



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

## **PROJETO DE UM APLICATIVO DE BORDO PARA MISSÃO NANOSATC-BR**

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

**PROCESSO Nº: 104755/2011-3**

**Lucas Lopes Costa – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT**  
**Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica & Antenas**  
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: lucas@lacesm.ufsm.br

**Dr. Otavio Santos Cupertino Durão – Orientador**  
**Coordenação de Planejamento Estratégico e Avaliação**  
CPA/DIR/INPE – MCT  
**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**  
INPE - MCT  
E-mail: durao@dir.inpe.br

**Santa Maria, Julho de 2011**



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT  
*Relatório Final de Atividades*

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

**PROJETO**

**PROJETO DE UM APLICATIVO DE BORDO PARA MISSÃO  
NANOSATC-BR**

**PROCESSO Nº: 104755/2011-3**

**Relatório elaborado por:**

**Lucas Lopes Costa** – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT  
Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica  
E-mail: lucas@lacesm.ufsm.br

**Dr. Otavio Santos Cupertino Durão** – Orientador  
Coordenação de Planejamento Estratégico e Avaliação  
CPA/DIR/INPE – MCT  
E-mail: durao@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:**

**PROJETO DE APLICATIVO DE BORDO PARA MISSÃO  
NANOSATC-BR**

**Processo CNPq:** Nº 104755/2011-3

**Bolsista:**

**Lucas Lopes Costa**

Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica

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

**Orientador:**

**Dr. Otavio Santos Cupertino Durão**

Tecnologista Titular Sênior II

Coordenação de Planejamento Estratégico e Avaliação - CPA/DIR/INPE – MCT

**Co-Orientador:**

**Dr. Nelson Jorge Schuch**

Pesquisador Titular Sênior III

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

**Colaboradores/ Acadêmicos:**

**Dr. Adriano Petry** – Tecnologista Pleno II do CRS/CCR/INPE – MCT

**Bel. William do Nascimento Guareschi** – Aluno de Pós-Graduação em  
Microeletrônica PGMICRO – UFRGS



**Bel. Lucas Antunes Tambara** – Aluno de Pós-Graduação em Computação  
PPGC – UFRGS

**Local de Trabalho/Execução do Projeto:**

Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica & Antenas –  
LAMEC/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, Magnetosferas, Geomagnetismo:**  
**Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br**



[Identificação](#)

[Recursos Humanos](#)

[Linhas de Pesquisa](#)

[Indicadores do Grupo](#)

**Identificação**

**Dados básicos**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

**Status do grupo:** **certificado pela instituição**

**Ano de formação:** 1996

**Data da última atualização:** 30/05/2011 17:58

**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:** Coordenação de Gestão Científica - CIE

**Unidade:** Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

**Endereço**

**Logradouro:** Caixa Postal 5021

**Bairro:** Camobi

**CEP:** 97110970

**Cidade:** Santa Maria

**UF:** RS

**Telefone:** 33012026

**Fax:** 33012030

**Home page:** <http://>

**Repercussões dos trabalhos do grupo**

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL 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, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, 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 (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (Australian Government Antarctic Division e University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO,



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT  
*Relatório Final de Atividades*

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. 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	
<b>Pesquisadores</b>	<b>Total: 48</b>
<a href="#">Ademar Michels</a>	<a href="#">Jean Carlo Santos</a>
<a href="#">Adriano Petry</a>	<a href="#">Jean Pierre Raulin</a>
<a href="#">Alan Prestes</a>	<a href="#">Joao Paulo Minussi</a>
<a href="#">Alexandre Alvares Pimenta</a>	<a href="#">Jose Humberto Andrade Sobral</a>
<a href="#">Alicia Luisa Clúa de Gonzalez</a>	<a href="#">Juliano Moro</a>
<a href="#">Alisson Dal Lago</a>	<a href="#">Lucas Ramos Vieira</a>
<a href="#">Antonio Claret Palerosi</a>	<a href="#">Mangalathayil Ali Abdu</a>
<a href="#">Barclay Robert Clemesha</a>	<a href="#">Marcelo Barcellos da Rosa</a>
<a href="#">Caitano Luiz da Silva</a>	<a href="#">Marco Ivan Rodrigues Sampaio</a>
<a href="#">Carlos Roberto Braga</a>	<a href="#">Marcos Vinicius Dias Silveira</a>
<a href="#">Cassio Espindola Antunes</a>	<a href="#">Nalin Babulau Trivedi</a>
<a href="#">Clezio Marcos De Nardin</a>	<a href="#">Natanael Rodrigues Gomes - (líder)</a>
<a href="#">Cristiano Max Wrasse</a>	<a href="#">Nelson Jorge Schuch - (líder)</a>
<a href="#">Cristiano Sarzi Machado</a>	<a href="#">Nivaor Rodolfo Rigozo</a>
<a href="#">Delano Gobbi</a>	<a href="#">Odim Mendes Junior</a>
<a href="#">Eurico Rodrigues de Paula</a>	<a href="#">Osmar Pinto Junior</a>
<a href="#">Ezequiel Echer</a>	<a href="#">Otavio Santos Cupertino Durão</a>
<a href="#">Fabiano Luis de Sousa</a>	<a href="#">Pawel Rozenfeld</a>
<a href="#">Fábio Augusto Vargas dos Santos</a>	<a href="#">Petrônio Noronha de Souza</a>
<a href="#">Fernanda de São Sabbas Tavares</a>	<a href="#">Polinaya Muralikrishna</a>
<a href="#">Fernando Luís Guarnieri</a>	<a href="#">Rafael Lopes Costa</a>
<a href="#">Gelson Lauro Dal' Forno</a>	<a href="#">Rajaram Purushottam Kane</a>
<a href="#">Hisao Takahashi</a>	<a href="#">Severino Luiz Guimaraes Dutra</a>
<a href="#">Ijar Milagre da Fonseca</a>	<a href="#">Walter Demetrio Gonzalez Alarcon</a>
<b>Estudantes</b>	<b>Total: 25</b>
<a href="#">Bruno Knevitz Hammerschmitt</a>	<a href="#">Lucas Camponogara Viera</a>
<a href="#">Cássio Rodinei dos Santos</a>	<a href="#">Lucas Lopes Costa</a>
<a href="#">Claudio Machado Paulo</a>	<a href="#">Lucas Lourencena Caldas Franke</a>
<a href="#">Dimas Irion Alves</a>	<a href="#">Mauricio Rosa de Souza</a>
<a href="#">Edson Rodrigo Thomas</a>	<a href="#">Michel Baptistella Stefanello</a>



