



# USO DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO RASTREIO E AQUISIÇÃO DE DADOS DE SATÉLITES

BARBOSA, I.M.<sup>1</sup>, FERREIRA, M. G. V.<sup>2</sup>, CHAGAS JUNIOR, M. F.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

Doutorando no curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais na área de concentração Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

ivan.barbosa@inpe.br

---

**Resumo.** Este trabalho propõe a pesquisa e o desenvolvimento do artefato denominado Payload Data Acquisition Expert System (PDA-ES). O PDA-ES contempla o estudo de caso para configuração da estação terrena de recepção dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2 e o estudo de caso para identificação de anomalias e falhas na estação terrena de recepção COSMIC-2. A definição dos requisitos do sistema especialista, o levantamento e o mapeamento das regras de produção e a criação da base conhecimento contribuem para a realização e melhorias das atividades de rastreamento e recepção de dados de carga útil no INPE.

---

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial; Satélite; Sistemas de solo; Sistemas especialistas.

## 1. Introdução

A constelação de satélites COSMIC-2 (*Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate*) é uma colaboração internacional entre a *National Space Organization (NSPO)* de Taiwan e a *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* dos Estados Unidos e compreende uma constelação de 12 microssatélites de sensoriamento remoto para coletar dados atmosféricos para previsão do tempo, ionosfera, clima e pesquisa sobre a gravidade (EOPORTAL, 2018).

O objetivo principal do COSMIC-2 é melhorar as capacidades de previsão do tempo regional e global (incluindo a previsão do tempo severo). O objetivo é coletar uma grande quantidade de dados atmosféricos e ionosféricos, principalmente para previsão operacional de tempo e monitoramento do clima espacial, bem como meteorologia, clima, ionosfera e pesquisa geodésica (EOPORTAL, 2018).

Os satélites da constelação COSMIC-2 serão lançados pelo foguete *Falcon Heavy* através do programa STP-2 (*Space Test Program-2*) da Força Aérea dos Estados Unidos (*USAF United States Air Force*). Os seis primeiros satélites denominados COSMIC-2A serão



lançados em órbita de 24° de inclinação em novembro de 2018. Os seis satélites restantes denominados COSMIC-2B serão lançados em órbita de 72° de inclinação em 2020.

De acordo com (Barbosa, 2016), a aquisição operacional dos dados dos satélites científicos COSMIC-2 compreende 41 aquisições diárias e 615 MB de dados brutos da constelação COSMIC-2A e 26 aquisições diárias e 390 MB de dados brutos da constelação COSMIC-2B, totalizando 67 aquisições e 1.005 MB de dados brutos diariamente. A cada hora ocorrerão duas ou três aquisições dos dados brutos com acordo de nível de serviço (SLA) menor de 30 minutos contados a partir da coleta dos dados pelos sensores a bordo dos satélites da constelação COSMIC-2 (COSMIC-2A e COSMIC-2B).

Infelizmente as atividades corriqueiras e de operação ainda são muito manuais. No momento em que uma anomalia é encontrada e a passagem não é gravada, surgem diversas dúvidas sobre o que ocorreu e onde houve a falha. As incertezas e as dúvidas sobre a falha levam ao aumento do tempo para o retorno às atividades operacionais.

Como proceder para que a estação terrena de recepção retorne às atividades normais? Será possível rastrear e gravar os dados das próximas passagens? O que ocasionou o erro ou a falha?

Para auxiliar na solução desse problema, propõe-se a utilização de técnicas de inteligência artificial e de sistemas especialistas que propiciem a preservação e reprodução do conhecimento, a resolução de problemas complexos, o aumento da produtividade e da qualidade nas atividades essenciais de recepção e gravação de dados de satélites.

O objetivo deste trabalho de pesquisa é o desenvolvimento e a verificação do artefato denominado *Payload Data Acquisition - Expert System* (PDA-ES) que possibilitará a pronta resposta às anomalias e falhas nas estações terrenas de recepção, a configuração dos sistemas e subsistemas das estações terrenas de recepção, na codificação do conhecimento tácito e na preservação do conhecimento explícito contidos nessa área de atuação da Instituição.

