



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

SOFTWARE EMBARCADO EM NANOSATÉLITES (SENa)

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/INPE - CNPq/MCT

PROCESSO Nº: 137082/2012-6

Ândrei Camponogara – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Eletrônica
LAMEC/CRS/CCR/INPE – MCT
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria
LACESM/CT - UFSM
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CCR/INPE - MCT
E-mail: acamponogara@lacesm.ufsm.br

Dr. Maria de Fátima Mattiello-Francisco – Orientadora
Coordenação de Gestão Tecnológica
(TEC)/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE - MCT
E-mail: fatima.mattiello@dir.inpe.br

Santa Maria, Julho de 2013

**RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO
PROGRAMA: PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

PROJETO

SOFTWARE EMBARCADO EM NANOSATÉLITES (SENa)

PROCESSO N°: 137082/2012-6

Relatório elaborado por:

Ândrei Camponogara – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Acadêmico do Curso de Engenharia de Computação
E-mail: acamponogara@lacesm.ufsm.br

Dr. Maria de Fátima Mattiello-Francisco – Orientadora
Coordenação de Gestão Tecnológica
(TEC)/INPE – MCT
E-mail: fatima.mattiello@dir.inpe.br

Dr. Nelson Jorge Schuch – Co-Orientador
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CCR/INPE – MCT
E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Projeto:

SOFTWARE EMBARCADO EM NANOSATÉLITES (SENa)

Processo CNPq: Nº 137082/2012-6

Bolsista:

Ândrei Camponogara

Acadêmico do Curso de Engenharia Computação

Centro de Tecnologia - Universidade Federal de Santa Maria – CT/UFSM

Orientadora:

Dr. Maria de Fátima Mattiello-Francisco

Coordenação de Gestão Tecnológica - (TEC)/INPE – MCT

Co-Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

Pesquisador Titular Sênior III

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT

Colaboradores/ Acadêmicos:

Bolsista Tális Piovesan– Aluno de Graduação do Curso de Engenharia Elétrica – CT/UFSM

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Laboratório de Eletrônica – LE/CRS/CCR/INPE – MCT, Santa Maria, RS.

Projeto executado no âmbito da Parceria INPE/MCT – UFSM através do

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT-UFSM.



Grupo de Pesquisa
Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites



Identificação

Recursos Humanos

Linhas de Pesquisa

Indicadores do Grupo

Identificação

Dados básicos

Nome do grupo: Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 14/06/2013 10:54

Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch -

Natanael Rodrigues Gomes -

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra; Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Órgão:

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

Cidade: Santa Maria

Telefone: 33012026

CEP: 97110970

UF: RS

Fax: 33012030

Home page: <http://>

Repercussões dos trabalhos do grupo

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL, NANOSATÉLITES do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT, Lat. 29°26'24"S, Long. 53°48'38"W, Alt. 488m, em São Martinho da Serra, RS, criado por Nelson Jorge Schuch em 1996, colabora com Pesquisadores da: UFSM (CT-LACESM), INPE, CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON e DPD/UNIVAP no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA (Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (DLR e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATÉLITES. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Desenvolvimento de Nanosatélites Científicos, em especial CubeSats: o NANOSATC-BR1 e NANOSATC-BR2. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, mecanismos de geração de energia no Sol, Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geoespaço com a Ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes induzidas na superfície da Terra, Eletricidade Atmosférica e seus Eventos Luminosos Transientes (TLEs). As Pesquisas base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de

magnetosferas planetárias, e de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Otávio Santos Cupertino Durão, Natanael Rodrigues Gomes.

Recursos humanos	
Pesquisadores	Total: 52
Adriano Petry	Jose Humberto Andrade Sobral
Alexandre Alvares Pimenta	Juliano Moro
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez	Lilian Piecha Moor
Alisson Dal Lago	Lucas Lopes Costa
Andrei Piccinini Legg	Lucas Ramos Vieira
Antonio Claret Palerosi	Mangalathayil Ali Abdu
Barclay Robert Clemesha	Marco Ivan Rodrigues Sampaio
Carlos Roberto Braga	Marlos Rockenbach da Silva
Cassio Espindola Antunes	Nalin Babulau Trivedi
Clezio Marcos De Nardin	Natanael Rodrigues Gomes
Cristiano Sarzi Machado	Nelson Jorge Schuch
Delano Gobbi	Nivaor Rodolfo Rigozo
Eduardo Escobar Bürger	Odim Mendes Junior
Eurico Rodrigues de Paula	Osmar Marchi dos Santos
Ezequiel Echer	Otavio Santos Cupertino Durão
Fabiano Luis de Sousa	Pawel Rozenfeld
Fernanda de São Sabbas Tavares	Petrônio Noronha de Souza
Fernanda Gusmão de Lima Kastensmidt	Polinaya Muralikrishna
Geilson Loureiro	Rajaram Purushottam Kane
Gelson Lauro Dal' Forno	Renato Machado
Guilherme Simon da Rosa	Ricardo Augusto da Luz Reis
Gustavo Fernando Dessbesell	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
Hisao Takahashi	Severino Luiz Guimaraes Dutra
Igor Freitas Fagundes	Tardelli Ronan Coelho Stekel
Jean Pierre Raulin	Walter Demetrio Gonzalez Alarcon
João Baptista dos Santos Martins	William do Nascimento Guareschi
Estudantes	Total: 22
Anderson Vestena Bilibio	Lucas Lourencena Caldas Franke
Ândrei Camponogara	Maurício Ricardo Balestrin
Andreos Vestena Bilibio	Michel Baptistella Stefanello
Bruno Knevez Hammerschmitt	Miguel Rossatto Bohrz
Claudio Machado Paulo	Pietro Fernando Moro
Dimas Irion Alves	Rodrigo Passos Marques
Fernando Landerdahl Alves	Tális Piovesan
Guilherme Paul Jaenisch	Thales Nunes Moreira
Iago Camargo Silveira	Thales Ramos Mânica
José Paulo Marchezi	Tiago Bremm
Leonardo Zavareze da Costa	Vinícius Deggeroni
Técnicos	Total: 0

Linhas de pesquisa	Total: 4
<ul style="list-style-type: none"> • AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA • DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR • MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO • MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL 	

Relações com o setor produtivo	Total: 1
<ul style="list-style-type: none"> • ALPHA SOUTH AMERICA - REPRESENTACOES E CONSULTORIA AEROESPACIAL LTDA - ASARCA_PPROV 	

Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	52
Estudante(s)	22
Técnico(s)	0



Linha de Pesquisa

DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR

Linha de pesquisa

DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR

Nome do grupo: [Clima Espacial](#), [Interações Sol -Terra](#), [Magnetosferas](#), [Geoespaço](#), [Geomagnetismo](#), [Nanosatélites](#)

Palavras-chave: CubeSats; Desenvolvimento de Engenharias - Tecnologias; Miniaturização; Nanosatélites; Nanotecnologia; Pesquisa do Geoespaço;

Pesquisadores:

