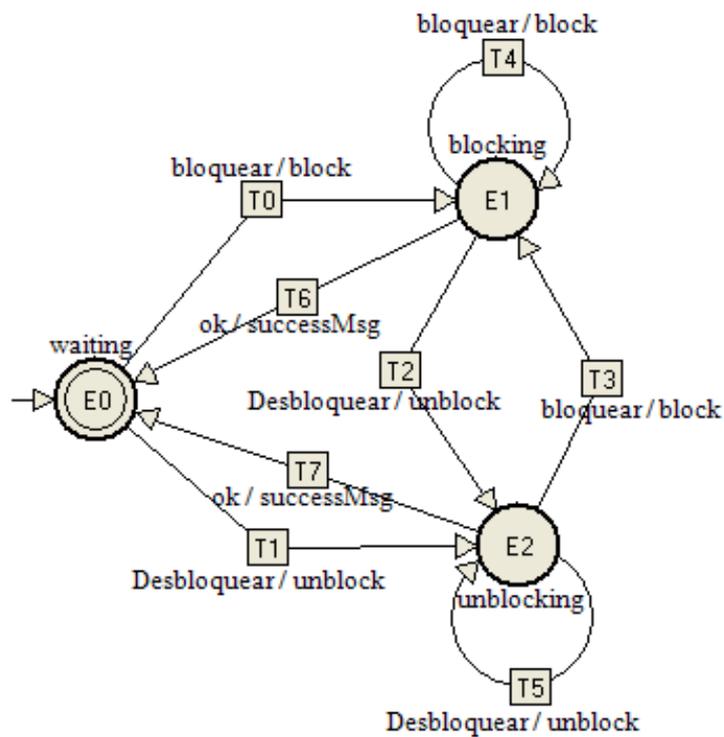


Figura 9 – MEF dos serviços de bloqueio e desbloqueio de acesso, Caso 2.

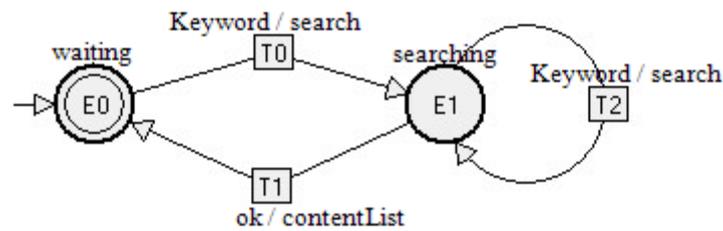


Figura 10 – MEF do serviço de consulta de conteúdos, Caso 2.

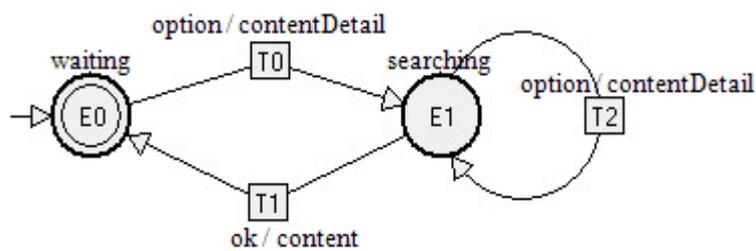


Figura 11 – MEF do serviço de detalhamento de conteúdos, Caso 2.

As Figuras 12 e 13 representam a Modelagem das Exceções Especificadas representadas em dois cenários; sendo cada cenário apresentado em uma MEF, de acordo com a metodologia CoFI.

No primeiro cenário de exceções, a MEF deverá reconhecer e tratar um novo evento de entrada: *exception*. Neste cenário, as saídas produzidas pelo sistema são: “*notAvailableMsg*”, “*alreadyBlockedMsg*”, “*alreadyUnblockedMsg*”, “*emptyList*”, “*subscriptionError*” e “*unsubscriptionError*”. Os estados de exceções identificados foram: “*blockFailed*”, “*searchFailed*” e “*subscriptionFailed*”.

No segundo cenário, a exceção a ser tratada é relativa à temporização. Na elaboração da MEF representando o comportamento do sistema frente a um estouro na temporização, ver Figura 13, um novo evento identificado foi *timeOutException*, e uma saída “*notAvailableMsg*”. Os dois novos estados

necessários para representar este cenário foram: “*admUnavailable*” e “*frontEndUnavailable*” .

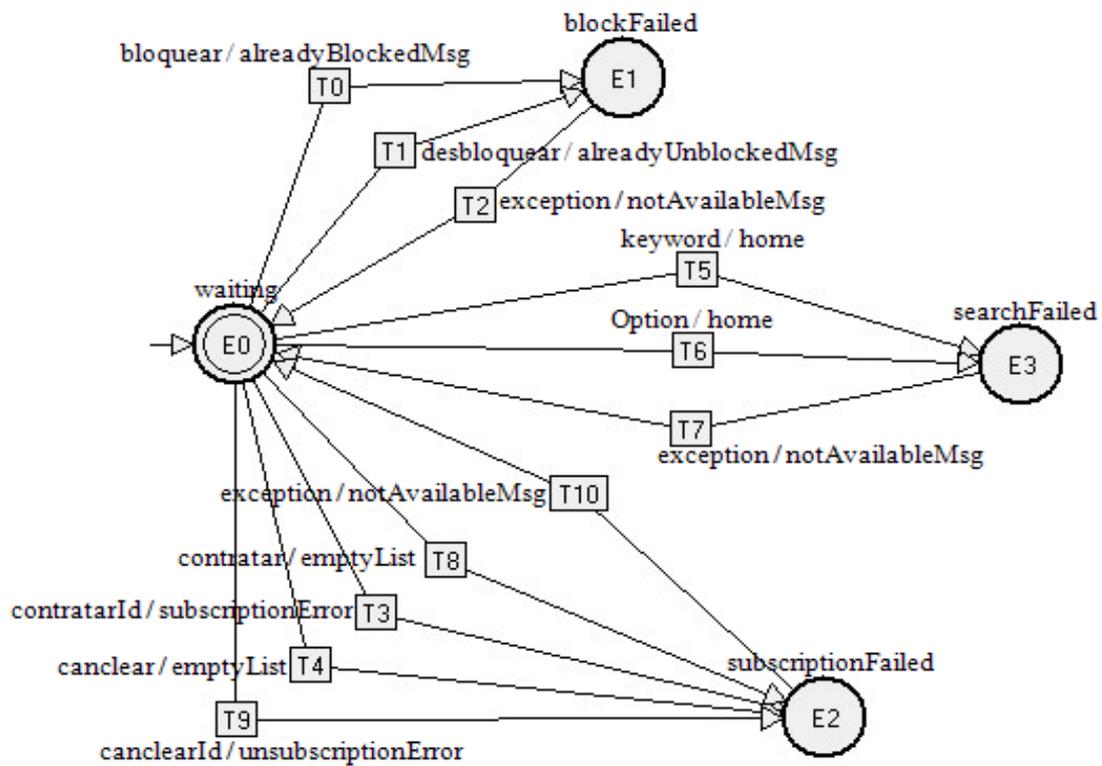


Figura 12 – MEF do comportamento de exceções especificadas do cenário 1, Caso 2.

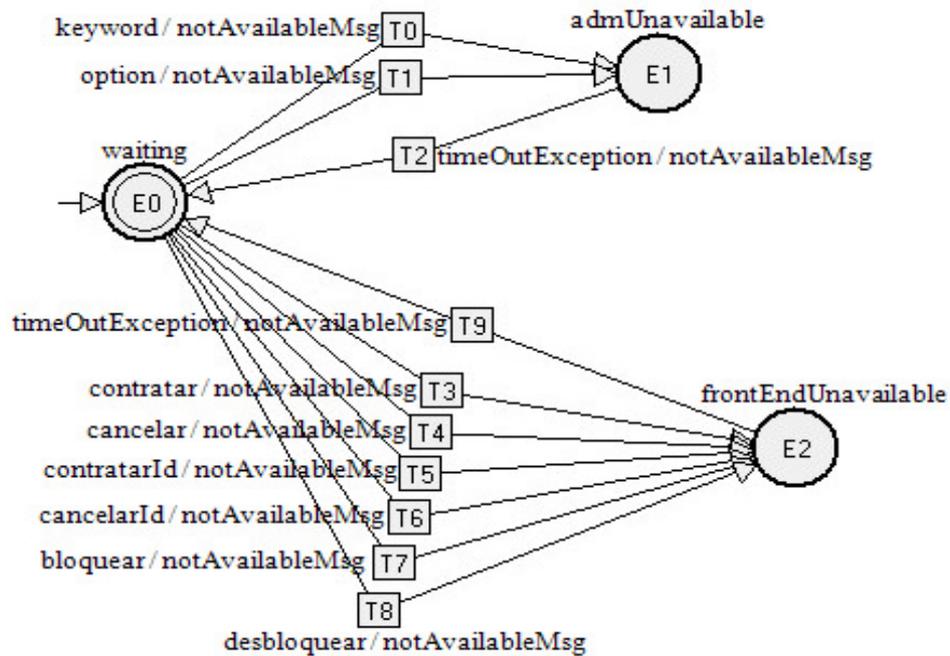


Figura 13 – MEF do comportamento de exceções especificadas do cenário 2, Caso 2.