## **2. Metodologia**

A metodologia utilizada nesse trabalho de pesquisa foi a leitura e análise da bibliografia sobre segmento solo (normas ECSS, CCSDS, SMAD), artigos científicos sobre o programa COSMIC-2, livros e artigos científicos sobre inteligência artificial, sistemas especialistas e trabalhos relacionados. Também foram estudadas a linguagem de programação CLIPS e a extensão PHLIPS para integração do CLIPS com a linguagem de programação PHP.

## **3. Resultados e Discussão**

O segmento solo do INPE é dividido em controle da missão e aquisição dos dados brutos transmitidos pelos satélites. A recepção dos dados de carga útil de satélite iniciou-se em 1973 com a recepção e gravação dos dados do satélite americano LANDSAT-1. Posteriormente, foram adicionadas outras missões espaciais como os satélites LANDSAT-5, LANDSAT-7, LANDSAT-8, AQUA, Terra, S-NPP e as séries CBERS, NOAA, GOES e MetOp. Em 2015 foi adquirido e instalado na unidade do INPE em Cuiabá-MT o sistema de rastreo e recepção dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2. A Tabela 1 mostra as características da Estação Terrena de Recepção (ETR) de dados dos satélites da constelação COSMIC-2.



Tabela 1 - Características da estação terrena COSMIC-2. Fonte: (Barbosa, 2016).

Localização	Cuiabá - MT Lat.: -15.554974° e Long.: -56.070441°	
Elevação	233m	
Tamanho do refletor	3m de diâmetro	
Banda	Banda S	
G/T	> 12,5 dB/K (a 2.24 GHz e 5° de elevação)	
<i>Feed / Downconverter</i>	Ganho	33 dBi ( <i>feed</i> ) > 12,5 dB/K (a 2.24 GHz e 5° de elevação)
	Polarização	LHCP
	Entrada	2.20 a 2.30 GHz
Receptor ZDS Cortex CRT-Q	Demodulação	PCM/PM, PCM/FM, BPSK, QPSK, OQPSK, SOQPSK, GMSK ou AQPSK.
	IF	70MHz
	Formatos	CADU
ZDS cortex ACU	Gerenciamento dos eixos X e Y; Servo <i>Control</i> ; Limites angulares; Posicionamento manual; <i>slew rate</i> ; modo programado; <i>auto-track</i> ; <i>step-track</i> ; <i>stow</i> .	

Nesse trabalho de pesquisa foram utilizadas técnicas de inteligência artificial que possibilitaram a codificação do conhecimento tácito, a preservação do conhecimento explícito, contribuíram para as respostas às anomalias e falhas nas estações terrenas de recepção e auxiliaram na configuração dos sistemas e subsistemas de aquisição de dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2.

De acordo com (BARR & FEIGENBAUM, 1981), a inteligência artificial é parte da Ciência da Computação relacionada com o projeto de sistemas computacionais que apresentam características que nós associamos à inteligência humana – a compreensão da linguagem, aprendizagem, raciocínio, resolução de problemas, e assim por diante.

A ciência cognitiva é uma subárea da inteligência artificial e contempla o desenvolvimento de sistemas especialistas, sistemas de aprendizagem, redes neurais, lógica difusa, agentes inteligentes e algoritmos genéticos (O'BRIEN, 2010).

Sistema especialista é uma ferramenta de decisão interativa baseada em computador que utiliza fatos e heurísticas para resolver problemas de decisão difíceis com base no conhecimento adquirido de um especialista (BADIRU & CHEUNG, 2002).