[Adriano Petry](#)
[Alexandre Alvares Pimenta](#)
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Andrei Piccinini Legg](#)
[Antonio Claret Palerosi](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Cristiano Sarzi Machado](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fabiano Luis de Sousa](#)
[Fernanda Gusmão de Lima Kastensmidt](#)
[Geilson Loureiro](#)
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)
[Guilherme Simon da Rosa](#)
[Gustavo Fernando Dessbesell](#)
[Igor Freitas Fagundes](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[João Baptista dos Santos Martins](#)
[Jose Humberto Andrade Sobral](#)
[Lilian Piecha Moor](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Marlos Rockenbach da Silva](#)
[Nalin Babulal Trivedi](#)
[Natanael Rodrigues Gomes](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Odim Mendes Junior](#)
[Osmar Marchi dos Santos](#)
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)
[Pawel Rozenfeld](#)
[Petrônio Noronha de Souza](#)
[Renato Machado](#)
[Ricardo Augusto da Luz Reis](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)
[William do Nascimento Guareschi](#)

Estudantes:

[Anderson Vestena Bilibio](#)
[Andrei Camponogara](#)
[Andreas Vestena Bilibio](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Fernando Landerdahl Alves](#)
[Guilherme Paul Jaenisch](#)
[Iago Camargo Silveira](#)
[José Paulo Marchezi](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)
[Maurício Ricardo Balestrin](#)
[Miguel Rossatto Bohrz](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[Rodrigo Passos Marques](#)
[Tális Piovesan](#)
[Thales Nunes Moreira](#)
[Thales Ramos Mânica](#)
[Tiago Bremm](#)
[Vinícius Deggeroni](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Astronomia; Astrofísica do Sistema Solar;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;
Engenharias; Engenharia Aeroespacial; Engenharia Aeroespacial - Pequenos Satélites;

Setores de aplicação:

Aeronáutica e Espaço

Objetivo:

Pesquisas: Geoespaço e Nanosatélites Científicos - Iniciação Científica & Tecnológica: CubeSats: (100g-1Kg) o NANOSATC-BR1 e (1Kg-10Kg) o NANOSATC-BR2; Carga útil: magnetômetros, sondas de Langmuir, fotômetros/imageadores e detector de partículas; Desenvolvimentos Engenharias/Tecnologias Espaciais: estrutura mecânica, computador-bordo, programas, estação terrena, testes/integração. Sub-sistemas: potencia, propulsão, telemetria, térmico controle/atitude. Vice-Líder: Otávio Santos Cupertino Durão

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha Orientadora, Dr. Maria de Fátima Mattiello-Francisco e ao meu Co-Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch pela atenção e apoio prestados em todas as dificuldades encontradas no decorrer do trabalho desenvolvido, gerando grande crescimento pessoal.

Meus sinceros agradecimentos: aos funcionários e servidores do CRS/CCR/INPE – MCT e do LACESM/CT – UFSM pelo apoio e pela infraestrutura disponibilizada e pelos colegas de Laboratório Tális Piovesan, Lucas Franke, Fernando Alvez, pelo apoio e disponibilização de tempo para ajudar no Trabalho; ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pela aprovação do Projeto de Pesquisa, que me permitiu dar continuidade na minha Iniciação Científica e Tecnológica, propiciando grande crescimento profissional; ao Coordenador Dr. José Carlos Becceneri PIBIC/INPE – CNPq/MCT, e à Secretária do Programa, Sra. Egidia Inácio da Rosa, pelo constante apoio, alertas e sua incansável preocupação com toda a burocracia e datas limites do Programa para com os bolsistas de I. C. & T. do CRS/CCR/INPE - MCT.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES	12
ÍNDICE DE TABELAS	13
RESUMO.....	14
CAPÍTULO 1	15
INTRODUÇÃO.....	15
CAPÍTULO 2	17
2.1. SATÉLITES.....	17
2.2. PROJETO NANOSATC-BR.....	18
2.2.1. Missão do Projeto NANOSATC-BR2	19
CAPÍTULO 3	20
COMPUTADOR DE BORDO (OBC) DO NANOSATC-BR2	20
3.1. NanoMind A712.....	20
3.2. Simulador do Protocolo Comunicação I ² C	22
CAPÍTULO 4	24
<i>SOFTWARE DE DATA HANDLING</i>	24
4.1 Simulador do <i>Software de Data Handling</i> do NanosatC-Br2	24
4.2 <i>Software de Data Handling</i> do NanosatC-Br2.....	30
CAPÍTULO 5	32
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
ANEXOS	34

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Nano Satélite, classe CubeSat, padrão 2U. Fonte: GomSpace, 2013.	18
Figura 2 - Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais.	19
Figura 3 – Rede I ² C. Fonte: Embarcados, 2013	21
Figura 4 – Código que Simula o Protocolo I ² C em Execução.....	23
Figura 5 – Fluxo de Operação do NanosatC-Br2.....	27
Figura 6 – Simulador do Software de Data Handling.....	28
Figura 7 - Camada abstrata proporcionada pelo FreeRTOS.....	31
Figura 8 – Máquina de Estados.	Erro! Indicador não definido.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes do NanoMind A712. Fonte: Nanomind A712 Datasheet, 2013.	21
Tabela 2 – Estados com suas Respectivas Tarefas.	25

RESUMO

Durante o período referente a agosto de 2012 e a junho de 2013 o bolsista Ândrei Camponogara orientado pela Dra. Maria de Fátima Mattiello-Francisco, desenvolveu atividades referentes ao Projeto Intitulado: SOFTWARE EMBARCADO EM NANOSATÉLITES (SENa). Foram realizados estudos do computador alvo (Nanomind A702/A712) englobando o processador ARM7 e o barramento I²C. Dois aplicativos de simulação foram desenvolvidos, o primeiro com o intuito de simular a comunicação de dispositivos pelo barramento I²C, enquanto o segundo objetivando simular o comportamento do computador de bordo (OBC) do NANOSATC-BR2 com os demais subsistemas. Em conformidade com as normas ECSS, um documento de Requisitos de Base do Software Data Handling foi elaborado, com base na arquitetura de bordo do NANOSATC-BR1.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O presente Relatório de Pesquisa descreve as atividades desenvolvidas visando elaboração de um *software de Data Handling para nanosatélites*, que consistem em extensa revisão bibliográfica, desenvolvimento de programas que simulam o comportamento do OBC (*On Board Computer*) em relação aos demais dispositivos (subsistemas de potência, subsistemas de comunicação e cargas úteis) existentes na plataforma espacial, bem como o comportamento do protocolo I²C, utilizado pelo OBC para se comunicar com os subsistemas.

O projeto tem por objetivo a formação de competências na área de software embarcado em missões críticas. Pretende-se com esse projeto inserir o bolsista nas questões inerentes ao processo de desenvolvimento de software crítico embarcado em satélites de pequeno porte e baixo custo. Para tanto foram estudadas as normas de projeto (ECSS) adotadas pelas agências espaciais Europeias, com base nas quais será feita a adequação de processo necessária para o desenvolvimento de software embarcado em um satélite do tipo CubeSat 2U.

O software alvo de desenvolvimento nesse projeto é o software que realiza as funções de comando, manipulação de dados e aquisição de telemetria, embarcado do computador de bordo do satélite NANOSATC-BR, da classe CubeSat.

A metodologia adotada na realização do projeto SENa proposto, compreende:

- Aplicação de um processo simplificado de desenvolvimento de software embarcado para missões críticas, em conformidade com as normas ECSS;
- Desenvolvimento de um protótipo de software embarcado que implemente as funções de comando, manipulação de dados e aquisição de telemetria no computador de bordo de plataforma de satélites,

conhecidas como On-Board Data Handling. O computador alvo será o NanoMind projetado para embarcar aplicações de comando, manipulação de dados e de telemetria a bordo de nano ou pico-satélites.