3.3 – Caso 3

Nesta seção são apresentadas a lista de eventos de entrada, a lista das saídas esperadas ou ações, os estados e a MEF que representa o comportamento do SUT do Caso 3, o Sistema de Comunicação do OBC da Eletrônica Embarcada do Módulo Experimental do Satélite de Reentrada Atmosférica (EE-MEXP/SARA).

A Tabela 7 lista os eventos de entrada que o sistema deve reconhecer (na primeira coluna) e descreve o significado dos eventos que ocorrem durante o seu funcionamento (segunda coluna). Enquanto que as Tabelas 8 e 9 apresentam respectivamente, a lista de saídas e os estados identificados no sistema.

Tabela 7 – Lista de entradas do sistema, Caso 3.

Entradas	Descrição
a_PC	Seleção do botão “READ” de RELE ON: PC enviou comando “a” de sincronização para ler status.
b_PC	Seleção do botão “OFF” de EXPERIMENTO 1 ou 2: PC enviou comando “b” de sincronização para ligar LOAD.
c_PC	Seleção do botão “ON” de EXPERIMENTO 1 ou 2: PC enviou comando “c” de sincronização para desligar LOAD.
a_LOAD	Comando “a” de sincronização para ler status, enviado por LOAD.
b_LOAD	Comando “b” de sincronização para ligar LOAD, enviado por LOAD.
c_LOAD	Comando “c” de sincronização para desligar LOAD, enviado por LOAD.
i1_PC	Comando “1” de seleção para o comando anterior “a” ou “b”, enviado por LOAD.
i2_PC	Comando “2” de seleção para o comando anterior “a” ou “b”, enviado por LOAD.
data_LOAD	LOAD envia os dados para OBC.
timeout	Indicação de tempo de espera de 1s esgotado, referente ao retorno do comando enviado ou do retorno dos dados a serem recebidos.
Trush	Indicação de comando desconhecido, recebido pelo OBC.

Tabela 8 – Lista de saídas do sistema, Caso 3.

Saídas	Descrição
sa_LOAD	Enviar o comando “a” de sincronização para LOAD ler o status.
sb_LOAD	Enviar o comando “b” de sincronização para ligar LOAD.
sc_LOAD	Enviar o comando “c” de sincronização para desligar LOAD.
sa_PC	Enviar o comando “a” de sincronização para o PC.
sb_PC	Enviar o comando “b” de sincronização para o PC.
sc_PC	Enviar o comando “c” de sincronização para o PC.
i1_LOAD	Enviar o comando “1” de seleção para o LOAD (comando posterior a “b” ou “c”).
i2_LOAD	Enviar o comando “2” de seleção para o LOAD (comando posterior a “b” ou “c”).
data_PC	Enviar dados para o PC.
Zero	Retornar ao estado inicial.
Null	Nenhuma ação.

Tabela 9 – Lista de estados, Caso 3.

Estado	Descrição
Inicial	Estado inicial, OBC aguardando comando: OBC acabou de receber dados do LOAD e enviou para o PC.
Sincr	OBC recebeu o primeiro comando do PC de sincronização, enviou comando para o LOAD e aguarda o retorno do LOAD.
Seg-Cmd	OBC recebeu o retorno do LOAD, enviou comando retorno para o PC e aguarda <u>segundo comando</u> do PC.
Tx-dados	OBC recebeu o segundo comando do PC de “LIGA ou DESLIGA”, enviou comando para o LOAD e aguarda dados do LOAD.

A Figura 14 ilustra o Diagrama de transição de estados da MEF do sistema do caso 3. Este diagrama foi gerado com a ferramenta JPlavisFSM; a definição dos estados, das entradas e das saídas é dada nas tabelas acima.

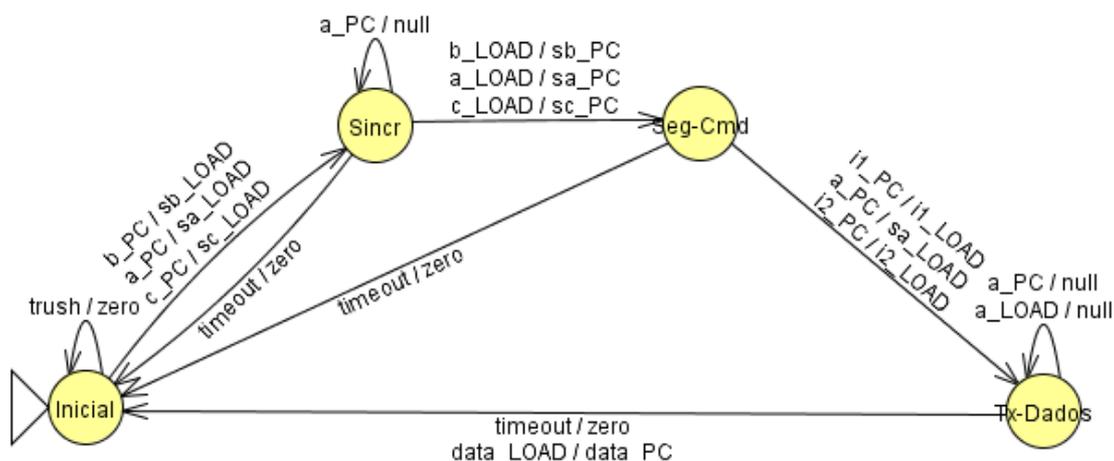


Figura 14 – MEF da Comunicação entre OBC, PC e LOAD, Caso 3.

3.4 – Caso 4

Nesta seção são apresentadas a lista de eventos de entrada, a lista das saídas esperadas ou ações, os estados e a MEF que representa o comportamento do SUT do Caso 4, o ASTS - Software de Testes de comunicação entre um

computador de bordo de satélites e os equipamentos: GPS, Rodas de Reação, Magnetômetro, Giroscópio e Sensores de Estrelas.

A Tabela 10 lista os eventos de entrada que o sistema deve reconhecer (na primeira coluna) e descreve o significado dos eventos que ocorrem durante o seu funcionamento (segunda coluna). Enquanto que as Tabelas 11 e 12 apresentam respectivamente, a lista de saídas e os estados identificados no sistema.

Tabela 10 – Lista de Entradas, Caso 4.

Entradas	Descrição
Msg_9	Opção que retorna para a Tela Inicial.
Msg_3	Opção que entra na tela Comunicação com o Receptor GPS / Opção que inicializa o teste de DR.
Msg_2	Opção que inicializa o teste de EM.
Msg_1	Opção que inicializa o teste de Receber Dados do GPS.
Msg_4	Opção que inicializa o teste de AM.
MsgParamIntervalo	Mensagem do PC que contém um parâmetro para o teste
Msg_EM_Valor	Indicação com Valor que será parte da mensagem enviada para o GPS.
MsgNum_DR	Indicação com Número que será parte da mensagem enviada para o GPS.
MsgNum_AM	Indicação com Número que será parte da mensagem enviada para o GPS.
Msg_ENTER	Opção válida apenas quando o sistema estiver na tela de parâmetros errados, utilizada para voltar à tela anterior.
Msg_Tempo	Indicação do tempo de espera por uma resposta do GPS.
Msg_N	Indicação de Cancelamento da execução do teste antes de ser iniciado.
Msg_S	Opção que inicia o teste.
Msg_TAB	Indicação de Cancelamento da execução do teste depois de ter sido iniciado.
Tempo_Esgotado	Indicação de que acabou o tempo, porém continuar recebendo mensagens.
Msg_Invalida	Indicação de uma entrada inválida feita pelo usuário (fora do protocolo).

Tabela 11 – Lista de Saídas, Caso 4.

Saídas	Descrição
exibirTelaInicial	Exibir a Tela Inicial do Sistema.
exibirTelaPedParam_AM	Exibir a tela que solicita o parâmetro AM.
exibirTelaPedParamNum_DR	Exibir a tela que solicita o parâmetro número DR.
exibirTelaPedParam_EM	Exibir a tela que solicita o parâmetro EM.
exibirTelaPedParamTempo	Exibir a tela que solicita o parâmetro Tempo.
exibirTelaPedIntervalo	Exibir a tela que solicita o intervalo em que o sistema aguarda a mensagem vinda do GPS.
exibirTelaParamErrado	Exibir a tela que avisa que o parâmetro digitado estava errado e que deve ser digitado novamente.
exibirTelaConfirExec	Exibir a tela em que deve ser confirmada ou cancelada a execução do teste.
exibeTelaComMsgsReceb	Exibir as mensagens vindas do GPS.
exibirTelaOpcTestesGPS	Exibir a tela com as opções de testes do GPS.

Tabela 12 – Lista de Estados, Caso 4.