O conhecimento pode ser representado nos sistemas especialistas através de a) Raciocínio Baseado em Casos; b) Conhecimento Baseado em Quadros; c) Conhecimento Baseado em Objeto; e d) Conhecimento Baseado em Regras e declarações de fatos. As regras são



declarações que normalmente assumem a forma de uma premissa e uma conclusão do tipo: SE (condição), ENTÃO (conclusão) (O'BRIEN, 2010).

A Linguagem de programação CLIPS (*C Language Integrated Production System*) é um sistema de produção com encadeamento para frente desenvolvido pela NASA. Devido a sua portabilidade, extensibilidade, características e baixo custo, CLIPS recebeu ampla aceitação no governo, indústria e academia. O desenvolvimento do CLIPS ajudou a melhorar a capacidade de desenvolver sistemas especialistas para os setores público e privado, gerando uma ampla gama de aplicações e diversos ambientes de computação (RILEY, 2015).

A integração da linguagem de programação CLIPS com a linguagem de programação PHP foi realizada através da extensão PHP clips-0.5.1. Essa extensão propicia ao PHP uma interface básica para um ambiente CLIPS, sendo sua finalidade permitir a implantação de sistemas especialistas em PHP (THE PHLIPS Project, 2005).

O sistema especialista PDA-ES foi escrito na linguagem de programação CLIPS e integrada com a linguagem PHP e com servidor web Apache. Com isso, o sistema especialista deixa de ser *stand alone* e pode ser acessado a partir de diferentes unidades do INPE. Ele utiliza regras de produção para representação do conhecimento adquirido dos especialistas do INPE e dos fabricantes das Estações Terrenas instaladas no Instituto. O artefato PDA-ES auxilia o Operador, os técnicos e engenheiros no diagnóstico de anomalias e falhas na estação terrena de recepção COSMIC-2, na disseminação dos dados brutos e, baseado nas regras e nos fatos contidos na base de conhecimento, apresenta ao Usuário a ação que deverá ser executada. A Figura 1 ilustra a arquitetura do sistema especialista PDA-ES.

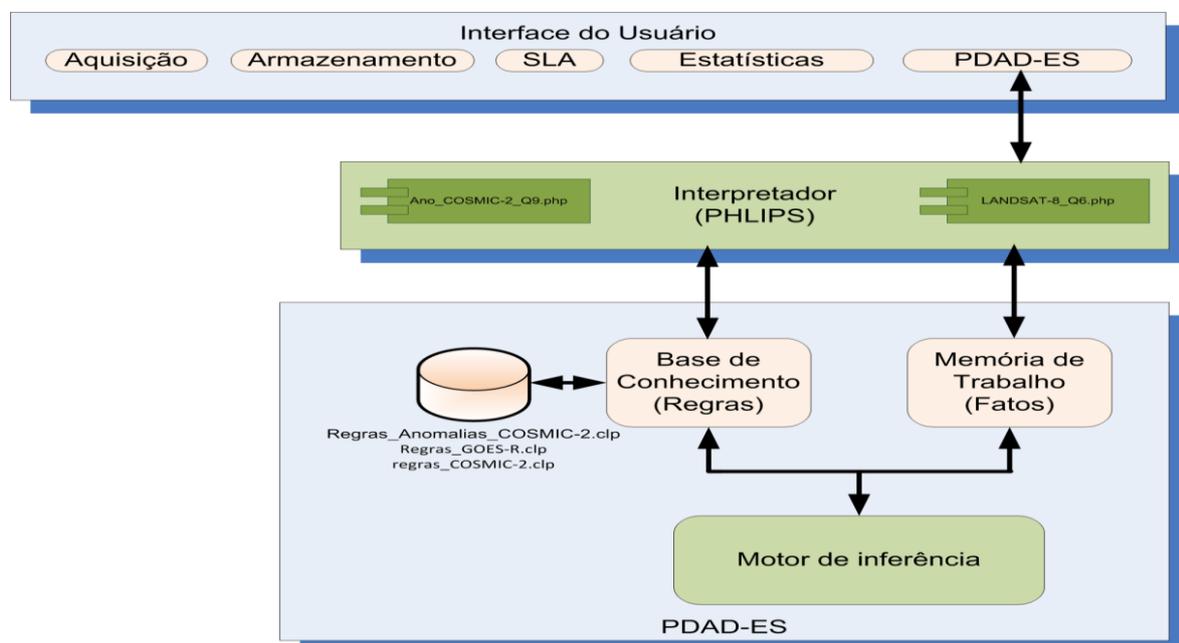


Figura1 - Arquitetura do sistema especialista PDA-ES. Fonte: (Barbosa, 2016).

