



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

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/03.24.02.06-TDI

## **GERENCIAMENTO DE OBJETIVOS PARA UM SISTEMA EMBARCADO EM SATÉLITE DE MONITORAMENTO AUTÔNOMO DE INCÊNDIO**

Juliana Joria Padilha

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Fabricio de Novaes Kucinskis, e Mauricio Gonçalves Vieira Ferreira, aprovada em 24 de fevereiro de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3J7FHN2>>

INPE  
São José dos Campos  
2015

**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

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO  
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****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<sup>a</sup> 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)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação  
(SID)

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

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Marcelo de Castro Pazos - 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/2015/03.24.02.06-TDI

## **GERENCIAMENTO DE OBJETIVOS PARA UM SISTEMA EMBARCADO EM SATÉLITE DE MONITORAMENTO AUTÔNOMO DE INCÊNDIO**

Juliana Joria Padilha

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Fabricio de Novaes Kucinskis, e Mauricio Gonçalves Vieira Ferreira, aprovada em 24 de fevereiro de 2015.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3J7FHN2>](http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3J7FHN2)

INPE  
São José dos Campos  
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Padilha, Juliana Joria.

P134g      Gerenciamento de objetivos para um sistema embarcado em  
satélite de monitoramento autônomo de incêndio / Juliana Joria  
Padilha. – São José dos Campos : INPE, 2015.

xxvi + 186 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/03.24.02.06-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia  
Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) –  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos,  
2015.

Orientadores : Drs. Fabricio de Novaes Kucinskis, e Mauricio  
Gonçalves Vieira Ferreira.

1. Incêndio. 2. Autonomia. 3. Gerenciamento de objetivos.  
I.Título.

CDU 629.01:629.78:614.841.42

---



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](#).

Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de **Mestre** em

**Engenharia e Tecnologia  
Espaciais/Gerenciamento de Sistemas  
Esoaciais**

Dra. Maria de Fátima Mattiello Francisco

  
\_\_\_\_\_  
Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

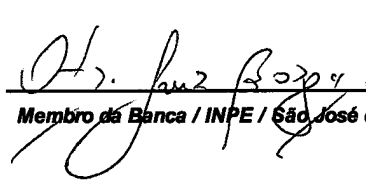
Dr. Fabricio de Novaes Kucinskis

  
\_\_\_\_\_  
Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Mauricio Gonçalves Vieira Ferreira

  
\_\_\_\_\_  
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Otávio Luiz Bogossian

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

Dra. Luciana Akemi Burgareli

  
\_\_\_\_\_  
Convidado(a) / IAE / São José dos Campos - SP

**Este trabalho foi aprovado por:**

( ) maioria simples

(x) unanimidade

Aluno (a): **Juliana Jorja Padilha**

**São José dos Campos, 24 de Fevereiro de 2015**



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família: Luciria Joria Padilha (mãe), Pedro Alves Padilha Neto (pai) e Gustavo Joria Padilha (irmão) que sempre me deram força para seguir meus sonhos. Minha mãe, que mesmo não estando mais entre nós, sempre me ensinou a acreditar em mim, dando-me forças para nunca desistir dos meus objetivos e meu pai que acreditou em mim e me apoiou quando decidi fazer meu mestrado. Meu irmão pelo apoio desde o início e pelas inúmeras conversas sobre minhas decisões nesse percurso.

Agradeço à Maria Conceição que me ajudou desde quando cheguei ao INPE há sete anos e que se dedica, com muito amor, a ajudar todos alunos a realizarem seus sonhos.

Agradeço ao Jeison Santiago e Jequelia Egle Rosa dos Santos pelo apoio e companheirismo durante todo esse tempo.

Agradeço à Dra. Ana Maria Ambrósio que me apoiou e aconselhou antes e durante meu mestrado, além disso, forneceu equipamentos e sala onde eu pudesse me instalar dentro do INPE para realizar meus estudos.

Não posso deixar de agradecer ao Dr. Walter Abraão e à CAPES que me concederam uma bolsa de estudos para que eu pudesse terminar meu mestrado acreditando em meu potencial para realizar este estudo com sucesso.

Professor Roberto Claudino, meu orientador na graduação, outra pessoa que agradeço por ter acreditado em mim e me apoiado sempre que precisei mesmo depois de anos sem nos encontrarmos.

Agradeço aos amigos que me apoiaram e continuaram presentes mesmo nas horas difíceis, isso fez muita diferença nesses momentos. Em especial, agradeço à Roberta Porto que não me deixou desistir em nenhum momento,

Joyce Lara que ajudou com várias discussões que ajudaram a me manter firme no meu objetivo e ao Italo Pinto Rodrigues que dividiu sala comigo e me deu muitas dicas importantes.

Preciso agradecer à Flávia que me deu suporte com relação aos materiais necessários para o curso. Agradeço à Edleusa que sempre esteve presente ajudando e apoiando em todos os momentos que precisei. À Valdirene que prontamente me ajudou com relação a procedimentos legais dentro do curso. E a Pós Graduação que me ajudou com os materiais que precisei durante o curso.

Principalmente agradeço ao Roberto Orlando Zardo que esteve a meu lado, me trazendo tranquilidade, segurança, apoio e paz durante a fase mais difícil de meu mestrado.

Agradeço a Deus, acima de tudo, que não me deixou faltar nada para que eu alcançasse meu objetivo.

Agradeço aos meus orientadores Mauricio Vieira Gonçalves Ferreira e Fabrício de Novaes Kuscinskis que me ajudaram a concluir minha pesquisa. À equipe do grupo SUBORD que me apoiou durante os momentos em que trabalhei com eles, em especial ao Ronaldo Arias.

Agradeço a toda a minha família tios, primos e primas que mesmo distantes torceram e me apoiaram. E, principalmente, meus avós, que se alegravam e se orgulharam com cada conquista minha.

Agradeço aos funcionários do INPE, em geral, que mantiveram um ambiente agradável para trabalhar e sempre se preocupavam em me ajudar no que era preciso.

Enfim, agradeço ao INPE que me possibilitou a realização deste sonho, fornecendo toda a estrutura que precisei nesse período.

## **RESUMO**

Buscando a introdução de uma maior autonomia no espaço para o INPE essa dissertação introduz a ideia de uma missão hipotética de Monitoramento Autônomo de Incêndios. Essa missão visa uma melhoria nas imagens adquiridas e no tempo de resposta para os usuários finais com relação ao Monitoramento de Queimadas e Incêndios atual realizado pela instituição. Para isso será necessário uma câmera de alta resolução a qual terá autonomia para decidir quais focos de incêndios em uma determinada região devem ser imageados. Para que essa característica de autonomia no espaço possa ser utilizada é necessária uma arquitetura que habilite tal função. Dentro do INPE já existe uma arquitetura que introduz a autonomia e por isso, ela será utilizada nesta pesquisa. Essa arquitetura é a GOESA, porém, a GOESA não possui implementado seu módulo responsável pela tomada de decisão e, portanto, ele precisou ser desenvolvido. Com a GOESA habilitada para possuir essa autonomia, foi possível introduzir o modelo da Missão de Monitoramento Autônomo de Incêndios e realizar testes viabilizando a existência de uma missão autônoma para monitoramento de incêndios.



# **GOALS MANAGEMENT FOR A ONBOARD SYSTEM SATELLITE FIRE AUTONOMOUS MONITORING**

## **ABSTRACT**

Seeking the introduction of greater autonomy in space to INPE this dissertation introduces the idea of a hypothetical mission of Hot Spots Autonomous Monitoring. This mission aims at an improvement in the images acquired and response time to end users regarding for the Fires Monitoring current conducted by the institution. This will require a high resolution camera and have autonomy to decide which hot spots in a particular region should be imaged. For this characteristic of autonomy in space can be used an architecture that enables such skill is required. Within the INPE already exists an architecture that introduces the autonomy and therefore it will be used in this research. This architecture is GOESA, however, GOESA has not implemented its module responsible for decision-making and therefore he had to be developed. With GOESA enabled to have that autonomy, it was possible to introduce you to the Hot Spots Autonomous Monitoring and perform tests enabling the existence of an autonomous mission for fire monitoring.



## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 6.8 – Fluxo do Algoritmo de Propagações de Restrições utilizado na solução do Priorizador de Focos de Incêndios, situação A.....	85
Figura 6.9 - Fluxo do Algoritmo de Propagações de Restrições utilizado na solução do Priorizador de Focos de Incêndios, situação B.....	86
Figura 7.1 - Arquitetura do Priorizador de Focos de Incêndios.....	90
Figura 8.1 – Interface da GOESA para Configuração do Priorizador de Focos de Incêndios .....	96
Figura 8.2 - Objetivos do Estudo de Caso 3 - Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos.....	99
Figura 8.3 - Objetivos do Estudo de Caso 4 - Validando Objetivos .....	107
Figura 8.4 - Objetivos do Estudo de Caso 5 - Validação de Objetivos com Relação a Período de Ocorrência .....	114

## LISTA DE TABELAS

	<b>Pág.</b>
Tabela 5.1 – Tabela de Elemento: CAR.....	45
Tabela 5.2 – Consumo de Energia Realizado pela CAR .....	46
Tabela 5.3 – Tabela de Elemento: PSS.....	46
Tabela 5.4 - Tabela de Operações identificadas para o Modelo M2AI .....	48
Tabela 5.5 - Objetivos do Estudo de Caso 1 - A CAR é Capaz de Atender todos os Objetivos Recebidos .....	52
Tabela 5.6 – Ações realizadas pela GOESA para atender o Caso de Estudo 1 - A CAR é Capaz de Atender todos os Objetivos Recebidos.....	53
Tabela 5.7 - Objetivos do Estudo de Caso 2 – A CAR não Possui Tempo Suficiente para se Movimentar e Alcançar todos os Objetivos Recebidos.....	57
Tabela 6.1 – Importância da Área .....	62
Tabela 6.2 - Relações Entre Intervalos .....	76
Tabela 6.3 - Relações da Álgebra de Allen.....	77
Tabela 6.4 - Transitividade das 13 Relações da Álgebra de Allen .....	78
Tabela 6.5 – Resumo das Técnicas Estudadas.....	80
Tabela 6.6 – Relações da Álgebra de Allen.....	83
Tabela 8.1 – Objetivos do Estudo de Caso 3 - Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos.....	100
Tabela 8.2 – Áreas de Prioridades para a Execução do Estudo de Caso 3 - Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos .....	101
Tabela 8.3 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios - Estudo de Caso 3 - Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos.....	101

Tabela 8.4 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o - Estudo de Caso 3 - Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos .....	102
Tabela 8.5 - Ações realizadas pelo SEMAI para atender o Caso de Estudo 3 - Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos.....	103
Tabela 8.6 – Objetivos do Estudo de Caso 4 - Validando Objetivos.....	108
Tabela 8.7 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios - Validando Objetivos.....	109
Tabela 8.8 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o Estudo de Caso 4 - Validando Objetivos .....	109
Tabela 8.9 - Ações realizadas pelo SEMAI para atender o Caso de Estudo 4 - Validando Objetivos .....	110
Tabela 8.10 – Objetivos do Estudo de Caso 5 - Validação de Objetivos com Relação a Período de Ocorrência .....	115
Tabela 8.11 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios - Validação de Objetivos com Relação a Período de Ocorrência .....	116
Tabela 8.12 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o Estudo de Caso 5 - Validação de Objetivos com Relação a Período de Ocorrência .....	117
Tabela 8.13 - Ações realizadas pelo SEMAI para atender o Caso de Estudo 5 - Validação de Objetivos com Relação a Período de Ocorrência.....	118
Tabela 9.1 – Tabela de Dependência do PFI com a Missão .....	125
Tabela B.1.1 – Objetivos do Estudo de Caso A - Execução com Apenas um Foco de Incêndio.....	169
Tabela B.1.2 - Ações realizadas pela GOESA para atender o Caso de Estudo A – Execução com Apenas um Foco de Incêndio .....	170
Tabela B.2.1 – Objetivos do Estudo de Caso B – Objetivos Inválidos.....	172

Tabela B.2.2 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios para o Estudo de Caso B – Objetivos Inválidos.....	173
Tabela B.2.3 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o Estudo de Caso B – Objetivos Inválidos.....	173
Tabela B.2.4 - Ações realizadas pela GOESA para atender o Caso de Estudo B – Objetivos Inválidos .....	174
Tabela B.3.1 – Objetivos do Estudo de Caso C – Objetivos Inválidos com Relação ao Tempo.....	176
Tabela B.3.2 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios para o Estudo de Caso C – Objetivos Inválidos com Relação ao Tempo.....	177
Tabela B.3.3 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o Estudo de Caso C – Objetivos Inválidos com Relação ao Tempo .....	177
Tabela B.3.4 - Ações realizadas pela GOESA para atender o Caso de Estudo C – Objetivos Inválidos com Relação ao Tempo .....	177
Tabela B.4.1 – Objetivos do Estudo de Caso D – Objetivos Conflitantes com Relação ao Tempo.....	180
Tabela B.4.2 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios para o Estudo de Caso D – Objetivos Conflitantes com Relação ao Tempo.....	180
Tabela B.4.3 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o Estudo de Caso D – Objetivos Conflitantes com Relação ao Tempo .....	181
Tabela B.4.4 - Ações realizadas pela GOESA para atender o Caso de Estudo D – Objetivos Conflitantes com Relação ao Tempo .....	181
Tabela B.5.1 – Objetivos do Estudo de Caso E – Obejtivos Iguais.....	183

Tabela B.5.2 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios para o Estudo de Caso E – Obejtivos Iguais .....	184
Tabela B.5.3 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o Estudo de Caso E – Obejtivos Iguais .....	184
Tabela B.5.4 - Ações realizadas pela GOESA para atender o Caso de Estudo E – Obejtivos Iguais .....	185

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AIRS	Atmospheric Infrared Sounder
AMSR-E	Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS
AMSU	Advanced Microwave Sounding Unit
ASCAT	Advanced SCATterometer
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
ATMS	Advanced Technology Microwave Sounder
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BIRD	Bi-spectral Infra Red Detection
BIROS	Berlin Infrared Optical System
CAR	Câmera de Alta Resolução
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
CERES	Clouds and Earth's Radiant Energy System
CMR	Câmera de Média Resolução
COMAV	Computador Avançado
CrIS	Cross-track Infrared Sounder
CSP	Constraint Satisfaction Problems
DEA	Divisão de Eletrônica Aeroespacial
DCIS	Data Collection and Interrogation Service
DCP	Data Collection Platforms
DDR	Digital Data Recorder
DGI	Divisão de Geração de Imagens
DLR	Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt
DS-1	Deep Space One
DT	Data Transmitter
EO-1	Earth Observing One
EPS	Energetic Particles Sensor
ESA	European Space Agency
EUMETSAT	European Organisation for the Exploration of Meteorological Satellites
GBO	Goal Based Operation

GEO	Geoestacionário
GEOS&R	Geostationary Search and Rescue
GOESA	Goal-based Enabling Software Architecture
GOES-13	Geostationary Operational Environmental Satellite
GOME-2	Global Ozone Monitoring Experiment-2
GRAS	Global Navigation Satellite System Receiver for Atmospheric Sounding
HEPAD	High Energy Proton and Alpha Particles Detector
HIRS	High Resolution Infrared Radiation Sounder
HSB	Humidity Sounder for Brazil
HSRS	Hot Spot Recognition System
HTN	Hierarchical Task Network
IASI	Infrared Atmospheric Sounding Interferometer
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INSA	Ingeniería y Servicios Aeroespaciales, S.A
ISIS	Internal State Inference Service
ISRO	Indian Space Research Organization
LEO	Low Earth Orbit
M2AI	Missão de Monitoramento Autônomo de Incêndio
MCC	Mission Control Center
MIR	Medium Infrared
MISR	Multi-angle Imaging Spectroradiometer
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOPITT	Measurements of Pollution in the Troposphere
MSG-2	Meteosat Second Generation
NOAA	National Oceanic and Atmospheric
NPP	National Polar-orbiting Partnership
OMPS	Ozone Mapping and Profiler Suite
PFI	Priorizador de Focos de Incêndios
PMM	Plataforma Multi-Missão
PSS	Power Supply Subsystem
SARP	Search and Rescue signal Processor

SBU	Solar Backscatter Ultraviolet Instrument
SEM	Space Environment Monitor
SEMAI	Sistema Embarcado de Monitoramento Autônomo de Incêndio
SIS	SPARC Instruction Simulator
SUBORD	Grupo de Supervisão de Bordo
SXI	Solar X-ray Imager
TET-1	Technologie Eprobungs Träger
TIR	Thermal Infrared
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
VIS/NIR	Visible e Near Infrared
VMR	Variável mais restrita
XRS	X-Ray Sensor
WETE	Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais



## SUMÁRIO

	<b><u>Pág.</u></b>
1	INTRODUÇÃO ..... 1
1.1.	Motivações do Trabalho..... 2
1.2.	Objetivos do Trabalho ..... 2
1.3.	Organização Desta Dissertação de Mestrado ..... 4
2	GOAL-BASED OPERATIONS ENABLING SOFTWARE ARCHITECTURE ..... 7
2.1.	Principais Conceitos para se Compreender a GOESA ..... 7
2.2.	Operações Baseadas em Objetivos ..... 7
2.3.	A Arquitetura da GOESA..... 10
2.3.1.	Determinador de Objetivos..... 10
2.3.2.	Gerenciador de Objetivos ..... 11
2.3.3.	Motor de Inferência de Estados..... 11
2.3.4.	Internal State Inference Service ..... 11
2.3.5.	Modelo Embarcado ..... 11
2.3.6.	Interface com o Software de Supervisão de Bordo ..... 13
2.3.7.	Planejador Embarcado ..... 13
3	MONITORAMENTO DE INCÊNDIOS ..... 15
3.1.	O Sistema de Monitoramento de Incêndios do INPE ..... 15
3.1.1.	Satélites que Fornecem Dados para o Monitoramento de Incêndios do INPE ..... 17
3.1.1.1.	Os satélites NOAA ..... 17
3.1.1.2.	O satélite TERRA..... 18
3.1.1.3.	O satélite AQUA..... 18

3.1.1.4.	O satélite GOES-13 .....	19
3.1.1.5.	O satélite MSG-2 .....	20
3.1.1.6.	O satélite Suomi NPP .....	20
3.1.1.7.	O satélite MetOp .....	20
3.2.	Satélites Dedicados ao Monitoramento de Incêndios .....	21
3.2.1.	A Missão BIRD .....	21
3.2.2.	Os Satélites TET-1 e BIROS da Missão Firebird .....	23
3.2.3.	A Constelação Fuego .....	24
3.2.4.	Uma Constelação de Satélites de Observação da Terra .....	26
4	A IDEIA DE UMA MISSÃO DE MONITORAMENTO AUTÔNOMO DE INCÊNDIOS.....	31
4.1.	Restrições, Assunções e Simplificações para o Problema.....	34
5	SISTEMA EMBARCADO DE MONITORAMENTO AUTÔNOMO DE INCÊNDIO .....	37
5.1.	Adoção da GOESA pelo SEMAI .....	39
5.2.	O Modelo Embarcado .....	41
5.2.1.	A Definição do Domínio da Missão .....	41
5.2.1.1.	Descrição estrutural .....	42
5.2.1.2.	Descrição comportamental .....	46
5.3.	Representação do Problema para o Processamento a Bordo .....	51
5.4.	Resultados do uso do Modelo Embarcado aplicado a GOESA sem o Priorizador .....	51
5.4.1.	Estudo de caso 1 – A CAR é Capaz de Atender Todos os Objetivos Recebidos .....	52

5.4.2.	Estudo de caso 2 – A CAR não Possui Tempo Suficiente para se Movimentar e Alcançar Todos os Objetivos Recebidos.....	56
6	A MODELAGEM DO PROBLEMA DO PRIORIZADOR DE FOCOS DE INCÊNDIOS.....	59
6.1.	Possíveis Técnicas para a Solução do Problema .....	65
6.1.1.	Técnicas de Solução de Problemas Baseada na Busca em Grafos.....	65
6.1.1.1.	Técnica de busca em profundidade .....	68
6.1.1.2.	Técnica de busca em nível.....	68
6.1.1.3.	Heurísticas .....	69
6.1.1.4.	Técnica de busca subindo morro .....	69
6.1.1.5.	Técnica de busca menor custo .....	70
6.1.2.	Problemas de Satisfação de Restrições.....	70
6.1.2.1.	Busca com retrocesso para CSP .....	71
6.1.2.2.	Técnica propagação de restrições para CSP.....	72
6.1.2.3.	Busca com retrocesso inteligente para CSP .....	72
6.1.2.4.	Busca local para CSP.....	73
6.1.2.5.	Rede de tarefas hierárquicas .....	73
6.1.2.6.	Álgebra temporal de intervalos.....	75
6.2.	Modelagem do Problema do Priorizador de Focos de Incêndios Aplicando algumas Técnicas que Atendem suas Necessidades.....	79
6.2.1.	Modelagem do PFI Aplicando Propagação de Restrições.....	81
6.2.2.	Modelagem do PFI Aplicando a Álgebra Temporal de Intervalos.....	82
7	O PRIORIZADOR DE FOCOS DE INCÊNDIOS .....	87
7.1.	Descrição do Priorizador de Focos de Incêndio .....	87

7.2.	Solução para o Priorizador de Focos de Incêndios .....	88
7.3.	A Arquitetura do Priorizador de Focos de Incêndios .....	90
7.4.	O Funcionamento do Priorizador de Focos de Incêndios .....	93
8	EXECUÇÃO E RESULTADOS DO USO DO MODELO EMBARCADO APLICADO AO SEMAI COM O PRIORIZADOR DE FOCOS DE INCÊNDIOS.....	95
8.1.	Recursos Utilizados .....	95
8.2.	Configurações para Execução da GOESA no Simulador .....	96
8.3.	Estudos de Caso.....	98
8.3.1.	Estudo de Caso 3 – Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos .	98
8.3.2.	Estudo de Caso 4 – Validando Objetivos.....	107
8.3.3.	Estudo de Caso 5 – Validação de Objetivos com Relação a Período de Ocorrência .....	113
9	CONCLUSÃO .....	123
9.1.	Contribuições da Pesquisa .....	123
9.2.	Status do desenvolvimento do gerenciador de objetivos .....	124
9.3.	Trabalhos Futuros.....	125
9.4.	Trabalho Publicado.....	126
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
	APÊNDICE A - MODELO EMBARCADO PARA A M2AI .....	135
A.1	Descrição Estrutural .....	135
A.2	Descrição Comportamental .....	139
A.2.1	Descrição Comportamental da Câmera .....	139
A.2.2	Descrição Comportamental dos Events .....	144
A.2.3	Descrição Comportamental do PSS.....	145

A.3 Modelo Embarcado para a M2AI .....	147
APÊNDICE B – OUTROS CASOS DE ESTUDOS .....	169
B.1 Estudo de Caso A – Execução com Apenas um Foco de Incêndio .....	169
B.2 Estudo de Caso B – Objetivos Inválidos.....	172
B.3 Estudo de Caso C – Objetivos Inválidos com Relação ao Tempo .....	176
B.4 Estudo de Caso D – Objetivos Conflitantes com Relação ao Tempo .....	179
B.5 Estudo de Caso E – Objetivos Iguais .....	183



## 1 INTRODUÇÃO

O monitoramento de focos de queimadas e incêndios é um dos diversos serviços prestados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) à sociedade brasileira.

A instituição utiliza atualmente dados de dez satélites internacionais de meteorologia e sensoriamento remoto (SCHROEDER et al., 2009), para a identificação dos focos de incêndios. Como esses satélites não são especializados para tal função, seus dados devem ser processados em solo para que possam ser úteis.

Como a análise dos dados para a identificação dos incêndios é feita somente depois de recebidos e processados em solo, leva-se um tempo para a disponibilização dos mesmos para os usuários finais (porém, considera-se a disponibilização quase em tempo real). E, além disso, cabe ressaltar que as imagens obtidas são de média resolução. Mas, apesar desse tempo que leva até chegar ao usuário final e da qualidade das imagens, o objetivo de monitoramento de queimadas é atendido adequadamente pela equipe do INPE.

Caso essas imagens possuam uma resolução melhor, será possível uma análise mais detalhada da situação e da propagação das chamas e, quanto antes a imagem for disponibilizada pela equipe, menor será o tempo de resposta dos usuários finais desses dados para conter os incêndios.

Existem satélites que são especializados em monitoramento de incêndios, mas, até o momento atual, seus dados não são disponibilizados para o INPE – embora exista a possibilidade de isso ocorrer num futuro próximo (INPE, 2015). Os dados de tal tipo de satélites são mais adequados para o monitoramento de incêndios por serem voltados a essa tarefa, mas, ainda sim, depois de recebidos, eles devem ser processados por uma equipe em solo para que sejam úteis ao usuário final.

O presente trabalho de pesquisa propõe uma missão hipotética para o INPE, com base em missões existentes de monitoramento de queimadas e incêndios, visando a melhoria no tempo de resposta e o fornecimento de dados mais detalhados para a resposta aos incêndios.

Na ideia de missão aqui proposta, o satélite teria como principais características uma câmera térmica de alta resolução e alguma inteligência para tomar decisões a bordo sobre como direcionar tal câmera para o imageamento dos focos mais importantes, identificados pelo próprio satélite.

### **1.1. Motivações do Trabalho**

A principal motivação deste trabalho de pesquisa é a exploração de possíveis melhorias no tempo de resposta e qualidade das informações providas pelo serviço de monitoramento de incêndios do INPE, tendo como base o aumento da autonomia do segmento espacial.

Para tal fim, pode-se utilizar uma arquitetura voltada ao aumento da autonomia em satélites e Kucinskis (KUCINSKIS; FERREIRA, 2013) desenvolveu para o INPE uma arquitetura de software embarcado que tem por característica o aumento dessa autonomia, a Goal-based Enabling Software Architecture (GOESA).

Essa arquitetura será utilizada nesta pesquisa para habilitar o satélite a tomar decisões autonomamente, porém para isso é necessário adaptá-la ao contexto de uma missão de monitoramento de incêndios.

### **1.2. Objetivos do Trabalho**

O objetivo principal dessa pesquisa seria o desenvolvimento de um Gerenciador de Objetivos para uma ideia de missão hipotética de Monitoramento Autônomo de Incêndios para o INPE.

Para atender a este objetivo deve-se inicialmente criar uma ideia de uma missão de Monitoramento Autônomo de Incêndios e que atenda as necessidades do INPE. Para justificar a criação desta ideia, essa missão deverá disponibilizar imagens mais detalhadas do que as disponibilizadas atualmente e fornece-las de forma mais rápida para os usuários finais.

Além disso esse Gerenciador de Objetivos é um módulo de uma arquitetura que possibilita a introdução de autonomia no espaço, essa arquitetura é a GOESA. Então deverá ser feito um modelo dessa missão para tal arquitetura.

Para justificar a necessidade deste módulo de gerenciamento de objetivos são realizados testes com o modelo da missão já embarcado na GOESA sem o Gerenciador de Objetivos e verificado seu comportamento.

Como os testes irão nos mostrar, a GOESA não consegue resolver este problema sem o Gerenciador de Objetivos, assim, este módulo deve ser desenvolvido. Para isso busca-se definir os dados que o Gerenciador de Objetivos deverá manipular, definir seu comportamento diante de situações de conflitos entre os objetivos e escolher uma técnica de solução adequada para cada problema identificado.

Esse Gerenciador de Objetivos deverá priorizar os focos de incêndios detectados utilizando, para isso, critérios previamente estabelecidos (por exemplo, pedidos de alertas cadastrados pelos usuários do site de monitoramento de queimadas do INPE) com a finalidade de resolver potenciais conflitos entre eles.

É importante ressaltar que todo o software é desenvolvido para execução em um computador de bordo de satélites, respeitando assim as restrições de capacidade computacional desta classe de computadores.

### **1.3. Organização Desta Dissertação de Mestrado**

A presente dissertação de mestrado está estruturada conforme descrito a seguir.

O Capítulo 2 apresenta uma breve descrição de Operações Baseadas em Objetivos e da arquitetura da GOESA.

O Capítulo 3 apresenta uma descrição do monitoramento de incêndios realizado atualmente pelo INPE, uma breve descrição dos satélites que fornecem dados para o instituto e uma revisão sobre alguns satélites voltados especificamente para esse fim, mas que não fornecem dados para o INPE.

No Capítulo 4 encontra-se a descrição da missão a ser utilizada para o desenvolvimento do trabalho, suas restrições, assunções e simplificações.

O Capítulo 5 disserta sobre o Sistema Embarcado de Monitoramento Autônomo de Incêndio (SEMAI), a adoção da GOESA para a missão em questão, o modelo embarcado desta missão, a forma de representação do problema, a aplicação desse modelo embarcado com a GOESA e os resultados dessa aplicação.

No Capítulo 6 faz-se um detalhamento, de forma descritiva, do modelo do Priorizador de Focos de Incêndios (PFI) do Sistema Embarcado de Monitoramento Autônomo de Incêndio (SEMAI). Disserta-se sobre as possíveis técnicas para solucionar este problema.

No Capítulo 7 descreve-se o Priorizador de Focos de Incêndios, será explicada a relação deste com a GOESA. Faz-se a escolha da melhor técnica para a solução do PFI. E detalha-se a arquitetura do Priorizador de Focos de Incêndios e seu funcionamento.

No Capítulo 8, são descritos brevemente os recursos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa e são apresentados os resultados da aplicação do Priorizador de Focos de Incêndios com a GOESA.

O Capítulo 9 encerra a dissertação trazendo as principais contribuições, o status do Priorizador de Focos de Incêndios e a proposta para alguns trabalhos futuros.



## 2 GOAL-BASED OPERATIONS ENABLING SOFTWARE ARCHITECTURE

Antes de começar a trabalhar na pesquisa em questão é importante conhecer a GOESA, pois o Gerenciador de Objetivos, necessário para atribuir autonomia para a missão, será desenvolvido para tal arquitetura. A apresentação da GOESA neste ponto facilita o entendimento da missão.

### 2.1. Principais Conceitos para se Compreender a GOESA

Neste capítulo serão descritos os principais conceitos utilizados no decorrer dessa dissertação.

Objetivo, dentro do contexto das Operações Baseadas em Objetivos (GBO do inglês *Goal Based Operations*), significa a intenção operacional, em outras palavras, significa o que se deseja realizar.

Operação Baseada em Objetivos (GBO) é um sistema que trabalha com intenções, o qual tem capacidade de verificar se essas intenções podem ser alcançadas e que pode alcançar uma intenção de várias formas (DVORAK et al., 2007).

Variável representa um componente físico do sistema.

Estado de uma variável é o estado físico do sistema, ou seja, a situação física em que o sistema se encontra.

Linha do tempo de uma variável (do inglês *timeline*) é a unidade básica do modelo. Representa a evolução dos estados de uma variável no tempo.

### 2.2. Operações Baseadas em Objetivos

A GBO é importante em situações nas quais é esperada uma reação imediata do satélite devido a eventos ou situações inesperados. Uma reação do satélite pede uma reação imediata do operador, mas esta não é possível devido ao *delay* ocasionado durante a troca de mensagens entre o satélite e o operador e

devido a momentos em que o satélite perde o contato com a Terra. Para resolver essa situação a GBO prevê a capacidade de tomar algumas ações imediatas independente do operador.

Para isso é introduzido no satélite baseado em GBO a capacidade de tomar atitudes, independente dos operadores do solo, em outras palavras, o satélite passa a ter certa autonomia a bordo.

Outra característica da GBO é que o satélite passa a receber dos operadores de solo objetivos a cumprir e não sequências de comandos como acontecia antes da GBO. Ao receber esses objetivos o satélite deve ser capaz de transformá-los em comandos para atendê-los (Figura 2.1).

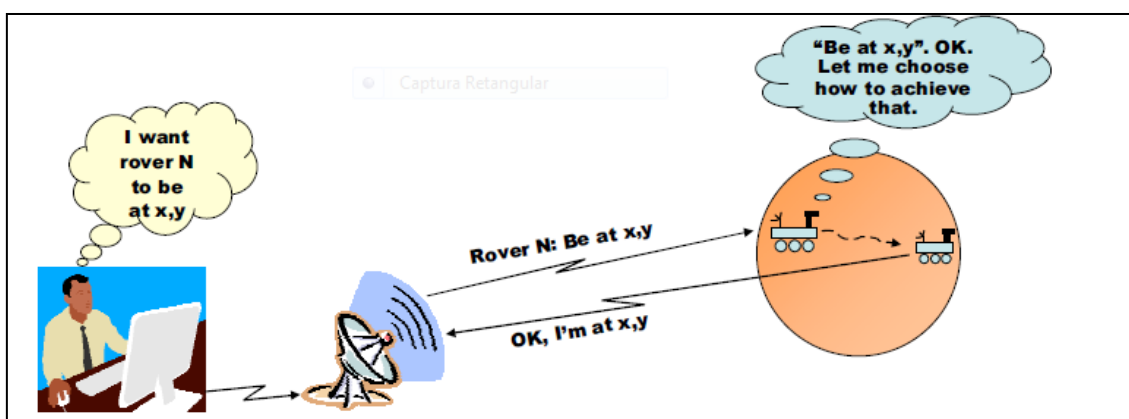


Figura 2.1 - Operações Baseadas em Objetivos elevam o nível de controle da intenção do operador

Fonte: Dvorak *et al* (2007)

Os objetivos representam a intenção e devem ter uma semântica clara para o computador. Essa semântica também deve ser natural para o domínio do problema e ter significados óbvios para os engenheiros de sistema e para os operadores (DVORAK *et al*, 2008).

A GOESA habilita o paradigma de missões espaciais baseadas em objetivos para o INPE, e, além disso, tem como propósito ser de uso geral, executável em hardware qualificado espacialmente e integrável ao software de voo.

Ela é capaz de trabalhar com múltiplos objetivos de uma só vez. Quando receber vários objetivos, tanto vindos do solo quanto de bordo, a arquitetura deve obter informações do software de supervisão de bordo e realizar inferência de estados futuros do satélite baseada em um único modelo. Em seguida é gerado ou alterado o plano e, assim, o objetivo é atendido. Esse plano deve ser enviado para o software de supervisão de bordo (Figura 2.2).