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT  
*Relatório Final de Atividades*

[Eduardo Escobar Bürger](#)

[Eduardo Weide Luiz](#)

[Felipe Cipriani Luzzi](#)

[Guilherme Grams](#)

[Guilherme Simon da Rosa](#)

[Igor Freitas Fagundes](#)

[José Paulo Marchezi](#)

[Leonardo Zavareze da Costa](#)

[Nikolas Kemmerich](#)

[Pietro Fernando Moro](#)

[Roger Hatwig de Lima](#)

[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)

[Tális Piovesan](#)

[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)

[William do Nascimento Guareschi](#)

**Técnicos**

**Total: 2**

Fernando Sobroza Pedroso - Graduação - \Outra Função

Henrique Sobroza Pedroso - Graduação - Analista de Sistemas

**Linhas de pesquisa**

**Total: 4**

- [AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)
- [Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR](#)
- [MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)
- [MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

**Indicadores de recursos humanos do grupo**

<b>Integrantes do grupo</b>	<b>Total</b>
Pesquisador(es)	48
Estudante(s)	25
Técnico(s)	2



**Linha de Pesquisa**  
**Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR**

**Linha de pesquisa**

**Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR**

**Nome do grupo:** [Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br](#)

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

**Pesquisadores:**

[Ademar Michels](#)  
[Adriano Petry](#)  
[Alexandre Álvares Pimenta](#)  
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez Alarcon](#)  
[Alisson Dal Lago](#)  
[Antonio Claret Palerosi](#)  
[Cassio Espindola Antunes](#)  
[Clezio Marcos De Nardin](#)  
[Cristiano Sarzi Machado](#)  
[Ezequiel Echer](#)  
[Fabiano Luis de Sousa](#)  
[Fernando Luis Guarnieri](#)  
[Gelson Lauro Dal Forno](#)  
[Ijar Milagre da Fonseca](#)  
[Jean Pierre Raulin](#)  
[Jose Humberto Andrade Sobral](#)  
[Lucas Ramos Vieira](#)  
[Nalin Babulal Trivedi](#)  
[Natanael Rodrigues Gomes](#)  
[Nelson Jorge Schuch](#)  
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)  
[Odim Mendes Junior](#)  
[Otavio Santos Cupertino Durao](#)  
[Pawel Rosenfeld](#)  
[Petrônio Noronha de Souza](#)  
[Rafael Lopes Costa](#)  
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)  
[Walter Demetrio Gonzalez-Alarcon](#)

**Estudantes:**

[Dimas Irion Alves](#)  
[Eduardo Escobar Bürger](#)  
[Guilherme Grams](#)  
[Guilherme Simon da Rosa](#)  
[Igor Freitas Fagundes](#)





[José Paulo Marchezi](#)  
[Leonardo Zavareze da Costa](#)  
[Lucas Lopes Costa](#)  
[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)  
[Mauricio Rosa de Souza](#)  
[Nikolas Kemmerich](#)  
[Pietro Fernando Moro](#)  
[Roger Hatwig de Lima](#)  
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)  
[Tális Piovesan](#)  
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)  
[William do Nascimento Guareschi](#)

**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 em Engenharias/Tecnologias: eletrônica, comunicações, mecânica, lançamento de pequenos satélites científico universitário - iniciação científica: CubeSat (100g-1Kg, 10x10x10cm), Nanosatélite (1Kg-10Kg); Carga útil: magnetômetro e detector de partículas; Desenvolvimentos: estrutura mecânica, computador-bordo, programas, estação terrena, testes/integração, sub-sistemas: potencia, propulsão, telemetria, controle: atitude, térmico, Vice-Líder: Otávio Santos Cupertino Durão