O objetivo principal do artefato PDA-ES é reduzir o tempo de resposta às anomalias e falhas no segmento solo, auxiliar na configuração dos subsistemas (cortex ACU, cortex CRT-Q, down converter, etc.) da estação terrena de recepção e preservar o conhecimento nessa área de atuação da organização.



O PDA-ES, com base nos fatos e nas regras contidas em sua base de conhecimento, aconselha o Operador na configuração dos equipamentos, sistemas e subsistemas da estação terrena de recepção COSMIC-2. A Figura 2 ilustra a árvore de possibilidades da configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2.

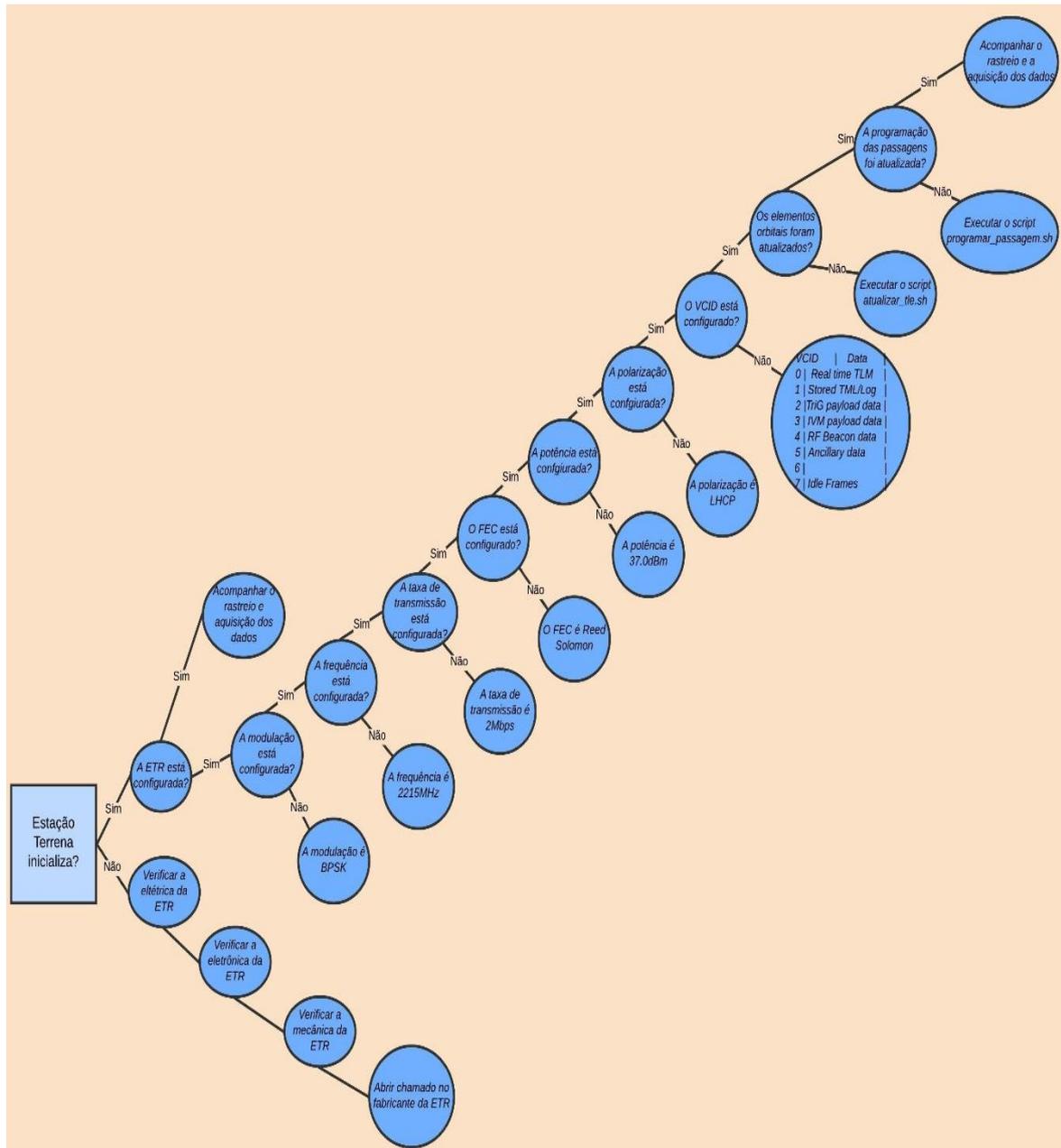


Figura 2 - Árvore de possibilidades para configuração da estação terrena COSMIC-2.  
Fonte: Produção do autor.

A Figura 3 ilustra o aconselhamento do sistema especialista na configuração do canal virtual para recepção dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2.



# 9º Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais

15 e 16 de Agosto de 2018

FATOS	REGRAS
<p>Número inicial de fatos: 9</p> <pre>array(2) { [0]=&gt; string(14) "ETR_Inicializa" [1]=&gt; string(3) "sim" } array(2) { [0]=&gt; string(15) "ETR_Configurada" [1]=&gt; string(3) "nao" } array(2) { [0]=&gt; string(22) "Frequencia_Configurada" [1]=&gt; string(3) "sim" } array(2) { [0]=&gt; string(28) "Modulacao_Configurada" [1]=&gt; string(3) "sim" } array(2) { [0]=&gt; string(28) "Taxa_Transmissao_Configurada" [1]=&gt; string(3) "sim" } array(2) { [0]=&gt; string(15) "FEC_Configurado" [1]=&gt; string(3) "sim" } array(2) { [0]=&gt; string(20) "Potencia_Configurada" [1]=&gt; string(3) "sim" } array(2) { [0]=&gt; string(23) "Polarizacao_Configurada" [1]=&gt; string(3) "sim" } array(2) { [0]=&gt; string(16) "VCID_Configurado" [1]=&gt; string(3) "nao" }</pre> <p>Número Final de fatos: 10</p>	<p>Número total de regras: 13</p> <pre>string(36) "MAIN::Estacao_Terrena_Nao_Inicializa" string(33) "MAIN::Estacao_Terrena_Configurada" string(26) "MAIN::Configura_Frequencia" string(25) "MAIN::Configura_Modulacao" string(32) "MAIN::Configura_Taxa_Transmissao" string(19) "MAIN::Configura_FEC" string(24) "MAIN::Configura_Potencia" string(27) "MAIN::Configura_Polarizacao" string(20) "MAIN::Configura_VCID" string(19) "MAIN::Configura_TLE" string(36) "MAIN::Configura_Programacao_Passagem" string(31) "MAIN::Configura_Estacao_Terrena"</pre> <p>Número de regras executadas: 1</p>
<p>ACONSELHAMENTO</p> <pre>array(2) { [0]=&gt; string(4) "Acao" [1]=&gt; string(274) "Configurar os Virtual Channel Identifier para o COSMIC-2: (VCID 0 = Real-time TLM 1), (VCID 1 = Stored TLM/log), (VCID 2 = TriG Payload), (VCID 3 = IVM Payload Data), (VCID 4 = RF Beacon Data), (VCID 5 = Ancillary Data), (VCID 6 = Ancillary Data), (VCID 7 = Ancillary Data) " }</pre>	

Figura 3 - Aconselhamento para configuração dos VCIDs. Fonte: (Barbosa, 2016).