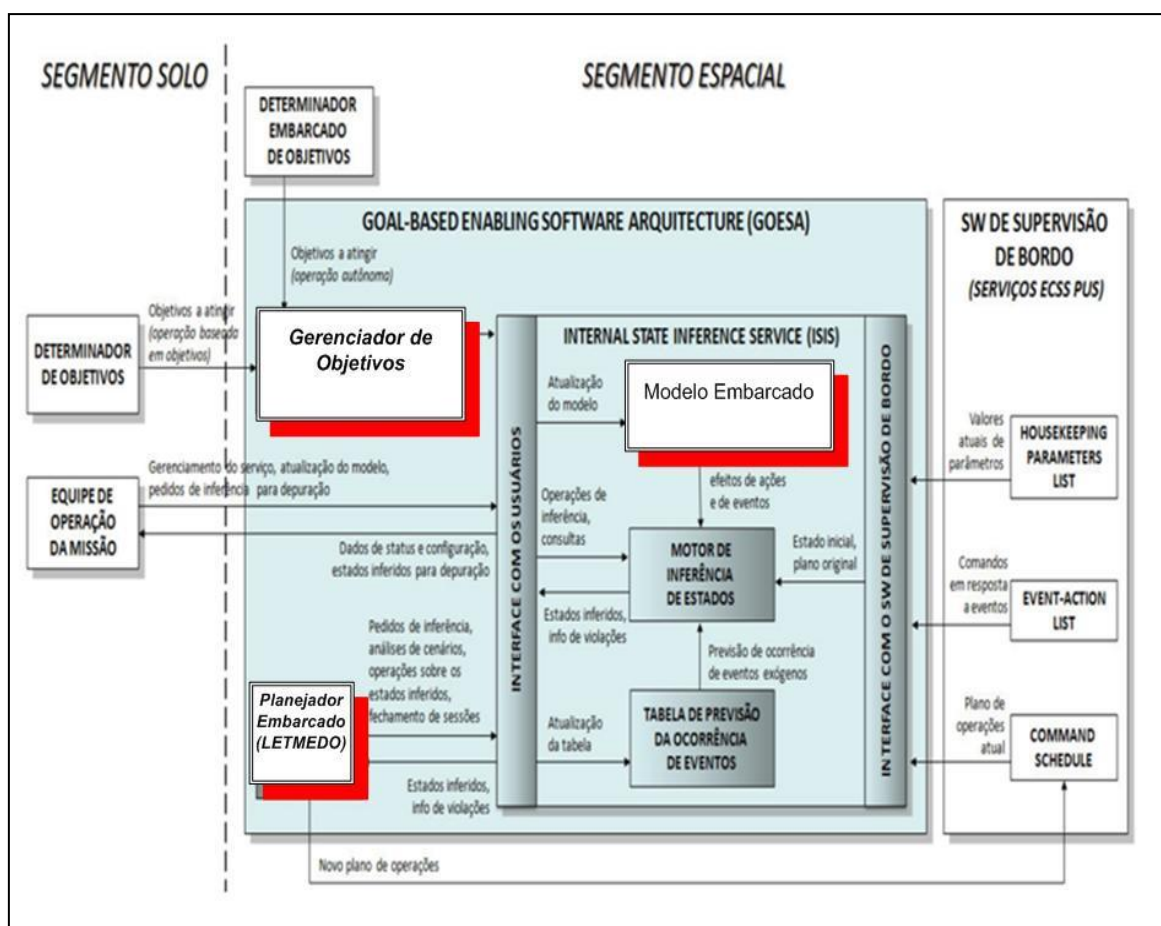


Figura 2.2 - GOESA e suas Interfaces

Fonte: adaptado de Kucinskis (2012)

Além da existência da arquitetura GOESA para o INPE já existem alguns exemplos de missões espaciais com capacidade similar de tomar decisões a bordo. A primeira delas foi a sonda *Deep Space One* (DS-1) da NASA que, em 1999, teve tarefas como o controle de atitude, comunicação, propulsão,

observações e navegação planejadas a bordo a partir da recepção de objetivos de alto nível recebidos de solo (BERNARD et al., 1999).

Outra seria o satélite de sensoriamento remoto *Earth Observing One* (EO-1), também da NASA, que vem, desde 2005, executando o replanejamento de operações a bordo a partir da análise, também embarcada, das imagens adquiridas e da identificação nelas de objetivos de observação, como erupções vulcânicas, por exemplo (CHIEN et al., 2010).

Os rovers Spirit e Opportunity foram, em 2006, dotados da capacidade de identificar a ocorrência de ‘*dust devils*’ (redemoinhos pequenos e de curta duração) próximos, adquirir imediatamente imagens dos mesmos e modificar de forma semi-autônoma as prioridades no envio de dados para a Terra (CASTANO et al., 2006).

Mais recentemente, em dezembro de 2009, o rover *Opportunity* recebeu novo software, que o habilita a detectar rochas que apresentem propriedades de interesse científico, durante travessias realizadas entre um ponto e outro da superfície marciana. Em caso de detecção, o rover pode deter-se, obter imagens da rocha, e seguir seu caminho, retomando o plano de operações original (JET PROPULSION LABORATORY, 2009).

## **2.3. A Arquitetura da GOESA**

Os itens a seguir são baseados na tese de Kucinskis (2012) e tem como objetivo descrever os elementos principais da arquitetura GOESA.

### **2.3.1. Determinador de Objetivos**

Os objetivos que a arquitetura recebe são provenientes tanto do segmento solo quanto do próprio segmento espacial (operação autônoma). Para os objetivos vindos do segmento espacial é necessária a existência de um determinador embarcado de objetivo que é responsável por detectar os eventos a serem

respondidos e definir os objetivos em função destes eventos. Esse determinador embarcado depende da missão e suas cargas úteis.

### **2.3.2. Gerenciador de Objetivos**

O gerenciador de objetivos recebe os objetivos, verifica se são consistentes, se são operacionalmente factíveis, e se eles entram em conflito uns com os outros.

### **2.3.3. Motor de Inferência de Estados**

Motor de Inferência de Estados é o responsável por fazer a inferência de estados para o Planejador Embarcado em função do Modelo de Domínio e da Tabela de Previsão da Ocorrência de Eventos. O Modelo de Domínio, ou Modelo Embarcado, contém o domínio da operação.

### **2.3.4. Internal State Inference Service**

O *Internal State Inference Service* (ISIS) é formado pelo modelo embarcado, motor de inferência de estados e interface com o software de supervisão de bordo. Assim sendo, o ISIS é considerado o núcleo da GOESA. Esse componente visa o reuso da arquitetura em diferentes missões.

No ISIS também é encontrada a tabela de predição de ocorrência de eventos necessária para prover ao motor de inferência informações sobre o comportamento do satélite que não se encontram no software de supervisão de bordo. Essa inferência é feita por um planejador, que será detalhado ainda neste capítulo.

### **2.3.5. Modelo Embarcado**

O modelo de domínio da GOESA é um modelo único e é embarcado. Este modelo contém as informações da composição do domínio, do comportamento dos seus elementos, dados que estabelecem relação entre os itens e seus respectivos modelos no software de supervisão de bordo.

Esse modelo é mantido pelo ISIS e é composto por duas descrições: uma estrutural e a outra comportamental.

Na descrição estrutural encontram-se os dois elementos relevantes de uma dada missão, que são as linhas de tempo (evolução dos valores dos estados no tempo) e os recursos (componentes consumíveis a serem modelados). Na descrição comportamental encontram-se as operações que mudam o estado das linhas de tempo (também chamadas *timelines*) e recursos e quais seus efeitos sobre elas.

As descrições são unidas e através de um analisador são transformadas em código fonte C++ que depois será compilado e *linkado* com uma biblioteca de funções da ISIS para se tornar o modelo embarcado (KUCINSKIS, 2012a). A figura a seguir (Figura 2.3) ilustra esse processo.

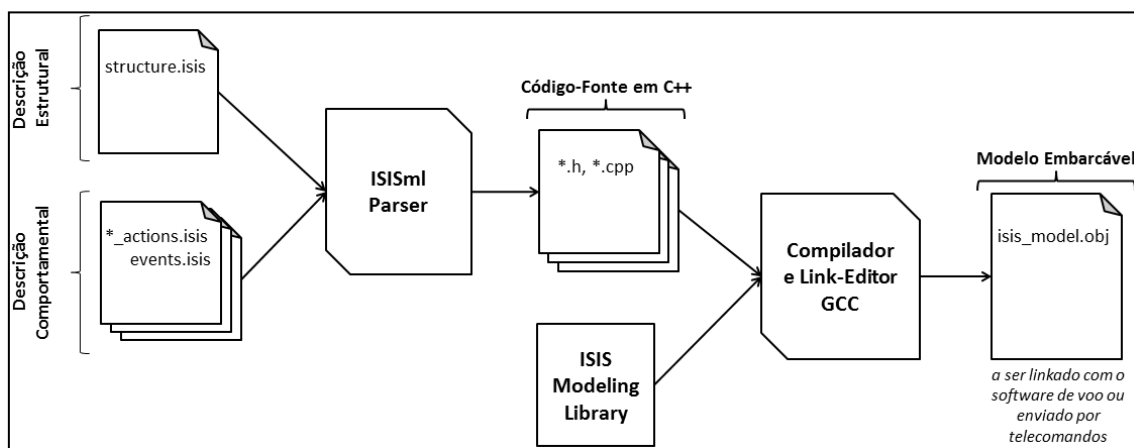


Figura 2.3 - O processo de compilação de modelos para o ISIS

Fonte: Kucinskis (2012)

Como a GOESA possui a característica de ser uma arquitetura reutilizável ela se torna independente de seu modelo, o que o faz ser substituível e atualizável durante o voo.

### **2.3.6. Interface com o Software de Supervisão de Bordo**

O software de supervisão de bordo, através de uma interface com o modelo de domínio, utiliza as informações deste para correlacionar os elementos do mundo real com seus modelos. Esse procedimento é necessário para que a inferência de estados possa ser realizada a bordo.

### **2.3.7. Planejador Embarcado**

O planejador é responsável por encontrar a sequência de comandos para chegar ao objetivo. Esse planejador já leva em consideração o tempo e por isso, além do planejamento da sequência, ele já faz o escalonamento desses comandos.

A arquitetura GOESA permite que qualquer algoritmo possa ser utilizado para realizar essa tarefa, desde que seja adequado a execução em hardware de voo e adaptado a interface do ISIS.



### **3 MONITORAMENTO DE INCÊNDIOS**

Como um dos objetivos dessa pesquisa visa buscar uma nova visão para o monitoramento de queimadas do INPE, é necessário que se crie uma ideia de uma missão hipotética para atender esse objetivo. Para isso é imprescindível conhecer como essa tarefa é realizada pela entidade e em outros países.

Este capítulo descreve a forma como é realizado o monitoramento de incêndios no INPE e algumas outras missões, que não atendem a instituição, mas que são específicas para tal atividade. Esse estudo é importante para auxiliar na definição da ideia de uma missão hipotética, de forma a atender as necessidades do instituto trazendo características utilizadas especificamente para o monitoramento de incêndios.

#### **3.1. O Sistema de Monitoramento de Incêndios do INPE**

O monitoramento de incêndios no INPE é realizado desde 1987, esse monitoramento abrange não somente o Brasil, mas também outros países da América do Sul, América Central, África, (GRANEMANN; CARNEIRO, 2009) e Europa. Mas a região conhecida como Amazônia Legal é a maior beneficiária de tal serviço.

Composta por nove estados brasileiros das regiões norte, nordeste e centro-oeste, a Amazônia Legal equivale a mais de 60% do território nacional, tendo ainda a maior biodiversidade do mundo. Essa região sofre com incêndios, em especial durante a chamada ‘temporada de queimadas’<sup>1</sup>, que cobre o período entre os meses de julho a setembro.

O INPE utiliza atualmente dados de dez satélites internacionais de meteorologia e sensoriamento remoto, disponibilizados para uso da instituição

---

<sup>1</sup> O termo ‘queimadas’ se refere a incêndios autorizados que seguem regras, enquanto o termo ‘incêndios’ indica quando o fogo fica sem controle. Nesse trabalho, será utilizado o termo ‘incêndio’.

(SCHROEDER et al., 2009), para a identificação dos focos de incêndios. Como esses satélites não são especializados para tal função, seus dados devem ser processados em solo para que possam ser úteis.

Dentro do INPE, a unidade responsável pelo recebimento e processamento inicial dos dados desses satélites é a Divisão de Geração de Imagens (DGI). Após o recebimento, a DGI encaminha as imagens para o grupo responsável pelo processamento dessas imagens que irá analisá-las com o objetivo de identificar os focos de incêndios.

Em seguida, esses dados, já com os focos de incêndios identificados, são disponibilizados no site de Monitoramento de Queimadas e Incêndios (INPE, 2014) para que usuários possam consultá-los.

Entre os usuários estão entidades governamentais e parques nacionais, que podem, inclusive, se cadastrar para receberem alertas por e-mail quando ocorrer a identificação de focos em regiões específicas.

Recebendo os alertas, os usuários podem tomar decisões sobre como melhor responder ao incêndio, enviando, por exemplo, brigadas de incêndio aos locais dos focos.

Através do processamento das imagens obtidas por esses satélites, o sistema do INPE gera cerca de cem imagens com dados sobre queimadas por dia (INPE, 2014). Essas recepções são feitas nas estações de recepção, através de antenas, que se encontram em Cachoeira Paulista, SP, em Cuiabá, MT e em Natal, RN.

Essas antenas se alinham com os satélites e recebem as informações que serão enviadas para computadores, onde serão analisadas por profissionais da área de queimadas para identificar focos de incêndios. Em seguida, tais informações contendo a identificação dos focos de incêndios são armazenadas em outros computadores para que possam ser acessadas por usuários que

tomam decisões sobre o que fazer com relação aos incêndios. Para a maioria dos usuários esses dados são enviados via e-mail ou conforme suas necessidades.

O INPE (INPE, 2014) descreve: “a identificação dos focos é auxiliada pelo sensoriamento remoto, uma vez que ao constata-los nas imagens, é possível antecipar decisões para impedir o alastramento do incêndio”.

O tópico a seguir faz uma breve descrição dos satélites mais importantes que fornecem dados para o INPE, visando mostrar quais são os instrumentos utilizados por esses satélites para fornecer tais dados. E, em seguida, serão descritas algumas missões importantes de monitoramento de queimadas, porém essas não fornecem dados atualmente para o INPE.

### **3.1.1. Satélites que Fornecem Dados para o Monitoramento de Incêndios do INPE**

#### **3.1.1.1. Os satélites NOAA**

O INPE utiliza dados dos satélites americanos *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA-15, NOAA-16, NOAA-18 e NOAA-19) (INPE, 2014). Estes são satélites meteorológicos e de órbita polar, localizados a uma distância entre 833 e 870 km da Terra (NATIONAL SPACE SCIENCE DATA CENTER, 2014).

O objetivo primário desses satélites é monitorar nuvens e medir a emissão térmica da Terra. Porém, eles têm sido utilizados para muitos outros fins, como por exemplo, para o monitoramento de incêndios pelo INPE.

O NOAA 15 hospeda os instrumentos *Advanced Microwave Sounding Unit* (AMSU-A e AMSU-B), o *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) e o *High Resolution Infrared Radiation Sounder/3* (HIRS/3), bem como um Monitor de Ambiente Espacial (SEM/2, do inglês *Space Environment Monitor*) (GRAYZECK, 2014a).

O NOAA 16 abriga o mesmo conjunto de instrumentos do NOAA-15 mais o Solar Backscatter Ultraviolet Instrument/2 (SBUV/2) (GRAYZECK, 2014b).

O NOAA 18 hospeda o AMSU-A, MHS, AVHRR, HIRS, a SBUV/2 e outros (GRAYZECK, 2014c).

O NOAA-19 abriga os instrumentos AVHRR/3, o HIRS/4, o AMSU-A entre outros (GRAYZECK, 2014d).

### **3.1.1.2. O satélite TERRA**

Esse satélite desenvolvido pela NASA é responsável por captar informações climáticas da Terra. No INPE, esses dados, depois de processados, fornecem informações para o monitoramento de incêndios. Essas informações são obtidas pelo satélite através de cinco sensores. Esses sensores são (JENNER;DUNBAR, 2013):

- a) ASTER, ou *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*;
- b) CERES, ou *Clouds and Earth's Radiant Energy System*;
- c) MISR, ou *Multi-angle Imaging Spectroradiometer*;
- d) MODIS, ou *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*;
- e) MOPITT, ou *Measurements of Pollution in the Troposphere*.

### **3.1.1.3. O satélite AQUA**

O satélite AQUA desenvolvido pela NASA é responsável pelo estudo de precipitações, evaporações e ciclos da água. Porém, para o INPE, através do processamento das informações adquiridas pelo AQUA, é possível realizar o monitoramento de incêndios. Essas informações são obtidas por seis sensores localizados no satélite, esses sensores são (GRAHAM, 2014):

- a) AMSR-E , ou *Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS*;
- b) MODIS, ou *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*;
- c) AMSU, ou *Advanced Microwave Sounding Unit*;
- d) AIRS, ou *Atmospheric Infrared Sounder*;
- e) HSB, ou *Humidity Sounder Brazil* (equipamento que mede a umidade atmosférica e foi fornecido pelo INPE);
- f) CERES, ou *Clouds and the Earth's Radiant Energy System*.

#### **3.1.1.4. O satélite GOES-13**

O satélite *Geostationary Operational Environmental Satellite -13* (GOES -13), ou como também é chamado GOES-N, é um satélite geoestacionário americano desenvolvido pela NASA. Ele é utilizado para fazer o monitoramento do tempo e operações de previsão (JENNER, 2012). No INPE, seus dados são processados e utilizados para o monitoramento de incêndios. Seus dados são obtidos pelos seguintes instrumentos (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2014):

- a) GSR, ou *Geostationary Search and Rescue*;
- b) SEM/MAG, ou SEM / *Magnetometer*;
- c) SOUNDER, ou GOES *Sounder*;
- d) SXI, ou *Solar X-ray Imager*;
- e) SEM/EPS, ou SEM / *Energetic Particles Sensor*;
- f) SEM/HEPAD, ou SEM / *High Energy Proton and Alpha Particles Detector*;
- g) SEM/XRS, ou SEM / *X-Ray Sensor*;

h) DCIS, ou *Data Collection and Interrogation Service*;

i) IMAGER, ou *GOES Imager*.

#### **3.1.1.5. O satélite MSG-2**

O *Meteosat Second Generation*, ou MSG-2, é um satélite geoestacionário meteorológico que faz a previsão do tempo para o reconhecimento rápido e previsão de fenômenos climáticos perigosos, tais como tempestades, nevoeiro e desenvolvimento explosivo das depressões pequenas, mas intensos que podem levar a devastadoras tempestades de vento (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2000). No INPE, essas informações são processadas e utilizadas para monitoramento de incêndios.

#### **3.1.1.6. O satélite Suomi NPP**

O Satélite *Suomi National Polar-orbiting Partnership*, ou Suomi NPP, é um satélite americano meteorológico de órbita polar. Esse satélite utiliza o *Advanced Technology Microwave Sounder* (ATMS), que é um radiômetro de micro-ondas que ajuda a criar modelos da umidade global e de temperatura. Seus dados são processados no INPE e ajudam a fazer o monitoramento de incêndios. Além do ATMS, ele possui mais outros quatro instrumentos que são (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2000):

a) CrIS , ou *Cross-track Infrared Sounder*;

b) OMPS, ou *Ozone Mapping and Profiler Suite*;

c) VIIRS, ou *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*;

d) CERES.

#### **3.1.1.7. O satélite MetOp**

MetOp são três satélites meteorológicos de órbita polar desenvolvidos pela *European Space Agency* (ESA) and *European Organisation for the Exploration*

of *Meteorological Satellites* (EUMETSAT). Seus dados são obtidos por onze instrumentos. A seguir tem-se uma lista dos instrumentos principais (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2012b):

- a) IASI, ou *Infrared Atmospheric Sounding Interferometer*;
- b) GRAS, ou *Global Navigation Satellite System Receiver for Atmospheric Sounding*;
- c) ASCAT, ou *Advanced SCATterometer*;
- d) GOME-2, ou *Global Ozone Monitoring Experiment-2*.

### **3.2. Satélites Dedicados ao Monitoramento de Incêndios**

Existem missões cujo principal objetivo é o monitoramento de eventos térmicos como incêndios, queimadas e erupções vulcânicas. Dessas missões, três merecem destaque com relação ao cenário de monitoramento de queimadas atual, sendo elas a BIRD (*Bi-spectral Infra Red Detection*), a Firebird, a Fuego e a Constelação de Satélites de Observação da Terra.

Importante ressaltar que nenhuma dessas missões fornece dados para o monitoramento de incêndios realizado pelo INPE.

Os próximos subitens descrevem tais missões que merecem um destaque maior por constituírem a base principal do modelo da missão hipotética utilizada para esta pesquisa.

#### **3.2.1. A Missão BIRD**

A missão do BIRD pertence a DLR (*Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt*) e tem como objetivo a observação da Terra.

O satélite foi lançado pelo foguete indiano PSLV-C3 em 22 de outubro de 2001 em uma órbita baixa circular de 572 km (*Sun-synchronous Low Earth Orbit*) (BRIEB et al., 2001). Este satélite possui como sua principal carga útil um

sensor bi-spectral infravermelho que faz o reconhecimento e analisa eventos de alta temperatura como é o caso dos incêndios florestais, incêndios em jazidas de carvão e atividades vulcânicas.

Os sensores espaciais existentes, antes da BIRD, eram bastante limitados com relação ao reconhecimento de alguns fenômenos. A missão BIRD tem a responsabilidade de demonstrar novas tecnologias a essa área de reconhecimento e caracterização de eventos de altas temperaturas na superfície da Terra (BRIEB et al., 2001).

A missão do BIRD possui os seguintes objetivos (BRIEB et al., 2001):

- a) Testar uma nova geração de sensores infravermelhos adequada para o sensoriamento da Terra com uma faixa radiométrica adaptativa;
- b) Detectar e investigar os eventos de alta temperatura;
- c) Teste de pequenas tecnologias para satélites como controle de atitude contendo um sensor de estrelas e atuadores.

O sensoriamento remoto tem a tendência de aumentar a quantidade de bandas de resolução geométrica de seus sensores causando uma elevação na taxa de transferência de dados e, também, no volume de dados. Porém, para os usuários apenas alguns desses dados são realmente úteis. Para resolver essa questão, o BIRD incluiu um experimento que faz um pré-processamento dos dados que poderiam ser úteis aos usuários (SILVA;LUCENA, 2005).

Essa tecnologia no BIRD tem como objetivos principais detectar incêndios e pontos quentes. Com o pré-processamento dos dados são enviados menos dados para o solo e isso reduz o '*downlink*' do fluxo de dados. Outra vantagem é que o usuário passa a receber os dados de forma mais rápida.

Para esse processo de classificação o BIRD utiliza uma espécie de mapa contendo as informações de cada região em que o satélite deverá analisar.

Esse mapa é confrontado com as imagens obtidas do local e de acordo com uma classificação pré-definida serão encontradas as imagens úteis para o usuário. Para fazer essa classificação utiliza-se um hardware de processamento de redes neurais o denominado NI1000 (*Recognition Accelerator da Nestor Inc*).

### **3.2.2. Os Satélites TET-1 e BIROS da Missão Firebird**

A Firebird é uma missão do DLR voltada para a observação da Terra. Essa missão continuará o monitoramento do foco de incêndio inicializado pelo BIRD, usando dois pequenos satélites que se encontram a 500 km da Terra: o *Technologie Eprobungs Träger-1* (TET-1), lançado junho de 2012 e o BIROS (*Berlin Infrared Optical System*), cujo lançamento está previsto para 2015 no veículo espacial PSLV da *Indian Space Research Organization* (ISRO) fornecido pela *Antrix Corporation* (KRAMER, 2014).

Quando os dados do BIRD deixaram de ser úteis, devido a uma falha em um de seus componentes, o DLR decidiu iniciar um novo satélite o TET-1, que é utilizado para validações de novas tecnologias (REILE et al., 2013).

O TET- 1 é equipado com diferentes cargas úteis para fins de verificação em órbita e, também, com o BIRD como instrumentação de infravermelhos.

O instrumento BIRD, que está a bordo do Firebird, é um sistema construído com partes do satélite BIRD para o reconhecimento de pontos quentes, o *Hot Spot Recognition System* (HSRS). Ele tem como principal objetivo continuar o trabalho de observação do BIRD na Terra.

A Firebird se diferencia da BIRD por possuir processamento de dados de queimadas a bordo e por utilizar um segundo satélite formando uma constelação. Este segundo satélite é o BIROS que se baseia no satélite TET-1 e é equipado com uma carga quase idêntica a ele.

Essa missão possui outros objetivos secundários ao monitoramento de incêndio. A seguir tem-se uma lista de alguns deles (REILE et al., 2013):

- a) autonomia sobre planejamento de missão a bordo;
- b) comunicação óptica bi direcional entre satélite e as estações terrestres;
- c) operações de navegação óptica e de proximidade;
- d) agilidade nas manobras de atitude do satélite.

Cabe ressaltar que a análise dos resultados dessa missão será feita através de uma comparação com os dados da BIRD, tendo como critério de sucesso o fato de que esses devem ser melhores em qualidade e quantidade que a missão anterior.

### **3.2.3. A Constelação Fuego**

FUEGO é uma missão proposta pela *Ingeniería y Servicios Aeroespaciales*, S.A (INSA), que consiste de uma constelação de doze satélites pequenos para detectar e monitorar queimadas em florestas. O objetivo da FUEGO é identificar focos de incêndio desde o início, prever riscos de incêndio e evitar falsos alarmes de incêndio.

A FUEGO se encontra em órbita *Low Earth Orbit* (LEO) a 700 km de altitude da Terra e 47,5° de inclinação (CORRADI et al., 2001). A carga útil é equipada de uma câmera *Medium Infrared* (MIR), para detectar incêndios florestais, assistida pelas câmeras *Visible* e *Near Infrared* (VIS/NIR) e *Thermal Infrared* (TIR) para melhorar a resolução do monitoramento e rejeitar os falsos alarmes (ESCORIAL et al 2003).

Os principais requisitos dos usuários atendidos pela FUEGO são, segundo Escorial (ESCORIAL et al 2003):

- a) obtenção, processamento e o envio dos dados em tempo quase real;
- b) cobertura de 100% da área de risco de forma contínua no tempo;
- c) detecção de focos de tempo inferior a 15 minutos em média, com uma nova visita tempo na ordem de 25 minutos.
- d) tamanho mínimo de detecção de incêndio variando de 20 a 220 m<sup>2</sup>, com geração de alarme automático e classificação de intensidade do foco;
- e) localização geográfica dos locais de incêndio dentro do intervalo de 300-500 metros;
- f) probabilidade de alarme falso de no máximo 5% dos casos. Alarmes falsos são, por exemplo, reflexos do sol e superfícies quentes que possam induzir ao erro.

Ainda segundo Escorial (ESCORIAL et al 2003), além desses requisitos o usuário pode solicitar que uma determinada área seja monitorada de acordo com seu interesse. A missão também oferece informações sobre possíveis potenciais inícios de incêndios e outros estudos da Terra (aplicações como vulcanologia, eventos quentes, meteorologia, silvicultura, etc).

Para a detecção e aquisição de dados é utilizada a técnica que utiliza um espelho orientável para as áreas de interesse. Ele realiza manobras que possibilitam a observação de mais de um ponto em uma única passagem do satélite, cobrindo áreas que normalmente não seriam cobertas durante a passagem.

Os satélites podem ser direcionados para a área de interesse através das Estações do Centro de Controle da Missão (MCC do inglês *Mission Control Center*) responsável por gerar um 'Plano de Observação'. Tendo esse plano de observação pronto, o MCC envia telecomandos para atendê-lo.

Os dados são enviados quase em tempo real para o solo e devem ser processados quando chegarem para que se tornem úteis aos usuários finais.

Para a aquisição desses dados o satélite utiliza quatro câmeras (ESCORIAL et al 2003):

- a) MIR: é uma câmera de infravermelho médio e é a mais adequada para a detecção de possíveis incêndios devido a sua faixa espectral;
- b) VIS/NIR: são câmeras que observam o infravermelho próximo que são necessárias para discriminar os falsos alarmes. Também fornece dados de alta resolução para a geolocalização de fogo, e para o monitoramento de imagens;
- c) TIR: é uma câmera infravermelha térmica que fornece informações sobre a presença de nuvens e também auxilia na rejeição de falso alarmes.

#### **3.2.4. Uma Constelação de Satélites de Observação da Terra**

A missão criada para essa constelação utilizou técnicas de restrições e escolhas inspiradas nas missões BIRD e FUEGO. Ela é uma missão de detecção de início de queimadas e erupções vulcânicas. Assim que detectadas, essas informações devem ser passadas para estações da Terra que as enviará para os centros responsáveis por essas situações (DAMIANI et al, 2005).

Segundo Damiani os elementos que formam essa missão são:

- a) doze satélites idênticos em órbitas circulares LEO de 700 km de altitude; Eles se encontram distribuídos em três órbitas planas com ângulo de  $47,5^\circ$  com relação ao eixo polar, sendo quatro satélites por órbita;

- b) três satélites geoestacionários (GEO) capazes de cobrir toda superfície da Terra;
- c) Centro de missões terrenos específicos para esses eventos.

Ainda segundo o autor, devido a sua órbita os satélites levam 100 minutos para dar uma volta na Terra e 25 minutos entre o voo de um satélite por uma órbita e o outro que percorre a mesma órbita. Os satélites geoestacionários fazem a comunicação entre os demais satélites e os centros de missões terrenos.

Os satélites da órbita LEO são equipados por 2 instrumentos (DAMIANI et al, 2005):

- a) Instrumento de detecção de infravermelho com faixa observável na Terra de 2500 km apontado a 30°, e a uma distancia de 400 km da frente do satélite. Os dados obtidos por esse instrumento são analisados assim que recebidos e, quando captam situações de fogo ou erupções, soam alarmes para os centros de missão no solo. Assim, uma requisição de observação é enviada para um instrumento de observação;
- b) Instrumento de observação com campo de visada de apenas 176 km. Esse instrumento possui algumas formas de detecção infravermelhos térmicos, infravermelhos próximos e visíveis. Ele não fica ligado constantemente, está apontado sempre para baixo do satélite, um espelho orientável permite observar lateralmente uma área maior. Os dados adquiridos aqui não são analisados a bordo e sim, nos centros de missões terrenos.

A Figura 3.1 a seguir mostra a distribuição desses dois equipamentos.

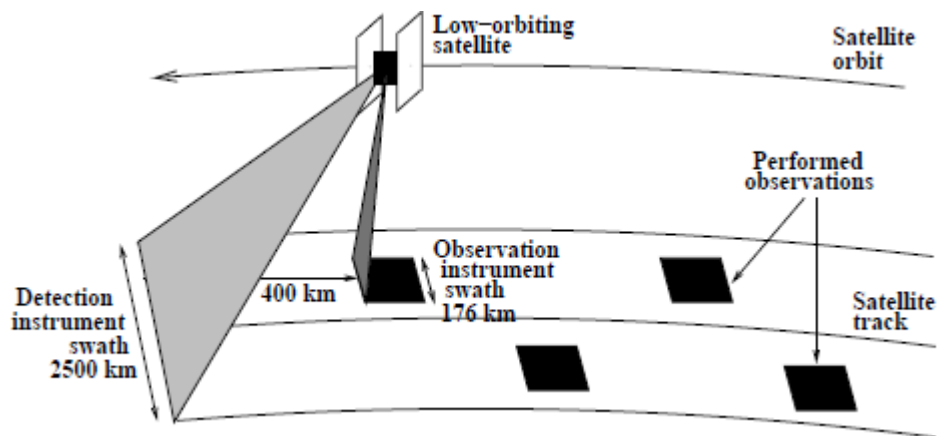


Figura 3.1 - Detecção e observação a bordo de cada Satélite da órbita LEO

Fonte: Damiani et al (2005)

Devido ao ângulo de  $30^\circ$  formado entre os instrumentos tem-se um atraso de 1 minuto entre uma detecção inesperada e sua possível observação pelo mesmo satélite.

O mesmo satélite não pode observar áreas muito próximas ou passar duas vezes na mesma posição, pois ele teria uma sobreposição ou não teria tempo suficiente para mudar a posição do espelho (Figura 3.2). Sendo assim, existe um pequeno deslocamento entre as áreas vistas pelo mesmo satélite (DAMIANI et al, 2005).

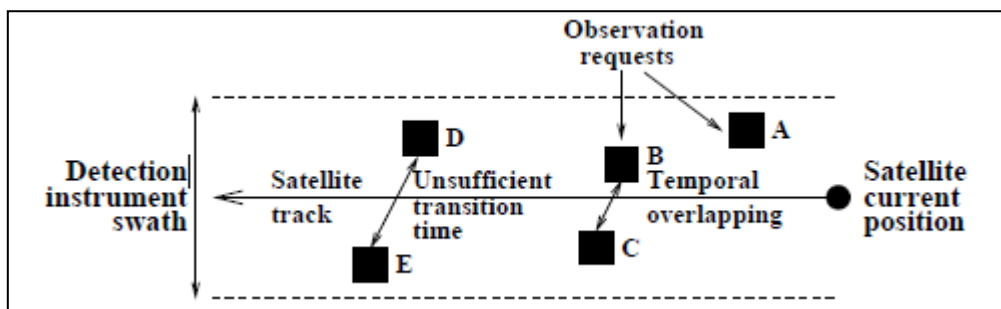


Figura 3.2 - Incompatibilidade de Observação

Fonte: Damiani et al (2005)

As comunicações entre os componentes não são permanentes.

A comunicação dos satélites LEO com a terra através dos GEO satélites é unilateral e determinada por um alarme;

Apenas quando são diretamente visíveis é que são enviadas mensagens grandes (requisições de observações e dados de queimadas);

Os satélites LEO não se comunicam diretamente.

Importante saber a diferença entre *Earth watching* (acompanhamento/rastreamento de queimadas) e *Earth observation* (observação de queimadas) neste ponto:

- a) Missões de observação: a requisição vem do solo e o tempo para atender o objetivo de observação não é pequeno (semanas ou dias). Precisa de um único centro de controle de missão na Terra;
- b) Missão de acompanhamento: (como FUEGO) requisição vem principalmente do satélite e o tempo de entrega dos resultados são menores (minutos ou horas).

Cada satélite LEO deve ter um sistema de decisão capaz de (DAMIANI et al, 2005):

- a) Cuidar do estado corrente do satélite (como posição do satélite, trajetória, energia, memória e posição do espelho) e das requisições vindas dos centros de controle e do instrumento de detecção;
- b) Otimizar a obtenção do maior número de imagens possíveis;
- c) Criar um plano para executar essa obtenção de imagens;
- d) Direcionar e controlar a execução desse plano;
- e) Permitir realizar alterações no plano quando ocorrer algo inesperado ou receber novos conjuntos de observação da terra.

Para esses satélites LEO foi criado um sistema com a capacidade de decidir o que o satélite deve imagear tornando essa missão viável. Esse sistema foi resolvido por uma técnica de sistema de raciocínio limitado pelo tempo, tomando como base o tempo de início e final de observação de um local e o tempo de início de um outro local.