Estado	Descrição
AguardOpcTeste	Estado em que o sistema aguarda uma mensagem do PC para definir qual opção de teste será executada.
AguardParam_EM	Aguardando uma mensagem do PC que será um parâmetro para o teste EM.
AguardParamNum_DR	Aguardando uma mensagem do PC que será um parâmetro para o teste DR.
AguardParam_AM	Aguardando uma mensagem do PC que será um parâmetro para o teste AM.
AguardParamIntervalo	Aguardando uma mensagem do PC que será um parâmetro para o teste.
AguardEnter_EM	Aguardando que o PC envie uma Mensagem _Enter para voltar à tela de pedido de parâmetro EM.
AguardEnterParamNum_DR	Aguardando que o PC envie uma Mensagem _Enter para voltar à tela de pedido de parâmetro DR.
AguardEnterParamIntervalo	Aguardando que o PC envie uma Mensagem _Enter para voltar à tela de pedido de parâmetro Intervalo.
AguardEnterParam_AM	Aguardando que o PC envie um evento Mensagem _Enter para voltar à tela de pedido de parâmetro AM.
AguardEnterParamTempo	Aguardando que o PC envie uma Mensagem _Enter para voltar à tela de pedido de parâmetro Tempo.
AguardParamTempo	Aguardando que o PC envie uma Mensagem _Enter para voltar à tela de pedido de parâmetro.
ProntoParaExec	Aguardando um evento que inicia o teste ou de um que o cancela.
Mostrando_Msg	Mostrando as mensagens vindas do GPS ou uma vinda do PC que cancela a execução do teste.
Ocioso	Esperando alguma entrada.

A Figura 15 mostra o Diagrama de Transição de Estados gerado com a ferramenta MME. A figura mostra a estrutura da MEF final, apesar de pouco legível a figura ilustra o formato da MEF. O conteúdo da mesma é apresentado na Tabela 13 equivalente.

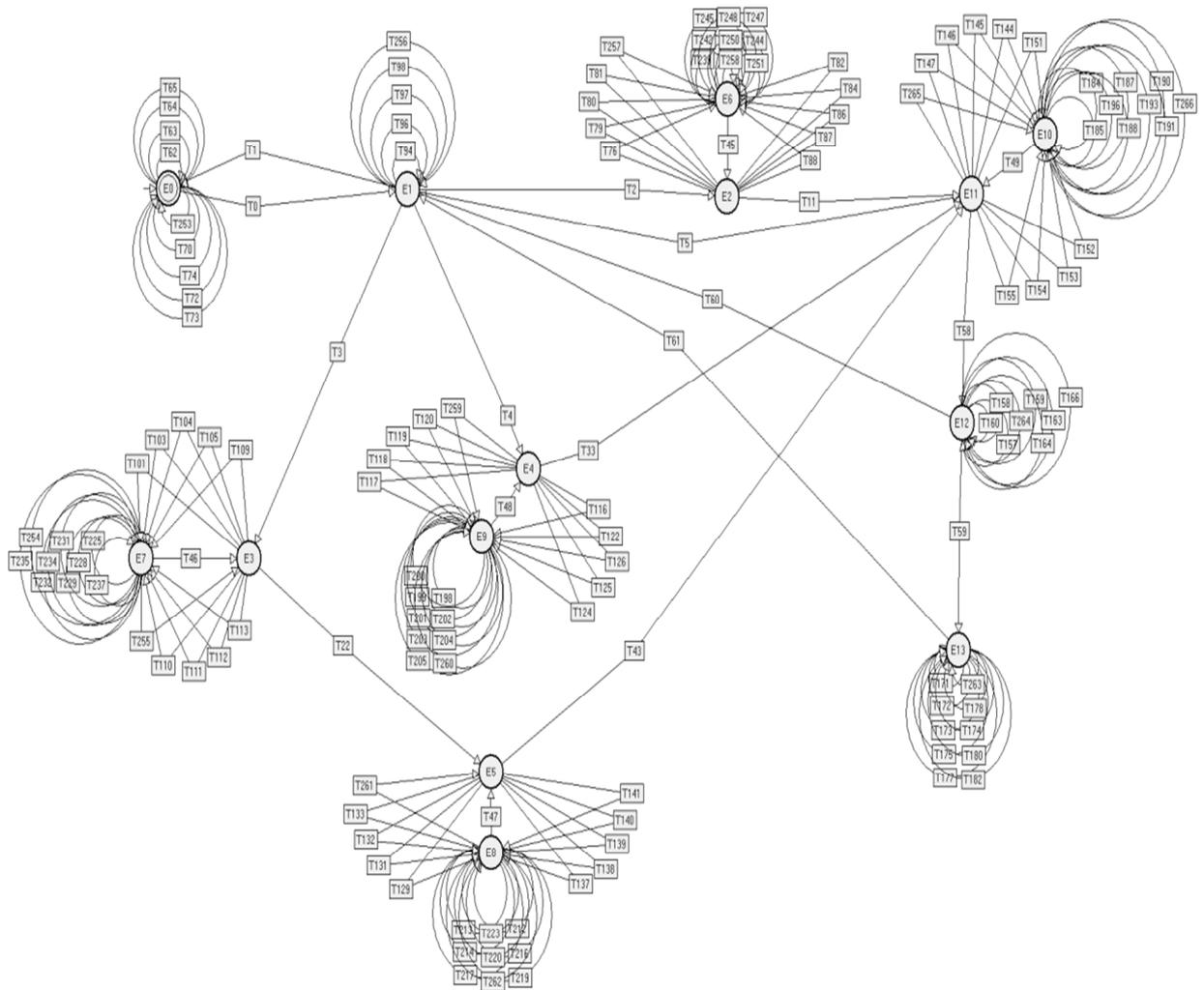


Figura 15 – Modelagem final do ASTS feita na MME, Caso 4.

3.4.2.1 – Diagrama de transição de estados do SUT

Tabela 13 – Diagrama de Sequência, Caso 4.

	Ocioso	AguardOpcTeste	AguardParam_EM	AguardParam_Num_DR	AguardParam_Num_AM	AguardParamIntervalo	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamTempo	AguardParamTempo	ProntoParaExec	Mostrando_Msg
Msg_9	Ocioso	Ocioso	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamTempo	AguardENT_ERParamTempo	ProntoParaExec	Mostrando_Msg
	Sem ação	ExibirTelaInicial	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação
Msg_2	Ocioso	AguardParam_EM	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamTempo	AguardENT_ERParamTempo	ProntoParaExec	Mostrando_Msg
	Sem ação	ExibirTelaPedParam_EM	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação
Msg_3	AguardOpcTeste	AguardParam_Num_DR	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamTempo	AguardENT_ERParamTempo	ProntoParaExec	Mostrando_Msg
	ExibirTelaOpcTestesGps	ExibirTelaPedParamNum_DR	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação
Msg_4	Ocioso	AguardParam_Num_AM	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamTempo	AguardENT_ERParamTempo	ProntoParaExec	Mostrando_Msg
	Sem ação	ExibirTelaPedParam_AM	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação
Msg_1	Ocioso	AguardParamTempo	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamTempo	AguardENT_ERParamTempo	ProntoParaExec	Mostrando_Msg
	Sem ação	ExibirTelaPedParamTempo	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação
Msg_EM_V			AguardParamTempo											
			ExibirTelaPedParamTempo											
MsgNum_DR				AguardParamIntervalo										
				ExibirTelaPedIntervalo										
MsgNum_AM					AguardParamTempo									
					ExibirTelaPedParamTempo									
MsgParamIntervalo						AguardParamTempo								
						ExibirTelaPedParamTempo								
Msg_ENTER	Ocioso	AguardOpcTeste	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardParam_EM	AguardParam_Num_DR	AguardParamIntervalo	AguardParam_Num_AM	AguardParamTempo	AguardENT_ERParamTempo	ProntoParaExec	Mostrando_Msg
	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	ExibirTelaPedParam_EM	ExibirTelaPedParamNum_DR	ExibirTelaPedIntervalo	ExibirTelaPedParam_AM	ExibirTelaPedParamTempo	Sem ação	Sem ação	Sem ação
Msg_Tempo												ProntoParaExec		
												ExibirTelaConfirExec		
Msg_N	Ocioso	AguardOpcTeste	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamTempo	AguardENT_ERParamTempo	AguardOpcTeste	Mostrando_Msg
	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	ExibirTelaOpcTestesGps	Sem ação
Msg_S	Ocioso	AguardOpcTeste	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamTempo	AguardENT_ERParamTempo	Mostrando_Msg	Mostrando_Msg
	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	ExibirTelaComMsgReceb	Sem ação
Msg_TAB	Ocioso	AguardOpcTeste	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamTempo	AguardENT_ERParamTempo	ProntoParaExec	AguardOpcTeste
	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	ExibirTelaOpcTestesGps
Tempo_Esgotado														Mostrando_Msg
														ExibirTelaComMsgReceb
Msg_Invalido	Ocioso	AguardOpcTeste	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERParam_EM	AguardENT_ERParamNum_DR	AguardENT_ERParamIntervalo	AguardENT_ERNum_AM	AguardENT_ERParamTempo	AguardENT_ERParamTempo	ProntoParaExec	Mostrando_Msg
	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação	Sem ação

Legenda explicativa da Tabela 13:

- São os estados do SUT.
- São as entradas do SUT.
- São os estados para onde a máquina transiciona após as entradas.
- São as saídas do SUT.