A Figura 4 ilustra a árvore de possibilidades para identificação de anomalias e falhas na recepção dos dados transmitidos pelo satélite COSMIC-2.

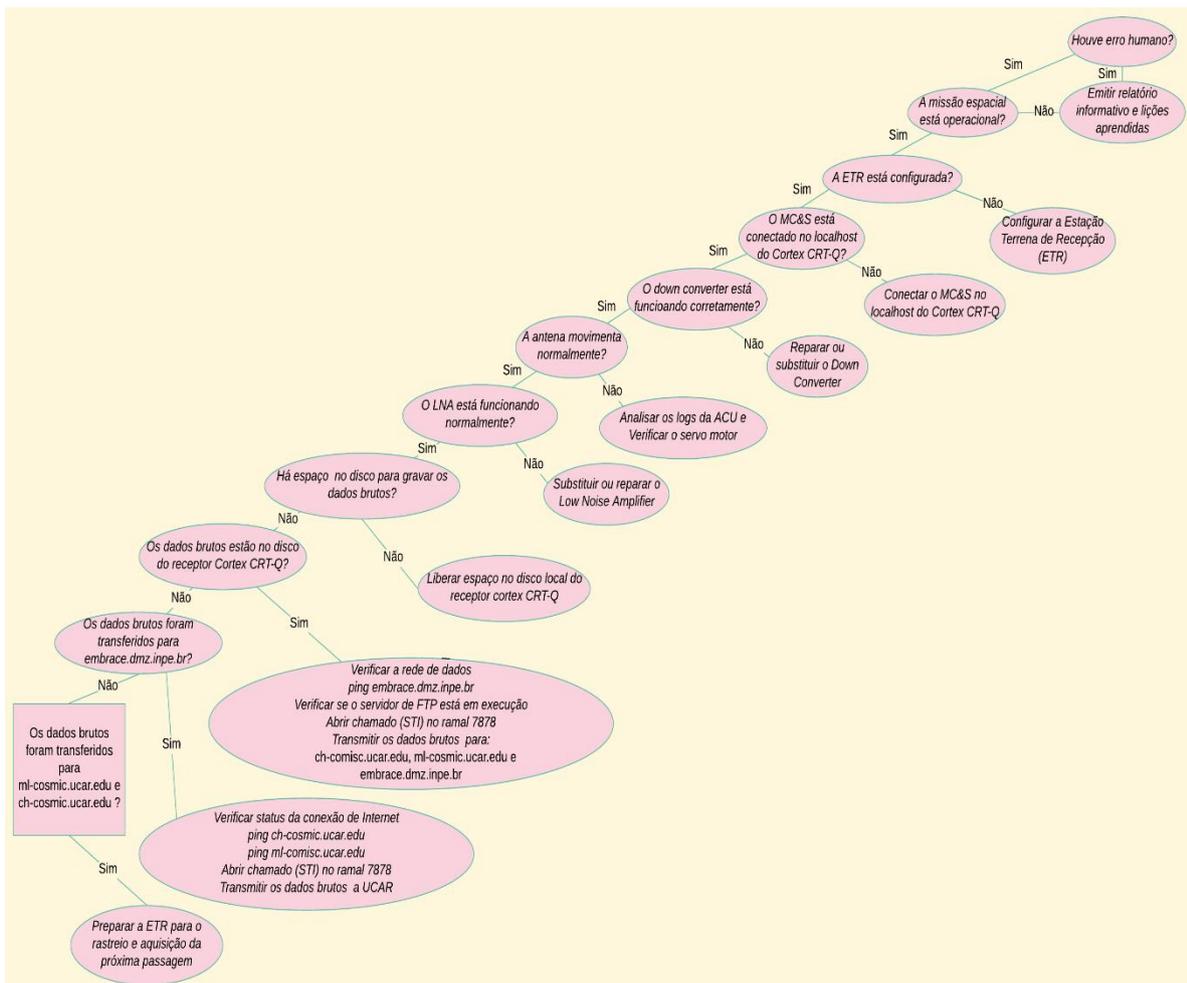


Figura 4 - Árvore de possibilidades para identificação de anomalias e falhas na recepção. Fonte: Produção do autor.