## **4 A IDEIA DE UMA MISSÃO DE MONITORAMENTO AUTÔNOMO DE INCÊNDIOS**

A partir do estudo de características das missões cujos produtos são utilizados pelo INPE para o monitoramento de queimadas e incêndios e das missões que possuem esse monitoramento como objetivo principal, foram definidos os parâmetros iniciais de uma ideia para uma missão hipotética chamada Missão de Monitoramento Autônomo de Incêndios (M2AI).

A M2AI tem como objetivo principal observação, reconhecimento e análise dos eventos de alta temperatura, em especial incêndios florestais, já fornecendo ao centro de controle imagens com alta resolução de tais eventos.

Para atingir tal objetivo, o satélite da missão M2AI será equipado com duas câmeras captando imagens na faixa termal-média de  $4\mu\text{m}$  durante a sua operação: uma Câmera de Média Resolução (CMR) e amplo ângulo de visada, similar às câmeras MODIS dos satélites TERRA e AQUA, e uma Câmera de Alta Resolução (CAR), com ângulo mais estreito e melhor resolução espacial. Essa configuração se assemelha à configuração de um dos satélites da Constelação de Satélites de Observação da Terra, citada anteriormente.

A imagem a seguir (Figura 4.1) mostra o satélite em dois momentos diferentes e o comportamento de suas câmeras. O destaque em azul ilustra a cobertura da CMR sobre a superfície da Terra, e o destaque em vermelho, a cobertura da CAR.

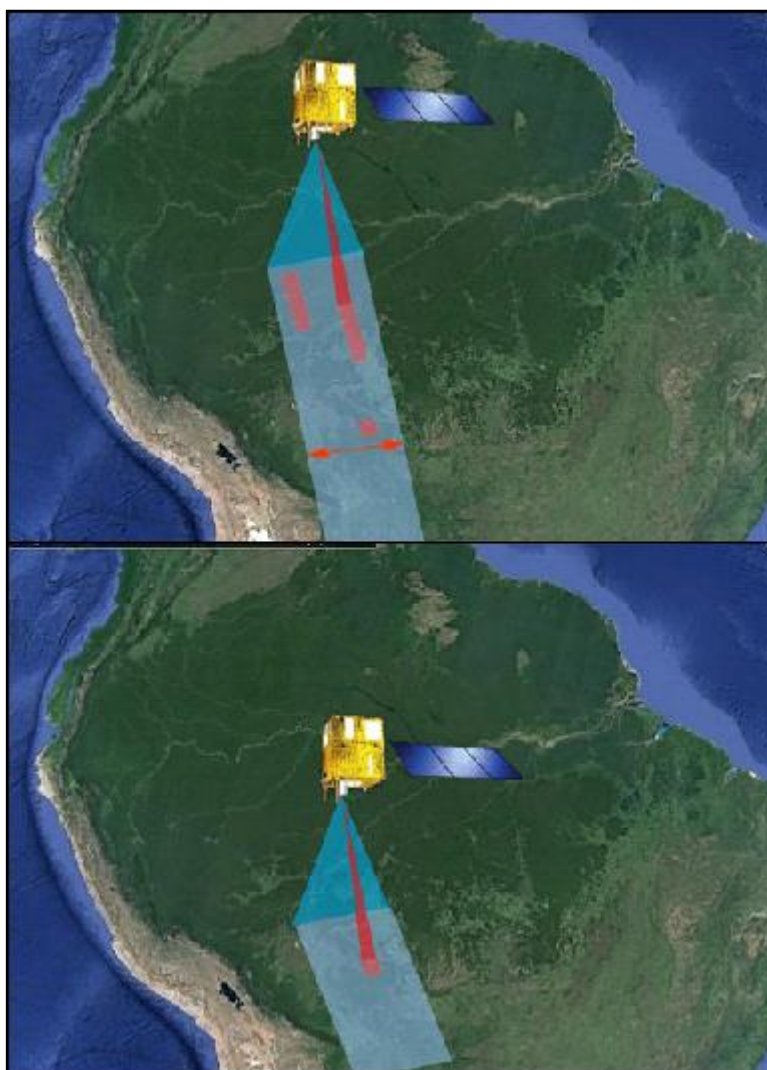


Figura 4.1 - Monitoramento de Queimadas utilizando duas Câmeras em um mesmo satélite

A CMR será fixa e adquirirá constantemente imagens em média resolução, apontando para o Nadir do satélite, ou ligeiramente inclinada à frente do mesmo, com relação ao seu deslocamento orbital.

A CAR será uma câmera com mobilidade na horizontal em relação à cobertura realizada pela CMR (seta em vermelho na parte superior da Figura 4.1), e posicionada de maneira a imagear a mesma área da CMR, mas com algum atraso – ou seja a CAR poderá obter imagens da mesma região observada pela CMR, mas apenas alguns poucos minutos depois. Essa mobilidade da

CAR possibilita que ela seja redirecionada para captar os focos identificados pela CMR.

Porém, pode-se observar na Figura 4.2 que é possível encontrar vários focos de incêndio em uma mesma cena – na figura, os focos de incêndio estão identificados em vermelho –, assim é improvável que a câmera de alta resolução consiga cobrir todos os focos. Por isso, o satélite deve ser capaz de priorizar quais focos deverão ser imageados.



Figura 4.2 – Imagem da Região do Mato Grosso obtida em 11 de julho de 2003 pelo sensor MODIS do Satélite Terra.

Fonte: adaptada Florenzano (2008)

Para ter essa característica é necessário que a CAR tenha certa autonomia e isso implica em aumentar a capacidade de decisão do satélite de forma que o mesmo possa planejar, mesmo que parcialmente, a operação de suas cargas úteis.

Como visto anteriormente com maiores detalhes, a GOESA habilita o satélite a tomar decisões autonomamente e, possui um gerenciador de objetivos capaz de priorizar os objetivos mais importantes a serem alcançados. Devido a essa característica essa arquitetura será utilizada para essa missão. Cabe destacar

neste ponto que a GOESA é capaz de realizar as mesmas atividades que o sistema de decisão da Constelação de Satélites de Observação da Terra.

O Gerenciador de Objetivos, entretanto, não foi implementado por Kucinskis (KUCINSKIS, 2012c). Existe apenas um protótipo que recebe objetivos do determinador e os envia para o planejador sem realizar nenhum tipo de validação sobre esses. Sendo assim, a GOESA atualmente não possui recursos para a priorização dos objetivos (que são os focos de incêndios a imagear com a câmera de alta resolução), bem como para a resolução de eventuais conflitos entre eles.

Para que essa missão possa atuar em um satélite é necessária a existência de um sistema que faça o controle de todas suas atividades autônomas da missão, ou seja, ele deve ser o responsável por operar a CAR. Este sistema chamado Sistema de Monitoramento Autônomo de Incêndios será detalhado em um capítulo especial para ele devido a sua importância para a pesquisa.

Além disso, para alcançar o objetivo dessa pesquisa é preciso que se façam algumas adaptações nesta missão, pois para definir uma missão real para esse tipo de atividade é necessário o trabalho de uma equipe especializada que possa detalhar todos os dados para seu funcionamento. E, para alcançar o objetivo dessa pesquisa, esses dados não são necessários de forma tão rigorosa.

#### **4.1. Restrições, Assunções e Simplificações para o Problema**

A presente missão considera as seguintes restrições, assunções e simplificações para o problema em questão:

- a) O satélite estará em órbita polar sol-síncrona a uma altitude de 650 km com um período de 100 minutos de órbita, usando como referência as missões CBERS-4 e Amazônia-1 do INPE;
- b) O centro do foco da câmera CMR estará a 90 graus de distância do centro do foco da CAR, como pode ser visto na Figura 4.3;

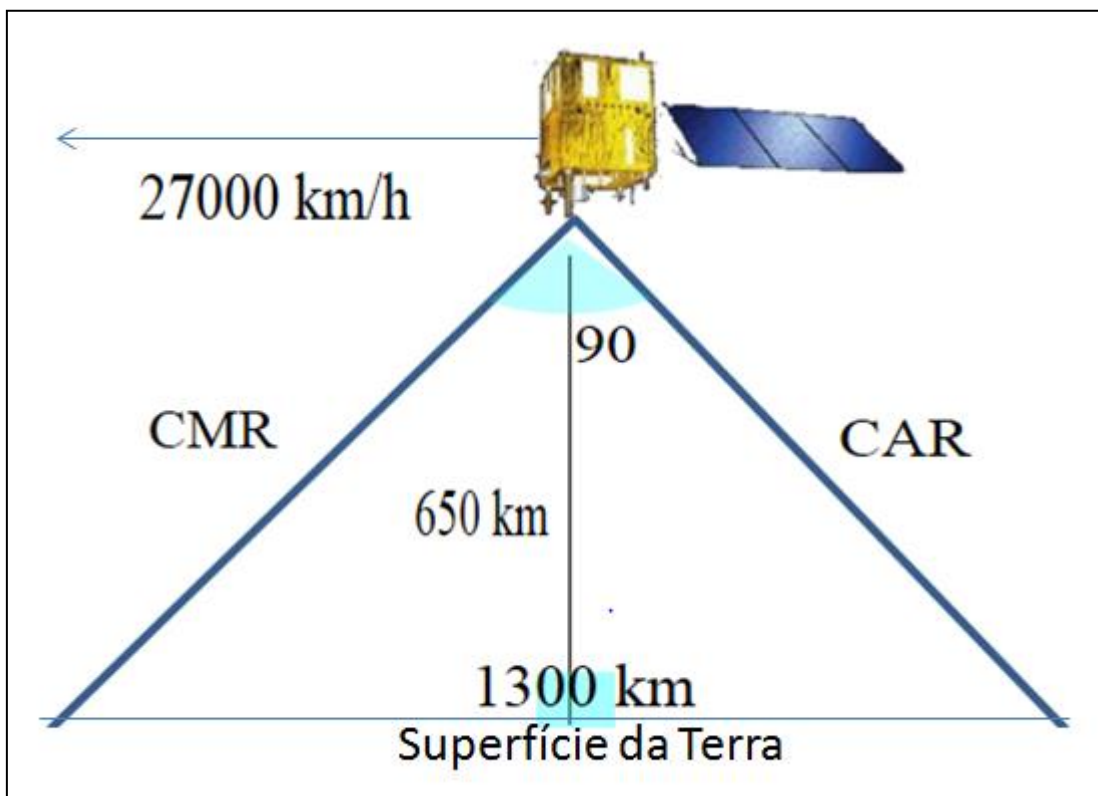


Figura 4.3 - Ângulos das Câmeras

- c) A velocidade do satélite em órbita será de  $27000 \text{ km/h}$ ;
- d) O ângulo entre os focos das câmeras, altitude e velocidade resultarão numa distância de foco de  $1300 \text{ km}$ , percorrido em 2,88 minutos. Portanto, para o presente trabalho, será assumido o tempo (arredondado para cima) de 3 minutos entre a aquisição das imagens de média resolução e a aquisição das imagens em alta resolução. Esse é o tempo que o satélite da M2AI tem para identificar os focos de incêndio, definir quais deles são importantes, planejar as operações e direcionar a Câmera de Alta Resolução;
- e) Para a implementação do software serão consideradas as restrições de capacidade computacional dos satélites do INPE, mais especificamente da Plataforma Multi-Missão (PMM);

- f) Nas imagens adquiridas serão desconsideradas variações na relação pixel-m<sup>2</sup> geradas em função da posição e ângulo das câmeras, bem como da curvatura da Terra;
- g) Um foco de incêndio será representado por uma tríade (ângulo, tempo inicial, tempo final), pois isso facilita o entendimento do modelo e não afeta no desenvolvimento do Priorizador de Focos de Incêndios;
- h) Será assumida a existência de um Identificador de Focos de Incêndios embarcado. O presente trabalho partirá de um conjunto de focos já identificados, deixando o Identificador em si para desenvolvimentos futuros;
- i) Alarmes falsos e frentes de queimadas serão tratados quando estiverem sendo definidos os objetivos, ou seja, quando são identificados os focos de incêndios. Assim, não caberá ao Gerenciador de Objetivos esse tipo de análise, pois ele apenas recebe os objetivos não sendo capaz de identificá-los.

## **5 SISTEMA EMBARCADO DE MONITORAMENTO AUTÔNOMO DE INCÊNDIO**

Na missão M2AI proposta nesse trabalho, a operação da CAR será realizada de forma automática pelo Sistema Embarcado de Monitoramento Autônomo de Incêndios. Esse sistema deverá ser o responsável pelo controle da missão.

O SEMAI deverá analisar as imagens da CMR a bordo do satélite e buscar por focos de incêndios. Ao encontrar os focos, o SEMAI comandará a CAR para que essa imediatamente adquira imagens de alta resolução dos focos.

Comandar de forma autônoma (sem participação do segmento solo) a movimentação da CAR implica em planejar sua operação a bordo. Além disso, como vimos anteriormente, em determinadas situações serão detectados focos de incêndios em determinadas posições as quais será impossível comandar a CAR para imagear todos os focos. Devido a isso, faz-se necessária a priorização de quais focos deverão ser observados pela Câmera de Alta Resolução.

Visando atender as necessidades da missão M2AI, os dados que a compõem devem ser modelados, formando o modelo embarcado, e incorporados a arquitetura GOESA para formar o SEMAI. Em outras palavras, este sistema é um sistema de monitoramento autônomo de incêndio que utiliza a arquitetura da GOESA para atender seus objetivos. A Figura 5.1 ilustra as etapas de operação do SEMAI.

As etapas de operação do SEMAI seguem um fluxo que vai de cima pra baixo na figura e, portanto começam com a aquisição de imagens de média resolução. Nesta etapa a CMR deverá captar imagens de toda a região imageada por ela.

Em seguida, essas imagens deverão ser enviadas para um identificador de focos de incêndios que deverá ser capaz de encontrar nestas imagens todos os focos de incêndios existentes.

Esses focos de incêndios deverão ser enviados para o priorizador de focos de incêndios a imagear chamado de Gerenciador de Objetivos (destacado em rosa na Figura 5.1). Este é o componente do SEMAI responsável pela decisão de quais focos de incêndios devem ser imageados pela CAR.

Os focos de incêndios escolhidos para serem imageados deverão ser enviados para o planejador de operações, cuja tarefa será definir um plano para que todos esses focos de incêndios possam ser imageados.

Definido este plano, a CAR deverá ser movimentada de forma a realizar a aquisição das imagens em alta resolução destes focos de incêndios e esta é a última etapa do SEMAI.

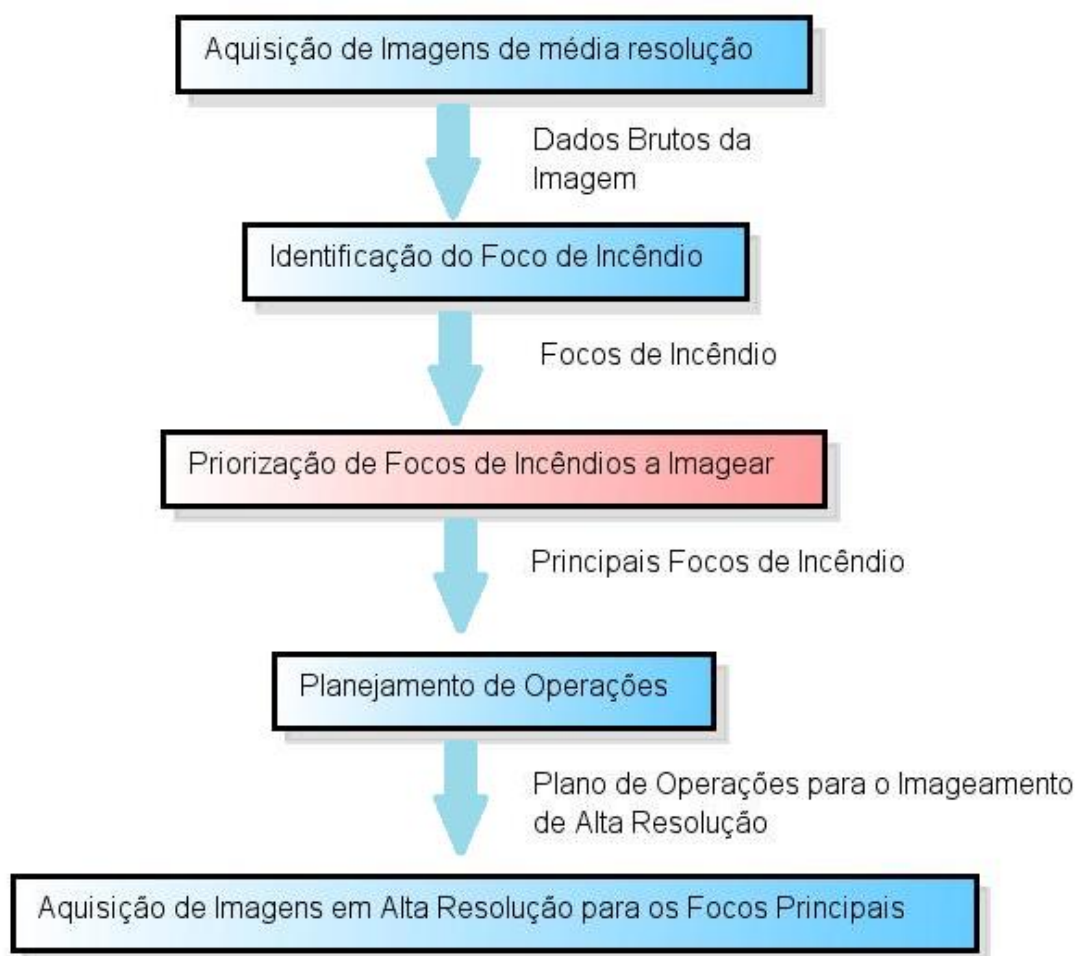


Figura 5.1 – Etapas de Operação do SEMAI

### 5.1. Adoção da GOESA pelo SEMAI

O fato da GOESA ser uma arquitetura que habilita o aumento da autonomia operacional das missões do INPE, faz com que ela tenha a capacidade de mudar o plano de execução caso aconteçam eventos inesperados sem que seja necessário abortar a missão. Por isso ela será adotada para o SEMAI.

Como visto anteriormente (Figura 4.2), uma cena da CMR pode conter vários focos de incêndios e a CAR não é capaz de imagear todos. Assim, poder planejar e priorizar objetivos a bordo é de interesse para o SEMAI, pois ele deverá ser capaz de definir a bordo quais os focos de incêndio que deverão ser

imageados. O Gerenciador de Objetivos da GOESA é o responsável por essa priorização.

Fazendo uma correlação entre as etapas de operação do SEMAI com os módulos da GOESA na Figura 5.2, destaca-se que a Identificação de Focos de Incêndio é responsabilidade do Determinador Embarcado de Objetivos previsto pela GOESA.

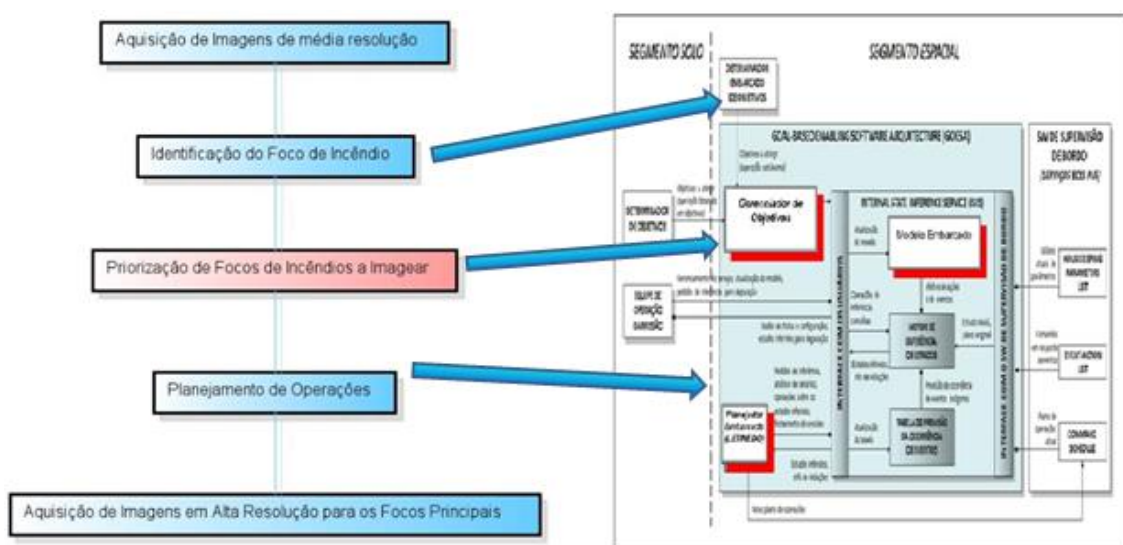


Figura 5.2 – Co-relação entre a GOESA e o SEMAI

A Priorização de Focos de Incêndios a imagear seria responsabilidade do Gerenciador de Objetivos da GOESA.

O Planejamento de Operações do SEMAI é o Planejador da GOESA, pois é o responsável por encontrar a sequência de comandos para chegar ao objetivo através de consultas ao modelo da missão embarcado.

O Modelo Embarcado da GOESA não tem como ser correlacionado diretamente na figura, mas ele é quem define todas as regras de comportamento do sistema SEMAI.

Com base nas correlações feitas anteriormente, chega-se a conclusão de que para adotar a GOESA na implementação do SEMAI será necessário:

- a) Criar um Modelo Embarcado para a GOESA, descrevendo a operação da CAR e suas restrições operacionais;
- b) Desenvolver um Gerenciador de Objetivos com a capacidade de validar e priorizar focos de incêndios resolvendo eventuais conflitos operacionais ao se tentar imageá-los com a CAR de forma autônoma. Ele poderá priorizar o imageamento de focos de incêndios em função dos alertas cadastrados no sistema de monitoramento de incêndios do INPE, de forma similar ao que ocorre na missão FUEGO.

## **5.2. O Modelo Embarcado**

Como visto anteriormente, para se utilizar a GOESA dentro do SEMAI é necessária a criação do modelo embarcado. Tal modelo irá conter todas as regras comportamentais dos elementos do sistema SEMAI para que este possa atender as necessidades da missão através do controle da CAR e demais elementos.

Para gerar o modelo embarcado da M2AI é necessário que inicialmente alguns passos sejam realizados. Esses passos são a definição do domínio da missão, a descrição do domínio estrutural e a descrição do domínio comportamental. E, a partir da união do domínio estrutural com o domínio comportamental é gerado um código fonte em C++ que representa o modelo embarcado para a missão. A Figura 2.3 ilustra a união dos modelos e a geração do modelo embarcado.

Os subitens a seguir descrevem esses passos.

### **5.2.1. A Definição do Domínio da Missão**

A M2AI tem um único objetivo global que é “adquirir, gravar e transmitir focos de incêndios em regiões pré-determinadas (delimitadas entre as coordenadas A e B)”, que são definidas em solo e enviadas para o satélite por telecomandos para serem armazenadas como, por exemplo, definir regiões de maior importância para a missão.

Desse objetivo global, através das imagens da CMR, o Identificador irá definir vários focos de incêndio que serão considerados objetivos menores a serem imageados, porém o PFI irá definir quais desses focos de incêndios deverão ser atendidos, ou seja, imageados pela CAR.

Dadas as informações anteriores, a partir deste ponto, chamar-se-á de objetivos apenas os objetivos menores, ou seja, aqueles que serão analisados pelo PFI e os que serão gerados por este como resultado desta análise.

O satélite da M2AI é composto, entre outros elementos, de duas câmeras a CAR e CMR, do Subistema de Potência (PSS do inglês *Power Supply Subsystem*), do Gravador Digital de Dados (DDR do inglês *Digital Data Recorder*) e do Transmissor de Dados (DT do inglês *Data Transmitter*).

Porém, cabe ressaltar que a CMR, DDR e o DT não fazem parte do domínio do problema a ser desenvolvido nessa pesquisa. Pois se fossem modelados, apenas ocorreriam mudanças no modelo da missão para a GOESA o que foi explorado na tese de Kucinskis (2012), e o comportamento principal da M2AI não seria influenciado.

O PFI também não terá seu desenvolvimento alterado modelando todos os elementos, pois ele depende apenas dos objetivos recebidos da CMR e não de como esses objetivos foram gerados. Sendo assim, para o modelo em questão teremos os seguintes elementos: CAR e o PSS.

Com base nessa definição de domínio da missão pode-se fazer a descrição estrutural e a comportamental dela. Os demais subitens explicam cada uma destas descrições.

#### **5.2.1.1. Descrição estrutural**

Nesta etapa devem-se identificar os elementos que compõem o domínio da missão.

Para a CAR, deve-se destacar que ela se movimenta para atender aos objetivos. Esse movimento é no sentido horizontal com relação à movimentação do satélite e é limitado a 30° para a direita e 30° para a esquerda do nadir.

Com a finalidade de representar esse movimento na modelagem foram criados os comandos: MoveMirrorLeft e MoveMirrorRight. Esses comandos devem movimentar a câmera para a esquerda e direita, um grau por vez.

A posição em que a câmera pode se encontrar é de -30° até 30°, considerando que 0° é quando a câmera aponta na direção do nadir com um pequeno deslocamento para tras. Essa característica foi definida como *timeline* (uma variável que se propaga no tempo, ver item 2.1) do ISIS, chamada MirrorPosition, para que os comandos MoveMirrorLeft e MoveMirrorRight possam ser utilizados corretamente. mudando o valor da variável que representa o ângulo no decorrer do tempo.

A câmera pode se encontrar em vários estados, esses estados são os chamados Modo de Operação, no modelo representado por CameraModes, e são os seguintes: camera\_no\_power, camera\_power\_off e camera\_stand\_by, camera\_imaging:

- a) camera\_no\_power é o estado em que a câmera não está energizada;
- b) camera\_power\_off é o estado em que a câmera não consome energia, não faz imageamento e está parada na mesma posição, porém está energizada;
- c) camera\_stand\_by é o estado em que a câmera consome um mínimo de energia, porém não faz imageamento e está parada na mesma posição;
- d) camera\_imaging é o estado em que a câmera consome energia, faz imageamento e está parada na mesma posição.

O Modo de Operação e a Posição da Câmera da CAR são considerados *timelines*.

Para a modelagem foi adotada a palavra CAMERA para representar a CAR. A seguir tem-se a Tabela 5.1 com um resumo do elemento CAMERA e suas *timelines*.

Tabela 5.1 – Tabela de Elemento: CAR

Tabela de Elemento					
Nome	Câmera de Alta Resolução - CAMERA				
Timelines	Mode	Domínios - Enumerações	camera_no_power, camera_power_off, camera_stand_by e camera_imaging	ID's Housekeeping	2
	Moving	Domínios - Enumerações	true e false	ID's Housekeeping	4
	MirrorPosition	Domínios - Enumerações	mirror_minus_30_degr mirror_minus_29_degr mirror_minus_28_degr mirror_minus_27_degr mirror_minus_26_degr mirror_minus_25_degr mirror_minus_24_degr mirror_minus_23_degr mirror_minus_22_degr mirror_minus_21_degr mirror_minus_20_degr mirror_minus_19_degr mirror_minus_18_degr mirror_minus_17_degr mirror_minus_16_degr mirror_minus_15_degr mirror_minus_14_degr mirror_minus_13_degr mirror_minus_12_degr mirror_minus_11_degr mirror_minus_10_degr mirror_minus_9_degre mirror_minus_8_degre mirror_minus_7_degre mirror_minus_6_degre mirror_minus_5_degre mirror_minus_4_degre mirror_minus_3_degre mirror_minus_2_degre mirror_minus_1_degre mirror_at_nadir, mirror_plus_01_degre mirror_plus_02_degre mirror_plus_03_degre mirror_plus_04_degre mirror_plus_05_degre mirror_plus_06_degre mirror_plus_07_degre mirror_plus_08_degre mirror_plus_09_degre mirror_plus_10_degre mirror_plus_11_degre mirror_plus_12_degre mirror_plus_13_degre mirror_plus_14_degre mirror_plus_15_degre mirror_plus_16_degre mirror_plus_17_degre mirror_plus_18_degre mirror_plus_19_degre mirror_plus_20_degre mirror_plus_21_degre mirror_plus_22_degre mirror_plus_23_degre mirror_plus_24_degre mirror_plus_25_degre mirror_plus_26_degre mirror_plus_27_degre mirror_plus_28_degre mirror_plus_29_degre e mirror_plus_30_degre	ID's Housekeeping	3

O PSS fornece uma determinada quantidade de energia que varia entre 0 e 100 watts e essa energia é distribuída para cada componente do satélite. Para a pesquisa em questão, o importante será o consumo dessa energia realizado pela CAR que está descrito na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Consumo de Energia Realizado pela CAR

Consumo de Energia de acordo com cada estado da CAR	
	Energia em watts
imaging	70
moving	58
stand-by	56
power-off	0

Além disso, para o PSS existe uma *timeline* que representa o status linha de alimentação elétrica da CAR. A tabela a seguir representa a tabela do elemento PSS com suas *timelines* e recursos.

Tabela 5.3 – Tabela de Elemento: PSS

Tabela de Elemento					
Nome	PPS				
Timelines	CameraPowerlineStatus	Dominios - Enumerações	switched_on e switched_off	ID's Housekeeping	1
Recursos	Power	Quantidade Disponível	100	Forma de consumo	(X) Absoluta ( ) Taxa ____
		Consumer	CAMERA	ID initial consupction housekeeping parameter id	5

#### 5.2.1.2. Descrição comportamental

Nesta etapa devem-se identificar os comandos de cada um dos elementos modelados acima que levam a uma mudança de estado de suas *timelines* ou recursos.

Para identificar esses comandos foi necessário criar um diagrama (Figura 5.3) contendo todos os possíveis estados em que os elementos do sistema podem

se encontrar. Com base nestes estados, foram criados os comandos necessários para que o sistema mude de um estado para outro.

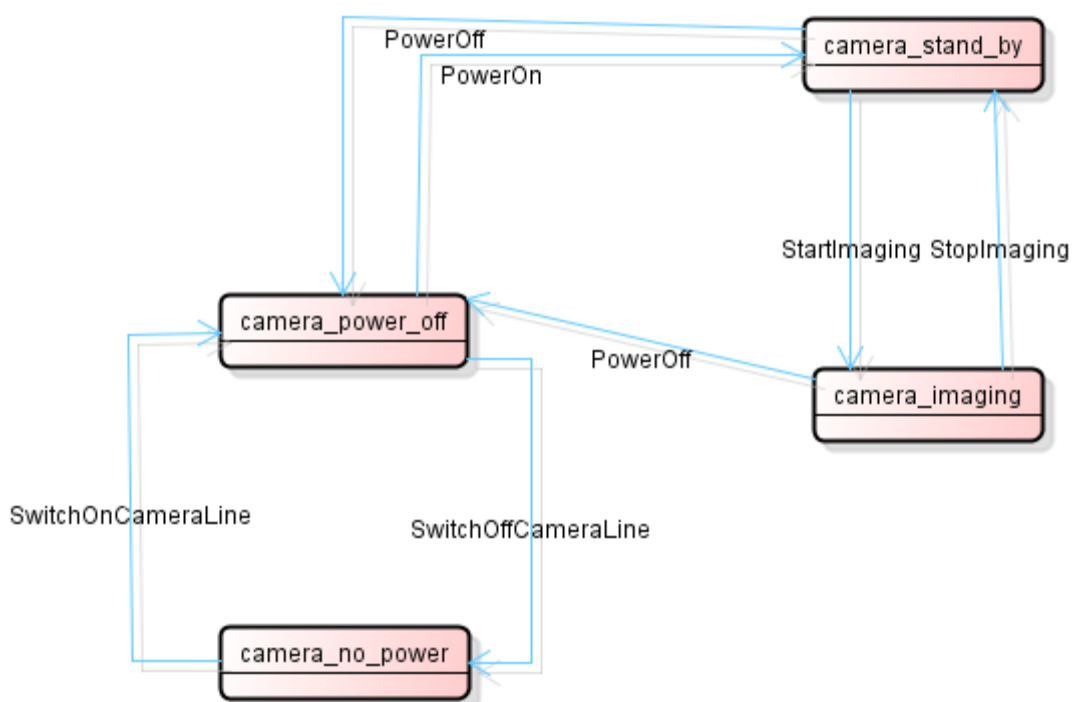


Figura 5.3 – Diagrama de Estados da CAR

O diagrama acima representa os modos de operação da CAR. Em outras palavras, esse diagrama representa todos os possíveis estados que a CAR pode se encontrar.

Analisando esse diagrama chega-se a conclusão que a CAR possui as seguintes ações: **PowerOn**, **PowerOff**, **StartImaging**, **StopImaging**. E o PSS possui as seguintes ações: **SwitchOnCameraLine** e **SwitchOffCameraLine**.

A descrição detalhada de cada uma das ações é feita a seguir:

- a) **SwitchOnCameraLine** é a ação que energiza a câmera;

- b) SwitchOffCameraLine é a ação que desliga a energia da câmera;
- c) PowerOn é a ação em que deixa a câmera em modo camera\_stand\_by e consumindo uma certa quantidade de energia;
- d) PowerOff é a ação em que deixa a câmera em modo camera\_power\_off e cessa o consumo de energia;
- e) StartImaging é a ação onde a câmera está realizando o imageamento, no modo camera\_imaging, e consumindo energia;
- f) StopImaging é a ação que coloca a câmera em modo câmera\_stand\_by.

Com base na análise feita nos itens anteriores chega-se a seguinte tabela de operações:

Tabela 5.4 - Tabela de Operações identificadas para o Modelo M2AI

Elemento	Ação ou Evento	Descrição	Précondições ou condição para ocorrência	Opera sobre ou consome
CAMERA	StartImaging	Coloca a câmera em Modo de Operação camera_imaging e a Energia do PSS deve ser consumida o suficiente para imagear.	O Modo de Operação da CAMERA deve ser camera_stand_by.	camera_timeline_mod e da CAMERA e pss_resource_power do PSS.

Continua

Tabela 5.4 - Continuação

CAMERA	StartImaging	Coloca a câmera em Modo de Operação camera_imaging e a Energia do PSS deve ser consumida o suficiente para imagear.	O Modo de Operação da CAMERA deve ser camera_stand_by.	camera_timeline_mod e da CAMERA e pss_resource_power do PSS.
	StopImaging	Coloca a câmera em Modo de Operação camera_stand_by.	O Modo de Operação da CAMERA deve ser camera_imaging e a Energia do PSS deve ser consumida o suficiente para ficar em camera_stand_by.	camera_timeline_mod e da CAMERA e pss_resource_power do PSS.
	PowerOn	Liga a câmera e a coloca no Modo de Operação camera_stand_by e a Energia do PSS deve ser consumida o suficiente para ficar em camera_stand_by.	O Modo de Operação da CAMERA deve ser camera_power_off.	camera_timeline_mod e da CAMERA e pss_resource_power do PSS.