O Presente relatório está dividido em cinco capítulos, a saber. No Capítulo 2, temos uma breve descrição sobre satélites, onde introduziu-se o Projeto NanosatC-Br, como um todo. O Capítulo 3 introduz o Computador de Bordo (OBC) do NanosatC-Br2, bem como o estudo referente ao barramento de comunicação I²C. O Capítulo 4 aborda o *Software de Data Handling*, e relata os estudos feitos pelo bolsista. Por fim, no Capítulo 5 encontram-se as considerações finais.

CAPÍTULO 2

2.1. SATÉLITES

Segundo informações retiradas do site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), podemos classificar um satélite como qualquer objeto que orbita ao redor de outro, que se denomina principal. No contexto deste Projeto, consideramos satélites do tipo artificial, que correspondem a objetos fabricados na Terra e que são enviados ao espaço através de um veículo de lançamento. Os satélites artificiais podem orbitar ao redor de luas, cometas, asteróides, planetas, estrelas ou inclusive galáxias. Depois de sua vida útil, podem ficar orbitando como lixo espacial, até que reentrem na atmosfera terrestre, ou podem ser direcionados, através do uso de propulsores, ao espaço profundo.

No site do INPE é possível obter a forma como os satélites artificiais são catalogados ou agrupados segundo sua massa:

- Grandes satélites: cujo peso seja maior a 1000 kg;
- Satélites médios: cujo peso seja entre 500 e 1000 kg;
- Mini satélites: cujo peso seja entre 100 e 500 kg;
- Micro satélites: cujo peso seja entre 10 e 100 kg;
- Nano satélites: cujo peso seja entre 1 e 10 kg;
- Pico satélite: cujo peso seja entre 0,1 e 1 kg;
- Fento satélite: cujo peso seja menor a 100 g.

O Projeto SENa considera o uso de um nano satélite, classe CubeSat, padrão 2U.

CubeSats são uma classe de plataforma espacial de pesquisa com forma cúbica e aproximadamente 10 cm de aresta (padrão 1U). O padrão 2U

apresenta dimensões de 10cm*10cm*20cm, como pode ser visualizado na Figura 1.



Figura 1– Nano Satélite, classe CubeSat, padrão 2U. Fonte: GomSpace, 2013.

2.2. PROJETO NANOSATC-BR

O Projeto NANOSATC-BR Desenvolvimento de CubeSats consiste em um Programa Integrado de Capacitação de Recursos Humanos com desenvolvimento de Engenharias e Tecnologias Espaciais através do estudo e projeto de nano-satélites baseado em CubeSats. O Nanosatélite Científico Brasileiro 1 (NANOSATC-BR1) é a primeira aplicação de CubeSat no Brasil, cuja missão classifica-se como: (i) tecnológica, qualificação de circuitos integrados em ambiente espacial; e (ii) científica, estudo da variabilidade das

condições geomagnéticas na superfície terrestre e em baixa órbita, sobre o Território Brasileiro.

O Projeto teve origem no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT, unidade regional do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – MCT localizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (Figura 2), em 2006 pelo Dr. Nelson Jorge Schuch, atual Gerente Geral do Projeto e Principal Investigador PI, tendo como colaboração técnica e gerenciamento local, na sede do INPE, em São José dos Campos, SP, o Dr. Eng. Otávio Santos Cupertino Durão, na qualidade de Coordenador Geral de Engenharias e Tecnologias do Projeto, juntamente com o envolvimento de alunos de graduação de diferentes áreas da UFSM e de pós-graduação do INPE/MCT, orientados com apoio técnico de engenheiros, especialistas Tecnologistas e Pesquisadores do INPE/MCT.



Figura 2 - Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais.

2.2.1. Missão do Projeto NANOSATC-BR2

O Projeto NanosatC-Br2 tem como missão o estudo da dinâmica da Atmosfera ionizada, com ênfase em estudos referentes à bolhas de plasma. Pretende-se utilizar como cargas úteis um Fotômetro e uma Sonda de Langmuir (Bürger, 2012).

CAPÍTULO 3

COMPUTADOR DE BORDO (OBC) DO NANOSATC-BR2

O Computador de Bordo (OBC - *On Board Computer*) do NanosatC-Br2 é o **NanoMind A712**, cujo o *datasheet* encontra-se no Anexo A. Nele é embarcado o FreeRTOS¹, que fara interface dos aplicativos *Data Handling* e ADCS (*Attitude Determination and Control Subsystem*) com o *hardware*. O OBC tem como funcionalidade permitir que *software* de *Data Handling* realize funções de comando, manipulação de dados e aquisição de telemetria; e que o ADCS possa realizar a determinação e o controle de atitude.

3.1. NanoMind A712

O computador de bordo NanoMind A712 é desenvolvido pela empresa GomSpace ApS. A Tabela 1 apresenta lista os componentes que o compõe, diferenciando-os em itens opcionais e inclusos.

Como pode ser evidenciado na Figura 3 como item opcional, o barramento I²C, é ele que será responsável pela comunicação com os demais subsistemas do NanosatC-Br2. Como pode ser encontrado em (Embarcados, 2013), o barramento I²C consiste em uma interface bidirecional de comunicação para transferência de dados, formada por dois fios que são bidirecionais, SDA (*Serial Data Line*) e SCL (*Serial Clock Line*), e uma conexão com o terra. A comunicação é do tipo mestre – escravo, sendo que todos os dispositivos na rede podem atuar como mestre. O dispositivo que iniciar a transmissão é considerado o mestre. A sincronização de clock permite a transferência de diferentes taxas de bits, tendo como limite superior 400 kbit/s com um buffer de transmissão e recepção de 68 bytes.

¹ É um Sistema Operacional de Tempo Real (RTOS – *Real Time Operating System*) para dispositivos de baixo consumo de potência e tem suporte para até 33 arquiteturas (FreeRTOS, 2013)

Tabela 1 - Componentes do NanoMind A712. Fonte: Nanomind A712 Datasheet, 2013.

Feature	A702	A712
ARM7 8-40MHz RISC CPU	•	•
2 MB SRAM	•	•
4MB parallel FLASH memory for code storage	•	•
4MB parallel FLASH memory for code and data storage	•	•
8MB serial FLASH memory for data storage		○
MicroSD card socket		○
I ² C interface	○	○
CAN interface	○	○
Serial diagnostics interface with USB adapter	•	•
3 PWM outputs with bi-directional H-bridge drivers		○
6 analogue photo-diode amplifiers connected to AD-converters		○
SPI interface (for NanoPower Solar 100 panels with gyroscopes)		○
2 on-board temperature sensors	•	•

- : Included feature
- : Optional feature (may be omitted)

A Figura 3 ilustra os dispositivos em uma rede I²C.

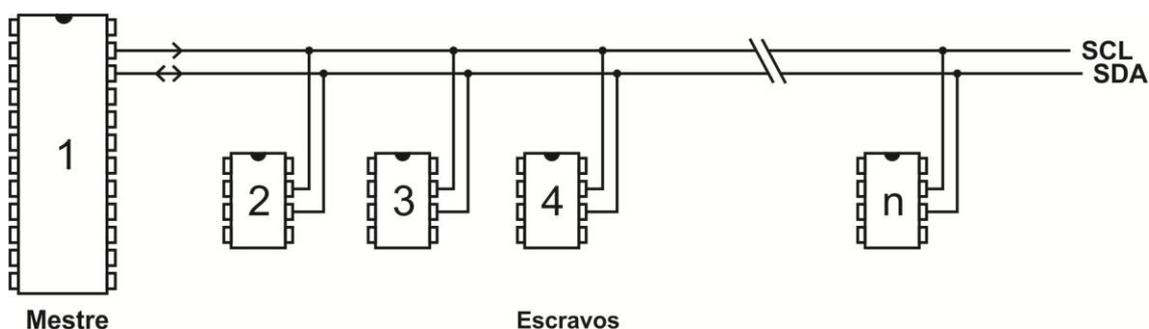


Figura 3 – Rede I²C. Fonte: Embarcados, 2013

Para melhor entendimento, foi desenvolvido um código em linguagem C que simula o comportamento do protocolo de comunicação do barramento I²C.