## 9º Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais 15 e 16 de Agosto de 2018

A Figura 5 ilustra o aconselhamento sistema especialista para identificação de anomalias na estação terrena de recepção COSMIC-2. Na Figura 5 é possível observar que o sistema especialista utilizou 10 fatos (coluna esquerda) e 20 regras de produção (coluna direita) e concluiu, baseado nos fatos e nas regras, que a solução é “Conectar o MC&S (*Monitoring and Control Software*) no localhost do receptor Cortex CRT-Q.

FATOS	REGRAS
<p>Número inicial de fatos: 9</p> <pre>array(2) ( [0]=&gt; string(37) "Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU" [1]=&gt; string(3) "nao" ) array(2) ( [0]=&gt; string(37) "Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU" [1]=&gt; string(3) "nao" ) array(2) ( [0]=&gt; string(25) "Dados_Transferidos_EMBRACE" [1]=&gt; string(3) "nao" ) array(2) ( [0]=&gt; string(25) "Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q" [1]=&gt; string(3) "nao" ) array(2) ( [0]=&gt; string(25) "Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q" [1]=&gt; string(3) "sim" ) array(2) ( [0]=&gt; string(15) "LNA_Funcionando" [1]=&gt; string(3) "sim" ) array(2) ( [0]=&gt; string(18) "Antena_Funcionando" [1]=&gt; string(3) "sim" ) array(2) ( [0]=&gt; string(25) "Downconverter_Funcionando" [1]=&gt; string(3) "sim" ) array(2) ( [0]=&gt; string(13) "MCS_Conectado" [1]=&gt; string(3) "nao" )</pre> <p>Número Final de fatos: 10</p>	<p>Número total de regras: 20</p> <pre>string(44) "MAIN:;Nao_Transfere_Dados_ML_COSMIC_UCAR_EDU" string(40) "MAIN:;Transfere_Dados_CH_COSMIC_UCAR_EDU" string(29) "MAIN:;Transfere_Dados_EMBRACE" string(31) "MAIN:;Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q" string(31) "MAIN:;Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q" string(18) "MAIN:;LNA_Problema" string(21) "MAIN:;LNA_Funcionando" string(21) "MAIN:;Antena_Problema" string(24) "MAIN:;Antena_Funcionando" string(28) "MAIN:;Downconverter_Problema" string(31) "MAIN:;Downconverter_Funcionando" string(23) "MAIN:;MCS_Nao_Conectado" string(19) "MAIN:;MCS_Conectado" string(25) "MAIN:;ETR_Nao_Configurada" string(21) "MAIN:;ETR_Configurada" string(24) "MAIN:;COSMIC_Operacional" string(28) "MAIN:;COSMIC_Nao_Operacional" string(17) "MAIN:;Erro_Humano" string(16) "MAIN:;print-Acao"</pre> <p>Número de regras executadas: 2</p>

**ACONSELHAMENTO**

```
array(2) ( [0]=> string(4) "Acao" [1]=> string(51) "Conectar o software M&CS no localhost (CrtConfig_1)" )
```

Figura 5 - Aconselhamento para conectar o M&CS no localhost do receptor Cortex CRT-Q e no localhost do Cortex ACU. Fonte: (Barbosa, 2016).