Continua

Tabela 5.4 - Conclusão

CAMERA	PowerOff	Desliga a câmera e a coloca em Modo de Operação camera_power_off e a Energia do PSS deve parar de ser consumida.	O Modo de Operação da CAMERA deve ser camera_standby, camera_imaging ou camera_moving.	camera_timeline_mode da CAMERA e pss_resource_power do PSS.
PSS	SwitchOnCameraLine	Liga a linha de alimentação da camera colocando a câmera em Modo de Operação camera_power_off.	O Modo de Operação da CAMERA deve ser camera_power_off e o Status de Alimentação do PSS deve ser switched_off.	camera_timeline_mode da CAMERA e pss_resource_power do PSS.
	SwitchOffCameraLine	Desliga a linha de alimentação da camera e coloca a câmera em Modo de Operação camera_no_power.	O Modo de Operação da CAMERA deve ser camera_power_off e o Status de Alimentação do PSS deve ser switched_on.	camera_timeline_mode da CAMERA e pss_resource_power do PSS.

As considerações tomadas para essa modelagem são as seguintes:

- a) A maioria das operações modifica o estado de uma, ou duas, *timelines*;

- b) Não é modelado o tamanho da memória para o PFI, pois isso não afetaria a ideia principal da missão, apenas introduziria uma nova regra de comportamento, o que não provoca mudanças importantes para a ideia central de priorizar os objetivos. A introdução do tamanho da memória apenas mudaria a forma como o planejador decidiria como atender aos objetivos finais;
- c) O centro do foco da câmera CMR estará a 90 graus de distância do centro do foco da CAR.

### **5.3. Representação do Problema para o Processamento a Bordo**

Como citado anteriormente, após a descrição estrutural e comportamental do domínio é necessário utilizar o parser da GOESA para a geração do modelo embarcado que será um código fonte em linguagem C++. Esse processo é representado na Figura 2.3 e o código fonte que representa o resultado se encontra no Anexo A.

### **5.4. Resultados do uso do Modelo Embarcado aplicado a GOESA sem o Priorizador**

Neste item serão demonstradas duas execuções do SEMAI na arquitetura da GOESA para a missão M2AI, uma contendo apenas objetivos que a GOESA pode atender e outra contendo objetivos conflitantes.

Cabe destacar aqui que a GOESA possui um protótipo de Gerenciador de Objetivos que não faz nada, ele apenas recebe os objetivos e os envia da forma como recebeu para o planejador. Em outras palavras, existe a necessidade de existir este módulo, mesmo que ele não realize nenhuma atividade importante. A intenção da execução do SEMAI para objetivos conflitantes é a de demonstrar o comportamento dessa sem o PFI, porém utilizando o protótipo do Gerenciador de Objetivos, provando assim a necessidade da criação deste. Neste ponto cabe destacar que por já estar com

o modelo da missão embarcado subentende-se que quando se fala em executar o SEMAI ou executar a GOESA trata-se da mesma coisa. Mas isso só é válido devido ao fato da arquitetura GOESA estar trabalhando com o modelo embarcado da missão M2AI.

#### **5.4.1. Estudo de caso 1 – A CAR é Capaz de Atender Todos os Objetivos Recebidos**

Para o primeiro estudo de caso será escolhido um número pequeno de focos de incêndio, pois o objetivo é apenas demonstrar que a GOESA funciona corretamente quando utilizada para a M2AI, e introduzir o leitor aos passos que a GOESA realiza para atender todos objetivos.

Os objetivos desse estudo de caso estão representados na Tabela 5.5 a seguir:

Tabela 5.5 - Objetivos do Estudo de Caso 1 - A CAR é Capaz de Atender todos os Objetivos Recebidos

Objetivos	Tempo inicial	Tempo final	Ângulo
0	300000	400000	15
1	500000	600000	-7

Para essa execução a GOESA deve ser inicializada com a seguinte configuração: a CAR deve iniciar suas atividades no ângulo '0', estar desligada e sem energia. O tempo da sessão de inferência, ou seja, tempo de planejamento de atendimento aos objetivos, deve ser de 0 até 999999 milissegundos.

Ao executar a GOESA para esses dois objetivos esta arquitetura realiza as ações detalhadas na Tabela 5.6 atendendo ambos objetivos corretamente. Essas ações fazem parte do plano gerado pelo planejador com a finalidade de atender esses objetivos.

Tabela 5.6 – Ações realizadas pela GOESA para atender o Caso de Estudo 1 - A  
CAR é Capaz de Atender todos os Objetivos Recebidos

Lista de Ocorrências						
Tempo	Ação	timeline afetada	Valor	Resource	R Consum er	R value
0	start sessão	1 - pss_timeline_camerapo werlinestatus	0 - switched_of f	1 - pss_resource _power	0	0
		2 - camera_timeline_mode	0 - camera_no _power			
		3 - camera_timeline_mirro rposition	0			
		4 - camera_timeline_movin g	0			
273000	1 - pass_action_swi tchoncameralin e	1 - pss_timeline_cameralin estatus	1 - switched_o n			
		2 - camera_timeline_mode	1 - camera_po wer_off			
274000	3 - camera_action_ poweron	2 - camera_timeline_mode	2 - camera_sta nd_by	1 - pss_resource _power	0	56

Continua

Tabela 5.6 – Continuação

297500	8 - camera_action_ movemirrorri gth	3 - camera_timeline_mirr orposition	31(1)	1 - pss_resourc e_power	0	58
		4 - camera_timeline_movi ng	1 - true	1 - pss_resourc e_power	0	56
297599	endogeno	4 - camera_timeline_movi ng	0 - false	1 - pss_resourc e_power	0	56
	...					
299000	5 - camera_action_ startimaging	2 - camera_timeline_mod e	3 - camera_im aging	1 - pss_resourc e_power	0	70
402000	6 - camera_action_ stopimaging	2 - camera_timeline_mod e	2 - camera_sta nd_by	1 - pss_resourc e_power	0	56
496800	7 - camera_action_ movemirrorle ft	3 - camera_timeline_mirr orposition	44 (14)	1 - pss_resourc e_power	0	58
		4 - camera_timeline_movi ng	1 - true			
496899	endogenous	4 - camera_timeline_movi ng	0 - false	1 - pss_resourc e_power	0	56
	...					

Continua

Tabela 5.6 - Conclusão

499000	5 - camera_action _startimaging	2 - camera_timeline_mod e	3 - camera_im aging	1 - pss_resourc e_power	0	70
602000	6 - camera_action _stopimaging	2 - camera_timeline_mod e	2 - camera_sta nd_by	1 - pss_resourc e_power	0	56

Para melhor atender a esses objetivos a seguir tem-se uma breve explicação da Tabela 5.6.

Inicialmente a GOESA inicializou uma sessão no tempo '0'. Neste momento, a CAR deve estar desligada, apontando para a posição de 90°, ou seja, para o Nadir.

No tempo 273000 milissegundos, a CAR dever estar energizada, porém ainda desligada.

No tempo 270000 milissegundos, a CAR deverá ser ligada e colocada no modo *stand\_by*, modo em que fica aguardando instruções sem executar nenhuma ação.

No tempo 29750 milissegundos, a CAR deverá começar a se mover e a cada 100 milissegundos o evento endógeno deverá garantir que ela pare de se mover, fazendo com que ela se mova 1° a cada 100 milissegundos. Esse evento deverá ocorrer até que a CAR chegue ao ângulo desejado de 15°. Essa repetição está representada pelo símbolo '...' na tabela.

No instante 299000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No instante 402000, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *standy\_by*.

No instante 496800, a CAR começa a se movimentar até que alcance o ângulo de  $-7^{\circ}$ .

No tempo 499000, a CAR começa a imagear novamente.

E, finalmente no tempo 602000, a CAR para de imagear e fica aguardando novos objetivos, por isso ela não será desligada e permanecerá em *stand\_by*.

Analisando o comportamento da GOESA para a M2AI, observa-se que a GOESA realiza as atividades conforme a Figura 5.3. Inicialmente ela é energizada, depois ligada e colocada em modo de *stand\_by*, depois é movimentada até o ângulo desejado, começa a imagear e sua última ação é quando para de imagear. Dois detalhes importantes são que a CAR recebe o comando para imagear 1000 milissegundos antes do momento recebido e somente para de imagear 2000 milissegundos depois do tempo desejado.

#### **5.4.2. Estudo de caso 2 – A CAR não Possui Tempo Suficiente para se Movimentar e Alcançar Todos os Objetivos Recebidos**

Para esse estudo de caso serão enviados objetivos conflitantes para analisar o comportamento da GOESA sem o PFI.

Os objetivos desse estudo de caso estão representados na Tabela 5.7 a seguir:

Tabela 5.7 - Objetivos do Estudo de Caso 2 – A CAR não Possui Tempo Suficiente para se Movimentar e Alcançar todos os Objetivos Recebidos

Objetivo	Tempo inicial	Tempo final	Ângulo
0	100000	120000	0
1	200000	250000	-7
2	210000	245000	0
3	220000	230000	5
4	400000	450000	-7
5	410000	440000	4
6	413000	430000	8
7	600000	650000	-7
8	603000	640000	0
9	620000	630000	8

Para essa execução, a GOESA deve ser inicializada com a seguinte configuração: a CAR deve iniciar suas atividades no ângulo '-30', estar configurada como desligada e sem energia. . O tempo da sessão de inferência, ou seja, tempo de planejamento de atendimento aos objetivos, deve ser de 0 até 999999 milissegundos.

O resultado apresentado pela GOESA foi o seguinte:

**\*\* PLANNING FINISHED WITH TIMEOUT !!! \*\***

The last 0 planning loop iterations took 3641476 ms

Como se pode observar, a GOESA não foi capaz de atender a esses objetivos o que causou o comportamento anterior. Por este motivo, justifica-se a necessidade de se desenvolver o PFI.

## **6 A MODELAGEM DO PROBLEMA DO PRIORIZADOR DE FOCOS DE INCÊNDIOS**

Como vimos no capítulo anterior a GOESA não obteve êxito quando introduzimos objetivos conflitantes, assim observamos a necessidade de resolver este problema. E, como já foi dito anteriormente, o responsável por essa tarefa é o Gerenciador de Objetivos da GOESA, que para o SEMAI, será chamado de Priorizador de Focos de Incêndios (PFI).

Assim, a próxima etapa necessária seria a introdução do PFI no SEMAI e para isso precisa-se desenvolvê-lo. Para esse desenvolvimento ser adequado é necessário encontrar uma técnica para ser aplicada nesta tarefa de implementação, e por isso, esse capítulo se dedica a explicar algumas técnicas que poderiam atender as necessidades do PFI.

Para definir a técnica a ser utilizada para a resolução do problema dos focos de incêndio no PFI, inicialmente fez-se um modelo contendo as informações que devem ser manipuladas por este, e os respectivos resultados esperados dessas manipulações.

As informações de entrada são os objetivos a imagear, ou seja, são os focos de incêndio detectados pela CMR. Os resultados esperados são os objetivos que a CAR deve imagear. E é devido a essas características que o Gerenciador de Objetivos recebe o nome de Priorizador de Focos de Incêndios.

O foco de incêndio é representado na forma  $(a, t_i, t_f)$ , onde 'a' é o ângulo onde a câmera deverá imagear, 't<sub>i</sub>' é o tempo inicial em que se começa o imageamento pela CAR e 't<sub>f</sub>' o tempo final em que se para o imageamento.

A imagem a seguir (Figura 6.1) é um exemplo de vários objetivos que deverão servir de entrada para o PFI. Na imagem os objetivos são representados pelos retângulos denominados pelas letras de A até N.

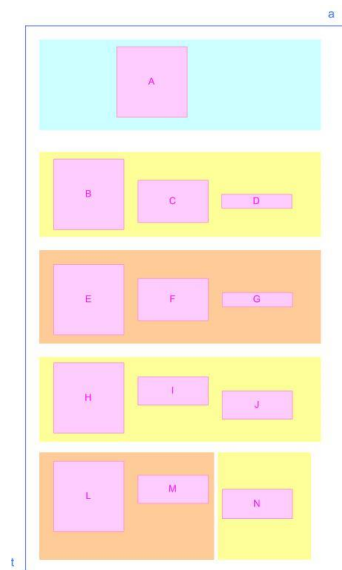


Figura 6.1 – Objetivos Recebidos Como Entrada Para o Priorizador de Focos de Incêndios

Importante ressaltar que 't', na mesma figura, representa o tempo de órbita, logo ele equivale a 100 minutos e deve ser zerado toda vez que passar em um marco definido como marco zero. O marco zero da M2AI será a estação de Cuiabá. E o ângulo 'a' representa a posição, em relação ao tempo, na qual se encontra o incêndio na região a ser imageada.

Para o modelo foi necessário definir o tempo em que a câmera leva para movimentar o espelho em um grau, pois a partir desse dado pode-se calcular o tempo de reposicionamento da CAR para o próximo foco de incêndio a ser imageado. Esse tempo é de 100 milissegundos.

O tempo que a câmera leva para mudar de posição, mais o tempo que ela leva para começar imagear (1000 milissegundos) e mais o tempo em que ela leva para parar de imagear (2000 milissegundos) deve ser calculado para encontrarmos o tempo total em que a câmera leva para começar a imagear o próximo foco de incêndio. Com base nesse cálculo, consegue-se prever se a CAR conseguirá mudar de posição com tempo suficiente para imagear o próximo foco de incêndio.

Além disso, é importante definir uma tabela contendo quais áreas são importantes e o nível de importância de cada área (áreas coloridas em amarelo, laranja e azul da Figura 6.1 e que estão representadas numericamente na Tabela 6.1). Essas áreas são importantes, pois em alguns momentos será necessária a escolha entre uma delas para ser imageada. Essa escolha é necessária quando a CAR não conseguir imagear as duas simultaneamente. Por exemplo, quando não houver tempo suficiente para a CAR se mover e imagear-las a câmera deverá imagear apenas a área considerada de maior prioridade.

As áreas de prioridades, assim como as áreas a serem imageadas, estão sendo representadas por áreas retangulares apenas por ser uma simplificação para o modelo, pois normalmente elas teriam formas variadas. Essa simplificação não altera o resultado da implementação do PFI.

Essas áreas serão definidas como importantes de acordo com as necessidades dos usuários dos dados gerados pelo satélite e da equipe que gerenciará a missão. Entre as necessidades têm-se as áreas de preservação ambiental, que são as mais importantes, as áreas que os usuários pediram para serem imageadas e as fazendas, sendo essas últimas de menor importância com relação às demais.

Na Tabela 6.1 a coluna 'ai' representa o ângulo inicial da área, a 'af' é o ângulo final, 'ti' é o tempo de órbita inicial referente ao ângulo a ser imageado, e o 'tf' é o tempo de órbita final referente a esse mesmo ângulo e 'p' é o valor que representa a prioridade da área. A Figura 6.2 ilustra a representação de uma área.

Tabela 6.1 – Importância da Área

Área	ai	af	Ti	Tf	p
0	-30	30	100000	120000	1
1	-30	30	200000	240000	2
2	-30	30	240000	500000	3
3	-30	5	600000	650000	4
4	6	30	600000	650000	5

Para a Tabela 6.1 pode-se considerar que existem 5 áreas cadastradas e de 5 prioridades diferentes. Importante ressaltar que um mesmo valor de área de prioridade pode ser repetido quantas vezes necessário e que áreas não cadastradas recebem automaticamente o valor '0' como prioridade (ou seja, o valor de menor prioridade).

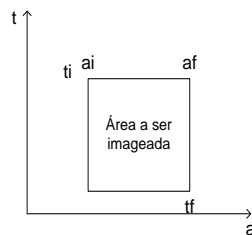


Figura 6.2 - Exemplo de representação de uma área

Para definir quais serão os objetivos a serem cumpridos serão necessárias algumas regras a serem seguidas:

- a) Dados os objetivos A, B, nos quais  $ti(A)$  seja menor que  $ti(B)$  e caso o  $tf(A)$  seja menor que o  $ti(B)$  verificar se a câmera terá tempo suficiente

para mudar de posição e imagear os dois, se possuir o tempo suficiente ela deverá imagear os dois, caso contrário, irá imagear o de maior prioridade. Caso tenha a mesma prioridade, verifique se estão em conflito, se estiverem em conflito imagear o mais perto, senão imagear o A e não faz nada no B;

- b) Dados os objetivos A e B, caso o  $ti(A)$  seja igual ao  $ti(B)$  imagear o de maior prioridade. Caso tenha a mesma prioridade, verifique se estão em um mesmo intervalo de referência, se estiverem, imagear o mais perto, senão imagear o A e não o B;
- c) Dados os objetivos A, B e C, onde  $ti(A)$  seja menor que  $ti(C)$ , e  $ti(A)$  seja menor que  $ti(B)$  e caso o  $tf(A)$  seja maior que o  $ti(B)$ , verifica-se a prioridade  $p(A)$  e  $p(B)$  :
  - a. Se  $p(A)$  maior que  $p(B)$ , imagear A e não o B;
  - b. Se  $p(A)$  menor que  $p(B)$ , imagear B e não o A;
  - c. Se  $p(A)$  igual a  $p(B)$ , verifica se existe tempo hábil para imagear os dois, em caso positivo imagear os dois sendo que o B parcialmente, se não imagear o mais perto.

Essas regras são as regras que deverão ser modeladas para serem embarcadas no PFI, por isso o modelo recebe a denominação de Modelo de Regras Embarcado.

Com base nessas regras, pode-se criar um fluxo de como o sistema deve se comportar diante das regras encontradas. A seguir, tem-se duas figuras que representam esse comportamento, porém em situações diferentes: a Figura 6.3 (Situação A) representa o caso em que o tempo final do próximo objetivo é menor que o tempo final do anterior, e a Figura 6.4 (Situação B) representa o comportamento oposto ao anterior.

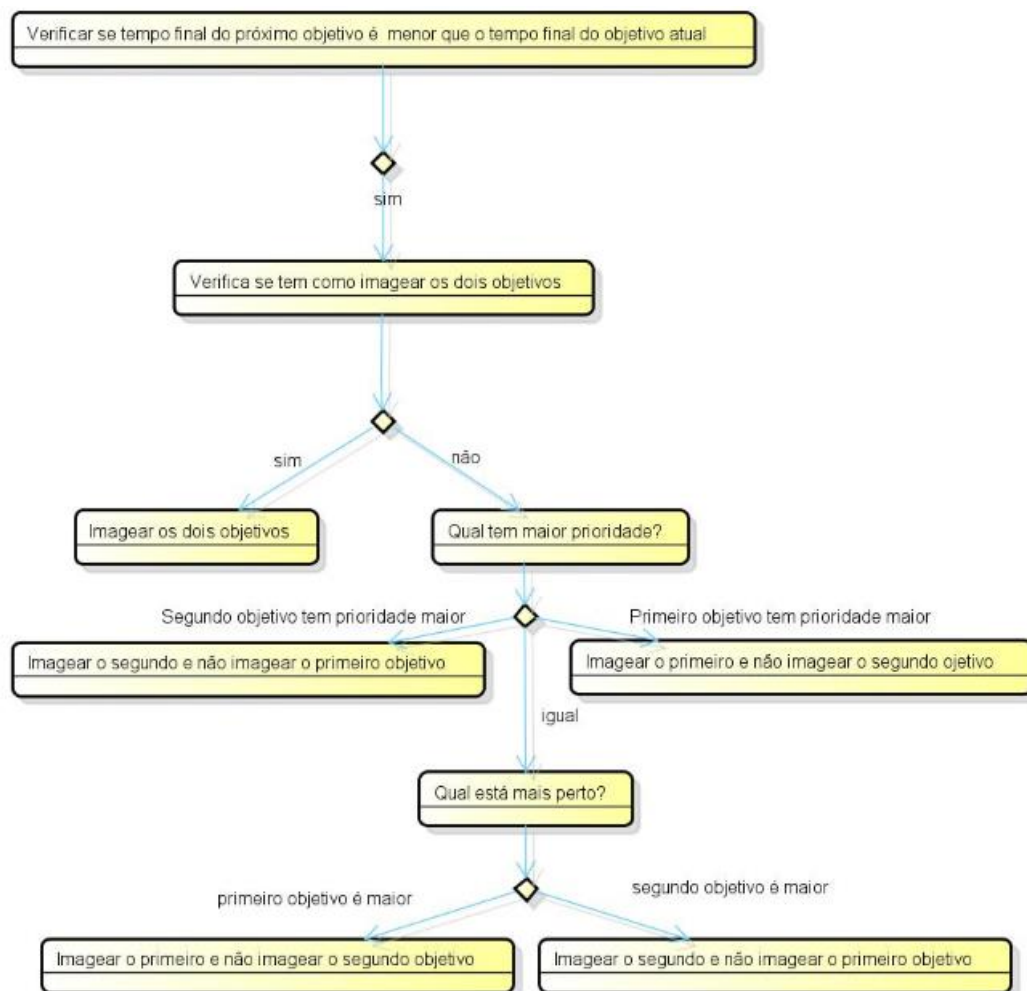


Figura 6.3 – Fluxo do Comportamento do Sistema, Situação A

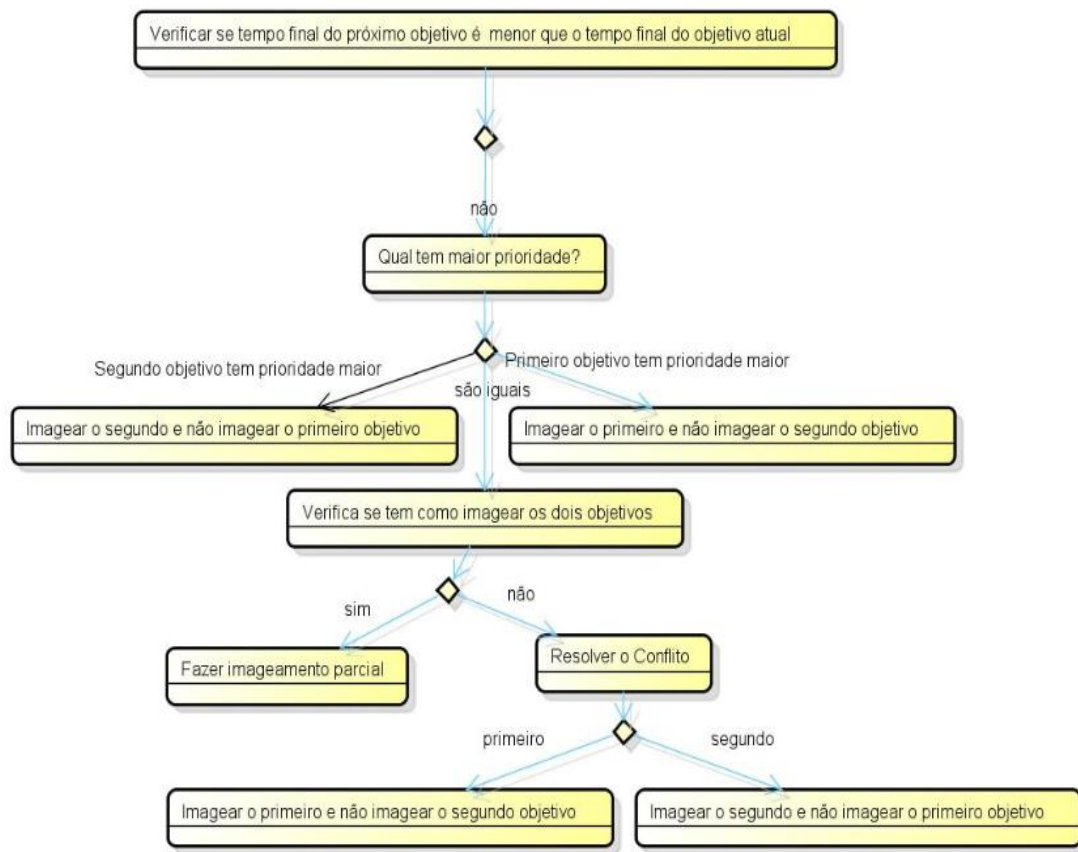


Figura 6.4 - Fluxo do Comportamento do Sistema, situação B

À partir das informações citadas neste item é possível saber quais os dados serão manipulados e, também, conhecer algumas das regras de comportamento do sistema. Com essas informações já é viável escolher as possíveis técnicas de solução para este problema e decidir qual é a mais adequada entre as estudadas.

## 6.1. Possíveis Técnicas para a Solução do Problema

### 6.1.1. Técnicas de Solução de Problemas Baseada na Busca em Grafos

Para a solução dos conflitos encontrados pelo PFI pode-se buscar o uso de uma técnica clássica de busca de soluções. Para o uso desta técnica, inicialmente precisa-se visualizar o problema através de grafos. Esta forma de

representação permite ao pesquisador em Inteligência Artificial aplicar vários teoremas da área (SCHILDT, 1989).

Para o problema do PFI pode-se gerar o grafo de restrições da seguinte forma:

O nó de um grafo representa o foco de incêndio que deverá ser imageado, o nó terminal seria o último foco de incêndio recebido, o espaço de busca seria todos os nós, e o objetivo do grafo seria percorrer os nós até chegar ao último foco de incêndio tentando percorrer o maior número de nós possível. Heurísticas seriam as regras para percorrer esses nós com o melhor caminho possível, e o caminho-solução seria um grafo dirigido de nós visitados que levam a solução do problema. A Figura 6.5 representa um modelo desse grafo.

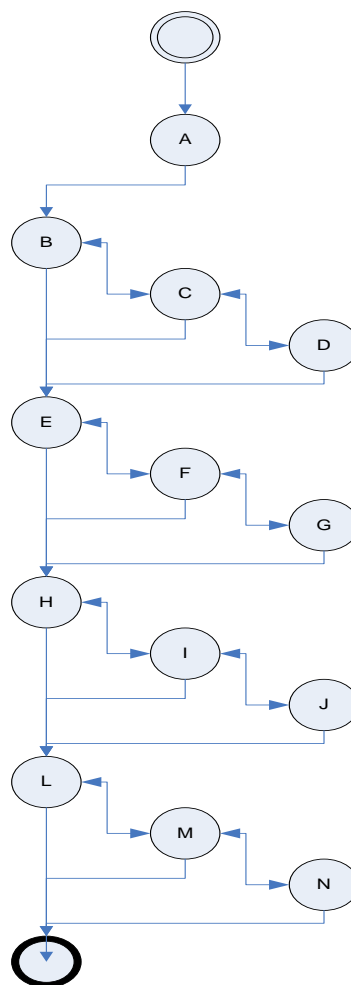


Figura 6.5 - Grafo do Modelo

Porém, pode-se visualizar o problema utilizando a representação em forma de árvore o que facilitaria seu entendimento. A figura a seguir (Figura 6.6) usa essa representação em árvore.

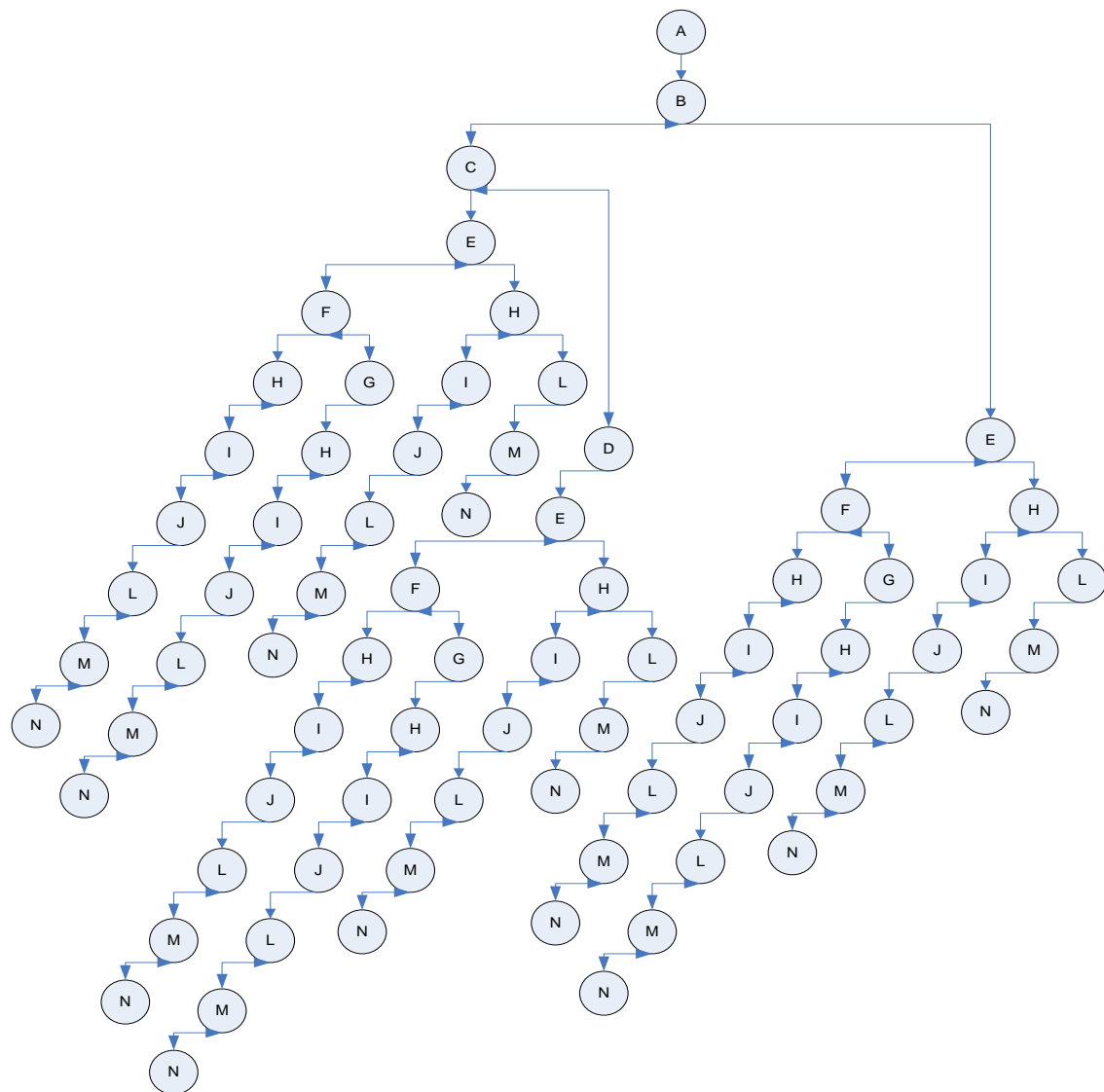


Figura 6.6 - Árvore do Modelo

Para encontrar a solução para esses tipos de problemas utiliza-se algoritmos de busca (WIKIMEDIA FOUNDATION, 2013). Essa técnica permite encontrar várias soluções para o problema. Então nota-se que pode acontecer uma explosão combinatória, caso tente utiliza-la de forma exaustiva. Para evitar que

isso ocorra, existem outras formas de se buscar o resultado aplicando técnicas de buscas específicas, tais como:

- a) busca em profundidade (*depth-first*);
- b) busca em nível ou largura (*breadth-first*);
- c) busca subindo morro (*Hill-climbing*);
- d) busca do menor custo (*least-cost*).

Os próximos itens desse tópico descrevem brevemente essas técnicas e indicam quais delas poderiam ser utilizadas para solucionar o problema do Priorizador de Focos de Incêndios.

#### **6.1.1.1. Técnica de busca em profundidade**

Essa técnica explora cada caminho possível até encontrar a solução antes de tentar outro caminho.

“esse tipo de percurso, você vai para a esquerda na árvore até encontrar um nó terminal ou o objetivo. Se encontrar um nó terminal, então retorna um nível, segue para a direita e vai para a esquerda até encontrar o objetivo ou um nó terminal.” (SCHILDT, 1989)

Isso se repete até encontrar o objetivo ou ter examinado o último nó do espaço de busca.

Em casos extremos, essa busca poderia ser muito demorada e entraria na situação da busca exaustiva, assim essa técnica atenderia ao problema, mas não seria viável para o PFI devido ao tempo que poderia levar para encontrar a solução.

#### **6.1.1.2. Técnica de busca em nível**

Essa técnica é oposta à busca em profundidade, sendo que ela deverá buscar a solução em cada nó da árvore pertencente ao mesmo nível antes de mudar

para o próximo nível (SCHILDT, 1989). Isso, assim como na técnica anterior, pode levar à busca exaustiva, não sendo também adequada para a solução do problema em questão.

Cabe observar que a busca em nível tem maior probabilidade de encontrar a solução ótima que a busca em profundidade. Porém, a solução que precisa ser encontrada para o problema do PFI é que se percorra o maior número de nós possíveis, e isso exigiria que o algoritmo chegasse ao último nível da árvore, ou seja, a um nó final. Tal característica também eliminaria essa técnica, pois o caminho ótimo é o caminho que chega a solução através do menor número possível de nós percorridos.

#### **6.1.1.3. Heurísticas**

Como visto nos itens anteriores esses problemas geralmente apresentam alta complexidade e são custosos. Isso exige o uso de métodos heurísticos para que se possam resolver tais problemas em tempo aceitável (BERETTA, 2013). “Heurísticas são simplesmente regras que qualificam a possibilidade de uma busca estar se processando da direção correta” (SCHILDT, 1989).

Os próximos itens citarão brevemente alguns algoritmos baseados em busca de profundidade com heurísticas.

#### **6.1.1.4. Técnica de busca subindo morro**

Também chamada de *Hill-climbing*, “essa técnica escolhe como seu próximo passo o nó que parece posicionar-se o mais perto do objetivo” (SCHILDT, 1989). Poderíamos aplicá-la na solução do problema em questão se adotássemos algumas heurísticas que a levassem de forma mais rápida para a solução.

Essa técnica possui três características negativas: falsos morros, platôs e serras que são quando não é possível definir se as soluções são boas ou ruins, dificultando na escolha da melhor opção.

A solução ótima é encontrada de forma mais rápida do que sem utilizar as heurísticas.

#### **6.1.1.5. Técnica de busca menor custo**

Essa “técnica é oposta ao técnica subindo morro” (SCHILDT, 1989), pois escolhe a variável de menor custo, ou seja, ela tenta encontrar o menor caminho possível diminuindo a distância percorrida, otimizando o tempo de percurso. Para isso ela busca o nó que esteja o mais próximo possível da sua posição atual.

Assim como na técnica anterior, essa técnica possui as mesmas três características negativas: falsos morros, platôs e serras que são quando não é possível definir se as soluções são boas ou ruins, dificultando na escolha da melhor opção.

A solução ótima, com a aplicação desta técnica, é encontrada de forma mais rápida do que sem utilizar as heurísticas.

#### **6.1.2. Problemas de Satisfação de Restrições**

A técnica de Problemas de Satisfação de Restrições (*Constraints Satisfaction Problems*, CSP) (RUSSEL;NORVIG, 2004) é utilizada pelo Modelo Embarcado e Planejador da GOESA, o que a torna uma candidata natural à implementação do PFI.