3.2. Simulador do Protocolo Comunicação I²C

Como podemos encontrar em (EMBARCADOS, 2013), o protocolo de comunicação I²C tem o seguinte fluxo:

1. O dispositivo **Mestre** envia para o barramento I²C um sinal de *start*. Com isso o dispositivo **Mestre** tem a atenção de todos os dispositivos conectados ao barramento;
2. Em seguida, o dispositivo **Mestre** envia um registro com o endereço que quer acessar, e se deseja realizar leitura ou escrita. Todos os dispositivos irão receber este registro. Aqueles que não possuírem o endereço requisitado irão ignorar o registro e aguardar o sinal de *stop*. Aquele que tiver o endereço enviado irá responder com um sinal de *acknowledge*;
3. Assim que o **Mestre** receber o sinal de *acknowledge*, poderá iniciar a transmissão ou requisição dos dados. Assim que a transferência terminar, o **Mestre** irá enviar um sinal de *stop*, que liberará o barramento para que outros dispositivos possam então atuar como **Mestre**.

Para o entendimento de como acontece o fluxo de dados em um barramento I²C, implementou-se em linguagem C um simulador com o auxílio da biblioteca *Pthreads*. Para tal, considerou-se o barramento I²C como a memória do sistema, a qual teria seu acesso restrito, sendo que apenas um dispositivo poderia escrever nela, por vez. Esse foi considerado **Dispositivo Mestre**. Enquanto o que apenas lesse a informação considerou-se como **Dispositivo Escravo**. A disputada pelo barramento (memória) se dá de forma aleatória, assim como a determinação do endereço de destino da informação que o Mestre deseja transmitir. Através desta interpretação o protocolo descrito acima foi implementado como podemos evidenciar na Figura 4 que mostra o simulador em execução.

```
Terminal
andrei@andrei-Aspire-5750: ~/Desktop/Data Handling
andrei@andrei-Aspire-5750:~/Desktop/Data Handling$ ./novo

DISPOSITIVO 3 É MASTER
Dispositivo 0 é slave
Dispositivo 1 é slave
Dispositivo 2 é slave
Dispositivo 4 é slave

O Master tem a atencao de todos os slaves!

Dispositivo Master esperando sinal de Acknowledge!
Dispositivo 2 confirmou o endereco!

Dispositivo Master transferindo dados!

Transferencia concluida!

DISPOSITIVO 2 É MASTER
Dispositivo 0 é slave
Dispositivo 1 é slave
Dispositivo 3 é slave
Dispositivo 4 é slave

O Master tem a atencao de todos os slaves!

Dispositivo Master esperando sinal de Acknowledge!
Dispositivo 3 confirmou o endereco!

Dispositivo Master transferindo dados!

Transferencia concluida!

DISPOSITIVO 3 É MASTER
Dispositivo 0 é slave
Dispositivo 1 é slave
Dispositivo 2 é slave
Dispositivo 4 é slave

O Master tem a atencao de todos os slaves!

Dispositivo Master esperando sinal de Acknowledge!
Dispositivo 3 confirmou o endereco!

Dispositivo Master transferindo dados!
```

Figura 4 – Código que Simula o Protocolo I²C em Execução.

CAPÍTULO 4

SOFTWARE DE DATA HANDLING

Consagrado pelo nome OBDH – *On Board Data Handling*, os sistemas computacionais de supervisão de bordo basicamente implementam as funções de “comando e controle” e “telemetria” a bordo de veículos espaciais. Estes têm por objetivo principal monitorar a saúde dos demais subsistemas da aeronave e efetuar seus controles quando necessário, assim como garantir o armazenamento temporário e a integridade dos dados da missão. Estas tarefas, cada vez mais implementadas por software, resultam em agregações de novas funções nos sistemas de “comando e controle” e “telemetria” a fim de realizar, por software, partes importantes das missões, antes implementadas por hardware. Por exemplo, isto é típico em missões de pequenos satélites onde se utiliza grande capacidade do processamento em bordo objetivando eliminar hardware que consome potência e/ ou reduzir custo de operações em solo. (MATTIELLO-FRANCISCO, 2003),

4.1 Simulador do Software de *Data Handling* do NanosatC-Br2

Para um melhor entendimento do funcionamento do aplicativo de Bordo, desenvolveu-se um código em Java que simula as tarefas de um OBDH associadas aos modos de operação, com base na arquitetura do NanosatC-Br1. O simulador permitiu ao bolsista uma visão abstrata do comportamento esperado do *software Data Handling considerando os diferentes subsistemas com os quais o software interage via o barramento I2C*.

O simulador desenvolvido foi configurado para realizar os modos de operação do NanosatC-Br2, conforme apresentado na Tabela 2, onde as linhas representam os modos de operação do OBDH e as colunas as tarefas (Threads) em operação em cada modo. As células em verde indicam que a

tarefa deve estar em operação no correspondente modo e as células em vermelho indicam que a tarefa deve estar desabilitada no correspondente modo.

Tabela 2 – Modos de Operação e Tarefas (threads) do sistema.²

Modos de operação	SUPERVISOR	TIMEKEEPER	BEACON	PAYLOAD	TRASCEPTOR		ADCS
					HKCOLLECTION	HKDOWNLINK	
STAND BY							
DEPLOYMENT							
SAFE							
NOMINAL							

Os modos de operação considerados são descritos a seguir:

Standy By: nesse modo o software de Data Handling já foi inicializado, as tarefas SUPERVISÃO, TIMEKEEPER e HKCOLLECTION encontram-se ativadas e aguarda o comando para liberação da antena;

Deployment: nesse modo as antenas estão abertas e o Sistema da Antena está sendo checado;

Safe: nesse modo o Sistema da Antena encontra-se validado e as tarefas SUPERVISÃO, TIMEKEEPER e HKCOLLECTION encontram-se ativadas;

Nominal: nesse modo os Sistemas de Potência e de Comunicação e o OBC encontram-se com sua integridade checada, o aplicativo de controle e atitude é iniciado e as tarefas SUPERVISÃO, TIMEKEEPER, HKCOLLECTION, HKDOWNLINK E ADCS encontram-se ativadas.

² A Tabela 1 foi uma das tarefas do colega de laboratório Tális Piovesan quando estagiou na empresa ISIS, em Delft na Holanda.

O simulador foi implementado conforme o fluxo de controle apresentado no fluxograma da Figura 5.