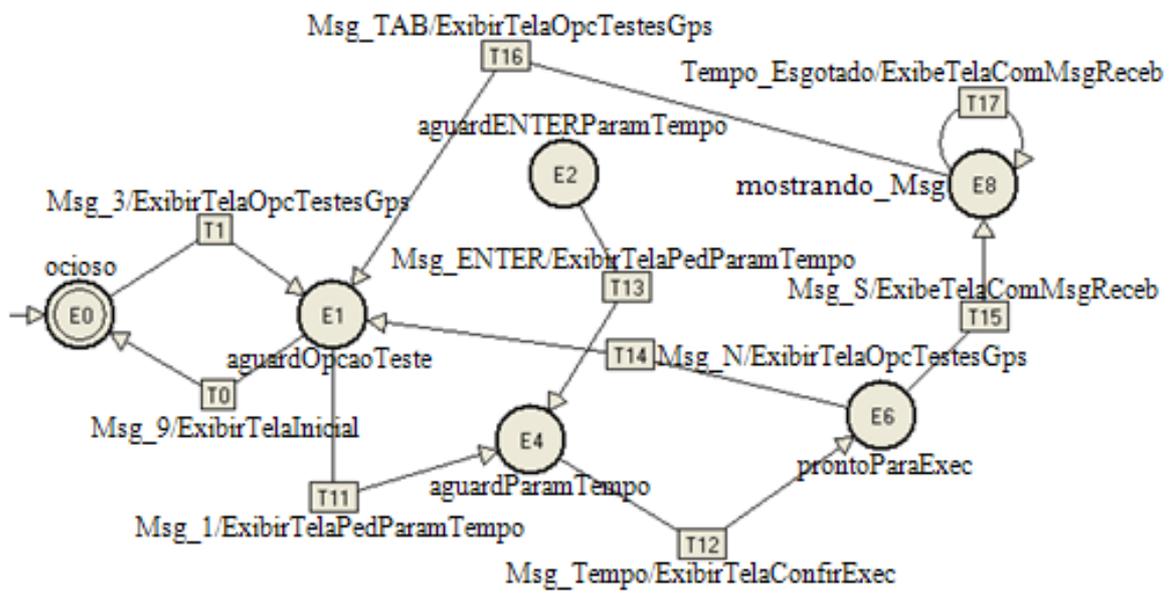


Figura 19 – MEF do serviço Receber Dados do GPS, Caso 4.

4 GERAÇÃO DE CASOS DE TESTE

A geração de casos de teste foi realizada de forma automática com o uso de duas ferramentas: MME-Condado (Martins *et al.*, 1999) e (Melo e Junior, 2003), e JPlavisFSM (Simão *et al.*, 2005). Estas ferramentas permitem a edição e criação das MEFs, bem como a geração de casos de testes. Tais ferramentas implementam um ou mais métodos de busca em árvore, denominados **métodos de teste**. Desta forma, um caso de teste é um caminho na MEF, ou seja, uma sequência de transições. Como, cada transição é composta de uma entrada e uma ou mais saídas, um caso de teste é formado por uma sequência de entradas e suas respectivas saídas.

A JPlavisFSM inclui também subsídios para a avaliação dos conjuntos de teste, que serão abordadas no próximo capítulo.

As seções a seguir apresentam os conjuntos de casos de teste gerados pelos vários métodos de teste. Observe que há uma diferença na apresentação dos casos de teste gerados pela JPlavisFSM e pela ferramenta Condado, somente com relação a disposição das linhas na tabela. Na JPlavisFSM cada linha da tabela corresponde a um caso de teste, enquanto que na Condado, cada linha mostra uma entrada (pré-fixada com a palavra *senddata*) e a correspondente saída esperada (pré-fixada com a palavra *recdata*) de um caso de teste. Cada caso de teste é composto por um conjunto de linhas e separado por uma linha em branco na tabela. As palavras *senddata* e *recdata* são indicativas de uma possível rotina para a execução automática dos testes. Ambos as ferramentas geram os casos de teste em arquivos tipo texto e, portanto, podem ser editados conforme a necessidade do usuário.

4.1 – Métodos e ferramentas

A Condado é uma ferramenta que tem por objetivo a geração de testes combinando “controle” e “dados”, sendo que os dados são parâmetros de interações de um protocolo, para isto utiliza três técnicas de teste do tipo caixa

preta: teste de transição de estados, teste de sintaxe e teste de domínio (Martins *et al.*, 1999). A ferramenta Condado utiliza o método *Switch Cover* para a geração automática de sequências de testes.

Combinadas, essas ferramentas nos deram suporte na criação automática de casos de teste, na criação dos mutantes das MEFs e na avaliação dos conjuntos de casos de teste.

Para a geração automática dos conjuntos de testes foram utilizados os métodos implementados nas ferramentas. Esses métodos têm por objetivo gerar casos de teste que nos ajudarão a verificar se uma implementação está correta em relação à especificação, por meio da execução de atividades de teste e validação em sistemas descritos por modelos (Fujiwara *et al.*, 1991).

Ao longo dos anos, vários métodos foram propostos pela academia, alguns exemplos são: DS (Gonec, 1970); *Switch Cover* (Pimont and Rault, 1976), W (Chow, 1978), UIO (Sabnani and Dahbura, 1988), UIOv (Yuong *et al.*, 1989), Wp (Fujiwara *et al.*, 1991), HIS (Petrenko *et al.*, 1993), HSI (Luo *et al.*, 1995), H (Dorofeeva *et al.*, 2005), *State Counting* (Petrenko and Yevtushenko, 2005), SPY (Adenilson Simão *et al.*, 2011).

Uma breve descrição dos métodos que foram utilizados pelos experimentos é apresentada a seguir:

Método W: O método W (Chow, 1978), não considera MEFs parciais e é aplicado a MEFs reduzidas, completamente especificadas, fortemente conexas e determinísticas (Pinheiro e Simão, 2010).

Método UIO: O método *Unique Input/Output* (Sabnani and Dahbura, 1988), é um método que produz uma sequência de entrada capaz de identificar cada estado da máquina. Ela age como uma sequência de cobertura de estado (*State Cover*). Não garante cobertura total dos erros, pois uma sequência de entrada leva a uma única saída na especificação correta, o que já não é

garantido para as implementações com erro. O método UIO é baseado em sequências UIO e utiliza apenas a fase de teste das transições. Originalmente, foi afirmado que os casos de teste gerados pelo método eram completos. No entanto, o trabalho de Vuong *et al.* (1989) mostrou, com um contraexemplo, que o método UIO não garante uma cobertura completa de defeitos.

Método HIS: O método *Harmonized State Identification* (Luo *et al.*, 1995) leva em consideração as MEFs parcialmente especificadas. Sendo similar ao W, porém, diferenciando-se no critério de seleção de seu conjunto de caracterização. Por ser menor que o conjunto W, o conjunto de sequência de testes final também será menor, o que aperfeiçoa o processo de teste final (Neto, 2008).

Método SPY: O método SPY foi proposto por Adenilson Simão *et al.*, em 2011. Com o objetivo de viabilizar a geração de conjuntos de teste para MEFs com estados extras. O método SPY é gerado de forma semelhante ao HSI; porém, difere no modo de geração das sequências por ser capaz de identificar melhores condições para incrementar as sequências já calculadas (Pinheiro e Simão, 2010).

Switch Cover: O método *Switch Cover* (Pimont and Rault, 1976) utiliza a busca por profundidade, percorrendo todas as combinações de transições pelo menos uma vez. Esse método faz uso do conceito de árvore de alcançabilidade. É um método exaustivo, pois cobre todos os caminhos atingíveis pelo estado inicial. Esse método, tal qual o HSI, também aceita as MEFs parcialmente especificadas.

4.2 – Geração e Análise de Mutantes

A técnica de análise de mutantes surgiu em meados dos anos 70, baseado em pesquisas de detecção de erros lógicos em circuitos digitais. Mas teve uma de suas principais contribuições quando foi proposta a técnica **Competent Programmer Hypothesis** (DeMillo, 1978), ou a hipótese do programador

competente. Essa técnica baseia-se na hipótese de que um programador experiente produz código fonte correto ou bem próximo a isso. Permitindo assim assumir que tratar pequenas alterações na sintática do código são suficientes para torna-lo correto.

Um mutante é uma modificação pontual em um programa, ou modelo, realizada, basicamente, a partir de induzir mudanças sintáticas simples no código e forçar determinados objetivos de teste, como por exemplo, executar um caminho diferente no programa.

Temos um programa ou um modelo P, sobre o qual são aplicadas algumas modificações pontuais de modo a criar M, ou seja, o conjunto de mutantes de P, o qual serve para avaliar o quanto um conjunto de casos de teste T, criado a partir P, é adequado para os testes do mesmo. A meta é executar esse conjunto de testes T contra o conjunto de programas ou modelos mutantes M e assim, verificar se o conjunto T cobre os erros introduzidos pelo conjunto de mutantes M.

Aos mutantes, cujo erro foi detectado por algum caso de teste do conjunto T dá-se o nome de **mutantes mortos** e aos mutantes que não foram detectados por algum caso de teste do conjunto T dá-se o nome de **mutantes vivos**.

A Análise de Mutantes fornece ainda uma medida objetiva da confiança dos casos de testes analisados pelo teste de mutação, através do *mutation score*, ou **escore de mutação**. De acordo com DeMillo *et al.*, 1978, o escore de mutação é calculado através de uma relação entre os mutantes mortos e mutantes gerados, e pode ser expressa pela seguinte fórmula:

$$ms(P, T) = \frac{DM}{M(P) - EM(P)}$$

Sendo que:

DM (P, T): Número de mutantes mortos pelo caso de teste em T;

M (P): Número de mutantes gerados;

EM (P): Número de *mutantes equivalentes*⁴ a P.