O CSP é um processo utilizado para encontrar a solução para um conjunto de restrições, as quais impõem condições para a atribuição de valores das variáveis. Portanto, a solução é um conjunto de valores que satisfazem as variáveis e atendem as restrições. Os CSP's são estudados em duas grandes áreas: Inteligência Artificial e Pesquisa Operacional.

A definição de um CSP é um problema de satisfação de restrições e definido com uma tripla  $\langle X, D, C \rangle$ . Onde  $X$  é representa o conjunto de variáveis,  $D$  o

domínio dos valores e  $C$  o conjunto de restrições. Assim, toda restrição  $c \in C$  é um par  $\langle t, R \rangle$ , onde  $t$  é uma  $n$ -tupla de variáveis e  $R$  é uma relação matemática  $n$ -ária em  $D$ . A avaliação das variáveis é uma função de variáveis para o domínio de valores  $v : X \rightarrow D$ . Essa avaliação  $v$  satisfaz as restrições  $\langle (x_1, \dots, x_n), R \rangle$  se  $(v(x_1), \dots, v(x_n)) \in R$ . A solução é uma avaliação que satisfaz todas as restrições.

O problema da satisfação de restrições sobre domínios finitos é tipicamente resolvido utilizando uma forma de algoritmo de busca. Dentre as técnicas mais usadas estão variantes dos algoritmos de busca com retrocesso ou ‘*backtracking*’, propagação de restrições e busca local que serão exploradas a seguir (RUSSEL;NORVIG, 2004).

#### **6.1.2.1. Busca com retrocesso para CSP**

A busca com retrocesso mantém uma atribuição de valores parcial das variáveis de um conjunto à medida em que é executada. Inicialmente, todas as variáveis não possuem valores atribuídos. A cada passo tomado, uma variável é escolhida, e todos os possíveis valores para a mesma são testados. Isso se repete até se chegar à solução desejada.

Pode-se aplicar a esse algoritmo algumas técnicas que checam a consistência das variáveis. Para cada valor, é checada a consistência parcial do conjunto. Quando todos os valores tiverem sido avaliados com relação à consistência, caso este conjunto não seja satisfeito, tem-se o início do processo de retornar ao passo anterior e tentar uma nova configuração (WIKIMEDIA FOUNDATION, 2013).

As técnicas de consistências são conhecidas por ‘técnica de consistência de nó’ e ‘técnica de consistência de arco’. Ao aplicá-las em um CSP pode-se ocorrer a remoção de valores dos domínios das variáveis de decisão que levam a inconsistências até se encontrar uma solução (TAVARES, 2000).

As variáveis e seus valores devem ser ordenados durante a execução desse algoritmo. Para decidir qual a variável seguinte utilizam-se os métodos de 'heurísticas de valores restantes mínimos' e de 'heurísticas de grau'.

A 'heurística de valores restantes mínimos', também chamada 'variáveis mais restritas' (VMR), é a escolha da variável de menor número de valores válidos. Em outras palavras, ela escolhe a variável com maior probabilidade de causar falhas em breve.

A "heurística de grau" "tenta reduzir o fator de ramificação em escolhas futuras selecionando a variável envolvida no maior número de restrições sobre as outras variáveis não atribuídas" (SCHILDT, 1989).

#### **6.1.2.2. Técnica propagação de restrições para CSP**

Técnicas de propagação de restrições são métodos que modificam o problema da satisfação de restrições, pois através destas técnicas são impostas consistências locais que também devem estar relacionadas com a consistência de um grupo de variáveis e/ou restrições. Essa forma de consistência seriam restrições utilizadas para ajudar na escolha de qual seria o próximo passo a ser escolhido pelo algoritmo.

A expressão "propagação de restrições" é utilizada aqui para indicar a propagação das implicações de uma restrição sobre uma variável para outras variáveis. Isso deve ser feito de forma rápida para que seja viável.

Essa técnica foi apontada por Kucinskis (2012) como uma técnica a ser explorada no desenvolvimento de um Gerenciador de Objetivos para a GOESA, sendo portanto, candidata à implementação do PFI.

#### **6.1.2.3. Busca com retrocesso inteligente para CSP**

O retrocesso ocorre quando não é possível encontrar nenhuma atribuição válida para uma variável. Existem algumas alternativas de se realizar esse

retrocesso. Uma alternativa simples, porém não muito eficiente, seria a de retrocesso cronológico, no qual caso identifique uma falha, o algoritmo deve retornar no ramo de busca até a variável precedente e experimentar um novo valor para esta. Outra forma de retrocesso mais viável é retorno orientado por conflito que efetue o retrocesso diretamente para a origem do problema.

#### **6.1.2.4. Busca local para CSP**

Os algoritmos de busca local são muito eficazes na resolução de problemas de satisfação de restrições. Estes utilizam uma formulação de estados completos: o estado inicial atribui um valor a cada variável e a função sucessor, que busca o próximo nó, em geral funciona alterando o valor de uma variável de cada vez. O algoritmo de busca subindo morro estudado anteriormente é um exemplo de busca local para resolução de CSP (SCHILDT, 1989).

Russel (RUSSEL;NORVIG, 2004) descreve: “Na escolha de um novo valor de uma variável, a heurística mais óbvia é selecionar o valor que resulta no número mínimo de conflitos com outras variáveis”, ou seja, heurística de conflitos mínimos.

A busca local utilizando a heurística de conflitos mínimos tem sido aplicada com grande sucesso a problemas de CSP.

#### **6.1.2.5. Rede de tarefas hierárquicas**

Outra técnica avaliada no desenvolvimento da GOESA, mas não adotada por ela, é a de Redes de Tarefas Hierárquicas (HTN do inglês *Hierarchical Task Networks*). Essa técnica é uma especialização do CSP.

Essa técnica busca refinar um plano com a decomposição hierárquica de tarefas abstratas. Ela reduz essas tarefas até que essas se tornem tarefas primitivas, que são aquelas que podem ser executadas diretamente pelo executor do plano.

Porto descreve (2006, p. 53): “O planejamento através de HTN é uma abordagem ao planejamento automático baseado em abstração na qual a dependência entre as ações podem ser dadas na forma de uma rede”.

Seu objetivo é a produção de sequências de ações que realizam algumas atividades ou tarefas obedecendo a suas restrições de ordenação.

No PFI as suas tarefas são simples, não sendo possível fazer uma divisão destas em subtarefas mais simples até chegar nas tarefas mais primitivas, em outras palavras, as tarefas são atômicas. O PFI apenas tem a missão de resolver os conflitos, ou inconsistência, de objetivos que são considerados aqui como tarefas.

Para justificar o uso de HTN, seria necessária a existência de tarefas compostas para serem modeladas como uma rede onde seriam decompostas até se tornarem atômicas para, somente então, aplicarem as restrições que seriam as relações entre essas tarefas.

A

Figura 6.7 abaixo ilustra como seria para o Priorizador de Focos de Incêndios caso pudesse aplicar HTN.

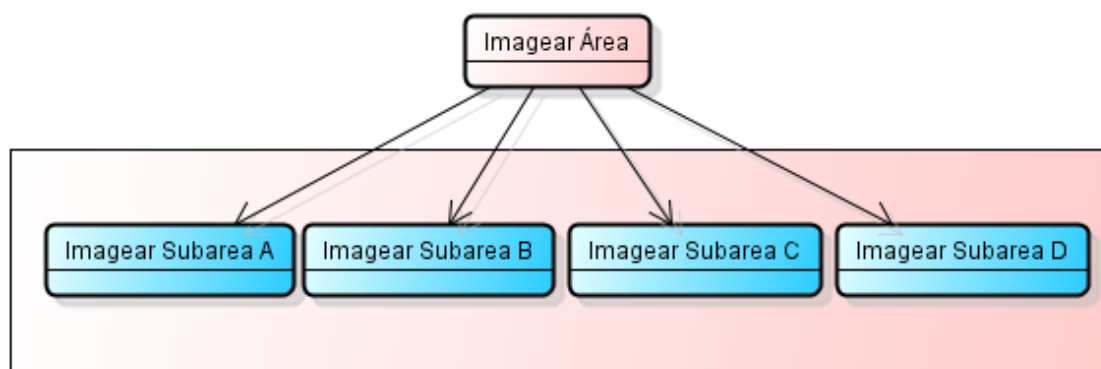


Figura 6.7 - Representação de Como Seria uma HTN

#### **6.1.2.6. Álgebra temporal de intervalos**

A representação do problema do conhecimento temporal e do raciocínio temporal é aplicada a algumas disciplinas, entre elas tem-se a ciência da computação. Na ciência da computação ela é aplicada entre outras áreas em sistemas de informação e inteligência artificial.

Vilain (VILAIN et al, 1986) descreve: “Allen e Koomen desenvolveram um algoritmo que tem um sistema de planejamento dependente de álgebra temporal para executar um raciocínio de ações”. Nesse algoritmo, um intervalo baseado em lógica temporal é introduzido a um algoritmo de propagação de restrições (ALLEN, 1983). Sendo assim, essa técnica é uma especialização de CSP.

De acordo com Vilain, a álgebra temporal de intervalos de Allen é considerada uma técnica de raciocínio temporal. Para utilizar essa técnica deve-se notar que o domínio do problema contém uma hierarquia temporal implícita e que se pode controlar com precisão um conjunto de deduções que o sistema deve realizar de forma automática (ALLEN, 1983).

Essa técnica descreve a representação temporal utilizando-se da noção de intervalo, além disso, ela possui um método de representação de relações entre esses intervalos de forma hierárquica, utilizando para esse fim as técnicas de propagação de restrições. Ela também utiliza-se de intervalos de referência que será explicado mais adiante.

Segundo Allen, as aproximações necessárias para uma representação temporal são:

- a) Admitir precisão insignificante;
- b) Admitir incerteza da informação;

- c) Admitir variedade na granulidade do tempo, ou seja, o tempo pode ser representado em diversas unidades como segundos, minutos, horas, etc.;
- d) O modelo deve ser persistente.

O modelo de Allen utiliza o intervalo de tempo. Ele é constituído por um conjunto totalmente ordenado de pontos de tempo, ou seja, de pontos que representam um instante. Os intervalos desse modelo são pares ordenados de pontos de tempo onde o primeiro ponto é menor que o segundo ponto. Sendo assim, podem-se captar relações temporais entre os intervalos de tempo do modelo.

A Tabela 6.2 a seguir representa as relações que podem existir entre dois intervalos de tempo. As variáveis 't' e 's' são dois intervalos de tempo distintos e 't-', 't+', 's-' e 's+' representam tempo inicial e tempo final destes intervalos. Na primeira linha da tabela tem-se que o intervalo 's' apenas se inicia após o intervalo 't' ter terminado, na segunda linha ambos são idênticos, na terceira linha os intervalos se sobrepõem, na quarta linha o intervalo 's' começa exatamente quando o intervalo 't' termina e na última linha um intervalo contém o outro (sendo que está expresso que 't' pode conter 's' ou que 's' pode conter 't').

Tabela 6.2 - Relações Entre Intervalos

Relação do Intervalo	Relações Equivalentes nos Pontos Extremos
$t < s$	$t+ < s-$
$t = s$	$(t- = s-) \& (t+ = s+)$
$t \text{ overlaps } s$	$(t- < s-) \& (t+ > s-) \& (t+ < s+)$
$t \text{ meets } s$	$t+ = s-$
$t \text{ during } s$	$((t- > s-) \& (t+ \leq s+)) \text{ ou } ((t- \geq s-) \& (t+ < s+))$

Fonte Adaptada: Allen (1983)

Matematicamente, um intervalo é um segmento da linha temporal (formada por números reais) limitados por dois pontos  $t_1$  e  $t_2$  representado da seguinte forma:  $(t_1, t_2)$ ,  $t_1 < t_2$  (ALLEN, 1983).

Allen sugere que se introduzam as relações entre esses intervalos no modelo. E, para gerenciar essas relações, ou relações temporais, utiliza-se um algoritmo de inferência. Essa técnica de inferência implica em caracterizar as inferências que devem aparecer automaticamente durante a resolução dos problemas (ALLEN, 1983). Essas inferências são as relações que são definidas na tabela Tabela 6.3, gerada a partir das relações da Tabela 6.2:

Tabela 6.3 - Relações da Álgebra de Allen

precedes	meets	overlaps	finished by	contains	starts	equals	started by	during	finishes	overlap-ped by	met by	preceded by
p	m	o	F	D	s	e	S	d	f	O	M	P

Fonte: Allen (1983)

Essas 13 relações são capazes de representar todas as possíveis semânticas para relações temporais, inclusive o de exclusão mútua, onde a ordem dos eventos não importa desde que não se sobreponham (PASSOS, 2012).

Com base nessas relações e através do algoritmo de inferência que Allen utiliza para gerenciá-las chega-se a uma rede de relações possíveis entre dois intervalos que é descrita na Tabela 6.4 a seguir:

Tabela 6.4 - Transitividade das 13 Relações da Álgebra de Allen

B r2 C	<	>	d	di	o	oi	m	mi	s	si	f	fi
A r1 B												
"before" <	<	no info	< o m d s	<	<	< o m d s	<	< o m d s	<	<	< o m d s	<
"after" >	no info	>	> oi mi d f	>	> oi mi d f	>	> oi mi d f	>	> oi mi d f	>	>	>
"during" d	<	>	d	no info	< o m d s	> oi mi d f	<	>	d	> oi mi d f	d	< o m d s
"contains" di	< o m di fi	> oi di mi si	o oi dur con =	di	o di fi	oi di si	o di fi	oi di si	di fi o	di	di si oi	di
"overlaps" o	<	> oi di mi si	o d s	< o m di fi	< o m	o oi dur con =	<	oi di si	o	di fi o	d s o	< o m
"over- lapped-by" oi	< o m di fi	>	oi d f	> oi mi di si	o oi dur con =	> oi mi	o di fi	>	oi d f	oi > mi	oi	oi di si
"meets" m	<	> oi mi di si	o d s	<	<	o d s	<	f fi =	m	m	d s o	<
"met-by" mi	< o m di fi	>	oi d f	>	oi d f	>	s si =	>	d f oi	>	mi	mi
"starts" s	<	>	d	< o m di fi	< o m	oi d f	<	mi	s	s si =	d	< m o
"started by" si	< o m di fi	>	oi d f	di	o di fi	oi	o di fi	mi	s si =	si	oi	di
"finishes" f	<	>	d	> oi mi di si	o d s	> oi mi	m	>	d	> oi mi	f	f fi =
"finished-by" fi	<	> oi mi di si	o d s	di	o	oi di si	m	si oi di	o	di	f fi =	fi

Fonte: Allen (1983)

A rede de álgebra de intervalos aumenta a complexidade de um algoritmo que utilize propagação de restrições (PASSOS, 2012). Assim, outra técnica utilizada nesse algoritmo é a introdução de intervalos de referência que agrupam conjuntos de intervalos fazendo com que as restrições temporais entre cada par de intervalos se restrinjam aos intervalos deste grupo (ALLEN, 1983). Essa técnica foi introduzida com o objetivo de diminuir o espaço necessário para a execução do algoritmo de Allen.

Em resumo, a álgebra temporal de intervalos, ou álgebra de Allen, é um algoritmo utilizado em modelos de problemas cujos dados possam ser modelados como intervalo de tempo e que utiliza o algoritmo de propagação de restrições para solucionar o problema. Porém, ele introduz intervalos de referência e os relacionamentos da álgebra de Allen (como restrições entre intervalos) visando uma melhoria no desempenho do algoritmo.

## **6.2. Modelagem do Problema do Priorizador de Focos de Incêndios Aplicando algumas Técnicas que Atendem suas Necessidades**

Neste item serão demonstradas duas modelagens para o PFI utilizando as técnicas que foram identificadas como possíveis para solucionar o problema proposto. A Tabela 6.5 mostra um resumo das técnicas estudadas facilitando a visualização da escolha das técnicas aplicadas na modelagem.

Tabela 6.5 – Resumo das Técnicas Estudadas

Solução de Problemas Baseada em Busca em Grafos			
Técnicas	Técnica Modificada	Heurísticas	Soluciona
Busca em Profundidade		não	sim
Busca em nível		não	sim
Busca Subindo Morro		sim	sim
Busca Menor Custo		sim	sim
Problemas de Satisfação de Restrições	Busca com Retrocesso	sim	sim
	Propagação de Restrições	sim	sim
	Busca Local	sim	sim
	Busca com Retrocesso Inteligente	sim	sim
	Rede de Tarefas Hierárquicas	sim	não
	Álgebra Temporal de Intervalos	sim	sim

Como pode ser observado, quase todas as técnicas podem ser aplicadas, porém devido a restrições normalmente temporais (devido as buscas exaustivas), ou seja, devido ao fato de levarem muito tempo encontrar a solução, elas acabam sendo descartadas. Foram escolhidas duas técnicas que levam a solução do problema de forma mais rápida que as demais para fazer a modelagem e serem comparadas entre si, a Propagação de Restrições e a Álgebra Temporal de Intervalos.

Com base nos estudos anteriores sabe-se que a Álgebra Temporal de Intervalos é uma melhoria da Propagação de Restrições, sendo assim, pode-se adiantar que será a escolhida para solucionar o PFI. O capítulo a seguir irá explicar detalhadamente as razões pelas quais essa técnica é mais adequada.

### 6.2.1. Modelagem do PFI Aplicando Propagação de Restrições

Tendo concluído o estudo das possíveis técnicas para serem utilizadas na modelagem do PFI e de como seria o comportamento deste componente, pode-se modelar o Priorizador de Focos de Incêndios em CSP da seguinte maneira:

$\langle X, D, C \rangle$ , onde  $X$  representa as variáveis,  $D$  representa o domínio das variáveis e  $C$  representa as restrições do modelo.

Assim as variáveis são:

- a) 'ti': tempo inicial, ou seja, tempo quando a câmera passa a imagear;
- b) 'tf': tempo final, ou seja, tempo quando a câmera para de imagear;
- c) 'a': ângulo que representa a posição em que a câmera deve estar quando for imagear;
- d) 'i': imagear, ou seja, define se será imageado ou não;
- e) 'p': importância que representa o quanto uma área é mais importante que a outra.

Os domínios são:

- a) tanto para 'ti' quanto para 'tf', são números inteiros positivos compreendidos entre 0 e 6000000, pois representam o tempo da órbita em milissegundos ( $0 \leq ti \leq tf \leq 6000000$ );
- b) para 'a' os domínios são inteiros positivos que deverão ser compreendidos entre -30 e 30, pois representam a região que a câmera de média resolução cobre ( $-30 \leq a \leq 30$ );
- c) para 'i' o domínio será: imagear, não imagear, imagear parcialmente;

d) para 'p' são os valores pré-definidos na tabela de áreas de importância.

Até o momento, o modelo anterior pode ser aplicado com poucas alterações para todas as técnicas de CSP's, o que muda é a existência de restrições que são as regras definidas anteriormente no Modelo de Regras Embarcado.

Com base na modelagem dos dados definida anteriormente, pode-se aplicar um algoritmo de solução de propagação de restrições para alcançar o objetivo desejado que é de imagear o maior número possível de focos de incêndio. A Figura 6.3 e a Figura 6.4 representam o fluxo de um algoritmo capaz de solucionar esse problema utilizando a técnica de propagação de restrições.

### **6.2.2. Modelagem do PFI Aplicando a Álgebra Temporal de Intervalos**

Como visto anteriormente, o Priorizador de Focos de Incêndios deverá receber uma lista de objetivos que chegará ordenada com relação ao tempo. Esta ordenação em relação ao tempo se deve ao fato de a câmera CMR captar os objetivos sequencialmente enquanto o satélite se movimenta, no decorrer do tempo.

Para o modelo serão utilizadas as extremidades temporais dos objetivos  $t_i$  e  $t_f$ .

No PFI os eventos são atômicos, ou seja, representam um acontecimento singular, motivo pelo qual se descartou a técnica HTN. Os eventos compostos são aqueles que encapsulam eventos de mais baixo nível (PASSOS, 2012).

Assim, pode-se utilizar diretamente o algoritmo de Allen sem decompor os eventos. Para isso basta criar a tabela de transitividade de relações temporais (Tabela 6.6) para os objetivos recebidos através do algoritmo de inferência de Allen.

Tabela 6.6 – Relações da Álgebra de Allen

Sigla	Significado
p	Preceedes
m	Meets
o	Overlaps
f	finished_by
c	Contains
s	Starts
e	Equal
sb	starts_by
cb	During
fb	Finishes
ob	overlap_by
mb	met_by
pb	preceed_by

Porém, antes de criar a tabela é necessário que se utilize a técnica de intervalos de referência, que irá reduzir drasticamente o tamanho da tabela de transitividade, limitando os dados desta apenas para objetivos que pertençam ao mesmo intervalo.

Para se definir os intervalos de referência será necessário desenvolver um algoritmo para criá-los, pois os dados brutos (dados sem processamento) do modelo não fornecem informações de forma direta que possam ser utilizadas

para esse fim. Esse algoritmo localiza os intervalos de referências entre os objetivos conflitantes e os coloca em uma fila de intervalos de referências.

A criação desse algoritmo é uma das modificações necessárias na técnica para que ela possa ser utilizada para o PFI, pois esse não tem intervalos de referências explícitos e precisamos defini-los.

Em seguida, o algoritmo deverá verificar os focos de incêndio, e para cada intervalo de referência deverá analisar os focos adjacentes e criar a tabelas de transições com todas as relações de Allen que estes possuírem entre si. Porém, essas tabelas serão diferentes das tabelas de transição de Allen, pois elas irão conter apenas informações das relações existentes entre eles e a de Allen contem todas as relações possíveis. Isso reduz o tamanho da tabela de transição criada e passa a ser mais uma adaptação da técnica de Allen adotada para a solução do problema.

Para criar as tabelas de transições é necessária a existência de uma lista de relações de intervalos que contenha todas as 13 relações possíveis definidas na técnica de Allen, pois essas são a base da formação da primeira.

Com essas tabelas de transições definidas deverá ser criado um algoritmo com as regras definidas no modelo de regras embarcado, lembrando que esse algoritmo é um Algoritmo de Propagação de Restrições, com algumas adaptações para atender a técnica de álgebra de intervalos temporais.

Porém, a esse algoritmo será adicionado outro diferencial que é a existência de uma heurística para reduzir o tempo para se encontrar o resultado. A heurística em questão é a prioridade de cada foco de incêndio. A existência dessa heurística foi definida anteriormente ao se desenvolver o modelo para o priorizador utilizando a técnica de propagação de restrições.

Para que a heurística possa ser aplicada é necessária a existência de áreas de prioridades para o modelo. Essas áreas devem estar armazenadas em uma

tabela embarcada existente na arquitetura. Elas poderão ser alteradas a bordo via um software de solo que envia telecomandos para o satélite com um novo modelo para substituir o modelo existente.

As imagens a seguir representam o fluxo do algoritmo que resolve esse modelo, cada uma delas em situações diferentes: a Figura 6.8 (situação A) representa o tratamento para os objetivos que não estão em conflito e a Figura 6.9 (situação B) para os que se sobrepõem.

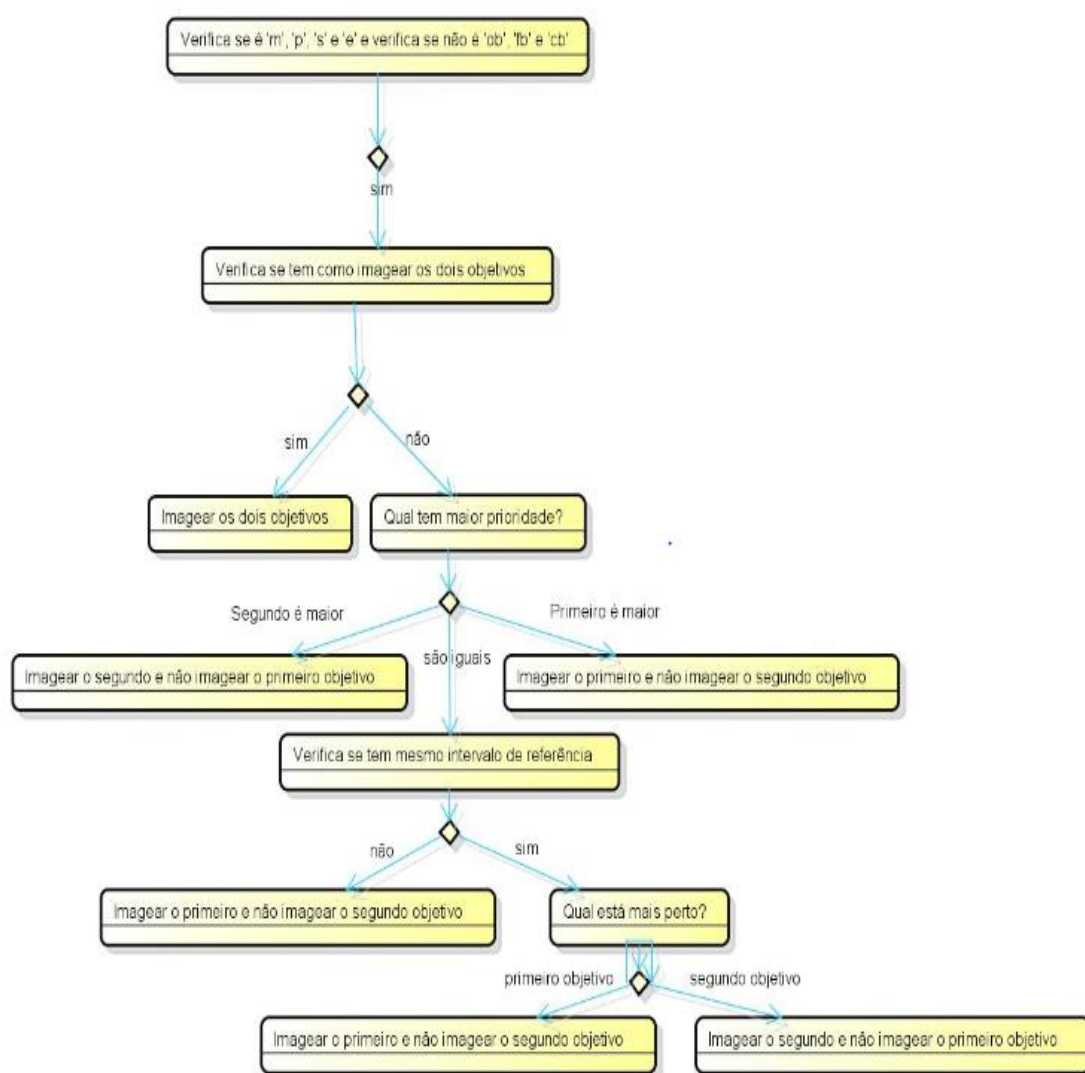


Figura 6.8 – Fluxo do Algoritmo de Propagações de Restrições utilizado na solução do Priorizador de Focos de Incêndios, situação A

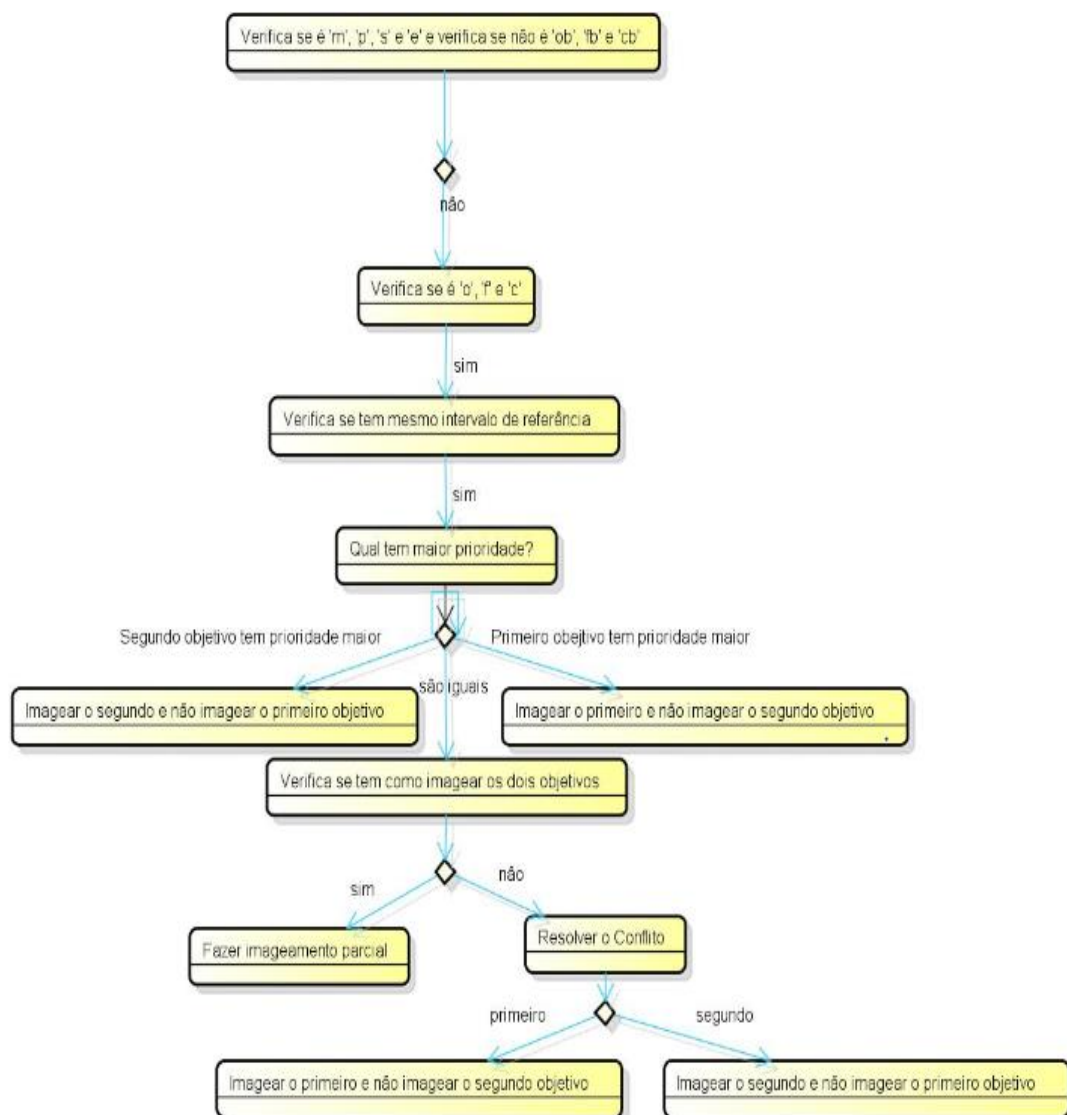


Figura 6.9 - Fluxo do Algoritmo de Propagações de Restrições utilizado na solução do Priorizador de Focos de Incêndios, situação B

## **7 O PRIORIZADOR DE FOCOS DE INCÊNDIOS**

Este capítulo visa descrever o Priorizador de Focos de Incêndios, como ele interage internamente na GOESA, além de descrever como ele deve proceder quando receber os objetivos do Identificador de Focos de Incêndios e como ele foi desenvolvido.

### **7.1. Descrição do Priorizador de Focos de Incêndio**

O Priorizador de Focos de Incêndios do SEMAI, desenvolvido nesta pesquisa, avalia se os objetivos são consistentes e se existem conflitos entre eles. Assim, ele é o Gerenciador de Objetivos da GOESA para a aplicação proposta.

Quando o PFI receber os objetivos a cumprir ele deverá fazer uma análise destes buscando por inconsistências ou conflitos entre eles. Caso encontre algum problema, ele deverá buscar a melhor solução, mesmo que esta envolva o não atendimento de alguns dos objetivos. Para essa situação a melhor solução é tentar atender o maior número de objetivos possíveis.

A seguir, apresenta-se uma lista de situações que podem ocorrer entre os objetivos:

- a) Dois objetivos podem ocorrer na sequência, porém com tempo suficiente entre eles para que ambos possam ser cumpridos;
- b) Dois objetivos podem ocorrer na sequência, porém sem tempo suficiente para atender aos dois;
- c) Um objetivo pode ocorrer quando o outro já está previsto para ser atendido sobrepondo-o. Essa última situação pode ser desdobrada em várias outras, entre elas estão as situações onde ambos podem sobrepor-se parcialmente ou ambos podem sobrepor-se totalmente.

Para cada uma dessas situações, o PFI deverá realizar uma tarefa diferente. Entre as tarefas mais importantes observa-se:

- a) Caso ambos possam ser atendidos, o PFI deverá atendê-los;
- b) Caso ambos comecem na sequência, porém sem tempo suficiente para atender aos dois, deverá analisar qual objetivo é o mais importante para atendê-lo, ou ainda, caso a importância seja a mesma deverá escolher o que movimenta menos a câmera e atendê-lo;
- c) Dados os objetivos A, B, nos quais A deve ser atendido antes de B e B deve ser atendido enquanto o A está sendo atendido, o PFI deverá analisar a importância de cada um deles e verificar uma das seguintes soluções: atender apenas o mais importante ou atender parcialmente um e totalmente o outro.

Como o leitor pode ter observado, fala-se sobre a importância dos objetivos. Essa importância é definida pelo usuário dos dados do SEMAI e pela equipe responsável pelo desenvolvimento da missão. Esses dados deverão estar armazenados em uma tabela disponível para o PFI e poderão ser alterados pela equipe de solo através de telecomandos enviados para o satélite.

A escolha da melhor técnica ou algoritmo para a implementação do Priorizador de Focos de Incêndios depende do Modelo de Regras Embarcado definido anteriormente. Com base, principalmente, nos dados definidos neste modelo é que foi escolhida qual a melhor técnica a ser aplicada na solução do problema.

## **7.2. Solução para o Priorizador de Focos de Incêndios**

A solução escolhida para o Priorizador de Focos de Incêndio é Álgebra de Intervalos Temporais. A seguir serão explicados os motivos para a escolha desta técnica.

O primeiro indício de que essa técnica é a mais adequada é o fato de que ela trabalha com intervalos de tempo dentro de uma hierarquia temporal, como foi citado anteriormente.

E, quando se fala em foco de incêndio a ser imageado, nos remetemos a tríade  $(a, t_i, t_f)$  que foi definida no capítulo anterior. Essa tríade representa um foco de incêndio, como sendo um ângulo 'a' que deve ser imageado dentro do intervalo de tempo que começa em  $t_i$  e termina em  $t_f$ . Em outras palavras, um foco de incêndio está em um intervalo temporal.

Outro ponto importante, e que ainda faz parte do primeiro indício, é que os focos de incêndio, para a técnica, devem seguir uma ordem, onde o tempo inicial de um foco deve sempre ser menor ou igual ao de seu posterior, e o PFI recebe os dados respeitando essa hierarquia.