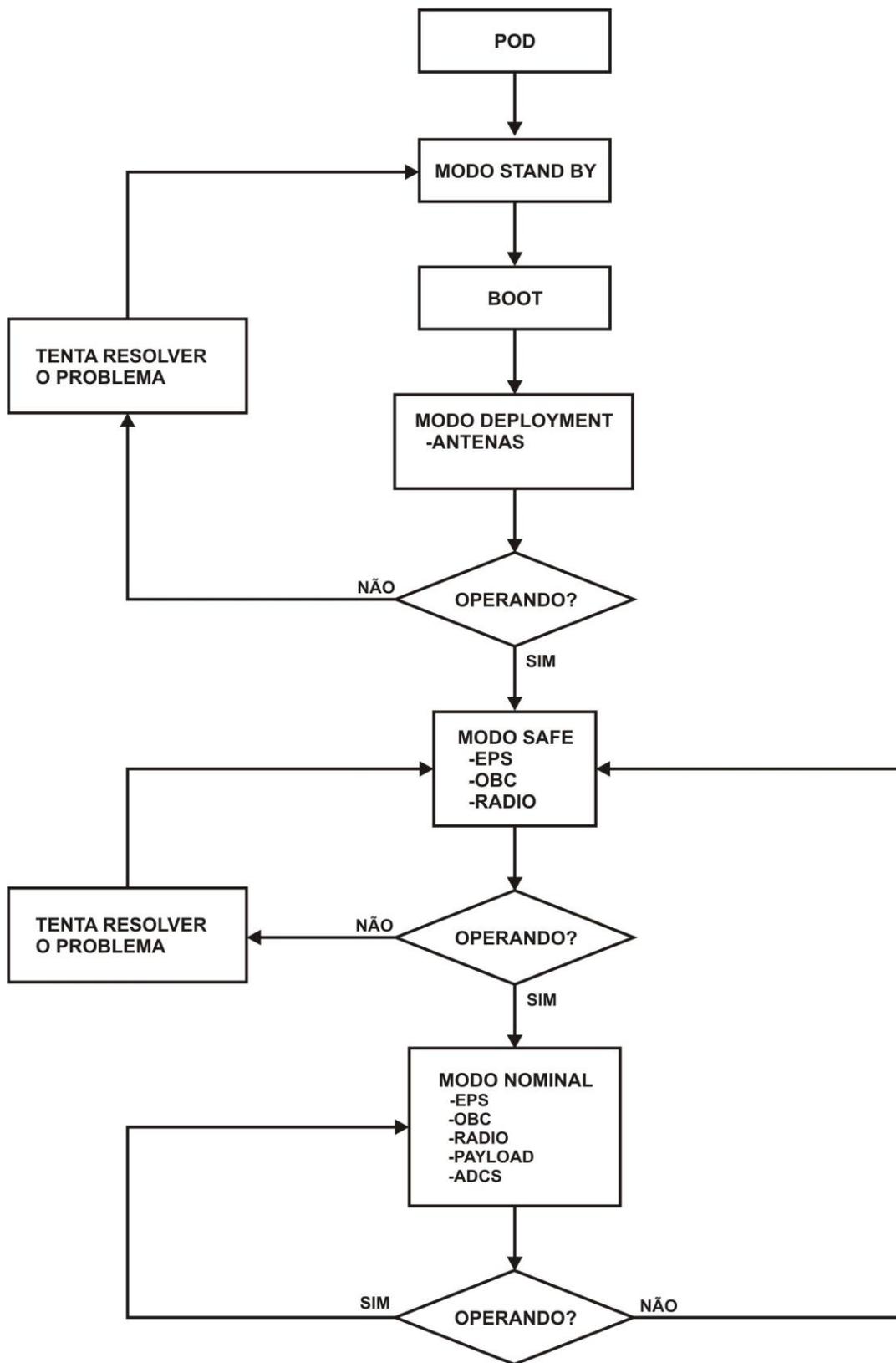


Figura 5 – Fluxo de Operação do NanosatC-Br2.

A Figura 6 apresenta o simulador do *software* de *Data Handling* em execução.

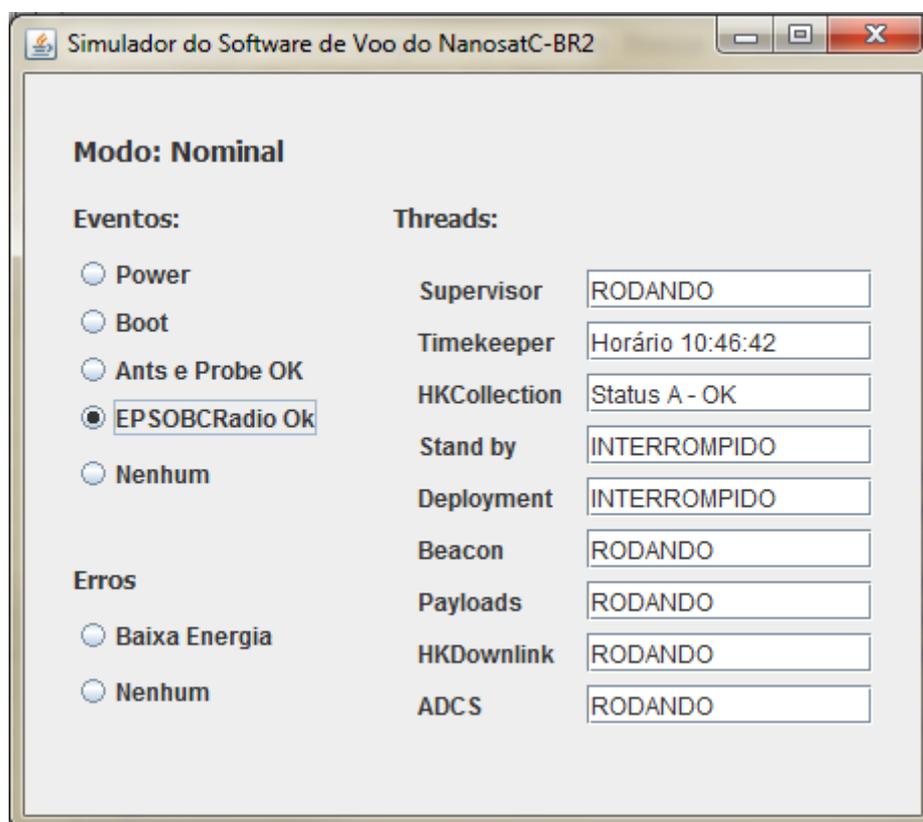


Figura 6 – Simulador do Software de Data Handling.

Podemos observar na Figura 6 que o simulador desenvolvido é composto dos seguintes 4 objetos e possíveis valores::

- **Modo:** mostra o estado que o simulador está operando;
- **Eventos:** apresenta os eventos que determinam a troca de estado;
 - **Power:** Liga o satélite, quando acionado o simulador transita do estado “Início” para o estado “Stand By”;
 - **Boot:** Dá o boot no sistema, ou seja, inicializa os principais subsistemas do satélite. O simulador deixa o estado “Stand By” e entra no estado “Deployment”;
 - **Ants e Probe OK:** Indica que as antenas estão funcionando. O simulador sai do estado “Deployment” e entra no estado “Safe”;