O escore de mutação varia no intervalo entre 0 e 1 e quanto maior for o valor do escore de mutação mais **adequado** será o conjunto de casos de teste para o teste do programa.

Devido ao grande volume de casos de teste gerados automaticamente, nem todos os conjuntos de casos de teste gerados são apresentados por extenso nesse trabalho. Entretanto, a partir das MEFs apresentadas na seção 3 é possível reproduzir o conjunto completo usando-se as ferramentas citadas nesse relatório e, os dados para se obter os mesmos foram disponibilizados na Seção 3.

4.3 – Caso 1

No sistema do Caso 1, os casos de teste foram gerados tanto pela ferramenta JPlavisFSM como pela ferramenta Condado.

Utilizando-se a ferramenta JPlavisFSM, apenas o método UIO foi capaz de gerar casos de teste a partir da MEF da Figura 5, presente no Capítulo 3. O número total de mutantes gerados foi de 1012 mutantes, sendo 0 o número de mutantes vivos, 1012 de mutantes mortos e o escore de mutação igual a 1,0 com 100% de adequação.

O conjunto de casos de teste gerado pelo método UIO a partir da MEF apresentada na Figura 5 é exibido na Tabela 14, que lista todos os 24 casos de teste gerados.

⁴ Mutantes Equivalentes – Um mutante equivalente é aquele que retorna o mesmo resultado que o programa ou modelo original quando submetido ao mesmo caso de teste.

Tabela 14 – Conjunto de casos de teste gerados pelo método UIO, Caso1.

Casos de teste	
Entradas	Saídas
Reset,Reset	MsgId,MsgId
RecT,nAbrApA	RecDisT,RecDisT
EntT,TravRi	EntDisT,EntDisT
EntT,TravRi,TravRi	EntDisT,EntDisT,idle
EntT,DestRi,TravRi	EntDisT,EntIndT,EntDisT
RecT,nAbrApA,nAbrApA	RecDisT,RecDisT,idle
RecT,AbrApA,nAbrApA	RecDisT,RecIndT,RecDisT
RecT,nAbrApA,nAbrApA,nAbrApA	RecDisT,RecDisT,idle,idle
RecT,nAbrApA,AbrRe,PorReAb	RecDisT,RecDisT,DestRe,ReAbT
RecT,nAbrApA,AbrApA,nAbrApA	RecDisT,RecDisT,RecIndT,RecDisT
EntT,TravRi,AbrEe,MaPoT,FecEe,CbOkT	EntDisT,EntDisT,DestEe,MaOkT,TravEe,AbrApT
EntT,TravRi,AbrEe,MaPoT,FecEe,CbOkT,FimSvT	EntDisT,EntDisT,DestEe,MaOkT,TravEe,AbrApT,CpEntT
EntT,TravRi,AbrEe,MaPoT,FecEe,nCbOkT,TravRi	EntDisT,EntDisT,DestEe,MaOkT,TravEe,nAbrApT,EntDisT
EntT,TravRi,TravRi,TravRi	EntDisT,EntDisT,idle,idle
EntT,TravRi,AbrEe,MaPoT	EntDisT,EntDisT,DestEe,MaOkT
EntT,TravRi,DestRi,TravRi	EntDisT,EntDisT,EntIndT,EntDisT
RecT,nAbrApA,AbrRe,PorReAb,FecRe	RecDisT,RecDisT,DestRe,ReAbT,TravRe
RecT,nAbrApA,AbrRe,PorReFe,PorReAb	RecDisT,RecDisT,DestRe,MsgRetMaT,ReAbT
EntT,TravRi,AbrEe,MaPoT,FecEe,CbOkT,FimSvT,Reset	EntDisT,EntDisT,DestEe,MaOkT,TravEe,AbrApT,CpEntT,MsgId
RecT,nAbrApA,AbrRe,PorReAb,FecRe,FimSvT	RecDisT,RecDisT,DestRe,ReAbT,TravRe,CpRecT
RecT,nAbrApA,AbrRe,PorReAb,PorReAb,FecRe	RecDisT,RecDisT,DestRe,ReAbT,MsgFeReT,TravRe
EntT,TravRi,AbrEe,MaPoT,FecEe	EntDisT,EntDisT,DestEe,MaOkT,TravEe
EntT,TravRi,AbrEe,nMaPoT,MaPoT	EntDisT,EntDisT,DestEe,nMaOkT,MaOkT
RecT,nAbrApA,AbrRe,PorReAb,FecRe,FimSvT,Reset	RecDisT,RecDisT,DestRe,ReAbT,TravRe,CpRecT,MsgId

A geração dos casos de teste feita a partir da ferramenta MME-Condado concluiu bem a execução e gerou 24 casos de teste. Na Tabela 15 são listados 2 desses casos de teste gerados.

Tabela 15 – Parte dos conjuntos de casos de teste gerados pela Condado, Caso 1.

Casos de Teste	
Entradas	Saídas
senddata(L,EntT)	recdata(L,EntDisT)
senddata(L,TravRi)	recdata(L,EntDisT)
senddata(L,AbrEe)	recdata(L,DestEe)
senddata(L,MaPoT)	recdata(L,MaOkT)
senddata(L,FecEe)	recdata(L,TravEe)
senddata(L,nCbOkT)	recdata(L,nAbrApT)
senddata(L,TravRi)	recdata(L,EntDisT)
senddata(L,AbrEe)	recdata(L,DestEe)
senddata(L,MaPoT)	recdata(L,MaOkT)
senddata(L,FecEe)	recdata(L,TravEe)
senddata(L,CbOkT)	recdata(L,AbrApT)
senddata(L,FimSvT)	recdata(L,CpEntT)
senddata(L,EntT)	recdata(L,EntDisT)
senddata(L,TravRi)	recdata(L,EntDisT)
senddata(L,AbrEe)	recdata(L,DestEe)
senddata(L,MaPoT)	recdata(L,MaOkT)
senddata(L,FecEe)	recdata(L,TravEe)
senddata(L,nCbOkT)	recdata(L,nAbrApT)
senddata(L,TravRi)	recdata(L,EntDisT)
senddata(L,AbrEe)	recdata(L,DestEe)
senddata(L,nMaPoT)	recdata(L,nMaOkT)
senddata(L,MaPoT)	recdata(L,MaOkT)
senddata(L,FecEe)	recdata(L,TravEe)
senddata(L,CbOkT)	recdata(L,AbrApT)
senddata(L,FimSvT)	recdata(L,CpEntT)

4.4 – Caso 2

Para o Caso 2, na ferramenta JPlavisFSM, foi possível a geração dos casos de teste com os quatro métodos presentes na ferramenta para MEF apresentada na Figura 6, Capítulo 3. Quanto ao método W foram gerados 33 casos de teste, para o método UIO foram gerados 36 casos de teste, para o método HSI foram gerados 33 casos de teste e para o método SPY foram gerados 28 casos de teste. Tendo um total de geração de 546 mutantes, sendo 0 o número de mutantes vivos, 546 de mutantes mortos e obtendo o escore de mutação igual a 1,0 com 100% de adequação.

A Tabela 16 lista 10 do total de 33 casos de teste gerados pelo método W a partir da MEF da Figura 6.

Tabela 16 – Casos de teste gerados pelo método W, Caso 2.

Casos de Teste	
Entradas	Saídas
cancelarId,error	unsubscribe,subscriptionOperationErrorMsg
contratar,error	availableSubscriptions,subscriptionOperationErrorMsg
contratarId,error	subscribe,subscriptionOperationErrorMsg
desbloquear,error	unlock,blockErrorMsg
error,error	notAvailableMsg,notAvailableMsg
option,error	detail,home
bloquear,bloquear,error	block,block,blockErrorMsg
bloquear,cancelar,error	block,mySubscriptions,subscriptionOperationErrorMsg
bloquear,cancelarId,error	block,unsubscribe,subscriptionOperationErrorMsg
bloquear,contratar,error	block,availableSubscriptions,subscriptionOperationErrorMsg

Na geração dos casos de teste feita a partir da ferramenta MME-Condado o número de casos de teste ultrapassou os limites dos recursos computacionais da ferramenta. Para este caso, a ferramenta listou apenas 8 casos de teste o que não corresponde a realidade.

Na Tabela 17 são apresentados 3 desses casos de teste gerados.

Tabela 17 – Lista de parte do conjunto de testes gerados pela Condado, Caso 2.

Casos de Teste	
Entradas	Saídas
senddata(L,contratar)	recdata(L,availableSubscriptions)
senddata(L,contratar)	recdata(L,availableSubscriptions)
senddata(L,error)	recdata(L,subscriptionOperationErrorMsg)
senddata(L,contratar)	recdata(L,availableSubscriptions)
senddata(L,error)	recdata(L,subscriptionOperationErrorMsg)
senddata(L,contratar)	recdata(L,availableSubscriptions)
senddata(L,cancelar)	recdata(L,mySubscriptions)
senddata(L,contratar)	recdata(L,availableSubscriptions)
senddata(L,error)	recdata(L,subscriptionOperationErrorMsg)

Com relação à geração de testes a partir das MEFs parciais criadas com a metodologia CoFI, a ferramenta Condado concluiu bem a execução, para cada MEF individualmente, e gerou os casos de teste, que somados totalizam 68 casos de teste. Abaixo, na Tabela 18, nos é dado o número de casos de teste gerados para cada MEF parcial.

Tabela 18 – Número de casos de teste por serviço, Caso 2.

MEFs	Nº CT
Serviço Contratar	16
Serviço Cancelar	16
Serviço Bloquear/Desbloquear	16
Serviço Consultar	2
Serviço Detalhar	2
Exceções Esperadas – cenário 1	8
Exceções Esperadas – cenário 2	8
Total	68

O conjunto de casos de teste do SUT, utilizando a metodologia CoFI, é dado pela união dos conjuntos obtidos através de cada MEF parcial. Na Tabela 19 é dada uma amostra de 4 dos 68 casos de teste gerados a partir dos modelos parciais.

Tabela 19 – Alguns casos de teste gerados pela Condado para as MEFs parciais, Caso 2.

Casos de Teste	
Entradas	Saídas
senddata(L,keyword)	recdata(L,search)
senddata(L,ok)	recdata(L,contentList)
senddata(L,keyword)	recdata(L,search)
senddata(L,keyword)	recdata(L,search)
senddata(L,ok)	recdata(L,contentList)
senddata(L,option)	recdata(L,contentDetail)
senddata(L,ok)	recdata(L,content)
senddata(L,option)	recdata(L,contentDetail)
senddata(L,option)	recdata(L,contentDetail)
senddata(L,ok)	recdata(L,content)

4.5 – Caso 3

Para o Caso 3, na ferramenta JPlavisFSM, foi possível a geração dos casos de teste com os quatro métodos presentes na ferramenta para MEF apresentada na Figura 14 Capítulo 3. Quanto ao método W foram gerados 123 casos de teste, para o método UIO foram gerados 17 casos de teste, para o método HSI foram gerados 21 casos de teste e para o método SPY foram gerados 13 casos de teste. Tendo um total de geração de 472 mutantes, sendo 0 o número de mutantes vivos, 472 de mutantes mortos e obtendo o escore de mutação igual a 1,0 com 100% de adequação.

Parte do conjunto de casos de teste gerado pelo método W a partir da MEF apresentada na Figura 14 é exibido na Tabela 20, que lista 10 do total de 123 casos de teste gerados.

Tabela 20 – Casos de teste gerados pelo método W, Caso 3.

Casos de Teste	
Entradas	Saídas
b_PC,b_LOAD	sb_LOAD,sb_PC
b_PC,i2_PC	sb_LOAD,empty
b_PC,a_LOAD	sb_LOAD,sa_PC
c_PC,b_LOAD	sc_LOAD,sb_PC
c_PC,i2_PC	sc_LOAD,empty
c_PC,a_LOAD	sc_LOAD,sa_PC
trush,b_LOAD	zero,empty
trush,i2_PC	zero,empty
trush,a_LOAD	zero,empty
a_LOAD,b_LOAD	empty,empty

A geração dos casos de teste feita a partir da ferramenta MME-Condado concluiu bem a execução e gerou 124 casos de teste. Na Tabela 21 são listados 3 dos 124 casos de teste gerados.

Tabela 21 – Parte do conjunto de casos de teste gerados pela Condado, Caso 3.

Casos de Teste	
Entradas	Saídas
senddata(L, trush)	reodata(L, zero)
senddata(L, a_PC)	reodata(L, sa_LOAD)
senddata(L, a_LOAD)	reodata(L, sa_PC)
senddata(L, timeout)	reodata(L, zero)
senddata(L, a_PC)	reodata(L, sa_LOAD)
senddata(L, a_LOAD)	reodata(L, sa_PC)
senddata(L, i1_PC)	reodata(L, i1_LOAD)
senddata(L, timeout)	reodata(L, zero)

4.6 – Caso 4

Para o Caso 4, com o uso da JPlavisFSM, foi possível a geração dos casos de teste com os quatro métodos presentes na ferramenta. O método W gerou 3466 casos de teste, no método UIO foram gerados 1984 casos de teste, no método HSI foram gerados 2284 casos de teste e no método SPY foram gerados 2060 casos de teste. O número total de mutantes gerados foi de 454 mutantes, sendo 0 o número de mutantes vivos, 454 de mutantes mortos e obtendo o escore de mutação igual a 1,0 com 100% de adequação.

Parte do conjunto de casos de teste gerado a partir da MEF da Figura 15, utilizando-se o método HSI, é apresentada na Tabela 22, que lista 10 do total de 2284 casos de teste gerados.

Tabela 22 – Parte dos casos de teste gerados pelo método HSI, Caso 4.

Casos de Teste	
Entradas	Saídas
Msg_1,Msg_1	exibirTelaInicial,exibirTelaInicial
Msg_1,Msg_Em_Valor	exibirTelaInicial,empty
Msg_1,MsgNum_Dr	exibirTelaInicial,empty
Msg_1,Msg_Tempo	exibirTelaInicial,empty
Msg_1,Msg_ENTER	exibirTelaInicial,exibirTelaInicial
Msg_1,MsgNum_Am	exibirTelaInicial,empty
Msg_2,Msg_1	exibirTelaInicial,exibirTelaInicial
Msg_2,Msg_Em_Valor	exibirTelaInicial,empty
Msg_2,MsgNum_Dr	exibirTelaInicial,empty
Msg_2,Msg_Tempo	exibirTelaInicial,empty

Na geração dos casos de teste feita a partir da ferramenta MME-Condado o número de casos de teste ultrapassou os limites dos recursos computacionais da ferramenta. Para este caso, a ferramenta listou apenas 2 casos de teste o que não corresponde a realidade.

Na Tabela 23 são listados os dois casos de teste gerados:

Tabela 23 – Parte do conjunto de casos de teste gerado pela Condado, Caso 4.

Casos de Teste	
Entradas	Saídas
Msg_3	exibirTelaOpcTestesGps
Msg_9	exibirTelaInicial
Msg_3	exibirTelaOpcTestesGps
Msg_2	exibirTelaPedParam_EM
Msg_EM_Valor	exibirTelaPedParamTempo
Msg_Tempo	exibirTelaConfirExec
Msg_S	exibeTelaComMsgsReceb
Msg_TAB	exibirTelaOpcTestesGps
Msg_9	exibirTelaInicial

A partir das MEFs parciais criadas de acordo com a aplicação da metodologia CoFI foram obtidos os seguintes resultados:

A ferramenta Condado concluiu bem a execução, para cada MEF parcial, e gerou os casos de teste, que somados totalizam 42 testes. Abaixo, na Tabela 24, nos é dado o número de casos de teste gerados a partir da MEF de cada um dos serviços identificados.

Tabela 24 – Número de casos de teste por serviço, Caso 4.

Serviços	Nº CT
Elevation Mask (EM)	7
Data Rate (DR)	21
Aiding Mode (AM)	7
Receber Dados do GPS	7
Total	42

O conjunto de testes do SUT corresponde à união dos conjuntos obtidos através de cada MEF parcial. Abaixo, na Tabela 25, nos é dada uma amostra de 4 dos 42 casos de teste gerados a partir desses modelos.

Tabela 25 – Casos de teste gerados pela Condado para as MEFs parciais, Caso 4.

Casos de Teste	
Entradas	Saídas
senddata(L,Msg_3)	recdata(L,ExibirTelaOpcTestesGps)
senddata(L,Msg_9)	recdata(L,ExibirTelaInicial)
senddata(L,Msg_3)	recdata(L,exibirTelaOpcTestesGPS)
senddata(L,Msg_9)	recdata(L,exibirTelaInicial)
senddata(L,Msg_3)	recdata(L,exibirTelaOpcTestesGPS)
senddata(L,Msg_9)	recdata(L,exibirTelaInicial)
senddata(L,Msg_3)	recdata(L,ExibirTelaOpcTestesGps)
senddata(L,Msg_9)	recdata(L,ExibirTelaInicial)

5 RESULTADOS

Esta seção apresenta uma análise quantitativa dos conjuntos dos casos de testes gerados com os diferentes métodos implementados na plataforma JPlavisFSM e na ferramenta Condado, e também, das MEFs que foram criadas para representar o comportamento de cada SUT especificado nos trabalhos estudados. Essa análise é feita com base nas métricas de avaliação estabelecidas na disciplina as quais são explicadas a seguir.

5.1 – Métricas para Avaliação

Como forma de avaliar a efetividade dos conjuntos de casos de teste gerados, foram levantadas questões, divididas em dois grupos de perguntas “sobre as MEFs” e “sobre os conjuntos”.

Perguntas sobre as MEFs

Q1 – Qual o número de MEFs utilizadas para representar o Comportamento do SUT?

Para cada uma das MEFs criadas:

Q2 – Qual o número de estados?

Q3 – Qual o número de entradas?

Q4 – Qual o número de saídas?

Q5 – Qual o número de transições?

Q6 – Quais as propriedades da MEF?

Q7- Qual o número de mutantes gerados?