A Álgebra de Allen engloba todas as possíveis formas em que dois intervalos de tempos seguidos podem se relacionar e, com isso, torna o algoritmo que a utilizar completo quando se faz referência em analisar os relacionamentos entre esses. Essa característica é de grande importância quando se está procurando algum tipo de conflito entre os focos de incêndio.

A importância dessa característica é grande, pois quando se criou o primeiro modelo de algoritmo para o Priorizador de Focos de Incêndios foram analisados muitos pontos que foram imediatamente identificados na tabela de relacionamento de Allen (Tabela 6.6).

Por fim, outra característica importante é a utilização de um algoritmo de propagação de restrições para solucionar o problema na técnica de álgebra de intervalos temporais. Isso porque, ao analisar as outras técnicas de solução de problemas chegou-se a conclusão que a solução ideal seria a de propagação de restrições, pois chegaria mais rapidamente e de forma adequada ao resultado.

Porém, quando Allen aplica intervalos de referência para diminuir a busca da solução para o algoritmo de propagação de restrições ficou explícito que a técnica, ao ser aplicada ao problema, é melhor que a propagação de restrições, pois trata-se de uma melhoria desta.

### 7.3. A Arquitetura do Priorizador de Focos de Incêndios

A Figura 7.1 apresenta a arquitetura do PFI. Na sequência, descrevem-se seus componentes.

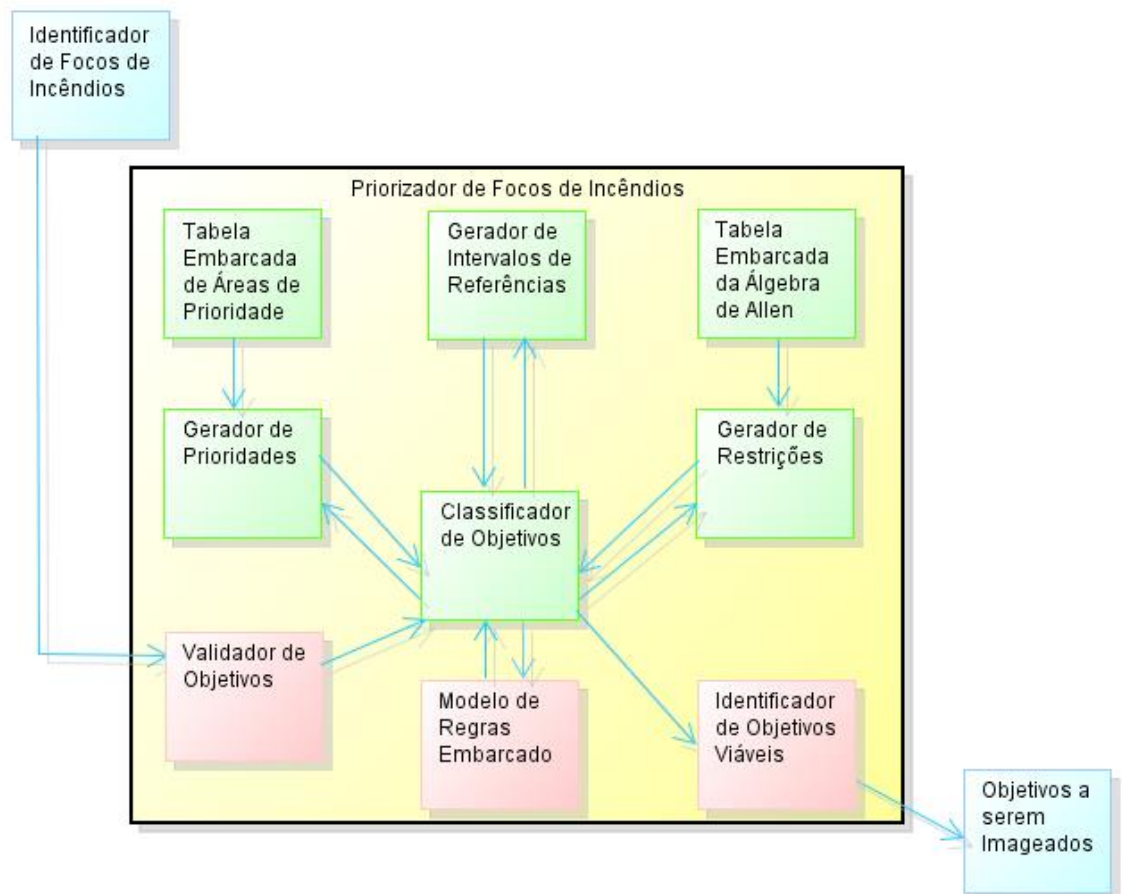


Figura 7.1 - Arquitetura do Priorizador de Focos de Incêndios

O Priorizador de Focos de Incêndio deverá conter um Validador de Objetivos, uma Tabela Embarcada de Áreas de Prioridade, um Gerador de Prioridades, um Gerador de Intervalos de Referência, uma Tabela Embarcada da Álgebra de Allen, um Identificador de Objetivos Viáveis, um Gerador de Restrições, um Modelo de Regras Embarcado e um Classificador de Objetivos.

Os objetivos recebidos pelo PFI são originados do Identificador de Focos de Incêndios. Esse componente não foi desenvolvido ainda, ele é uma sugestão

possível de pesquisa de doutorado na tese de Kucinskis (2012). Para identificar os focos de incêndios, o Identificador deverá considerar certas características do incêndio em termos de tamanho, faixa do espectro, temperatura, etc. Para simular a recepção dos objetivos o PFI deverá ser capaz de ler uma lista de objetivos pré-definidos ou digitados pelo usuário.

O PFI deverá possuir um elemento chamado Validador de Objetivos. Este irá validá-los com relação a coerência quanto ao intervalo de tempo, ou seja, se o intervalo de tempo é um intervalo válido, por exemplo se o tempo inicial é menor que o tempo final do intervalo. E, além disso, irá validar com relação ao ângulo, ou seja, se o ângulo que ele deve ser imageado é um ângulo que a câmera alcança. Porém, esse módulo é apenas um protótipo e deve ser melhorado quando for aplicado para uma missão real para que ele possa validar os objetivos de forma mais adequada.

O PFI possui uma tabela embarcada contendo todas as áreas prioritárias da missão, a Tabela Embarcada de Áreas de Prioridades. Futuramente, deverá ser implementado um software de solo para criar essa tabela e enviar via telecomandos para o SEMAI. Atualmente esses dados são introduzidos no SEMAI através do software de testes criado para auxiliar sua execução e, também, automaticamente pelo código fonte do PFI que contém duas tabelas pré-definidas.

Essa Tabela Embarcada de Áreas de Prioridades pode ser alterada a qualquer momento, via telecomandos, de acordo com a necessidade dos usuários da missão. É essa tabela que define quais as áreas de maior interesse para a missão, pois ele pontua cada área de acordo com sua importância.

Essa tabela foi construída de forma a não precisar de grandes alterações em sua estrutura quando este for utilizado em outras missões.

O PFI possui o Gerador de Prioridades que faz uso da Tabela Embarcada de Áreas de Prioridades para classificar cada objetivo recebido de acordo com sua

importância para a missão. Esse Gerador de Prioridades é de uso geral e não necessita de grandes alterações quando utilizado em outras missões.

O PFI possui um Gerador de Intervalos de Referência responsável por organizar os objetivos conflitantes dentro de um mesmo intervalo de referência, que é um intervalo que enquadra todos os objetivos que estão se relacionando de acordo com a álgebra de Allen. Esse elemento da arquitetura também pode ser considerado um elemento independente da missão, pois também não necessitaria de grandes alterações para ser adaptado a outra missão.

Ele também possui uma Tabela Embarcada da Álgebra de Allen, contendo todos os possíveis relacionamentos entre os objetivos. Essa tabela não precisa ser alterada quando o PFI for adaptado para outra missão.

Outro módulo da arquitetura do PFI é o Gerador de Restrições, que utiliza os dados do Modelo Embarcado da Álgebra de Allen, para adicionar restrições encontradas entre objetivos conflitantes a esses objetivos. Esse módulo também não necessita de grandes alterações quando utilizado para outras missões.

O módulo Classificador de Objetivos pode ser considerado o coração do PFI, pois é o responsável pela união das informações obtidas de todos os outros módulos, seguindo regras definidas pela técnica da Álgebra de Allen. Ele não precisa ser alterado para outras missões, pois não possui regras específicas de uma missão e sim regras da técnica aplicada.

Outro módulo, o Modelo de Regras Embarcado, é totalmente dependente da missão, pois ele é gerado de acordo com as regras definidas pelos responsáveis pela missão juntamente com seus usuários. Ele é responsável por definir qual objetivo será atendido ou não. Entre essas regras tem-se tamanho do incêndio, temperatura, propagação, e as áreas de importância. Algumas dessas regras são configuráveis através de telecomandos e outras devem ser fixas, porém isso dependerá de como a missão foi definida.

E, por fim, possui o Identificador de Objetivos Viáveis que deverá selecionar apenas os objetivos que devem ser imageados e os enviar para o serem imageados descartando os demais. Então esses objetivos serão atendidos.

#### **7.4. O Funcionamento do Priorizador de Focos de Incêndios**

Quando o PFI receber a lista de objetivos , seu Validador de Objetivos deverá validar cada um, retirando da lista todos os que são inválidos.

Então, o Classificador de Objetivos deverá chamar o Gerador de Prioridades que deverá consultar a Tabela Embarcada de Áreas de Prioridades e classificar cada objetivo recebido de acordo com sua prioridade.

Na sequência, o Classificador de Objetivos deverá chamar o Gerador de Intervalos de Referência que irá criar os intervalos de referência necessários para os objetivos recebidos.

A seguir, o Gerador de Restrições é acionado pelo Classificador de Objetivos e irá consultar a Tabela Embarcada da Álgebra de Allen e criar, com base nesta, as restrições para todos objetivos recebidos.

O próximo passo do Classificador de Objetivos é consultar o Modelo de Regras Embarcado para classificar quais objetivos serão imageados e quais serão excluídos.

Finalmente, o Identificador de Objetivos Viáveis é chamado para enviar os objetivos a serem imageados para serem atendidos e descartar os demais, finalizando a tarefa do Priorizador de Focos de Incêndios.



## **8 EXECUÇÃO E RESULTADOS DO USO DO MODELO EMBARCADO APLICADO AO SEMAI COM O PRIORIZADOR DE FOCOS DE INCÊNDIOS**

Neste capítulo serão demonstradas algumas execuções do SEMAI na arquitetura da GOESA para a missão M2AI.

### **8.1. Recursos Utilizados**

Para a execução deste trabalho, foram utilizados os seguintes recursos:

- a) código fonte da GOESA, no qual foram inseridos o modelo embarcado formando o SEMAI e o código fonte do Priorizador de Focos de Incêndios;
- b) documentação da GOESA: a tese de Kucinskis (KUCINSKIS, 2012c) e o Manual do Desenvolvedor da GOESA (KUCINSKIS, 2012a), utilizados para auxiliar em cada passo da adequação da missão a GOESA e na padronização do código fonte;
- c) os estudos de caso apresentados neste tópico foram executados em um simulador do processador ERC32, o SPARC Instruction Simulator (SIS);
- d) interface com o operador, do tipo menu, criada durante o desenvolvimento da GOESA para auxiliar na execução do código. Além disso, essa interface foi alterada para que pudessem ser realizadas configurações para o Priorizador de Focos de Incêndio (Figura 8.1).

```
Configurations to Goals Manager:

[1] - Define Parameters
[2] - Add Priority Table
[3] - Read Goals
[4] - Show All Goals
[5] - Show All Steps
[6] - Don't use Manager Goals
[9] - Continue
```

Figura 8.1 – Interface da GOESA para Configuração do Priorizador de Focos de Incêndios

## 8.2. Configurações para Execução da GOESA no Simulador

Para a execução da GOESA, utilizando ou não, o Priorizador de Focos de Incêndios, deve ser utilizada a interface com o operador citada no item anterior. Ao executá-lo, em um determinado momento aparecerá a imagem da Figura 8.1 que apresenta as possibilidades de configuração para testes da GOESA com o PFI.

Dentre essas configurações, encontra-se a opção *Define Parameters*. Essa opção permite ao operador definir o tipo de priorização que será feita. Em outras palavras, o PFI foi desenvolvido para poder definir os focos de incêndios a serem imageado seguindo três Modelos de Regras Embarcado. São as seguintes opções: *Partial Imaging*, *Areas Larger* e *Partial Imaging with Return*. Apesar de parecer que durante a dissertação apenas um modelo foi descrito, pode-se dizer que os três modelos foram descritos, pois tal descrição chegou até o momento em que todos são idênticos. A diferença entre eles não está evidente por estar apenas no código fonte do sistema.

*Partial Imaging* é quando é encontrado um conflito entre os focos de incêndio e o priorizador define por imagear a parte inicial do primeiro e o próximo inteiro. A opção *Areas Larger* é quando o priorizador irá escolher o foco de incêndio que possui a maior área a ser imageada, ou seja, o maior foco de incêndio. A terceira opção, *Partial Imaging with Return*, é parecida com a primeira, pois também imageia o início do primeiro, e o próximo inteiro, porém após imagear

o próximo, quando houver tempo suficiente para excluir ele retorna para o final do primeiro e imageia mais um trecho.

A opção *Add Priority Table*, simula o recebimento do modelo embarcado das prioridades que são definidas pelos operadores e usuários em solo. Porém, até o momento ela oferece a opção de leitura de dois conjuntos de prioridades pré-cadastrados e da leitura dessas áreas através do teclado.

A opção *Read Goals* faz o papel do Identificador de Focos de Incêndios, entretanto, como este ainda não existe, essa opção fornece a possibilidade de ler três conjuntos de objetivos pré-cadastrados e, também, a opção de leitura desses objetivos através do teclado.

A opção *Show All Goals* permite que, antes de enviar para o planejador os objetivos a serem imageados, o PFI mostre todos objetivos que ele recebeu com várias informações necessárias para a compreensão de sua decisão final.

A opção *Show All Steps* permite que o PFI mostre todos os passos e classificações que ele realizou até definir quais os objetivos serão imageados efetivamente.

A opção *Don't use Manager Goals* permite a execução da GOESA sem utilizar o Priorizador de Focos de Incêndios.

E a opção *Continue* é apenas para dar continuidade na execução da GOESA.

Neste momento cabe ressaltar que uma execução adequada da GOESA sempre deve ter o Priorizador de Focos de Incêndios e não deve mostrar nenhum tipo de passo e informações sobre as decisões do PFI. Essas opções apenas existem como auxiliares para compreensão das tomadas de decisão deste.

### **8.3. Estudos de Caso**

#### **8.3.1. Estudo de Caso 3 – Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos**

Para esse estudo de caso serão enviados objetivos conflitantes para analisar o comportamento do SEMAI com o Priorizador de Focos de Incêndios. O objetivo deste estudo de caso é testar o conflito relacionado ao momento inicial de cada objetivo. Cabe ressaltar que são os mesmos objetivos utilizados no Estudo de Caso 2 sem o PFI, assim reforça o entendimento da importância do Priorizador de Focos de Incêndios para o SEMAI.

A seguir, tem-se a imagem (Figura 8.2) mostrando os objetivos dispostos no decorrer do tempo com relação ao ângulo em que se encontram e as áreas de importância utilizadas para este teste que são as mesmas da Tabela 8.2 (são as áreas destacadas em azul, amarelo e laranja):

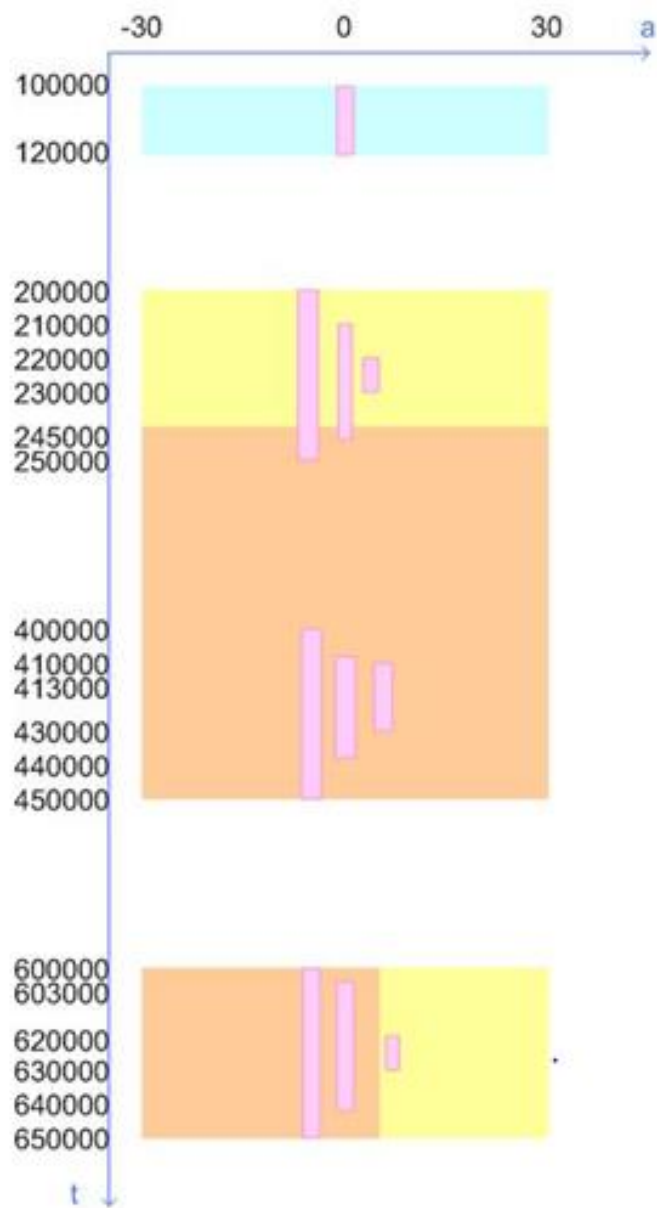


Figura 8.2 - Objetivos do Estudo de Caso 3 - Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos

Os objetivos desse estudo de caso estão representados na Tabela 8.1 a seguir:

Tabela 8.1 – Objetivos do Estudo de Caso 3 - Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos

Objetivo	Tempo inicial	Tempo final	Ângulo
0	100000	120000	0
1	200000	250000	-7
2	210000	245000	0
3	220000	230000	5
4	400000	450000	-7
5	410000	440000	4
6	413000	430000	8
7	600000	650000	-7
8	603000	640000	0
9	620000	630000	8

Para essa execução o SEMAI deve ser inicializado com a seguinte configuração: a CAR deve iniciar suas atividades no ângulo '0', estar configurada como desligada e sem energia. O tempo da sessão de inferência, ou seja, tempo de planejamento de atendimento aos objetivos, deve ser de 0 até 999999 milissegundos.

Além disso, é necessário que sejam cadastradas as áreas de importância para a execução desse caso. As áreas de prioridades são as áreas da Tabela 8.2 a seguir.

Tabela 8.2 – Áreas de Prioridades para a Execução do Estudo de Caso 3 - Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos

Área	ai	Af	Ti	Tf	P
0	-30	30	100000	120000	1
1	-30	30	200000	240000	2
2	-30	30	240000	500000	3
3	-30	5	600000	650000	4
4	6	30	600000	650000	5

O algoritmo criado para o Priorizador de Focos de Incêndios classificará os objetivos recebidos de acordo com a seguinte Tabela 8.3. Esses dados podem ser visualizados através do software criado para testes da GOESA que será adaptado para possuir essa funcionalidade.

Tabela 8.3 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios - Estudo de Caso 3 - Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos

Objetivos	Restrições	Intervalo de Referência	Prioridade
0	p	1	1
1	o,pb,c	2	3
2	o,c,ob,cb	2	3
3	p,ob,cb	2	2
4	c,pb,o	3	3
5	o,c,cb,ob	3	3
6	p,ob,cb	3	3
7	o,c,pb	4	4
8	o,c,ob,cb	4	4
9	ob,cb	4	5

Parte das informações da tabela anterior (Tabela 8.3) são autoexplicativas, porém, algumas informações precisam ser melhor detalhadas. A seguir têm-se as explicações necessárias para o entendimento desta.

O campo 'Restrições' são as primeiras restrições atribuídas aos objetivos, porém cabe ressaltar que conforme os objetivos são excluídos, essas restrições são alteradas para seus vizinhos (ou seja, para o objetivo anterior e para o posterior ao objetivo excluído), pois agora esses se relacionam entre si. A Tabela 6.6, explica o significado de cada letra cadastrada neste campo, e cabe destacar referem-se às relações da Álgebra de Allen.

O campo 'Intervalo de Referência' e o campo 'Prioridade' representam o intervalo de referência ao qual aquele objetivo pertence e em qual área de prioridade este objetivo está respectivamente.

Como resultado dessas classificações tem-se a Tabela 8.4 a seguir que indica quais objetivos devem ser imageados e quais não devem.

Tabela 8.4 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o - Estudo de Caso 3 - Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos

Objetivos	Imagear Parcial	Imagear Área Maior	Imagear Parcial com Retorno
0	1	1	1
1	2	1	2
2	1	2	1
3	2	2	2
4	2	1	2
5	1	2	1
6	2	2	2
7	2	2	2
8	2	2	2
9	1	1	1

“Imagear Parcial”, é o campo que mostra se o objetivo será ou não imageado para excluir quando o PFI estiver configurado para imagear parcialmente. O campo “Imagear Área Maior” fornece o mesmo dado, porém com o PFI configurado para imagear a área maior. O campo ‘Imagear Parcial com Retorno’ indica que o PFI está configurado para imagear parcialmente e retornar sempre que possível para imagear a maior quantidade de informações possíveis.

Ao executar o SEMAI para esses objetivos ele realiza as ações detalhadas na Tabela 8.5 atendendo aos dois objetivos corretamente.

Tabela 8.5 - Ações realizadas pelo SEMAI para atender o Caso de Estudo 3 - Conflito nos Momentos Iniciais dos Imageamentos

Tempo	Ação	timeline afetada	valor	resource	R Consumer	R value
0	start sessão	1 - pss_timeline_camera powerlinestatus	0 - switched_off	1 - pss_resource_power	0	0
		2 - camera_timeline_mode	0 - camera_no_power			
		3 - camera_timeline_mirrorposition	30 (0)			
		4 - camera_timeline_moving	0			
73000	1 - pass_action_switchoncameraline	1 - pss_timeline_camera linestatus	1 - switched_on			
		2 - camera_timeline_mode	1 - camera_power_off			

Continua

Tabela 8.5 - Continuação

74000	3 - camera_action_ poweron	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56
99000	5 - camera_action _startimaging	2 - camera_timeline_mo de	3 - camera_i maging	1 - pss_resourc e_power	0	70
122000	6 - camera_action _stopimaging	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56
209000	5 - camera_action _startimaging	2 - camera_timeline_mo de	3 - camera_i maging	1 - pss_resourc e_power	0	70
247000	6 - camera_action _stopimaging	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56
408600	8 - camera_action _movemirrorrig th	3 - camera_timeline_m irrorposition	31(1)	1 - pss_resour ce_power	0	58
		4 - camera_timeline_m oving	1 - true	1 - pss_resour ce_power	0	58
408699	endogeno	4 - camera_timeline_m oving	0 - false	1 - pss_resourc e_power	0	56
	...					
409000	5 - camera_action _startimaging	2 - camera_timeline_mo de	3 - camera_i maging	1 - pss_resourc e_power	0	70
442000	6 - camera_action _stopimaging	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56

Continua

Tabela 8.5 - Conclusão

618600	8 - camera_action _movemirrorrig th	3 - camera_timeline_m irrorposition	35(5)	1 - pss_resour ce_power	0	58
		4 - camera_timeline_m oving	1 - true	1 - pss_resour ce_power	0	58
618699	endogeno	4 - camera_timeline_m oving	0 - false	1 - pss_resourc e_power	0	56
	...					
619000	5 - camera_action _startimaging	2 - camera_timeline_mo de	3 - camera_i maging	1 - pss_resourc e_power	0	70
632000	6 - camera_action _stopimaging	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56

A seguir tem-se uma breve explicação da Tabela 8.5 anterior.

Para melhor atender a esses objetivos, inicialmente o SEMAI inicializa uma sessão no tempo '0'. Neste momento a CAR deve estar desligada, apontando para a posição de 90 graus, ou seja, para o NADIR.

No tempo 73000 milissegundos, a CAR dever estar energizada, porém ainda desligada.

No tempo 74000 milissegundos, a CAR deverá ser ligada e colocada no modo *stand\_by*, modo em que fica aguardando instruções sem executar nenhuma ação.

No instante 99000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No instante 122000 milissegundos, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *stand\_by*.

No instante 209000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No instante 247000 milissegundos, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *stand\_by*.

No tempo 408600 milissegundos, a CAR deverá começar a se mover e a cada 100 milissegundos o evento endógeno deverá garantir que ela para de se mover, fazendo com que ela se mova 1 grau a cada 100 milissegundos. Esse evento deverá ocorrer até que a CAR chegue ao ângulo de 4 graus desejado. Essa repetição está representada pelo símbolo '...' na tabela.

No instante 409000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No instante 4422000 milissegundos, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *stand\_by*.

No instante 618600 milissegundos, a CAR começa a se movimentar até que atinja o ângulo de 8 graus desejado.

No tempo 619000 milissegundos, a CAR começa a imagear novamente.

E finalmente, no tempo 632000 milissegundos, a CAR para de imagear e fica aguardando novos objetivos, por isso ela não será desligada e permanecendo em *stand\_by*.

Analisando o comportamento do SEMAI para a M2AI, observa-se que o SEMAI realiza as atividades conforme demonstrado na Figura 5.3. Ela inicialmente é energizada, depois ligada e colocada em modo de *stand\_by*, depois é movimentada até o ângulo desejado, começa a imagear e depois para de imagear. Dois detalhes importantes são que a CAR recebe o comando para imagear 1000 milissegundos antes do momento recebido e somente para de imagear 2000 milissegundos depois do tempo desejado. Esta é uma característica que já existia antes do Priorizador de Focos de Incêndios.

8.3.2. Estudo de Caso 4 – Validando Objetivos

Para esse estudo de caso serão enviados objetivos conflitantes diferentes do anterior, pois este tem como objetivo validar conflitos relacionados ao seu período de ocorrência.

A seguir tem-se a imagem (Figura 8.3) mostrando os objetivos dispostos no decorrer do tempo com relação ao ângulo em que se encontram e as áreas de importância utilizadas neste teste (Tabela 8.2):

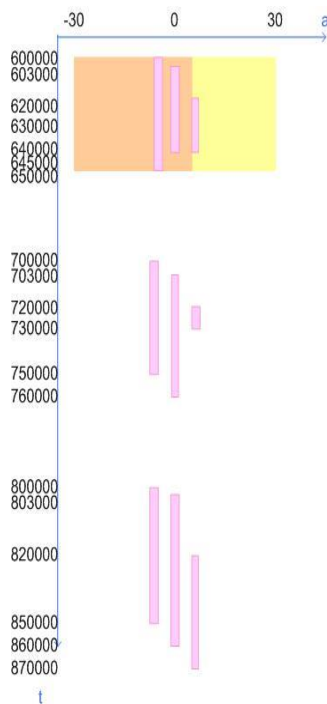


Figura 8.3 - Objetivos do Estudo de Caso 4 - Validando Objetivos

Os objetivos desse estudo de caso estão representados na Tabela 8.6 a seguir:

Tabela 8.6 – Objetivos do Estudo de Caso 4 - Validando Objetivos

Anterior	Tempo inicial	Tempo final	Ângulo
0	600000	650000	-7
1	603000	640000	0
2	620000	645000	8
3	700000	750000	-7
4	703000	760000	0
5	720000	730000	8
6	800000	850000	-7
7	803000	860000	0
8	820000	870000	8

Para essa execução, o SEMAI deve ser inicializado com a seguinte configuração: a CAR deve estar configurada como desligada e sem energia. Ela deve iniciar suas atividades no ângulo '0'. O tempo da sessão de inferência, ou seja, tempo de planejamento de atendimento aos objetivos, deve ser de 0 até 999999 milissegundos.

Além disso, é necessário que sejam cadastradas as áreas de importância para a execução desse caso, as quais serão as mesmas apresentadas na Tabela 8.2.

O algoritmo criado para o Priorizador de Focos de Incêndios classificará os objetivos recebidos de acordo com a seguinte Tabela 8.7. Esses dados podem ser visualizados através do *software* criado para testes da GOESA que foi adaptado para possuir essa funcionalidade.

Tabela 8.7 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios - Validando Objetivos

Anterior	Restrições	Intervalo de Referência	Prioridade
0	o,c	1	4
1	o,ob,cb	1	4
2	p,ob	1	5
3	o,pb	2	0
4	o,c,ob	2	0
5	p,ob,cb	2	0
6	o,pb	3	0
7	o,ob	3	0
8	ob	3	0

A seguir, têm-se as explicações necessárias para o entendimento deste teste.

Como resultado dessas classificações, tem-se a Tabela 8.8 a seguir que indica quais objetivos devem ser imageados e quais não devem.

Tabela 8.8 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o Estudo de Caso 4 - Validando Objetivos

Anterior	Imagear Parcial	Imagear Área Maior	Imagear Parcial com Retorno
0	2	2	2
1	2	2	2
2	1	1	1
3	2	2	2
4	1	1	1
5	2	2	2
6	2	2	2
7	1	1	1
8	2	2	2

Ao executar o SEMAI para esses objetivos, ele realiza as ações detalhadas na Tabela 8.9 atendendo os dois objetivos corretamente.

Tabela 8.9 - Ações realizadas pelo SEMAI para atender o Caso de Estudo 4 - Validando Objetivos

Lista de Ocorrências						
Tempo	Ação	timeline afetada	valor	Resource	R Consumer	R value
0	start sessão	1 - pss_timeline_camera powerlinestatus	0 - switched_off	1 - pss_resource_power	0	0
		2 - camera_timeline_mode	0 - camera_no_power			
		3 - camera_timeline_mirrorposition	30 (0)			
		4 - camera_timeline_moving	0			
593000	1 - pass_action_switchoncamera line	1 - pss_timeline_camera linestatus	1 - switched_on			
		2 - camera_timeline_mode	1 - camera_power_off			
594000	3 - câmera_action_poweron	2 - camera_timeline_mode	2 - camera_start_and_by	1 - pss_resource_power	0	56

Continua

Tabela 8.9 - Continuação

618200	8 - camera_action_moving_righth	3 - camera_timeline_mirrorposition	31(1)	1 - pss_resource_power	0	58
		4 - camera_timeline_moving	1 – true	1 - pss_resource_power	0	58
618299	endogeno	4 - camera_timeline_moving	0 – false	1 - pss_resource_power	0	56
	...					
619000	5 - camera_action_startimagining	2 - camera_timeline_mode	3 - camera_imaging	1 - pss_resource_power	0	70
647000	6 - camera_action_stopimagining	2 - camera_timeline_mode	2 - camera_start_and_by	1 - pss_resource_power	0	56
701200	7 – câmera_action_moving_left	3 - camera_timeline_mirrorposition	37(7)	1 - pss_resource_power	0	58
		4 - camera_timeline_moving	1 – true	1 - pss_resource_power	0	58
701299	endogeno	4 - camera_timeline_moving	0 – false	1 - pss_resource_power	0	56
	...					
702000	5 - camera_action_startimagining	2 - camera_timeline_mode	3 - camera_imaging	1 - pss_resource_power	0	70
762000	6 - camera_action_stopimagining	2 - camera_timeline_mode	2 - camera_start_and_by	1 - pss_resource_power	0	56

Continua

Tabela 8.9 - Conclusão

802000	5 - camera_action_startimagining	2 - camera_timeline_mode	3 - camera_imaging	1 - pss_resource_power	0	70
862000	6 - camera_action_stopimagining	2 - camera_timeline_mode	2 - camera_stand_by	1 - pss_resource_power	0	56

A seguir, tem-se uma breve explicação da Tabela 8.9 anterior.

Para melhor atender a esses objetivos inicialmente o SEMAI inicializou uma sessão no tempo '0'. Neste momento, a CAR deve estar desligada, apontando para a posição de 90 graus, ou seja, para o NADIR.

No tempo 593000 milissegundos, a CAR deve estar energizada, porém ainda desligada.

No tempo 594000 milissegundos; a CAR deverá ser ligada e colocada no modo *stand\_by*, modo em que fica aguardando instruções sem executar nenhuma ação.

No tempo 618200 milissegundos, a CAR deverá começar a se mover e a cada 100 milissegundos o evento endógeno deverá garantir que ela pare de se mover, fazendo com que ela se mova 1 grau a cada 100 milissegundos. Esse evento deverá ocorrer até que a CAR atinja o ângulo de 8 graus desejado. Essa repetição está representada pelo símbolo '...' na tabela.

No instante 619000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No instante 647000 milissegundos, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *stand\_by*.

No tempo 701200 milissegundos, a CAR deverá começar a se mover e a cada 100 milissegundos o evento endógeno deverá garantir que ela para de se mover, fazendo com que ela se mova 1 grau a cada 100 milissegundos. Esse evento deverá ocorrer até que a CAR chegue ao ângulo de 0 grau desejado. Essa repetição está representada pelo símbolo ‘...’ na tabela.

No instante 702000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No instante 762000 milissegundos, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *stand\_by*.

No tempo 802000 milissegundos, a CAR começa a imagear novamente.

E, finalmente no tempo 862000 milissegundos, a CAR para de imagear e fica aguardando novos objetivos, por isso ela não será desligada e ficará em *stand\_by*.

Analisando o comportamento do SEMAI para a M2AI, observa-se que o SEMAI realiza as atividades conforme a Figura 5.3, a CAR inicialmente é energizada, depois ligada e colocada em modo de *stand\_by*, posteriormente é movimentada até o ângulo desejado, começa a imagear e depois para de imagear.

### **8.3.3. Estudo de Caso 5 – Validação de Objetivos com Relação a Período de Ocorrência**

Para esse estudo de caso serão enviados objetivos conflitantes diferentes do anterior, pois este tem como objetivo validar conflitos relacionados ao seu período de ocorrência.