- **EPSOBCRadio OK:** Indica que o subsistema de potência e comunicação e o OBC estão funcionando. O simulador sai do estado “Safe” e entra no estado “Nominal”;
- **Nenhum:** Sem função.
- **Erros:** aponta alguns problemas que podem acontecer durante o funcionamento do satélite. Para este simulador foi considerado apenas um;
 - **Baixa Energia:** Quando acionado, indica que a energia da bateria do satélite está baixa, então o simulador sai do estado “Nominal” e entra no estado “Safe”. Neste estado a economia de energia é maior, já que apenas os subsistemas críticos para o funcionamento do satélite ficam em operação;
 - **Nenhum:** Quando acionado, indica que as baterias estão carregadas. O simulador sai do estado “Safe” e entra no estado “Nominal”.
- **Threads:** São as tarefas apresentadas na Tabela 1, que no contexto do simulador, não desempenham suas funções. Apenas são habilitadas ou não, de acordo o estado de operação (modo) do simulador.
 - **Supervisor:** Identifica os telecomandos e a ocorrência dos eventos que provocam as mudanças de modo de operação.;
 - **Timekeeper:** Esta tarefa é responsável pela manutenção do Relógio;
 - **HKCollection:** Sua função é coletar dados de *housekeeping*, ou seja, dados referentes a saúde dos demais subsistemas do satélite;
 - **Stand By:** Após o desenvolvimento do simulador percebeu-se que sua existência não faz sentido;
 - **Beacon:** É responsável por liberar as antenas, deixando-as aptas para transmitir telemetria ou receber telecomando;
 - **Payloads:** Coleta dados oriundos das cargas úteis;

- **HKDownlink**: transmite telemetria para solo, durante as visadas pela Estação Solo. ;
- **ADCS**: aplicativo de determinação e controle de atitude ativo.

O estado “Detumbling”, apresentado na Tabela 1, foi desconsiderado, visto que não faz parte dos estudos vigentes das etapas descritas neste Relatório.

4.2 Requisitos Base do Software de *Data Handling* do NanosatC-Br2

Com base no simulador apresentado em 4.1, e na norma ECSS-E-40 (Engenharia de Software) adaptada para *software* de Bordo (ou *software* de *Data Handling*) no projeto QSEE, a especificação dos Requisitos Base do *software Data Handling* do NanosatC-Br2 foi elaborada e encontra-se no Anexo B.

O *software* de Bord Data Handling que tem como responsabilidade a execução das funções de comando e controle, manipulação de dados e aquisição de telemetria (dados científicos ou dados de *housekeeping*). é embarcado no OBC do satélite NanosatC-Br2, juntamente com o sistema operacional de tempo real, FreeRTOS Este faz a interface do *software* de *Data Handling* com o *hardware*, funcionando como uma camada de abstração, como ilustra a Figura 7.

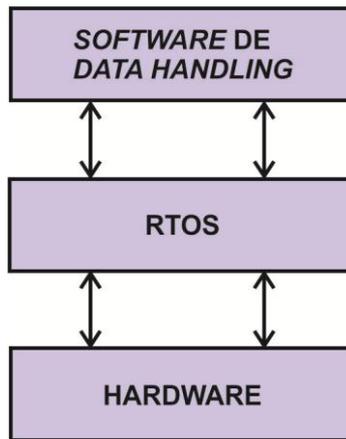


Figura 7 - Camada abstrata proporcionada pelo FreeRTOS.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Relatório descreveu as atividades desenvolvidas pelo aluno no projeto “**SOFTWARE EMBARCADO EM NANOSATÉLITES (SENa)**”, no período de junho de 2012 à julho de 2013.

Os estudos realizados em relação ao barramento de comunicação de dados I²C, ao OBC e ao *Software de Data Handling* foram apresentados neste Relatório. Com base neles, e na documentação oriunda do NanosatC-Br1, foi possível a geração do documento “**Requisitos de Base do NanosatC-Br2**”, o qual será material base para a construção do código do *Software de Data Handling* que será embarcado no OBC do NanosatC-Br2.

Atualmente o bolsista está elaborando outro documento, o qual refere-se a especificação técnica de requisitos de *software*.

As próximas etapas do Projeto SENa consistem na elaboração dos Planos de Desenvolvimento do Software e de Verificação e Validação (V&V) do mesmo, desenvolvimento do aplicativo de *Data Handling* em ambiente simulado com documentação de projeto associada e realização das atividades de V&V planejadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BÜRGER, E. E.. **Cubesats: Missão Integração e Testes**. Disponível em: <http://www.inpe.br/twiki/pub/Main/IntroducaoTecnologiaSatelites/08_Cubesats-Integracao-e-Testes_Eduardo-Burger_2012.pdf>. Acesso em: 21 jun 2013.

COSTA, L. L. **Projeto de um Aplicativo de Bordo para Missão NanosatC-Br**. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica PIBIC/INPE - CNPq/MCT. Jun. 2011. 64p.

EMBARCADOS. **Barramento I²C**. Disponível em: <<http://www.embarcados.com.br/Artigos/Hardware-Embarcado/Barramento-I2C.html>>. Acesso em: 22 jun 2013.

FREERTOS. **FreeRTOS**. Disponível em: <<http://www.freertos.org>>. Acesso em: 21 jun 2013.

GOMSPACE. **GOMX-Platform**. Disponível em: <<http://gomspace.com/index.php?p=products-platforms>>. Acesso em: 20 jun 2013.

INPE. **Nano Satélites**. Disponível em: <<http://www.crn2.inpe.br/conasat1/nanosatt.php>>. Acesso em: 20 jun 2013.

MATTIELLO-FRANCISCO, M. F.. **Sistemas Computacionais em Aplicações Espaciais**. INPE-9604-PUD/125. Fev. 2003.

SCHUCH, N. J., et al. **Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats**. Documento de Projeto. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. Santa Maria – RS, Junho 2010.

TAMBARA, L. A. **Projeto de um Aplicativo de Bordo para Missão NanosatC-Br**. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica PIBIC/INPE - CNPq/MCT. Jun. 2009. 59p.

TAMBARA, L. A. **Projeto de um Aplicativo de Bordo para Missão NanosatC-Br**. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica PIBIC/INPE - CNPq/MCT. Jun. 2010. 126p.

ANEXOS

ANEXO A – NANOMIND A712 *DATASHEET*

ANEXO B – REQUISITOS DE BASE DO NANOSATC-BR2

Lista de Acrônimos

CSP Cubesat Space Protocol

EPS Electrical Power System

I²C Inter-Integrated Circuit

OBC On Board Computer

VHF Very High Frequency

UHF Ultra High Frequency

1. Introdução

Este documento descreve os Requisitos de Base (*Requirements Baseline - RB*) do Software de Voo para nano satélites, que em primeira estância será embarcado no computador de bordo (OBC) do NanosatC-Br1. A elaboração do mesmo está de acordo com as normas da ECSS (*European Cooperation for Space Standardization*).

2. Documentos Aplicáveis e de Referência

Os seguintes documentos são aplicáveis:

TAMBARA, L. A. **Projeto de um Aplicativo de Bordo para Missão NanosatC-Br**. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica PIBIC/INPE - CNPq/MCT. Jun. 2009. 59p.

TAMBARA, L. A. **Projeto de um Aplicativo de Bordo para Missão NanosatC-Br**. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica PIBIC/INPE - CNPq/MCT. Jun. 2010. 126p.

COSTA, L. L. **Projeto de um Aplicativo de Bordo para Missão NanosatC-Br**. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica PIBIC/INPE - CNPq/MCT. Jun. 2011. 64p.

Os seguintes documentos são de referência:

RD1 – ECSS Space Engineering: Software – Part 1: Principles and Requirements. ECSS-E-40 Part 1B, Novembro de 2003.

3. CONTEXTO DO SISTEMA

3.1. Satélite Alvo

Pretende-se desenvolver um aplicativo de *Data Handling*, o qual será embarcado no computador de bordo (OBC) do NanosatC-Br1.