Perguntas sobre os conjuntos de casos de teste gerados:

Cada método gera um conjunto de casos de teste. As métricas para cada conjunto são:

Q8 – Qual método foi usado para gerar o conjunto de casos de teste?

Q9 – Qual o tamanho⁵ do conjunto de casos de teste gerado?

Q10 – Quantos mutantes foram mortos?

Q11 – Quantos mutantes permaneceram vivos?

Q12 – Qual o escore de mutação obtido por este conjunto?

O Caso-2 e o Caso-4 exploraram diferentes formas de modelagem, usando uma única MEF e usando a aplicação da metodologia CoFI que prevê a representação do comportamento do sistema em várias MEFs. Nestes casos as questões relativas às MEFs são respondidas tanto para a MEF completa como para cada uma das MEFs parciais criadas segundo a CoFI. As perguntas relativas aos conjuntos de casos de testes são respondidas para cada conjunto considerado. Em geral, um conjunto foi criado por um método de geração diferente dentre os métodos disponíveis nas ferramentas utilizadas (Conrado e JPlavisFSM).

Vale destacar que, o conjunto de casos de teste gerados segundo a CoFI, corresponde à união dos casos de teste gerados a partir de cada MEF parcial. A avaliação do conjunto CoFI foi realizada contra os mutantes gerados a partir da MEF completa, o que pode dar uma diferença com relação ao escore de mutação, pois as MEFs parciais, as vezes tratam de eventos (de exceções) não tratados na MEF completa (sem aplicação da CoFI).

⁵ O tamanho do conjunto é dado pelo número de casos de teste do mesmo.

Para o Caso-1 e o Caso-3 apenas uma MEF foi suficiente para representar o comportamento do sistema, desta forma as respostas correspondem a uma única MEF.

As respostas às perguntas são mostradas nas seções a seguir. A questão 1 é respondida no início de cada Caso, enquanto que as demais são apresentadas em tabelas. As indicações das propriedades de cada MEF são mostradas nas tabelas com a seguinte notação: Dt (determinística), IC (inicialmente conexa), Mn (minimal), PE (parcialmente especificada).

5.2 – Caso 1

Quanto as MEFs, no Caso 1, apenas uma MEF foi criada para representar o comportamento do SUT. A Tabela 26 mostra as características físicas da MEF.

Tabela 26 – Avaliação das MEFs, Caso 1.

Questões	Respostas
Q2 – Nº de Estados	12
Q3 – Nº de Entradas	18
Q4 – Nº de Saídas	19
Q5 – Nº de Transições	24
Q6 – Quais Propriedades	Dt, PE e Mn.
Q7 – Nº de Mutantes Gerados	1012

A Tabela 27 apresenta os valores quantitativos relativos aos conjuntos de casos de teste: o método utilizado, o número de casos de teste gerados e os dados sobre a análise dos mutantes.

Tabela 27 – Métricas dos conjuntos de casos de testes gerados, Caso 1.

Questões	Conjuntos					
	W	UIO	HSI	SPY	Switch Cover	CoFI
Q8 – Métodos Utilizados		x			x	
Q9 – Nº casos de teste		24			24	
Q10 – Nº de Mutantes Mortos		1012			753	
Q11 – Nº de Mutantes Vivos		0			745	
Q12 – Escore de Mutação		1			0,50	

5.3 – Caso 2

Quanto as MEFs, foi criada uma MEF completa e 7 MEFs aplicando-se a metodologia CoFI. A Tabela 28 mostra as características físicas das MEFs.

Tabela 28 – Avaliação das MEFs, Caso 2.

Questões	MEFs – completa e de cada serviço							
	MEF - Complet	Contrat	Cancel	Bloq/Des	Consult	Detalhar	Exce. Esper-1	Exce. Esper-2
Q2 – N ^o Estados	4	3	3	3	2	2	4	3
Q3 – N ^o Entradas	9	3	3	3	2	2	9	9
Q4 – N ^o Saídas	12	4	4	3	2	2	7	1
Q5 – N ^o Transições	36	8	8	8	3	3	11	10
Q6 – Quais Propriedades	Dt, IC e Mn	Dt e IC	Dt e IC	Dt e IC	Dt e IC	Dt e IC	Dt e IC	Dt, IC e Mn
Q7 – N ^o Mutantes	546	56	56	48	13	13	180	92

A Tabela 29 apresenta os valores quantitativos relativos aos conjuntos de casos de teste: o método utilizado, o número de casos de teste gerados e os dados sobre a análise dos mutantes, quais métodos foram utilizados e o número de casos de teste gerados a partir de cada método executado. No caso da CoFI, o comportamento foi representado em 7 MEFs e o método utilizado para gerar testes a cada MEF foi o *Switch Cover*.

Tabela 29 – Métricas dos conjuntos de casos de testes gerados, Caso 2.

Questões	Conjuntos					
	W	UIO	HSI	SPY	Switch Cover	CoFI
Q8 – Métodos Executados	x	x	x	x	x	Switch Cover
Q9 – N ^o de casos de teste	33	36	33	28	8 (ver seção 4.4)	68 (ver Tabela 18)
Q10 – N ^o de Mutantes Mortos	546	546	546	546	-	195
Q11 – N ^o de Mutantes Vivos	0	0	0	0	-	351
Q12 – Escore de Mutação	1,00	1,00	1,00	1,00	-	0,36

No Caso 2, o escore de mutação do conjunto de teste CoFI é inferior ao escore dos demais conjuntos porque o conjunto CoFI foi gerado a partir da MEFs parciais e os mutantes foram gerados a partir da MEF completa. Os casos de teste CoFI não contemplam exatamente o fluxo de sequencia existente na MEF principal.

5.4 – Caso 3

Quanto as MEFs, no Caso 3, apenas uma MEF foi criada para representar o comportamento do SUT. A Tabela 30 mostra as características físicas da MEF.

Tabela 30 – Avaliação das MEFs, Caso 3.

Questões	Respostas
Q2 – N ^o de Estados	4
Q3 – N ^o de Entradas	11
Q4 – N ^o de Saídas	11
Q5 – N ^o de Transições	17
Q6 – Quais Propriedades	Dt, IC e Mn.
Q7 – N ^o de Mutantes Gerados	472

A Tabela 31 apresenta os valores quantitativos relativos aos conjuntos de casos de teste: o método utilizado, o número de casos de teste gerados e os dados sobre a análise dos mutantes.

Tabela 31 – Métricas dos conjuntos de casos de testes gerados, Caso 3.

Questões	Conjuntos					
	W	UIO	HSI	SPY	Switch Cover	CoFI
Q8 – Métodos Utilizados	x	x	x	x	x	
Q9 – N ^o casos de teste	123	17	21	13	124	
Q10 – N ^o de Mutantes Mortos	374	374	374	374	321	
Q11 – N ^o de Mutantes Vivos	0	0	0	0	151	
Q12 – Escore de Mutação	1,00	1,00	1,00	1,00	0,68	

5.5 – Caso 4

Quanto as MEFs, no Caso 4, foi criada uma MEF completa e 5 MEFs aplicando-se a metodologia CoFI. A Tabela 32 mostra as características físicas das MEFs:

Tabela 32 – Avaliação das MEFs, Caso 4.

Questões	MEFs				
	MEF - Complet	Elevatio n Mask (EM)	Data Rate (DR)	Aiding Mode (AM)	Receber Dados do GPS
Q2 – N ^o Estados	14	8	10	8	6
Q3 – N ^o Entradas	16	10	10	10	9
Q4 – N ^o Saídas	10	7	7	6	5
Q5 – N ^o Transições	144	11	13	11	9
Q6 – Quais Propriedades	Dt, IC e Mn.	Dt	Dt e Mn	Dt e Mn	Dt e Mn
Q7 – N ^o Mutantes Gerados	454	321	448	296	232

A Tabela 33 apresenta os valores quantitativos relativos aos conjuntos de casos de teste: o método utilizado, o número de casos de teste gerados e os dados sobre a análise dos mutantes, quais métodos foram utilizados e o

número de casos de teste gerados a partir de cada método executado. No caso da CoFI o comportamento foi representado em 4 MEFs e o método usado para geração dos testes foi o *Switch Cover*.

Tabela 33 – Métricas dos conjuntos de casos de testes gerados, Caso 4.

Questões	Conjuntos					
	W	UIO	HSI	SPY	Switch Cover	CoFI
Q8 – Métodos Executados	x	x	x	x	x	Switch Cover
Q9 – N° de casos de teste	3466	1984	2284	2060	2 (ver seção 4.6)	42 (ver Tabela 24)
Q10 – N° de Mutantes Mortos	4828	4828	4828	4828	-	-
Q11 – N° de Mutantes Vivos	0	0	0	0	-	-
Q12 – Escore de Mutação	1,00	1,00	1,00	1,00	-	-

No Caso 4, devido a grande complexidade estrutural da MEF completa, as MEFs parciais, criadas no intuito de simplificar o comportamento do sistema, apresentaram uma mudança muito grande com relação à estrutura da MEF original. Por causa disso, não foi realizada a análise de mutantes para o conjunto de casos de teste CoFI.