A seguir, tem-se a imagem (Figura 8.4) mostrando os objetivos dispostos no decorrer do tempo com relação ao ângulo em que se encontram e as áreas de importância utilizadas neste teste (Tabela 8.2):

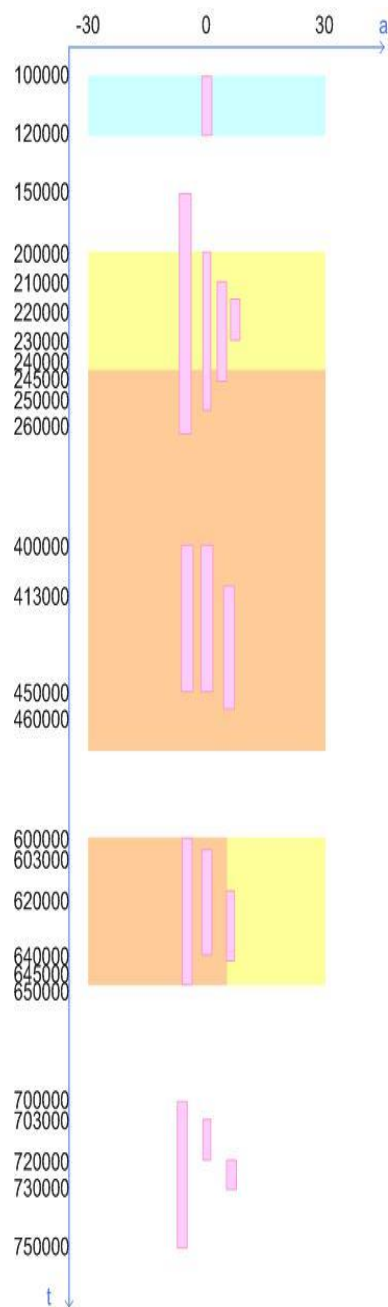


Figura 8.4 - Objetivos do Estudo de Caso 5 - Validação de Objetivos com Relação a Período de Ocorrência

Os objetivos desse estudo de caso estão representados na Tabela 8.10 a seguir:

Tabela 8.10 – Objetivos do Estudo de Caso 5 - Validação de Objetivos com Relação a Período de Ocorrência

Objetivos	Tempo inicial	Tempo final	Ângulo
0	100000	120000	0
1	150000	260000	-7
2	200000	250000	0
3	210000	245000	5
4	220000	230000	8
5	400000	450000	-7
6	400000	450000	4
7	413000	460000	8
8	600000	650000	-7
9	603000	640000	10
10	620000	645000	8
11	700000	750000	-7
12	703000	720000	0
13	720000	730000	8

Para essa execução o SEMAI deve ser inicializado com a seguinte configuração: a CAR deve iniciar suas atividades no ângulo '0', estar configurada como desligada e sem energia. O tempo da sessão de inferência, ou seja, tempo de planejamento de atendimento aos objetivos, deve ser de 0 até 999999 milissegundos.

Além disso, é necessário que sejam cadastradas as áreas de importância para a execução desse caso que serão as mesmas da Tabela 8.2.

O algoritmo criado para o Priorizador de Focos de Incêndios classificará os objetivos recebidos de acordo com a seguinte Tabela 8.11. Esses dados podem ser visualizados através do *software* criado para testes da GOESA que foi adaptado para possuir essa funcionalidade.

Tabela 8.11 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios - Validação de Objetivos com Relação a Período de Ocorrência

Objetivos	Restrições	Intervalo de Referência	Prioridade
0	p	1	1
1	o,c,pb	2	3
2	o,c,ob,cb	2	3
3	o,c,ob,cb	2	3
4	p,ob,cb	2	2
5	o,fb,s,e,pb	3	3
6	o,ob,e,f,sb	3	3
7	p,ob	3	3
8	o,c,pb	4	4
9	o,ob,cb	4	5
10	p,ob	4	5
11	o,c,pb	5	0
12	m,ob,cb	5	0
13	mb	5	0

A seguir, têm-se as explicações necessárias para o entendimento deste teste.

Como resultado dessas classificações, tem-se a Tabela 8.12 a seguir que indica quais objetivos devem ser imageados e quais não devem.

Tabela 8.12 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o Estudo de Caso 5 - Validação de Objetivos com Relação a Período de Ocorrência

Objetivos	Imagear Parcial	Imagear Área Maior	Imagear Parcial	É parcial de qual
0	2	2	2	
1	2	1	2	
2	1	2	1	
3	2	2	2	
4	2	2	2	
5	2	2	2	
6	1	1	1	
7	2	2	2	
8	2	2	2	
9	2	1	2	
10	1	2	1	
11	2	1	2	20
12	1	2	1	
13	2	2	2	

Ao executar o SEMAI para esses objetivos ele realiza as ações detalhadas na Tabela 8.13 atendendo os dois objetivos corretamente.

Tabela 8.13 - Ações realizadas pelo SEMAI para atender o Caso de Estudo 5 -  
Validação de Objetivos com Relação a Período de Ocorrência

Lista de Ocorrências						
Tempo	Ação	timeline afetada	valor	resource	R Cons umer	R val ue
0	start sessão	1 - pss_timeline_camera powerlinestatus	0 - switched_ off	1 - pss_resourc e_power	0	0
		2 - camera_timeline_mo de	0 - camera_n o_power			
		3 - camera_timeline_mir rorposition	30 (0)			
		4 - camera_timeline_mo ving	0			
173000	1 - pass_action_swi tchoncameraline	1 - pss_timeline_camera linestatus	1 - switched_ on			
		2 - camera_timeline_mo de	1 - camera_p ower_off			
174000	3 - camera_action_ poweron	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56
199000	5 - camera_action_ startimaging	2 - camera_timeline_mo de	3 - camera_i maging	1 - pss_resourc e_power	0	70
252000	6 - camera_action_ stopimaging	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56

Continua

Tabela 8.13 - Continuação

252000	6 - camera_action _stopimaging	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56
398600	8 - camera_action _movemirrorrig ht	3 - camera_timeline_mir rorposition	31(1)	1 - pss_resourc e_power	0	58
		4 - camera_timeline_m oving	1 - true	1 - pss_resourc e_power	0	58
398699	endogeno	4 - camera_timeline_m oving	0 - false	1 - pss_resourc e_power	0	56
	...					
399000	5 - camera_action _startimaging	2 - camera_timeline_mo de	3 - camera_i maging	1 - pss_resourc e_power	0	70
452000	6 - camera_action _stopimaging	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56
618600	8 - camera_action _movemirrorrig ht	3 - camera_timeline_mir rorposition	35(5)	1 - pss_resourc e_power	0	58
		4 - camera_timeline_m oving	1 - true	1 - pss_resourc e_power	0	58
618699	endogeno	4 - camera_timeline_m oving	0 - false	1 - pss_resourc e_power	0	56
	...					

Continua

Tabela 8.13 – Conclusão

619000	5 - camera_action _startimaging	2 - camera_timeline_mo de	3 - camera_i maging	1 - pss_resourc e_power	0	70
647000	6 - camera_action _stopimaging	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56
701200	7 - camera_action _movemirrorlef t	3 - camera_timeline_mir rorposition	37(7)	1 - pss_resourc e_power	0	58
		4 - camera_timeline_m oving	1 - true	1 - pss_resourc e_power	0	58
701299	endogeno	4 - camera_timeline_m oving	0 - false	1 - pss_resourc e_power	0	56
	...					
702000	5 - camera_action _startimaging	2 - camera_timeline_mo de	3 - camera_i maging	1 - pss_resourc e_power	0	70
722000	6 - camera_action _stopimaging	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56

A seguir, tem-se uma breve explicação da Tabela 8.13 anterior.

Para melhor atender a esses objetivos, inicialmente o SEMAI inicializou uma sessão no tempo '0'. Neste momento, a CAR deve estar desligada, apontando para a posição de 90 graus, ou seja, para o NADIR.

No tempo 173000 milissegundos, a CAR dever estar energizada, porém ainda desligada.

No tempo 174000 milissegundos, a CAR deverá ser ligada e colocada no modo *stand\_by*, modo em que fica aguardando instruções sem executar nenhuma ação.

No instante 199000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No instante 252000 milissegundos, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *stand\_by*.

No tempo 398600 milissegundos, a CAR deverá começar a se mover e cada 100 milissegundos o evento endógeno deverá garantir que ela pare de se mover, fazendo com que ela se mova 1 grau a cada 100 milissegundos. Esse evento deverá ocorrer até que a CAR chegue ao ângulo de 4 graus desejado. Essa repetição está representada pelo símbolo '...' na tabela.

No instante 399000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No instante 452000 milissegundos, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *stand\_by*.

No tempo 618600 milissegundos, a CAR deverá começar a se mover e a cada 100 milissegundos o evento endógeno deverá garantir que ela pare de se mover, fazendo com que ela se mova 1 grau a cada 100 milissegundos. Esse evento deverá ocorrer até que a CAR chegue ao ângulo de 8 graus desejado. Essa repetição está representada pelo símbolo '...' na tabela.

No tempo 619000 milissegundos, a CAR começa a imagear novamente.

No instante 647000 milissegundos, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *stand\_by*.

No tempo 701200 milissegundos, a CAR deverá começar a se mover e cada 100 milissegundos o evento endógeno deverá garantir que ela pare de se mover, fazendo com que ela se mova 1 grau a cada 100 milissegundos. Esse

evento deverá ocorrer até que a CAR chegue ao ângulo de 0 grau desejado. Essa repetição está representada pelo símbolo '...' na tabela.

No tempo 702000, a CAR começa a imagear novamente.

E finalmente, no tempo 722000 milissegundos a CAR para de imagear e fica aguardando novos objetivos, por isso ela não será desligada permanecendo em *stand\_by*.

Analisando o comportamento do SEMAI, observa-se que ele realiza as atividades conforme a Figura 5.3. Inicialmente é energizada, depois ligada e colocada em modo de *stand\_by*, posteriormente é movimentada até o ângulo desejado, começa a imagear e depois para de imagear.

## **9 CONCLUSÃO**

Buscando trazer melhorias para o monitoramento de incêndios e queimadas realizado dentro do INPE, essa pesquisa traz a ideia de uma missão hipotética, que recebe o nome M2AI, baseada em missões reais e que traz a evolução da tecnologia de autonomia no espaço introduzida pela GOESA através do desenvolvimento de um de seus componentes que ainda não estavam implementados, o Gerenciador de Objetivos.

Para que esse componente fosse desenvolvido foi necessário percorrer alguns passos que foram descritos de forma detalhada nos capítulos anteriores da dissertação, tais como criar um sistema, chamado SEMAI, responsável pelo controle da missão hipotética de monitoramento autônomo de incêndios, criar um modelo embarcado da missão para o SEMAI, fazer a modelagem dos dados utilizados pelo gerenciador de objetivos visando a escolha das técnicas adequadas para seu desenvolvimento, implementar o PFI e demonstrar os resultados do SEMAI sendo executado com, e sem o PFI.

O desenvolvimento do PFI trouxe um avanço importante para autonomia do segmento espacial para o Instituto, pois através deste componente, que não havia sido implementado pela GOESA, foi possível introduzir a capacidade de tomar decisões e priorizar objetivos no espaço de forma autônoma, ou seja, sem a influência do homem nestas decisões e prioridades.

A seguir, tem-se a lista das principais contribuições alcançadas com essa pesquisa.

### **9.1. Contribuições da Pesquisa**

A principal contribuição foi o avanço da tecnologia de autonomia no espaço para o INPE através da introdução, para o satélite, da capacidade de priorizar os objetivos mais importantes tomando a decisão de quais serão imageados e quais serão descartados. Essa contribuição é resultado do desenvolvimento

PFI que habilitou a GOESA com a capacidade de decidir de forma autônoma, quais os objetivos devem ser cumpridos, evitando situações nas quais ela receba objetivos impossíveis de serem atendidos.

Para atender a essa contribuição principal foi necessário criar o sistema SEMAI. Esse sistema, quando embarcado na arquitetura GOESA, possibilita o controle do satélite para que esse possa atender a missão M2AI. Sendo assim, esse sistema também é considerado uma contribuição de grande importância desta pesquisa.

Como citado anteriormente, com o desenvolvimento do PFI pôde-se habilitar a autonomia no espaço com relação a priorização de objetivos para a GOESA, pois até o momento ela tinha essa capacidade, mas ainda não podia atender devido a falta do componente Gerenciador de Objetivos, representado nesta pesquisa pelo PFI. Com isso, considera-se a introdução de autonomia no espaço com relação a priorização de objetivos para a GOESA uma outra contribuição relevante desta pesquisa.

## **9.2. Status do desenvolvimento do gerenciador de objetivos**

O PFI é dependente da missão que está sendo modelada para o SEMAI, porém no decorrer do desenvolvimento dessa pesquisa procurou-se criá-lo de forma mais independente possível, sendo assim muitos módulos deste são independentes da missão.

Por outro lado, o PFI ainda é um protótipo, pois não foi aplicado e validado em uma missão real. Assim sendo, existe uma possibilidade desses módulos, que até o momento estão avaliados como independentes da missão, serem alterados quando aplicados a uma missão destas e essas alterações os tornem dependentes desta. Porém, o ideal é procurar manter a independência.

A Tabela 9.1 a seguir mostra quais são os módulos do gerenciador de objetivos e quais são independentes e quais dependentes da missão.

Tabela 9.1 – Tabela de Dependência do PFI com a Missão

Elemento	Classificação
Validador de Objetivos	Independente
Modelo Embarcado de Áreas de Prioridade	Dependente
Gerador de Prioridades	Independente
Gerador de Intervalos de Referência	Independente
Modelo Embarcado da Álgebra de Allen	Independente
Identificador de Objetivos	Independente
Gerador de Restrições	Independente
Modelo de Regras Embarcado	Dependente
Classificador de Objetivos	Independente

### 9.3. Trabalhos Futuros

Para que o SEMAI possa ser aplicável a uma missão autônoma é necessário que se desenvolva o determinador de objetivos, na forma de um Identificador de Focos de Incêndios, pois este ainda não foi implementado. Durante essa pesquisa, ele foi simulado através de dados salvos no sistema e através de dados digitados pelo operador da interface de testes da GOESA.

Tal Identificador de Focos de Incêndios deverá ser capaz de criar autonomamente objetivos que o SEMAI irá atender e a criação destes é dependente de um modelo da missão que deverá estar embarcado com a arquitetura. Devido à complexidade deste trabalho, sugere-se que ele seja realizado em uma pesquisa de doutorado.

Até o momento, ao avaliarmos os resultados das execuções dos casos de estudo, notamos que há uma demora significativa para se realizar o planejamento. A adição de heurísticas ao planejador de objetivos (chamado neste trabalho de planejador de operações) será capaz de trazer uma melhora no seu desempenho. Com isso ele passa a atender, de forma mais adequada, a missão.

Atualmente, o planejador de objetivos é independente da missão, porém ao adicionarmos as heurísticas na busca de um desempenho mais adequado, ele não será mais independente, pois as heurísticas são definidas através de particularidades de cada missão. Esse trabalho pode ser realizado pela equipe de desenvolvimento de software embarcado do INPE, porém não é um trabalho que resulta em uma pesquisa de mestrado.

É necessário o desenvolvimento de uma ferramenta de solo onde se possa fazer um cadastro de “áreas de importâncias”. Essas áreas são um tipo de mapeamento da região em que o satélite irá percorrer onde várias partes dentro dessa região recebem uma pontuação. Essa pontuação define quais delas são mais importantes quando comparadas umas com as outras. Essa ferramenta deve ser capaz de enviar esse cadastro para o satélite via telecomando, atualizando as informações a bordo. Isso permitirá aos usuários dos dados do satélite mudar esse cadastro sempre que necessário. Tal ferramenta deve se integrar às ferramentas existentes no site de monitoramento de queimadas do INPE, e pode ser desenvolvida visando uma pesquisa de mestrado.

Também se faz necessário o desenvolvimento do *Parser* da GOESA que é o componente responsável pela transformação dos modelos estrutural e comportamental em um modelo embarcado para a GOESA. Esse foi um dos trabalhos futuros apontados por Kucinskis em sua tese, até o momento não realizado. Para a presente pesquisa esse trabalho foi feito manualmente pelo autor da arquitetura GOESA, devido aos seus profundos conhecimentos desta. Este é um trabalho que pode ser realizado como pesquisa de mestrado.

#### **9.4. Trabalho Publicado**

Como resultado dessa pesquisa foi publicado um artigo que faz uma explanação da proposta deste trabalho no 5º Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais (WETE). Esse artigo é o Gerenciamento de Objetivos

para um Sistema Embarcado em Satélite Voltado à Identificação e Resposta Autônoma a Incêndios (PADILHA et al 2014).



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, J. Maintaining knowledge about temporal intervals. **Communications of the ACM**, v. 26, n. 11, p. 832–843, 1983. ISBN 1558600957. ISSN 00010782.

BERETTA, M. D. **Técnicas de heurística como agentes inteligentes para o projeto de jogos**. 2013. p 47. Marília: Fundação de Ensino “Eurípedes Soares da Rocha”, 2013.

BERNARD, D. et al. Spacecraft autonomy flight experience : the DS1 remote agent experiment. In: AIAA SPACE TECHNOLOGY CONFERENCE AND EXPOSITION, 1999, Albuquerque. **Proceedings...** Albuquerque: AIAA, 1999. p. 1-11.

BRIEB, K. et al. The Bird Mission is completed for launch with the PSLV-C3 in 2001. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF IAA, 3., Berlim. **Proceedings...** Berlim, 2001. p. 323-326.

CASTANO, A. et al. Autonomous detection of dust devils and clouds on Mars. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING, 2006, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: IEEE, 2006. p. 2765-2768. ISBN 1424404819. ISSN 15224880.

CHIEN, S. et al. Improving the operations of the earth observing one mission via automated mission planning. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPACE OPERATIONS (SPACEOPS), 2010, Huntsville. **Proceedings...** Huntsville, 2010. p. 25-30.

CORRADI, S. et al. The composite optical bench of fuego satellite. In: EUROPEAN CONFERENCE ON SPACECRAFT STRUCTURES, MATERIALS AND MECHANICAL TESTING, 2000, Netherlands. **Proceedings...** Netherlands, 2000. p. 77-82.

DAMIANI, S.; VERFAILLIE, G.; CHARMEAU, M. C. Autonomous management of an earth watching satellite. In: WORKSHOP ON PLANNING UNDER UNCERTAINTY FOR AUTONOMOUS SYSTEM, . **Proceedings...** Califórnia, 2005. p. 19-28. Disponível em: <<http://icaps05.uni-ulm.de/documents/ws-proceedings/ws6-allpapers.pdf#page=23>>.

DVORAK, D. L. et al. Goal-based operations: an overview. In: AIAA INFOTECH@AEROSPACE 2007 CONFERENCE AND EXHIBIT, 2007, Rohnert Park. **Proceedings...** Rohnert Park, 2007. p. 123-141. ISBN 1563478935. ISSN: 1542-9423.

DVORAK, D. L. D.; AMADOR, A. V.; STARBIRD, T. W. Comparison of goal-based operations and command sequencing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPACE OPERATIONS (SPACEOPS), 2008, Heidelberg, Germany. **Proceedings...** Heidelberg, Germany, 2008. p.1–13. ISBN: 978-1-62410-167-0.

ESCORIAL, D.; TOURNE, I. F.; REINA, F. J. Fuego: a dedicated constellation of small satellites to detect and monitor forest fires. In: IAA SYMPOSIUM, 3., 2003, Berlim. **Proceedings...** Berlim, 2003. p. 765-775. ISBN 3491597218. ISSN 00945765.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Suomy NPP**. Disponível em: <<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/suomi-npp>>. Acesso em: 1 jan. 2015.

\_\_\_\_\_. **MSG-2 in position for tonight's launch**. Disponível em: <[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Meteosat\\_Second\\_Generation/MSG-2\\_in\\_position\\_for\\_tonight\\_s\\_launch/\(print\)](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Meteosat_Second_Generation/MSG-2_in_position_for_tonight_s_launch/(print))>. Acesso em: 1 jan. 2015.

\_\_\_\_\_. **MetOp meteorological missions**. 2012. Disponível em: <[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/The\\_Living\\_Planet\\_Programme/Meteorological\\_missions/MetOp/Overview14](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Meteorological_missions/MetOp/Overview14)>. Acesso em: 1 jan. 2015b.

GRAHAM, S. **National Aeronautic and Space Administration**. Paul Przyborski. Disponível em: <<http://aqua.nasa.gov/>>. Acesso em: 1 jan. 2015.

GRANEMANN, D. C.; CARNEIRO, G. L. Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. **Revista de engenharia e tecnologia**, v.1, p.55–62, 2009. ISSN 2176-7270.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Portal do monitoramento de queimadas e incêndios**. 2012. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em: 1 jan. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **INPE discute novas parcerias**. 2012. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=3168](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3168)>. Acesso em: 1 jan. 2015.

JENNER, L. **GOES mission**. 2012. Disponível em:  
<[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/goes-n/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/goes-n/main/index.html)>. Acesso em: 1 jan. 2014.

JENNER, L.; DUNBAR, B. **TERRA**. Holly Zell .2013. Disponível em:  
<[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/terra/index.html#.UubnBBBTvIU](http://www.nasa.gov/mission_pages/terra/index.html#.UubnBBBTvIU)>. Acesso em: 1 jan. 2014.

JET PROPULSION LABORATORY. **Under their own AEGIS**. Cornell Lewis, Maryia Davis. Disponível em:  
<<https://scienceandtechnology.jpl.nasa.gov/newsandevents/newsdetails/?NewsID=677>>. Acesso em: 1 jan. 2014.

KRAMER, H. J. **BIROS**. Disponível em:  
<<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/b/biros>>. Acesso em: 1 nov. 2014.

KUCINSKIS, F. N.; FERREIRA, M. G. V. On-board satellite software architecture for the goal-based brazilian mission operations. **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine**, v.28, n.8, p.32-45, Aug. 2013. doi: <10.1109/MAES.2013.6575409>.

\_\_\_\_\_. **Goal-based operations enabling software architecture**: manual do desenvolvedor. São José dos Campos: INPE. 2012a.

\_\_\_\_\_. **Uma arquitetura de software embarcado no segmento espacial para habilitar a operação de missões baseada em objetivos**. 2012. 192 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BEQBSP>>. Acesso em: 04 abr. 2015.

GRAYZECK E.; National Space Science Data Center. Desenvolvido por Bell E. home page. Disponível em: <<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 1 jan. 2005.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Desenvolvido por Bell E. Home page. Disponível em: <[http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experimentSearch.do?spacecraft=NOAA 15](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experimentSearch.do?spacecraft=NOAA%2015)>. Acesso em: 1 jan. 2015a.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Desenvolvido por Bell E. Home page. Disponível em: <[http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experimentSearch.do?spacecraft=NOAA 16](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experimentSearch.do?spacecraft=NOAA%2016)>. Acesso em: 1 jan. 2015b.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Desenvolvido por Bell E. Home page. Disponível em:  
<[http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experimentSearch.do?spacecraft=NOAA 18](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experimentSearch.do?spacecraft=NOAA%2018)>.  
Acesso em: 1 jan. 2015c.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Desenvolvido por Bell E. Home page. Disponível em:  
<[http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experimentSearch.do?spacecraft=NOAA 19](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experimentSearch.do?spacecraft=NOAA%2019)>.  
Acesso em: 1 jan. 2015d.

PADILHA, J. J. et al. Gerenciamento de objetivos para um sistema embarcado em satélite voltado à identificação e resposta autônoma a incêndios. In: WORKSHOP EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS, 2014, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2014. On-line. Disponível em:<<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3HE9SF8>>. Acesso em: 04 abr. 2015.

PASSOS, E. B. **PNF-story**: um modelo para enredos baseado na propagação de restrições temporais. f. 127. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2012.

REILE, H. et al. The fire bird mission: a scientific mission for Earth observation and hot spot detection. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL ACADEMY OF ASTRONAUTICS, 9., 2013. **Proceedings...** Wissenschaft und Technik Verlag, 2013.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter **Inteligência artificial**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2004. 1021 p. ISBN 978-85-352-1177-1

SCHILDT, H. **Inteligência artificial utilizando linguagem C**. Tradução de C. G. Silveira - São Paulo, SP: McGraw-Hill, 1989. 349 p.

SILVA, F. A. T. F.; LUCENA, A. M. P. Processamento inteligente de sinais aplicado ao monitoramento ambiental em tempo real. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p.3341-3348. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.21.06>>. Acesso em: 04 abr. 2015.

TAVARES, J. A. R. **Geração de configurações de sistemas industriais com o recurso à tecnologia das restrições e computação evolucionária**. 2000. Tese (Doutorado em Informática) - Universidade do Minho, 2000. Disponível em: <[http://www.dei.isep.ipp.pt/~jtavares/PhD\\_Tese/Resumo\\_PhD.htm](http://www.dei.isep.ipp.pt/~jtavares/PhD_Tese/Resumo_PhD.htm)>. Acesso em: 1 jan. 2014.

VILAIN, M.; KAUTZ, H.; VAN BEEK, P. Constraint propagation algorithms for temporal reasoning: a revised report. In: KLEER, J. (ed.). **Readings in qualitative reasoning about physical systems** [S.l.]: Morgan-Kaufman, 1986.

SCHROEDER, W. et al. Amazonia and global change. In: **Geophysical Monograph Series**. Washington, 2009. p. 11-23. ISBN: 978-0-87590-476-4.

WIKIMEDIA FOUNDATION. **Problema da satisfação de restrições**. Disponível em:

<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Problema\\_da\\_satisfa%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_restri%C3%A7%C3%B5es](http://pt.wikipedia.org/wiki/Problema_da_satisfa%C3%A7%C3%A3o_de_restri%C3%A7%C3%B5es)>. Acesso em: 1 set. 2015.

\_\_\_\_\_. **Satisfação de restrições**. Disponível em:

<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Satisfa%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_restri%C3%A7%C3%B5es](http://pt.wikipedia.org/wiki/Satisfa%C3%A7%C3%A3o_de_restri%C3%A7%C3%B5es)>. Acesso em: 1 set. 2014.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Satellite**: GOES-13.

Disponível em: <<http://www.wmo-sat.info/oscar/satellites/view/149>>. Acesso em: 1 jan. 2014.



## APÊNDICE A - MODELO EMBARCADO PARA A M2AI

Neste apêndice estão a descrição estrutural, as descrições comportamentais e o modelo embarcado resultante da união dos primeiros realizada pelo parser da GOESA.

### A.1 Descrição Estrutural

```
<!-- ISIS Structural description for the M2MAI domain -->
```

```
<structural_description>
```

```
  <domains>
```

```
    <domain name = "CameraModes">
```

```
      <value>camera_no_power</value>
```

```
      <value>camera_power_off</value>
```

```
      <value>camera_stand_by</value>
```

```
      <value>camera_imaging</value>
```

```
    </domain>
```

```
    <domain name = "MirrorPosition">
```

```
      <value>mirror_minus_30_degrees</value>
```

```
      <value>mirror_minus_29_degrees</value>
```

```
      <value>mirror_minus_28_degrees</value>
```

```
      <value>mirror_minus_27_degrees</value>
```

```
      <value>mirror_minus_26_degrees</value>
```

```
      <value>mirror_minus_25_degrees</value>
```

```
      <value>mirror_minus_24_degrees</value>
```

```
      <value>mirror_minus_23_degrees</value>
```

<value>mirror\_minus\_22\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_21\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_20\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_19\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_18\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_17\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_16\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_15\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_14\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_13\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_12\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_11\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_10\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_09\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_08\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_07\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_06\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_05\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_04\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_03\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_02\_degrees</value>  
<value>mirror\_minus\_01\_degree</value>  
<value>mirror\_at\_nadir</value>  
<value>mirror\_plus\_01\_degree</value>  
<value>mirror\_plus\_02\_degrees</value>

<value>mirror\_plus\_03\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_04\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_05\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_06\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_07\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_08\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_09\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_10\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_11\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_12\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_13\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_14\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_15\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_16\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_17\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_18\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_19\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_20\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_21\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_22\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_23\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_24\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_25\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_26\_degrees</value>  
<value>mirror\_plus\_27\_degrees</value>

```

        <value>mirror_plus_28_degrees</value>
        <value>mirror_plus_29_degrees</value>
        <value>mirror_plus_30_degrees</value>
    </domain>

    <domain name = "LineStatus">
        <value>switched_off</value>
        <value>switched_on</value>
    </domain>
</domains>

<elements>
    <element name = "CAMERA">
        <timeline name = "Mode" type = "CameraModes"
hkparameterid = "2" />
        <timeline name = "MirrorPosition" type =
"int8" hkparameterid = "3" />
        <timeline name = "Moving" type = "int8"
hkparameterid = "4" />
    </element>

    <element name = "PSS">
        <timeline name = "CameraPowerlineStatus"
type = "LineStatus" hkparameterid = "1" />

        <resource name = "Power" type = "uint8"
quantity = "100" consumptionperrate = "false">

```

```

        <consumer name = "CAMERA"
initialtotalconsumptionhkparameterid = "5"/>

    </resource>

</element>

</elements>

</strutural_description>

```

## A.2 Descrição Comportamental

Cabe lembrar neste tópico que para cada elemento da descrição estrutural é necessário uma descrição comportamental.

### A.2.1 Descrição Comportamental da Câmera

Action PowerOn

```

{
    Preconditions
    {
        CAMERA.Mode = camera_power_off;
    }

    Effects
    {
        CAMERA.Mode = camera_stand_by;
        CAMERA.Consume (PSS.Power, 56);
    }

    ServiceRequest

```

```

    {
        ServiceType = 134;
        ServiceSubtype = 5;
    }
}

```

Action PowerOff

```

{
    Preconditions
    {
        CAMERA.Mode != camera_power_off;
    }

    Effects
    {
        CAMERA.Mode = camera_power_off;
        CAMERA.CeaseConsumptionOrRelease(PSS.Power);
    }

    ServiceRequest
    {
        ServiceType = 134;
        ServiceSubtype = 6;
    }
}

```

Action StartImaging

```
{  
    Preconditions  
    {  
        CAMERA.Mode = camera_stand_by;  
    }  
  
    Effects  
    {  
        CAMERA.Mode = camera_imaging;  
        CAMERA.Consume (PSS.Power, 70);  
    }  
  
    ServiceRequest  
    {  
        ServiceType = 134;  
        ServiceSubtype = 3;  
    }  
}
```

Action StopImaging

```
{  
    Preconditions  
    {
```

```

        CAMERA.Mode = camera_imaging;
    }

Effects
{
    CAMERA.Mode = camera_stand_by;

    CAMERA.Consume (PSS.Power, 56)
}

ServiceRequest
{
    ServiceType = 134;
    ServiceSubtype = 4;
}
}

Action MoveMirrorLeft
{
    Preconditions
    {
        CAMERA.Mode = camera_stand_by;

        CAMERA.Moving = fase;

        CAMERA.MirrorPosition > mirror_minus_30_degrees;
    }
}

```

```

Effects

{
    CAMERA.Moving = true;

    CAMERA.MirrorPosition = CAMERA.MirrorPosition -
1;

    CAMERA.Consume (PSS.Power, 58); // 2 watts a mais
durante a operacao do motor de passo
}

ServiceRequest

{
    ServiceType = 134;
    ServiceSubtype = 7;
    DataField = 0; // se nao tiver data field, basta
nao coloca-lo aqui
}

}

Action MoveMirrorRight

{
    Preconditions

    {
        CAMERA.Mode = camera_stand_by;
        CAMERA.Moving = false;
        CAMERA.Position < mirror_plus_30_degrees;
    }
}

```

```

Effects
{
    CAMERA.Moving = true;

    CAMERA.MirrorPosition = CAMERA.MirrorPosition +
1;

    CAMERA.Consume (PSS.Power, 58); // 2 watts a mais
durante a operacao do motor de passo
}

ServiceRequest
{
    ServiceType = 134;
    ServiceSubtype = 7;
    DataField = 1; // se nao tiver data field, basta
nao coloca-lo aqui
}
}

```

### A.2.2 Descrição Comportamental dos Events

```

EndogenousEvent MoveMirrorStepFinished
{

    Effects
    {
        // ... o espelho para, voltando a camera a stand-
by.
    }
}

```

```

        CAMERA.Moving = false;

        CAMERA.Consume (PSS.Power, 56);
    }

}

```

### A.2.3 Descrição Comportamental do PSS

```

/* retirou consumo de todos */
Action SwitchOnCameraLine
{
    Preconditions
    {
        PSS.CameraPowerLineStatus = switched_off;
    }

    Effects
    {
        PSS.CameraPowerLineStatus = switched_on;
        CAMERA.Mode = camera_power_off;
    }

    ServiceRequest
    {
        ServiceType = 133;
        ServiceSubtype = 1;
    }
}

```

```

        DataField = 0080; // se nao tiver data field,
        basta nao coloca-lo aqui
    }
}

```

Action SwitchOffCameraLine

```

{
    Preconditions
    {
        PSS.CameraPowerLineStatus = switched_on;
    }

    Effects
    {
        PSS.CameraPowerLineStatus = switched_off;
        CAMERA.Mode = camera_no_power;
    }

    ServiceRequest
    {
        ServiceType = 133;
        ServiceSubtype = 2;
        DataField = 0080; // se nao tiver data field,
        basta nao coloca-lo aqui
    }}

```

### A.3 Modelo Embarcado para a M2AI

```
/**
 * @file domains.h
 * @author ISISml Parser
 * @date 01/07/2014
 * @brief Enumeracoes utilizadas pelo modelo.
 **/

#ifndef DOMAINS_H_
#define DOMAINS_H_

namespace Isis
{

enum ModelElements
{
    element_camera = 0,
    element_pss = 1,
    number_of_model_elements
};

enum CameraModes
{
    camera_no_power = 0,
    camera_power_off = 1,
```

```

    camera_stand_by    = 2,
    camera_imaging     = 3
};

enum MirrorPosition
{
    mirror_minus_30_degrees = 0,
    mirror_minus_29_degrees = 1,
    mirror_minus_28_degrees = 2,
    mirror_minus_27_degrees = 3,
    mirror_minus_26_degrees = 4,
    mirror_minus_25_degrees = 5,
    mirror_minus_24_degrees = 6,
    mirror_minus_23_degrees = 7,
    mirror_minus_22_degrees = 8,
    mirror_minus_21_degrees = 9,
    mirror_minus_20_degrees = 10,
    mirror_minus_19_degrees = 11,
    mirror_minus_18_degrees = 12,
    mirror_minus_17_degrees = 13,
    mirror_minus_16_degrees = 14,
    mirror_minus_15_degrees = 15,
    mirror_minus_14_degrees = 16,
    mirror_minus_13_degrees = 17,
    mirror_minus_12_degrees = 18,