O NanosatC-Br1 corresponde a uma classe de nano satélites padrão 1U, com dimensões externas equivalentes a 100 x 100 x 113,5mm, volume interno de 1 litro e massa não superior a 1,33kg. Teve seu desenvolvimento no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/CCR/INPE - MCTI), em parceria com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT – UFSM); envolvendo alunos de graduação dos cursos de Engenharias Elétrica, Mecânica e Computação, Ciência da Computação e Física sob a supervisão e orientação de pesquisadores, tecnólogos e professores do INPE e da UFSM. Apresenta um sistema de carga útil composto por um magnetômetro e por dois circuitos integrados com proteção à radiação, projetados por duas diferentes universidades brasileiras, a UFSM e UFRGS.

A missão científica do NanosatC-Br1 consiste em monitorar, em tempo real, o Geoespaço, a precipitação de partículas energéticas e os distúrbios causados na Magnetosfera terrestre sobre o território Brasileiro e determinar os efeitos dos distúrbios em regiões como a da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS (*South Atlantic Magnetic Anomaly – SAMA*), e do setor brasileiro do Eletrojato Ionoférico Equatorial (*Ionosphere Equatorial Electrojet – EEJ*).

O NanosatC-Br1 deverá ser lançado em órbita baixa, entre 500 e 700 km de altitude, preferencialmente de alta inclinação.

3.2 Arquitetura do NanosatC-Br1

A Figura 1 apresenta a arquitetura empregada no desenvolvimento do NanosatC-Br1, formada por duas antenas (UHF e VHF) conectadas a um transceptor (TRXUV); um subsistema de potência composto por uma bateria, 6 painéis solares e um EPS; um conjunto de cargas úteis correspondentes a um magnetômetro, um chip e uma FPGA; e o computador de bordo (OBC).

Em relação às cargas úteis, o magnetômetro tem como tarefa obter as medidas do módulo total do Campo Magnético Terrestre, enquanto a FPGA irá controlar tanto o magnetômetro quanto o circuito integrado desenvolvido pela SMDH-UFSM. Este CI consiste em um driver de comando que irá testar as suas funcionalidades durante a órbita, sendo as respostas destes testes dados de interesse da equipe desenvolvedora.

O Sistema Operacional a ser utilizado no OBC é o freeRTOS, um sistema de tempo real específico para sistemas embarcados. O sistema operacional freeRTOS fará a interface do hardware do computador de bordo com dois aplicativos de *software*: (i) *Data Handling* e (ii) Controle de Atitude.

Ainda, o *Software Data Handling* deverá interagir com o Controle de Atitude através dos recursos e mecanismos providos pelo sistema operacional freeRTOS.

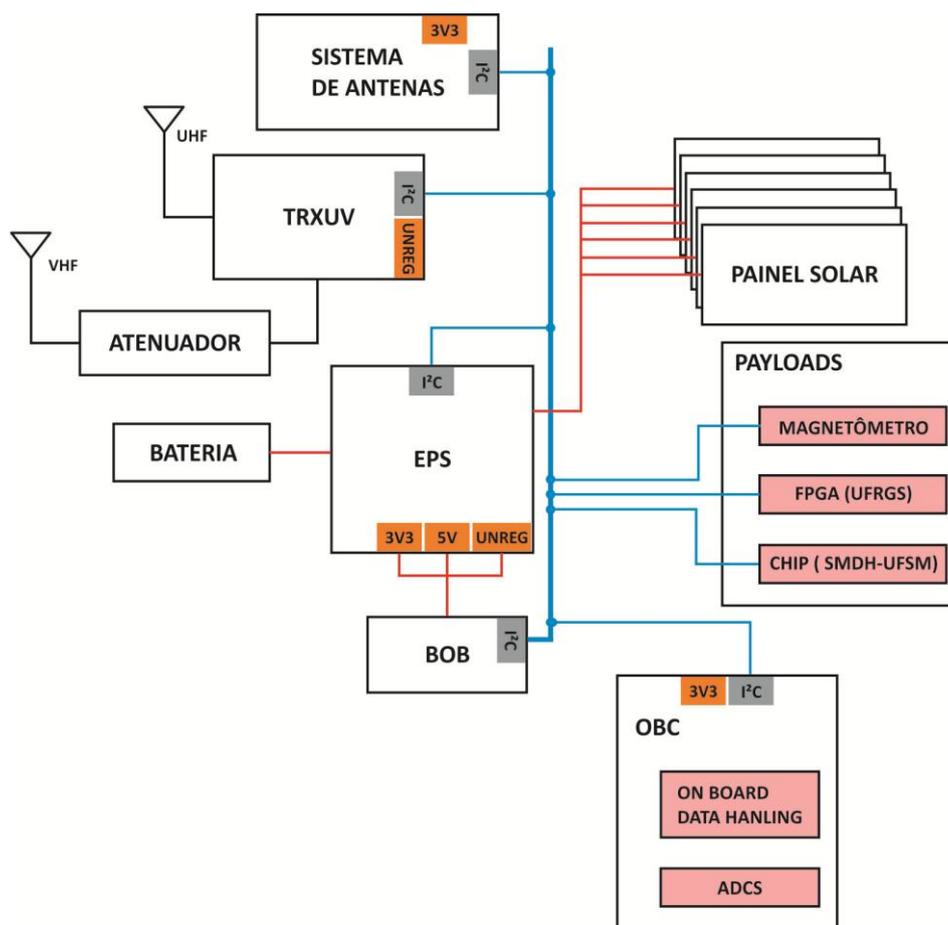


Figura 1 – Arquitetura do NanosatC-Br1.

4. ESCOPO DO SISTEMA

O Software de Voo do NanosatC-Br1 realiza funções de comando e controle, aquisição de telemetria e manipulação de dados. Ele promove o controle dos subsistemas existentes, garantindo que as operações (threads) críticas sejam classificadas com maior prioridade, que estas e as demais sejam executadas em um tempo limite (deadline), de forma sincronizada, evitando a sobrecarga do sistema. Outra função importante em relação ao gerenciamento dos subsistemas condiz com a limitação do fluxo de operações quando o satélite encontrar-se em estado crítico.

No que diz respeito à aquisição de telemetria, o aplicativo de *Data Handling* deve utilizar o protocolo CSP para o armazenamento na memória interna, tanto para dados de *housekeeping* quanto para os dados científicos oriundos das cargas úteis e processados pelo OBC.

4.1. MODOS DE OPERAÇÃO DO SOFTWARE DE VOO

A Figura 2 apresenta os modos de operação do OBC do NanosatC-Br1, que deverão ser implementados pelo Software de Voo. O comportamento esperado do software estão representados formalmente por uma máquina de estados onde os estados simbolizam os modos de operação e as transições representam os eventos e respectivas ações.