6 CONCLUSÃO

Constatamos que para um sistema, cuja modelagem seja simples, o uso direto da ferramenta JplavisFSM ou da MME-Condado é completamente viável para geração automática de testes. No entanto, para sistemas complexos um único modelo geralmente não é suficiente para representar todas as condições provocadas pelos eventos. O que acontece é que a MEF fica com muitos estados e transições e conseqüentemente os métodos geram conjuntos com um número de casos de teste que é inviável para execução manual. Neste caso, percebeu-se que a aplicação da metodologia CoFI é uma alternativa que reduz a complexidade do entendimento do SUT. A CoFI permite o desmembramento do SUT em várias MEFs simplificadas e assim, é possível produzir automaticamente casos de teste mais condizentes com a situação real, geralmente execução manual de casos de teste.

Quanto à ferramenta Condado, as MEFs complexas, com muitos ciclos, tornam a execução do método *Switch Cover* inviáveis, porque para MEFs com essa característica ela gera um volume muito grande de casos de teste. Portanto, a utilização da metodologia CoFI nos ajudou também, em alguns casos, na geração dos conjuntos de casos de teste a partir do método *Switch Cover*.

Dois dos trabalhos analisados aplicaram a metodologia CoFI, nos Casos 2 e 4. Para o Caso 2 foram criadas 7 MEFs parciais, o que permitiu a execução do método *Switch Cover*, gerando para cada nova MEF um conjunto de casos de teste relativamente menor à proporção dos outros conjuntos gerados pelos demais métodos para a MEF completa. Por exemplo, o maior conjunto de casos de teste do conjunto CoFI foi de 16 casos de teste e o menor de 2 casos de testes (gerados por uma das MEFs parciais – ver Tabela 18). Com relação ao número de casos de teste gerados a partir da MEF completa, tivemos que o menor, conjunto com 28 casos de teste, foi gerado no Caso 2 com o método SPY. Já para no Caso 4 foram criadas 4 MEFs parciais, o que também

possibilitou a utilização do método *Switch Cover*, que gerou conjuntos relativamente pequenos à proporção dos gerados pelos demais métodos. Como exemplo, podemos observar que o maior conjunto de casos de teste do conjunto CoFI foi de 21 casos de teste, enquanto que para a MEF completa o menor conjunto gerado foi o do método UIO com 1984 casos de teste.

De uma maneira geral os conjuntos de teste criados pelo método W foram os maiores, por exemplo, dos quatro casos de estudo o maior conjunto criado pelo método W foi de 3466 casos de teste no Caso 4. E o oposto ocorreu para os conjuntos de casos de teste gerados pelo do método SPY, que foram os menores, como exemplo temos que o menor conjunto gerado pelo método foi de 13 casos de teste no Caso 3.

De forma geral, as MEFs produzidas nos trabalhos apresentados sofreram várias modificações até se chegar ao resultado final apresentado. Algumas modificações foram no sentido de adaptá-las as propriedades exigidas pelos métodos. As modificações necessárias apenas para adaptação ao método levou a geração de casos de teste que não representavam o comportamento real do SUT. Neste caso, os testes deveriam ter sido eliminados da lista, antes de serem executados contra a implementação real do SUT. Como a execução dos testes estava fora do contexto deste trabalho, esta análise não foi realizada.

Foi constatada também a eficiência dos conjuntos de casos de teste gerados a partir das MEFs pelo diferentes métodos da JPlavisFSM uma vez que mataram todos os mutantes criados a partir das mesmas.

Na realização destes experimentos foram encontradas algumas dificuldades. Por exemplo, em relação ao hardware necessário para instalar a máquina virtual, que rodaria a versão *Linux* da JPlavisFSM. Pois o hardware utilizado tinha memória de 2GB. O que não era suficiente para comportar o sistema

base mais a memória necessária para rodar a VM, com a versão 12.10 do Ubuntu, de forma aceitável.

Com relação à fidelidade das MEFs aos sistemas no mundo real, o Caso 4 teve a MEF mais complexa dos quatro trabalhos, o grau de fidelidade da MEF construída é alto, “pois corresponde exatamente ao comportamento do sistema” e trata todos os eventos possíveis.

As MEFs implementadas segundo a metodologia CoFI, em geral, não representaram o comportamento de tolerância a falhas. No Caso 2 foi explorado situações de exceções especificadas, tendo sido gerada duas MEFs a partir dessa ideia.

As hipóteses de operação típica do usuário e do comportamento normal do sistema nortearam a modelagem do SUT por meio da MEF, não se levando em consideração todas as possíveis falhas de hardware ou de software do sistema. Deste modo, propõe-se uma extensão futura deste trabalho, prevendo situações que permitam uma determinada tolerância a falhas na modelagem da MEF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambrosio, A.M., CoFI: Uma abordagem combinando teste de conformidade e injeção de falhas para validação de software em aplicações espaciais, INPE-13264-TDI/1031, São José dos Campos, 2005.

Chow, T.S. Testing Software Design Modeled by Finite-state Machines. **IEEE Transactions on Software Engineering**, v. 4, p. 178–187, 1978.

DeMillo, R.A.; Lipton, R.J.; Sayward, F.G. (1978), Hints on test data selection: Help for the practical programmer, **IEEE Computer** v. 11, p. 34-41.

Dorofeeva, R., El-Fakih, K.; Yevtushenko, N. (2005). An improved conformance testing method. In FORTE, p. 204-218.

Fujiwara, S. et al., Test Based on Finite State Models, **IEEE Transactions on Software Engineering**, v. 17 on 6 June 1991.

Gonec, G. (1970). A method for the design of fault-detection experiment. **IEEE Transaction on Computer**, v. 19, p. 551–558.

Hopcroft, J.E.; Ullman, J.D. (1979). **Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation**. Addison-Wesley, Reading, MA.

Martins, E.; Sabião, S.B.; Ambrosio, A.M. – ConData: a Tool for Automating Specification-based Test Case Generation for Communication Systems. **Software Quality Journal**, v. 8, n.4, p. 303-319, 1999. Edited by Anna Liu and Paddy Nixon - Kluwer Academic Publishers.

Melo, P.C.B.; Junior, R.A.P, Modelador de máquinas de Estado – MME v1.0.0, PIBIC/UFRN/CRN/INPE – 2003, Projeto ATIFS. Disponível em:

<http://www.inpe.br/atifs/ferramentas/ferramenta_mme.php>. Acesso em: 2 dez. 2014.

Neto, L.F.M., Minimização de Conjuntos de Casos de Teste para Máquinas de Estados Finitos. ICMC-USP, Mar. de 2008.

Petrenko, A.; Bochmann, G.V. Selecting test sequences for partially-specified nondeterministic finite state machines. In Gang Luo, editor, IWPTS '94: 7th IFIP WG 6.1 international workshop on Protocol test systems, p. 95–110, London, UK, UK, 1995. Chapman & Hall, Ltd.

Petrenko, A.; Yevtushenko, N. (2005). Testing from Partial Deterministic FSM Specifications'. **IEEE Transactions on Computers**, 54(9):1154–1165.

Petrenko, A.; Yevtushenko, N.; Lebedev, A.; Das, A. 'Nondeterministic State Machines in Protocol Conformance Testing.' In: Proceedings of th 6th International Workshop on Protocol Test Systems VI (IFIP TC6/WG6.1), Amsterdam, The Netherlands: North-Holland Publishing Co., 1993, p. 363-378.

PIMONT, S.; RAULT, J. C. A software reliability assessment based on a structural and behavioral analysis of programs. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING (ICSE), 2. 1976, San Francisco, CA, USA. Proceedings...New York, NY, USA: ACM, 1976. p. 486-491.

Pinheiro, A.C.; Simão, A.S., JPlavisFSM Manual de Instruções, ICMC-USP, 2010. Disponível em:
<http://www.icmc.usp.br/CMS/Arquivos/arquivos_enviados/BIBLIOTECA_113_RT_379.pdf> .Acesso em: 2 dez. 2014.

Sabnani, K.K.; Dahbura, A.T., A Protocol Test Generation Procedure, **Computer Networks & ISDN System**. V. 15 (1988) p. 285-297.

Sara, 2013, Disponível em:<
http://www.defesabr.com/Tecno/tecno_SARA.htm>. Acesso em: 2 dez. 2014.

Sara – IAE, Dezembro 2013. Disponível em: <
<http://www.iae.cta.br/noticias/2013/12/321/Conclu%C3%ADdo+o+Modelo+de+Voo+da+Eletr%C3%B4nica+do+SARA+Suborbital.html>>. Acesso em: 2 dez.
2014.

Simão, A.; Petrenko, A; Yevtushenko, N. On reducing test length for FSMs with extra states. SOFTWARE TESTING, VERIFICATION AND RELIABILITY, in Wiley Online Library, 2011.

Simão, A.S.; Ambrosio, A.M.; Fabri, S.C.P.F.; Amaral, A.M.S.; Martins E.; Maldonado, J.C., Plavis/FSM: an environment to integrate FSM-based testing tools. In: Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software - Seção de Ferramentas, 19. SBES 2005. 3-7 outubro 2005. Uberlândia, MG. Universidade Federal de Uberlândia.

Vuong, S.; Chan, W.; Ito, M. The UIOv-Method for Protocol Test Sequence Generation. In: Proceedings of the 2nd Int, I Workshop Protocol Test Systems, 1989, p. 161 – 175.