```

mirror\_minus\_11\_degrees = 19,  
mirror\_minus\_10\_degrees = 20,  
mirror\_minus\_09\_degrees = 21,  
mirror\_minus\_08\_degrees = 22,  
mirror\_minus\_07\_degrees = 23,  
mirror\_minus\_06\_degrees = 24,  
mirror\_minus\_05\_degrees = 25,  
mirror\_minus\_04\_degrees = 26,  
mirror\_minus\_03\_degrees = 27,  
mirror\_minus\_02\_degrees = 28,  
mirror\_minus\_01\_degree = 29,  
mirror\_at\_nadir = 30,  
mirror\_plus\_01\_degree = 31,  
mirror\_plus\_02\_degrees = 32,  
mirror\_plus\_03\_degrees = 33,  
mirror\_plus\_04\_degrees = 34,  
mirror\_plus\_05\_degrees = 35,  
mirror\_plus\_06\_degrees = 36,  
mirror\_plus\_07\_degrees = 37,  
mirror\_plus\_08\_degrees = 38,  
mirror\_plus\_09\_degrees = 39,  
mirror\_plus\_10\_degrees = 40,  
mirror\_plus\_11\_degrees = 41,  
mirror\_plus\_12\_degrees = 42,  
mirror\_plus\_13\_degrees = 43,

```

    mirror_plus_14_degrees = 44,
    mirror_plus_15_degrees = 45,
    mirror_plus_16_degrees = 46,
    mirror_plus_17_degrees = 47,
    mirror_plus_18_degrees = 48,
    mirror_plus_19_degrees = 49,
    mirror_plus_20_degrees = 50,
    mirror_plus_21_degrees = 51,
    mirror_plus_22_degrees = 52,
    mirror_plus_23_degrees = 53,
    mirror_plus_24_degrees = 54,
    mirror_plus_25_degrees = 55,
    mirror_plus_26_degrees = 56,
    mirror_plus_27_degrees = 57,
    mirror_plus_28_degrees = 58,
    mirror_plus_29_degrees = 59,
    mirror_plus_30_degrees = 60
};

enum LineStatus
{
    switched_off = 0,
    switched_on = 1
};

```

```

enum ActionIds
{
    no_action = 0,
    pss_action_switchoncameraline = 1,
    pss_action_switchoffcameraline = 2,
    camera_action_poweron = 3,
    camera_action_poweroff = 4,
    camera_action_startimaging = 5,
    camera_action_stopimaging = 6,
    camera_action_movemirrorleft = 7,
    camera_action_movemirrorright = 8,
    number_of_action_ids_plus_one // usado pelo sistema
};

```

```

enum EventIds
{
    no_event = 0,
    event_movemirrorstepfinished = 1,
    number_of_event_ids_plus_one
};

```

```

enum TimelineIds
{
    no_timeline = 0,
    pss_timeline_camerapowerlinestatus = 1,

```

```

    camera_timeline_mode = 2,
    camera_timeline_mirrorposition = 3,
    camera_timeline_moving = 4,
    number_of_timeline_ids_plus_one // usado pelo sistema
};

enum ResourceIds
{
    no_resource = 0,
    pss_resource_power = 1,
    number_of_resource_ids_plus_one // usado pelo sistema
};

} // namespace Isis

#endif /* DOMAINS_H_ */

/**
 * @file events.h
 * @author ISISml Parser
 * @date 01/07/2014
 * @brief Externs para os eventos do modelo.
 */

#ifndef EVENTS_H_

```

```

#define EVENTS_H_

#include "../isis/metamodel/Types.h"

namespace Isis
{
    extern EndogenousEvent MoveMirrorStepFinished();
} // namespace Isis

#endif /* EVENTS_H_ */

/**
 * @file  events.h
 * @author  ISISml Parser
 * @date  01/07/2014
 * @brief Implementacao dos eventos do modelo.
 */

#include "../isis/metamodel/Types.h"
#include "domains.h"
#include "PSS.h"
#include "CAMERA.h"

namespace Isis
{

```

```

        EndogenousEvent MoveMirrorStepFinished()

    {

        CAMERA::Moving.SetCurrent(false);

        PSS::Power.Consume(element_camera, 56);

    }

}

/**
 * @file CAMERA.h
 * @author ISISml Parser
 * @date 01/07/2014
 * @brief Definicao da classe para o elemento CAMERA do
modelo ISISml.
 */

#ifndef CAMERA_H_
#define CAMERA_H_

#include "../isis/metamodel/Types.h"
#include "../isis/metamodel/timelines/Timeline.h"
#include "../isis/metamodel/occurrences/Action.h"

namespace Isis
{

```

```

/**
 * @class CAMERA
 * @brief Classe que implementa o elemento CAMERA do modelo
        ISISml.
 */

class CAMERA
{
public:
    CAMERA(); // manter isso, para que o compilador nao
    crie os default dele

    ~CAMERA(); // manter isso, para que o compilador nao
    crie os default dele

    static Timeline Mode;

    static Timeline MirrorPosition;

    static Timeline Moving;

    static Action PowerOn();

    static Action PowerOff();

    static Action StartImaging();

    static Action StopImaging();

    static Action MoveMirrorLeft();

    static Action MoveMirrorRight();

    static void
    VerifyCameraMovingEndogenousEventsConditions();
};

```

```

} // namespace Isis

#endif /* CAMERA_H_ */

/**
 * @file CAMERA.cpp
 * @author ISISml Parser
 * @date 22/09/2014
 * @brief Implementacao da classe para o elemento CAMERA do
modelo ISISml.
 */

#include "CAMERA.h"
#include "PSS.h"
#include "domains.h"

namespace Isis
{

CAMERA::CAMERA ()
{

}

CAMERA::~~CAMERA ()
{

```

```

}

Action CAMERA::PowerOn()

{
    Action returnStatus;

    // Pre-conditions *****

    if (!(CAMERA::Mode.GetCurrent() ==
static_cast<int32_t>(camera_power_off)))
    {

        returnStatus.RegisterFalsePrecondition(camera_timeline
_mode);

    }

    // Effects *****

    CAMERA::Mode.SetCurrent(static_cast<int32_t>(camera_st
and_by));

    PSS::Power.Consume(static_cast<uint32_t>(element_camer
a), 56);

    return returnStatus;
}

Action CAMERA::PowerOff()

{
    Action returnStatus;

```

```

        // Pre-conditions *****

        if (!(CAMERA::Mode.GetCurrent() !=
static_cast<int32_t>(camera_power_off)))
        {

            returnStatus.RegisterFalsePrecondition(camera_timeline
_mode);

        }

        // Effects *****

        CAMERA::Mode.SetCurrent(static_cast<int32_t>(camera_po
wer_off));

        PSS::Power.CeaseConsumptionOrFreeding(static_cast<uint
32_t>(element_camera));

        return returnStatus;
    }

Action CAMERA::StartImaging()
{
    Action returnStatus;

    // Pre-conditions *****

    if (!(CAMERA::Mode.GetCurrent() ==
static_cast<int32_t>(camera_stand_by)))
    {

```

```

        returnStatus.RegisterFalsePrecondition(camera_timeline
_mode);

    }

    // Effects *****

    CAMERA::Mode.SetCurrent(static_cast<int32_t>(camera_im
aging));

    PSS::Power.Consume(static_cast<uint32_t>(element_camer
a), 70);

    return returnStatus;
}

Action CAMERA::StopImaging()
{
    Action returnStatus;

    // Pre-conditions *****

    if (!(CAMERA::Mode.GetCurrent() ==
static_cast<int32_t>(camera_imaging)))
    {

        returnStatus.RegisterFalsePrecondition(camera_timeline
_mode);

    }

    // Effects *****

```

```

        CAMERA::Mode.SetCurrent(static_cast<int32_t>(camera_stand_by));

        PSS::Power.Consume(static_cast<uint32_t>(element_camera), 56);

        return returnStatus;
}

```

Action CAMERA::MoveMirrorLeft()

```

{
    Action returnStatus;

    // Pre-conditions *****

    if (!(CAMERA::Mode.GetCurrent() ==
static_cast<int32_t>(camera_stand_by)))
    {

        returnStatus.RegisterFalsePrecondition(camera_timeline_mode);
    }

    if (!(CAMERA::Moving.GetCurrent() ==
static_cast<int32_t>(false)))
    {

        returnStatus.RegisterFalsePrecondition(camera_timeline_moving);
    }
}

```

```

        if (!(CAMERA::MirrorPosition.GetCurrent() >
static_cast<int32_t>(mirror_minus_30_degrees)))
        {

            returnStatus.RegisterFalsePrecondition(camera_timeline
_mirrororposition);

        }

        // Effects *****

        CAMERA::Moving.SetCurrent(static_cast<int32_t>(true));

        CAMERA::MirrorPosition.SetCurrent(CAMERA::MirrorPositi
on.GetCurrent() - 1);

        PSS::Power.Consume(static_cast<uint32_t>(element_camer
a), 58);

        return returnStatus;
    }

Action CAMERA::MoveMirrorRight()

{

    Action returnStatus;

    // Pre-conditions *****

    if (!(CAMERA::Mode.GetCurrent() ==
static_cast<int32_t>(camera_stand_by)))
    {

```

```

        returnStatus.RegisterFalsePrecondition(camera_timeline
_mode);

    }

    if (!(CAMERA::Moving.GetCurrent() ==
static_cast<int32_t>(false)))

    {

        returnStatus.RegisterFalsePrecondition(camera_timeline
_moving);

    }

    if (!(CAMERA::MirrorPosition.GetCurrent() <
static_cast<int32_t>(mirror_plus_30_degrees)))

    {

        returnStatus.RegisterFalsePrecondition(camera_timeline
_mirrorposition);

    }

    // Effects *****

    CAMERA::Moving.SetCurrent(static_cast<int32_t>(true));

    CAMERA::MirrorPosition.SetCurrent(CAMERA::MirrorPositi
on.GetCurrent() + 1);

    PSS::Power.Consume(static_cast<uint32_t>(element_camer
a), 58);

    return returnStatus;

```

```

}

void CAMERA::VerifyCameraMovingEndogenousEventsConditions ()
{
    if (CAMERA::Moving.GetCurrent () == true)
    {
        uint32_t creatorOccurrenceId =
TimeReference::GetCurrentOccurrenceId ();

        uint32_t moment =
TimeReference::GetCurrentTime ();

        moment += 99; // Delta-T especificado (em
milisegundos) no modelo ISISml, a ser colocado aqui pelo
parser

        // se moment + Delta-T estiver fora da sessao, a
insercao da ocorrencia sera rejeitada

        OccurrencesList::AddOccurrence (moment,
endogenous_event, event_movemirrorstepfinished,
creatorOccurrenceId);
    }
}

} // namespace Isis

/**

```

```

* @file PSS.h

* @author      ISISml Parser

* @date 01/07/2014

* @brief Definicao da classe para o elemento PSS do modelo
ISISml.

**/

#ifndef PSS_H_
#define PSS_H_

#include "../isis/metamodel/timelines/Timeline.h"
#include "../isis/metamodel/Types.h"
#include "../isis/metamodel/resources/Resource.h"
#include "../isis/metamodel/occurrences/Action.h"

namespace Isis
{

/**

* @class PSS

* @brief Classe que implementa o elemento PSS do modelo
ISISml.

**/

class PSS
{
public:

```

```

    PSS();

    ~PSS();

    static Timeline CameraPowerLineStatus;

    static Resource Power;

    static Action SwitchOnCameraLine();

    static Action SwitchOffCameraLine();

};

} // namespace Isis

#endif /* PSS_H_ */

/**
 * @file   PSS.cpp
 * @author   ISISml Parser
 * @date    01/07/2014
 * @brief   Implementacao da classe para o elemento PSS do
           modelo ISISml.
 */

#include "PSS.h"

#include "CAMERA.h"

#include "domains.h"

```

```

namespace Isis
{

PSS::PSS()

{

}

PSS::~~PSS()

{

}

Action PSS::SwitchOnCameraLine()

{

    Action returnStatus;

    // Pre-conditions *****

    if (!(PSS::CameraPowerLineStatus.GetCurrent() ==
static_cast<int32_t>(switched_off)))
    {

        returnStatus.RegisterFalsePrecondition(pss_timeline_camerapowerlinestatus);

    }

    // Effects *****

```

```

        PSS::CameraPowerLineStatus.SetCurrent(static_cast<int32_t>(switched_on));

        CAMERA::Mode.SetCurrent(static_cast<int32_t>(camera_power_off));

    return returnStatus;
}

```

```

Action PSS::SwitchOffCameraLine()

```

```

{
    Action returnStatus;

    // Pre-conditions *****

    if (!(PSS::CameraPowerLineStatus.GetCurrent() ==
static_cast<int32_t>(switched_on)))
    {

        returnStatus.RegisterFalsePrecondition(pss_timeline_camera_powerlinestatus);
    }

    // Effects *****

    PSS::CameraPowerLineStatus.SetCurrent(static_cast<int32_t>(switched_off));

    CAMERA::Mode.SetCurrent(static_cast<int32_t>(camera_no_power));

    return returnStatus;
}

```

```
}
```

```
} // namespace Isis
```

## APÊNDICE B – OUTROS CASOS DE ESTUDOS

### B.1 Estudo de Caso A – Execução com Apenas um Foco de Incêndio

Para este estudo de caso será escolhido apenas um foco de incêndio visando demonstrar o comportamento da GOESA para essa situação. Em situações assim a GOESA não utiliza o Priorizador de Focos de Incêndios, e, além disso, é uma situação hipotética, pois provavelmente nunca ocorrerá apenas um objetivo em uma imagem.

O objetivo desse estudo de caso está representado na Tabela B.1.1 a seguir:

Tabela B.1.1 – Objetivos do Estudo de Caso A - Execução com Apenas um Foco de Incêndio

Objetivos	
tempo inicial	300000
tempo final	400000
ângulo	20

Para essa execução, o SEMAI deve ser inicializado com a seguinte configuração: a CAR deve estar configurada como desligada e sem energia. Ela deve iniciar suas atividades no ângulo '0', ou seja, no NADIR. O tempo da sessão de inferência, ou seja, tempo de planejamento de atendimento aos objetivos, deve ser de 0 até 999999 milissegundos.

Ao executar o SEMAI para esse objetivo, a CAR realiza as ações detalhadas na Tabela B.1.2 atendendo ao objetivo corretamente.

Tabela B.1.2 - Ações realizadas pela GOESA para atender o Caso de Estudo A –  
Execução com Apenas um Foco de Incêndio

Lista de Ocorrências						
Tempo	Ação	timeline afetada	valor	resource	R Consum er	R value
274000	3 - camera_action_p oweron	2 - camera_timeline_mode	2 - camera_stan d_by	1 - pss_resource _power	0	56
297000	8 - camera_action_ movemirror	3 - camera_timeline_mirrorto sition	31 (1)	1 - pss_resource _power	0	58
		4 - camera_timeline_moving	1 - true			
		...				
298800	8 - camera_action_ movemirror	3 - camera_timeline_mirrorto sition	49 (19)	1 - pss_resource _power	0	58
		4 - camera_timeline_moving	1 - true			
298900	8 - camera_action_ movemirror	3 - camera_timeline_mirrorto sition	50 (20)	1 - pss_resource _power	0	58
		4 - camera_timeline_moving	1 - true			
298899	endogeno	4 - camera_timeline_moving	0 - false	1 - pss_resource _power	0	56

Continua

Tabela B.1.2 - Conclusão

298999	endogeno	4 - camera_timeline_moving	0 - false	1 - pss_resource _power	0	56
299000	5 - camera_action_s tartimaging	2 - camera_timeline_mode	3 - camera_ima ging	1 - pss_resource _power	0	70
402000	6 - camera_action_s topimaging	2 - camera_timeline_mode	2 - camera_stan d_by	1 - pss_resource _power	0	56
273000	1 - pss_action_switc honcameraline	1 - pss_timeline_camerapo werlinestatus	1 - switched_o n			
		2 - camera_timeline_mode	1 - camera_po weroff			

A seguir, tem-se uma breve explicação da Tabela B.1.2 anterior.

Para melhor atender a esses objetivos inicialmente o SEMAI inicializou uma sessão no tempo '0'. Neste momento, a CAR deve estar desligada, apontando para a posição de 90 graus, ou seja, para o NADIR.

No instante 274000 milissegundos, a CAR foi energizada, porém ficou em *stand\_by* sem realizar nenhuma atividade.

No instante 297000 milissegundos a CAR começa a se movimentar para chegar ao ângulo desejado que é 20 graus. Esse movimento será parado pelo evento endógeno a cada 100 milissegundos garantindo que a CAR se movimente 1 grau a cada 100 milissegundos. Isso é representado na tabela pelo simbolo '...'.

No tempo 299000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No tempo 402000 milissegundos, a CAR para de imagear.

No tempo 273000 milissegundos, a CAR é desligada, devido a particularidade do estudo de caso que é de imagear apenas 1 objetivo, pois observa-se que para o imageamento de múltiplos objetivos ela não é desligada.

## **B.2 Estudo de Caso B – Objetivos Inválidos**

Para esse estudo de caso serão enviados objetivos conflitantes para analisar o comportamento do SEMAI com o Priorizador de Focos de Incêndios. O objetivo deste estudo de caso é testar objetivos inválidos.

Os objetivos desse estudo de caso estão representados na Tabela B.2.1 a seguir:

Tabela B.2.1 – Objetivos do Estudo de Caso B – Objetivos Inválidos

Objetivo	Tempo inicial	Tempo final	Ângulo
0	100000	120000	0
1	200000	100000	0
2	400000	440000	50
3	600000	650000	30

Para essa execução, o SEMAI deve ser inicializado com a seguinte configuração: a CAR deve iniciar suas atividades no ângulo '0', estar configurada como desligada e sem energia. O tempo da sessão de inferência, ou seja, tempo de planejamento de atendimento aos objetivos, deve ser de 0 até 999999 milissegundos.

Além disso, é necessário que sejam cadastradas as áreas de importância para a execução desse caso. As áreas de prioridades são as áreas da Tabela 8.2.

O algoritmo criado para o Priorizador de Focos de Incêndios classificará os objetivos recebidos de acordo com a seguinte Tabela B.2.2. Esses dados podem ser visualizados através do software criado para testes da GOESA que foi adaptado para possuir essa funcionalidade.

Tabela B.2.2 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios para o Estudo de Caso B – Objetivos Inválidos

Objetivos	Restrições	Intervalo de Referência	Prioridade
0	p	1	1
1			
2			
3	pb	2	5

Observa-se que os objetivos 1 e 2 não foram classificados na Tabela B.2.2, isso se deve ao fato de terem sido excluídos por serem inválidos.

Como resultado dessas classificações, tem-se a Tabela B.2.3 a seguir que indica quais objetivos devem ser imageados e quais não devem.

Tabela B.2.3 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o Estudo de Caso B – Objetivos Inválidos

Objetivos	Imagear Parcial	Imagear Área Maior	Imagear Parcial com Retorno
0	1	1	1
1	2	2	2
2	2	2	2
3	1	1	1

Ao executar a GOESA para esses objetivos, ela realiza as ações detalhadas na Tabela B.2.4 atendendo os dois objetivos corretamente.

Tabela B.2.4 - Ações realizadas pela GOESA para atender o Caso de Estudo B –  
Objetivos Inválidos

Lista de Ocorrências						
Tempo	Ação	timeline afetada	valor	resource	R Consumer	R value
0	start sessão	1 - pss_timeline_camera powerlinestatus	0 - switched_off	1 - pss_resource_power	0	0
		2 - camera_timeline_mode	0 - camera_no_power			
		3 - camera_timeline_mirrorposition	30 (0)			
		4 - camera_timeline_moving	0			
73000	1 - pass_action_switchoncameraline	1 - pss_timeline_camera linestatus	1 - switched_on			
		2 - camera_timeline_mode	1 - camera_power_off			
74000	3 - camera_action_poweron	2 - camera_timeline_mode	2 - camera_stand_by	1 - pss_resource_power	0	56
99000	5 - camera_action_startimaging	2 - camera_timeline_mode	3 - camera_imaging	1 - pss_resource_power	0	70
122000	6 - camera_action_stopimaging	2 - camera_timeline_mode	2 - camera_stand_by	1 - pss_resource_power	0	56
596000	8 - camera_action_movemirrorright	3 - camera_timeline_mirrorposition	31(1)	1 - pss_resource_power	0	58
		4 - camera_timeline_moving	1 - true	1 - pss_resource_power	0	58

Continua

Tabela B.2.4 - Conclusão

596099	endogeno	4 - camera_timeline_m oving	0 - false	1 - pss_resourc e_power	0	56
	...					
599000	5 - camera_action _startimaging	2 - camera_timeline_mo de	3 - camera_i maging	1 - pss_resourc e_power	0	70
652000	6 - camera_action _stopimaging	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56

A seguir, tem-se uma breve explicação da Tabela B.2.4 anterior.

Para melhor atender a esses objetivos inicialmente o SEMAI inicializou uma sessão no tempo '0'. Neste momento, a CAR deve estar desligada, apontando para a posição de 90 graus, ou seja, para o NADIR.

No tempo 73000 milissegundos, a CAR dever estar energizada, porém ainda desligada.

No tempo 74000 milissegundos, a CAR deverá ser ligada e colocada no modo *stand\_by*, modo em que fica aguardando instruções sem fazer nada.

No instante 99000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No instante 122000 milissegundos, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *stand\_by*.

No tempo 596000 milissegundos, a CAR deverá começar a se mover e cada 100 milissegundos o evento endógeno deverá garantir que ela para de se mover, fazendo com que ela se mova 1 grau a cada 100 milissegundos. Esse evento deverá ocorrer até que a CAR chegue ao ângulo de 30 graus desejado. Essa repetição está representada pelo símbolo '...' na tabela.

No instante 599000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No instante 4422000 milissegundos, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *stand\_by*.

Analisando o comportamento do SEMAI para a M2AI, observa-se que a GOESA realiza as atividades conforme a Figura 5.3.

### B.3 Estudo de Caso C – Objetivos Inválidos com Relação ao Tempo

Para esse estudo de caso serão enviados objetivos conflitantes para analisar o comportamento do SEMAI com o Priorizador de Focos de Incêndios. O objetivo deste estudo de caso é testar objetivos inválidos.

Os objetivos desse estudo de caso estão representados na Tabela B.3.1 a seguir:

Tabela B.3.1 – Objetivos do Estudo de Caso C – Objetivos Inválidos com Relação ao Tempo

Objetivo	Tempo inicial	Tempo final	Ângulo
0	200000	300000	8
1	100000	300000	-7
2	400000	500000	0
3	200000	600000	8

Para essa execução, o SEMAI deve ser inicializado com a seguinte configuração: a CAR deve iniciar suas atividades no ângulo '0', estar configurada como desligada e sem energia. O tempo da sessão de inferência, ou seja, tempo de planejamento de atendimento aos objetivos, deve ser de 0 até 999999 milissegundos.

Além disso, é necessário que sejam cadastradas as áreas de importância para a execução desse caso. As áreas de prioridades são as áreas da Tabela 8.2.

O algoritmo criado para o Priorizador de Focos de Incêndios classificará os objetivos recebidos de acordo com a seguinte Tabela B.3.2. Esses dados podem ser visualizados através do software criado para testes da GOESA que foi adaptado para possuir essa funcionalidade.

Tabela B.3.2 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios para o Estudo de Caso C – Objetivos Inválidos com Relação ao Tempo

Objetivos	Restrições	Intervalo de Referência	Prioridade
0			
1	o	1	3
2			
3	ob	1	5

Como resultado dessas classificações tem-se a Tabela B.3.3 a seguir que indica quais objetivos devem ser imageados e quais não devem.

Tabela B.3.3 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o Estudo de Caso C – Objetivos Inválidos com Relação ao Tempo

Objetivos	Imagear Parcial	Imagear Área Maior	Imagear Parcial com Retorno	É parcial de qual?
0	2	2	2	
1	2	2	2	
2	2	2	2	
3	1	1	1	

Ao executar o SEMAI para esses objetivos, a CAR realiza as ações detalhadas na Tabela B.3.4 atendendo os dois objetivos corretamente.

Tabela B.3.4 - Ações realizadas pela GOESA para atender o Caso de Estudo C – Objetivos Inválidos com Relação ao Tempo

Lista de Ocorrências						
Tempo	Ação	timeline afetada	valor	resource	R Consumer	Value
0	start sessão	1 - pss_timeline_camera_powerlinestatus	0 - switched_off	1 - pss_resource_power	0	0
		2 - camera_timeline_mode	0 - camera_no_power			
		3 - camera_timeline_mirrorposition	30 (0)			
		4 - camera_timeline_moving	0			
173000	1 - pass_action_switchoncamera_line	1 - pss_timeline_camera_linestatus	1 - switched_on			
		2 - camera_timeline_mode	1 - camera_power_off			
174000	3 - camera_action_poweron	2 - camera_timeline_mode	2 - camera_stand_by	1 - pss_resource_power	0	56
408600	8 - camera_action_move_mirror_right	3 - camera_timeline_mirrorposition	31(1)	1 - pss_resource_power	0	58
		4 - camera_timeline_moving	1 - true	1 - pss_resource_power	0	58
408699	endogeno	4 - camera_timeline_moving	0 - false	1 - pss_resource_power	0	56
	...					
409000	5 - camera_action_start imaging	2 - camera_timeline_mode	3 - camera_imaging	1 - pss_resource_power	0	70
442000	6 - camera_action_stop imaging	2 - camera_timeline_mode	2 - camera_stand_by	1 - pss_resource_power	0	56

A seguir tem-se uma breve explicação da Tabela B.3.4 anterior.

Para melhor atender a esses objetivos, inicialmente o SEMAI inicializou uma sessão no tempo '0'. Neste momento, a CAR deve estar desligada, apontando para a posição de 90 graus, ou seja, para o NADIR.

No tempo 173000 milissegundos, a CAR deve estar energizada, porém ainda desligada.

No tempo 174000 milissegundos, a CAR deverá ser ligada e colocada no modo *stand\_by*, modo em que fica aguardando instruções sem executar nenhuma ação.

No tempo 408600 milissegundos, a CAR deverá começar a se mover e cada 100 milissegundos o evento endógeno deverá garantir que ela para de se mover, fazendo com que ela se mova 1 grau a cada 100 milissegundos. Esse evento deverá ocorrer até que a CAR chegue ao ângulo de 8 graus desejado. Essa repetição está representada pelo símbolo '...' na tabela.

No instante 409000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No instante 442000 milissegundos, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *stand\_by*.

Analisando o comportamento do SEMAI para a M2AI, observa-se que a GOESA realiza as atividades conforme a Figura 5.3.

#### **B.4 Estudo de Caso D – Objetivos Conflitantes com Relação ao Tempo**

Para esse estudo de caso serão enviados objetivos conflitantes para analisar o comportamento do SEMAI com o Priorizador de Focos de Incêndios. O objetivo deste estudo de caso é testar o conflito relacionado ao momento inicial de cada objetivo.

Os objetivos desse estudo de caso estão representados na Tabela B.4.1 a seguir:

Tabela B.4.1 – Objetivos do Estudo de Caso D – Objetivos Conflitantes com Relação ao Tempo

Objetivo	Tempo inicial	Tempo final	Ângulo
0	400000	450000	0
1	410000	440000	4
2	413000	460000	8

Para essa execução, o SEMAI deve ser inicializado com a seguinte configuração: a CAR deve iniciar suas atividades no ângulo '0', estar configurada como desligada e sem energia. O tempo da sessão de inferência, ou seja, tempo de planejamento de atendimento aos objetivos, deve ser de 0 até 999999 milissegundos.

Além disso, é necessário que sejam cadastradas as áreas de importância para a execução desse caso. As áreas de prioridades são as áreas da Tabela 8.2.

O algoritmo criado para o Priorizador de Focos de Incêndios classificará os objetivos recebidos de acordo com a seguinte Tabela B.4.2. Esses dados podem ser visualizados através do software criado para testes da GOESA que foi adaptado para possuir essa funcionalidade.

Tabela B.4.2 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios para o Estudo de Caso D – Objetivos Conflitantes com Relação ao Tempo

Objetivos	Restrições	Intervalo de Referência	Prioridade
0	o,c	1	3
1	o,ob,cb	1	3
2	ob	1	3

Como resultado dessas classificações, tem-se a Tabela B.4.3 a seguir que indica quais objetivos devem ser imageados e quais não devem.

Tabela B.4.3 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o Estudo de Caso D – Objetivos Conflitantes com Relação ao Tempo

Objetivos	Imagear Parcial	Imagear Área Maior	Imagear Parcial com Retorno	É parcial de qual?
0	2	1	2	
1	1	2	1	
2	2	2	2	

Ao executar o SEMAI para esses objetivos, a CAR realiza as ações detalhadas na Tabela B.4.4 atendendo os dois objetivos corretamente.

Tabela B.4.4 - Ações realizadas pela GOESA para atender o Caso de Estudo D – Objetivos Conflitantes com Relação ao Tempo

Lista de Ocorrências						
Tempo	Ação	timeline afetada	valor	resource	R Consumer	R value
0	start sessão	1 - pss_timeline_camera powerlinestatus	0 - switched_off	1 - pss_resource_power	0	0
		2 - camera_timeline_modo	0 - camera_nono_power			
		3 - camera_timeline_mirrorposition	30 (0)			
		4 - camera_timeline_moving	0			

Continua

Tabela B.4.4 – Conclusão

383000	1 - pass_action_ switchoncam eraline	1 - pss_timeline_camera linestatus	1 - switched_ on			
		2 - camera_timeline_mo de	1 - camera_p ower_off			
384000	3 - camera_actio n_poweron	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56
408600	8 - camera_acti on_movemir rorrighth	3 - camera_timeline_m irrorposition	31(1)	1 - pss_resourc e_power	0	58
		4 - camera_timeline_m oving	1 - true	1 - pss_resourc e_power	0	58
408699	endogeno	4 - camera_timeline_m oving	0 - false	1 - pss_resourc e_power	0	56
	...					
409000	5 - camera_acti on_startima ging	2 - camera_timeline_mo de	3 - camera_i maging	1 - pss_resourc e_power	0	70
442000	6 - camera_acti on_stopima ging	2 - camera_timeline_mo de	2 - camera_st and_by	1 - pss_resourc e_power	0	56

A seguir, tem-se uma breve explicação da Tabela B.4.4 anterior.

Para melhor atender a esses objetivos inicialmente o SEMAI inicializou uma sessão no tempo '0'. Neste momento a CAR deve estar desligada, apontando para a posição de 90 graus, ou seja, para o NADIR.

No tempo 383000 milissegundos, a CAR dever estar energizada, porém ainda desligada.

No tempo 384000 milissegundos, a CAR deverá ser ligada e colocada no modo *stand\_by*, modo em que fica aguardando instruções sem fazer nada.

No tempo 408600 milissegundos, a CAR deverá começar a se mover e cada 100 milissegundos o evento endógeno deverá garantir que ela para de se mover, fazendo com que ela se mova 1 grau a cada 100 milissegundos. Esse evento deverá ocorrer até que a CAR chegue ao ângulo de 4 graus desejado. Essa repetição está representada pelo símbolo ‘...’ na tabela.

No instante 409000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No instante 4422000 milissegundos, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *stand\_by*.

Analisando o comportamento do SEMAI para a M2AI, observa-se que ele realiza as atividades conforme a Figura 5.3.

### **B.5 Estudo de Caso E – Objetivos Iguais**

Para esse estudo de caso serão enviados objetivos conflitantes para analisar o comportamento do SEMAI com o Priorizador de Focos de Incêndios. O objetivo deste estudo de caso é testar o conflito relacionado ao momento inicial de cada objetivo.

Os objetivos desse estudo de caso estão representados na Tabela B.5.1 a seguir:

Tabela B.5.1 – Objetivos do Estudo de Caso E – Obejtivos Iguais

Objetivo	Tempo inicial	Tempo final	Ângulo
0	800000	850000	-7
1	800000	860000	0
2	820000	870000	8
3	820000	870000	10

Para essa execução, o SEMAI deve ser inicializado com a seguinte configuração: a CAR deve iniciar suas atividades no ângulo '0', estar configurada como desligada e sem energia. O tempo da sessão de inferência, ou seja, tempo de planejamento de atendimento aos objetivos, deve ser de 0 até 999999 milissegundos.

Além disso, é necessário que sejam cadastradas as áreas de importância para a execução desse caso. As áreas de prioridades são as áreas da Tabela 8.2.

O algoritmo criado para o Priorizador de Focos de Incêndios classificará os objetivos recebidos de acordo com a seguinte Tabela B.5.2. Esses dados podem ser visualizados através do software criado para testes da GOESA que foi adaptado para possuir essa funcionalidade.

Tabela B.5.2 – Tabela de Classificação dos Objetivos feita pelo Priorizador de Focos de Incêndios para o Estudo de Caso E – Obejtivos Iguais

Objetivos	Restrições	Intervalo de Referência	Prioridade
0	o,s	1	0
1	o,ob,sb	1	0
2	o,fb,s,e,ob	1	0
3	e,ob,f,sb	1	0

Como resultado dessas classificações, tem-se a Tabela B.5.3 a seguir que indica quais objetivos devem ser imageados e quais não devem.

Tabela B.5.3 – Tabela que mostra quais objetivos serão imageados para o Estudo de Caso E – Obejtivos Iguais

Objetivos	Imagear Parcial	Imagear Área Maior	Imagear Parcial com Retorno	É parcial de qual?
0	2	2	2	
1	1	1	1	
2	2	2	2	
3	2	2	2	

Ao executar o SEMAI para esses objetivos ela realiza as ações detalhadas na Tabela B.5.4 atendendo os dois objetivos corretamente.

Tabela B.5.4 - Ações realizadas pela GOESA para atender o Caso de Estudo E –  
Objetivos Iguais

Lista de Ocorrências						
Tempo	Ação	timeline afetada	Valor	resource	R Consumer	R value
0	start sessão	1 - pss_timeline_camera powerlinestatus	0 - switched_off	1 - pss_resource_power	0	0
		2 - camera_timeline_mode	0 - camera_no_power			
		3 - camera_timeline_mirrorposition	30 (0)			
		4 - camera_timeline_moving	0			
773000	1 - pass_action_switchoncamera line	1 - pss_timeline_camera linestatus	1 - switched_on			
		2 - camera_timeline_mode	1 - camera_power_off			
774000	3 - camera_action_poweron	2 - camera_timeline_mode	2 - camera_stand_by	1 - pss_resource_power	0	56
799000	5 - camera_action_startimagining	2 - camera_timeline_mode	3 - camera_imaging	1 - pss_resource_power	0	70
862000	6 - camera_action_stopimagining	2 - camera_timeline_mode	2 - camera_stand_by	1 - pss_resource_power	0	56

A seguir tem-se uma breve explicação da Tabela B.5.4 anterior.

Para melhor atender a esses objetivos, inicialmente o SEMAI inicializou uma sessão no tempo '0'. Neste momento a CAR deve estar desligada, apontando para a posição de 90 graus, ou seja, para o NADIR.

No tempo 73000 milissegundos, a CAR deve estar energizada, porém ainda desligada.

No tempo 74000 milissegundos, a CAR deverá ser ligada e colocada no modo *stand\_by*, modo em que fica aguardando instruções sem fazer nada.

No instante 799000 milissegundos, a CAR começa a imagear.

No instante 862000 milissegundos, a CAR para de imagear e volta a ficar em estado de *stand\_by*.

Analisando o comportamento do SEMAI para a M2AI, observa-se que ele realiza as atividades conforme a Figura 5.3.