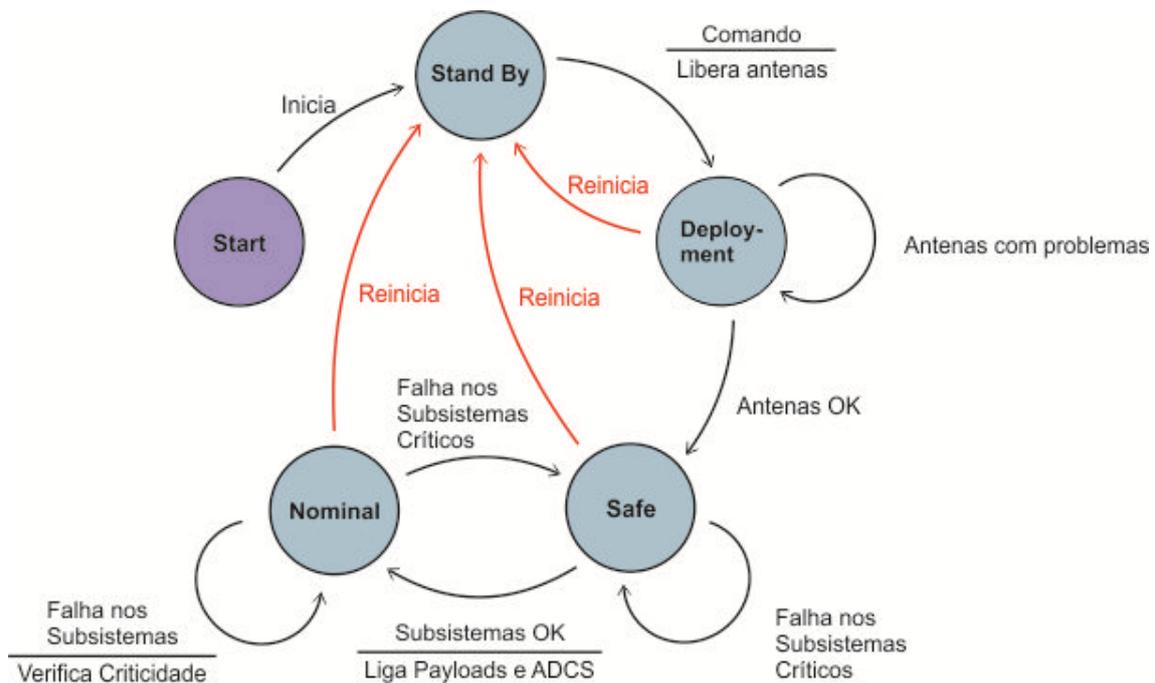


Figura 2 – Máquina de Estados do Software de Voo do NanosatC-Br1

As características dos estados de operação do OBC são apresentadas a seguir:

- *Start*: Neste momento o OBC encontra-se desligado, juntamente com os demais subsistemas, à exceção do subsistema de potência.
- *Stand By*: Neste estado o OBC está espera do comando para entrar no modo Deployment;
- *Deployment*: Neste estado o nano satélite libera as suas duas antenas..
- *Safe*: Neste modo de operação, o OBC permite que apenas subsistemas críticos permaneçam ligados (potência e comunicação), enquanto os demais são desligados. Pois o objetivo deste estado é reduzir o consumo de energia enquanto a mesma encontra-se em estado crítico. Aqui o OBC coleta, empacota e armazena apenas dados de *housekeeping*;
- *Nominal*: Neste momento, as cargas úteis e o subsistema de controle e atitude entram em funcionamento. Agora OBC adquire, além dos dados de *housekeeping*, os dados científicos oriundos das cargas úteis.

Abaixo os eventos que geram as transições entre os estados:

- *Inicia*: É um evento no qual o OBC começa a ser alimentado pelo EPS, e seu sistema operacional é inicializado, que por sua vez começa a

executar o aplicativo de *Data Handling* colocando o OBC em modo *Stand By*;

- Comando: Em modo *Stand By*, o OBC recebe este comando, o qual o põe em modo *Deployment*;
- Antenas com Problemas: Quando este evento ocorre, significa que o OBC verificou uma falha no subsistema de antenas e então, e então ele faz três tentativas de liberar as antenas. Em caso de insucesso o OBC reinicia o sistema.
- Antenas OK: Quando o OBC verifica que o subsistema de antenas está funcionando, este evento é gerado, e o OBC entra em modo *Safe*;
- Falha nos Subsistemas Críticos: Este evento ocorre quando algum subsistema, com exceção das cargas úteis e do ADCS, está falhando, e faz com que o OBC entre em modo *Safe* e tente corrigir a falha por um período de tempo TBD. Caso esse período expire o sistema é reiniciado;
- Falha nos Subsistemas: Este evento aponta algum problema nas cargas úteis ou no ADCS, caso o mesmo não ocorrer por falta de energia, o OBC tenta corrigir. Em caso de insucesso, o tempo estimado TBD expirando, o OBC reinicia o sistema.
- Subsistemas OK: Quando o nível de energias da bateria do NanosatC-Br1 está alto, ou algum erro provido de um subsistema qualquer foi corrigido, este evento é acionado e o OBC entra em modo *Nominal*;
- Reinicia: Em caso de erros em que o OBC não consiga corrigir, ele executa este último recurso que o coloca novamente em *Stand By*.

5. REQUISITOS

5.1. REQUISITOS FUNCIONAIS

Os requisitos funcionais do *Software de Data Handling* são:

- a. Obter dados da FPGA, a qual faz a interface do OBC com as demais cargas úteis, magnetômetro e o ci-SMDH;
- b. Obter dados que reflitam a saúde dos demais subsistemas, incluindo o próprio OBC;
- c. Receber e executar comandos providos da Estação Terrena;
- d. Prover o controle dos subsistemas, podendo desliga-los ou liga-los;
- e. Enviar sinal de visada para Estação Terrena, quando o NanosatC-Br1 estiver em visada;
- f. Enviar os dados armazenados na memória para a Estação Terrena.

5.2. REQUISITOS DE DESEMPENHO

Os requisitos funcionais do *Software de Data Handling* são:

- a. Solicitar dados da FPGA a cada TBD;
- b. Ter a capacidade de enviar os dados de *housekeeping* a cada TBD;
- c. Ter a capacidade de enviar os dados científicos a cada TBD;

5.3. REQUISITOS DE OPERAÇÃO

Os requisitos de operação do *Software de Data Handling* são:

- a. A comunicação entre o OBC e os demais subsistemas deverá ser mestre-escravo, sendo o mestre o OBC e o escravo os demais subsistemas.

5.4 REQUISITOS DE MANUTENÇÃO

Os requisitos de manutenção do *Software de Data Handling* são:

5.5 REQUISITOS DE DEPENDABILIDADE

Os requisitos de dependabilidade do *Software de Data Handling* são:

- a) Em caso de problemas no modo Deployment o OBC tenta liberar as antenas mais três vezes. Em caso de insucesso, reinicia o sistema;
- b) Uma vez identificado o problema nos subsistemas críticos, o OBC entra no estado *Safe* e tenta resolver, reiniciando o sistema após TBDms;
- c) Uma vez identificado o problema nos subsistemas de cargas úteis ou no ADCS, estando no modo *Nominal*, o OBC tenta resolver, verificando a criticidade do problema. Caso a falha seja nos subsistemas críticos o OBC entra no modo *Safe*. Caso não consiga resolver o problema, ele reinicia o sistema após TBDms.

5.6 REQUISITOS DE VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

Os requisitos de verificação e validação do *Software de Data Handling* são:

- a) Revisões formais (Verificação):
 - a. Revisão de requisitos de software;
 - b. Revisão de projeto;
 - c. Revisão de qualificação do software (aceitação).
- b) Validação:
 - a. Teste de desenvolvimento (caixa branca);
 - b. Teste de aceitação pelo cliente (caixa preta).

5.7 REQUISITOS DE INTERFACE

Os requisitos de interface do *Software de Data Handling* são:

- a. A comunicação do OBC com os demais subsistemas do NanosatC-Br1 acontecerá por meio do barramento de comunicação com o padrão I²C;