A Figura 6 ilustra o código fonte e as regras utilizadas para identificação de anomalias na estação terrena de recepção COSMIC-2.

```
179 (assert (Acao "Verificar o status dos satélites da constelação COSMIC-1 e COSMIC-2"))
180 (defrule COSMIC_Operacional ""
181 (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)
182 (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)
183 (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)
184 (Dados_Brutos_CORTEX_CRT_Q nao)
185 (Espaco_Disco_CORTEX_CRT_Q sim)
186 (LNA_Funcionando sim)
187 (Antena_Funcionando sim)
188 (Downconverter_Funcionando sim)
189 (MCS_Conectado sim)
190 (ETR_Configurada sim)
191 (COSMIC_Operacional sim)
192 (not (Acao ?))
193 =>
194 (assert (Acao "Analisar o AGC e certificar que o satélite transmitiu o sinal"))
195 (defrule COSMIC_Nao_Operacional ""
196 (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)
197 (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)
198 (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)
199 (Dados_Brutos_CORTEX_CRT_Q nao)
200 (Espaco_Disco_CORTEX_CRT_Q sim)
201 (LNA_Funcionando sim)
202 (Antena_Funcionando sim)
203 (Downconverter_Funcionando sim)
204 (MCS_Conectado sim)
205 (ETR_Configurada sim)
206 (COSMIC_Operacional nao)
207 (not (Acao ?))
208 =>
209 (assert (Acao "Verificar se há correcao de orbita, anomalias no satellite ou calibracao dos instrumentos a bordo do satellite"))
```

Figura 6 – Código fonte e as regras do sistema especialista. Fonte: Produção do autor.



#### **4. Conclusão**

O objetivo geral deste trabalho é pesquisar e desenvolver artefato que possibilite a pronta resposta às anomalias e falhas na estação terrena de recepção COSMIC-2, na configuração dos sistemas e subsistemas de aquisição de dados brutos de satélites, na codificação do conhecimento tácito e na preservação do conhecimento explícito contido na Instituição.

O artefato PDA-ES contempla a configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2, a identificação de anomalias e falhas nos sistemas e subsistemas de recepção e na disseminação dos dados brutos para a UCAR/NOAA e para o INPE.

A consulta à base de conhecimento e as inferências realizadas pelo sistema especialista PDA-ES possibilitam a redução do tempo de resposta às anomalias do segmento solo, segurança e confiabilidade da informação, auxiliam no reparo e na configuração dos sistemas de recepção e na disseminação dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2. Também contribuem para a preservação do conhecimento dos especialistas da organização, na aquisição de conhecimento dos fabricantes de estações terrenas e no treinamento de pessoas nessa área de atuação do Instituto.

#### **Referências**

- BADIRU, A. B., & CHEUNG, J. (2002). *Fuzzy engineering expert systems with neural network applications*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons.
- Barbosa, I. M. (30 de Novembro de 2016). *INPE*. Acesso em 30 de Julho de 2018, disponível em INPE: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.21.18.16?metadataarepository=sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.21.18.16.04&ibiurl.backgroundlanguage=pt&ibiurl.requiredsite=mtc-m21b.sid.inpe.br+804&requiredmirror=sid.inpe.br/mtc-m21b/2013/09.26.14.2>
- BARR, A., & FEIGENBAUM, E. (1981). <https://archive.org/details/handbookofartific01barr> (Vol. 1). Stanford, Col., CA, USA: Los Altos: William Kaufmann Inc. Acesso em 27 de Julho de 2018, disponível em <https://archive.org/details/handbookofartific01barr>
- EOPORTAL. (2018). *COSMIC-2*. Acesso em 27 de Julho de 2018, disponível em EO Portal Directory: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/f/formosat-3>
- O'BRIEN, J. A. (2010). *Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da Internet* (3 ed., Vol. I). (C. K. Moreira, Trad.) São Paulo, SP, Brasil: Saraiva.
- RILEY, G. (2015). *CLIPS Reference manual - Basic Programming Guide* (Vol. I). Acesso em 27 de 07 de 2018, disponível em <http://clipsrules.sourceforge.net/documentation/v630/bpg.pdf>
- THE PHILIPS Project*. (2005). Acesso em 27 de Julho de 2018, disponível em PHILIPS : <http://phlips.sourceforge.net/documentation.php>