---



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu Orientador, Dr. Eng. Otavio Santos Cupertino Durão, e ao meu Co-Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch e ao Dr. Adriano Petry 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 aos colegas de Laboratório Rubens Bohrer, Lucas Franke, Fernando Alvez, Eduardo Escobar, Andrei Componogara e Dimas Irion 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

<b>ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES .....</b>	<b>12</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>13</b>
<b>1. CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>14</b>
1.1. INTRODUÇÃO .....	14
1.2. OBJETIVO DO PROJETO .....	15
1.3. METODOLOGIA.....	15
<b>2. CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>16</b>
2.1. CUBESATS .....	16
2.2. PROJETO NANOSATC-BR .....	20
2.2.1. Missão do NANOSATC-BR 1 .....	23
2.2.2. Desenvolvimento do NANOSATC-BR 1 .....	25
<b>3. CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>31</b>
3.1. COMPUTADOR DE BORDO DO NANOSATC-BR1 .....	31
3.1.1. Hardware e Interfaces do Computador de Bordo do NANOSATC-BR1 .....	31
3.1.2. Desenvolvimento de Software no NanoMind A712 .....	34
3.1.3. Sistema Operacional - FreeRTOS.....	35
3.1.4. CubeSat Space Protocol - CSP.....	37
<b>4. CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>41</b>
4.1. APLICATIVOS DE BORDO EM SATÉLITES DO TIPO CUBESAT.....	41
4.2. SOFTWARE DE DATA HANDLING DO NANOSATC-BR1 .....	43
4.2.1. Análise do Fluxo de Dados de Bordo .....	43
4.2.2. Descrição das Funções do OBC .....	44
4.2.3. Análise Estruturada .....	52
4.2.4. Especificação dos processos .....	53
<b>5. CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>56</b>
5.1. CONCLUSÃO .....	56
5.2. TRABALHOS FUTUROS .....	57
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>58</b>
<b>ATIVIDADES COMPLEMENTARES – PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS.....</b>	<b>61</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura de um CubeSat. ....	16
Figura 2 - Foto de um CubeSat captada por outro CubeSat. ....	17
Figura 3 - Concepção de um POD. ....	18
Figura 4 - Montagem de um POD em um veículo lançador. ....	19
Figura 5 - Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. ....	21
Figura 6 - Metodologia de Projeto Utilizada pelo INPE - Principais elementos constituintes do ciclo de vida de um projeto na área espacial, conforme diretrizes do padrão ECSS. ....	22
Figura 7 - Campo magnético total da Terra ano 2000, região em azul mostra a AMAS. ....	23
Figura 8 - Região do eletrojato ionosférico equatorial. ....	24
Figura 9 - Encapsulamento do Circuito Integrado da SMDH. ....	25
Figura 10 - Plataformas EM e FM do NANOSATC-BR1. ....	26
Figura 11 - Modelo estrutural do NANOSATC-BR1. ....	26
Figura 12 - Análise Térmica preliminar do NANOSATC-BR1. ....	27
Figura 13 - Diagrama de Blocos do sistema de controle de atitude. ....	28
Figura 14 - Ciclo DoD das baterias e Balanço de Potência do NANOSATC-BR1. ....	29
Figura 15 - Conograma das Atividades do Projeto NANOSATC-BR1. ....	30
Figura 16 - Diagrama de Blocos do NanoMind A712. ....	32
Figura 17 - Layout das memórias internas do NanoMind A712. ....	34
Figura 18 - Ambiente integrado de desenvolvimento de software Eclipse. ....	35
Figura 19 - Camada abstrata proporcionada pelo FreeRTOS. ....	36
Figura 20 – Cabeçalho do protocolo CSP versão 0.9. ....	39
Figura 21 – Cabeçalho do protocolo CSP versão 1.0. ....	40
Figura 22 - Distribuição dos subsistemas do satélite e a comunicação com a estação terrestre. ....	43
Figura 23 - Arquitetura de comunicação entre os subsistemas do NanoSatC-BR1. ....	44
Figura 24 - Diagrama de blocos do ISIS TRXU VHF/UHF Transceiver. ....	47
Figura 25 - Diagrama de blocos do ISIS Deployable UHF and VHF antennas system. ....	49
Figura 26 - Diagrama de blocos do NanoPower 30u. ....	50
Figura 27 - Protocolo de comunicação START/STOP do NanoPower 30u. ....	50
Figura 28 - Código identificador CubeSat Space Protocol. <sup>19</sup> ....	51
Figura 29 - Diagrama de blocos do NanoMind A712. ....	52
Figura 30 - Diagrama de fluxo de dados do NanoSatC-BR em nível de sistema. ....	53



## RESUMO

O Relatório apresenta as atividades de pesquisa vinculadas ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT realizadas pelo aluno **Lucas Lopes Costa**, durante o período de março de 2011 a julho de 2011, como continuação do Projeto intitulado de: “**PROJETO DE UM APLICATIVO DE BORDO PARA MISSÃO NANOSATC-BR**” junto ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCT. As atividades foram desenvolvidas no **Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica & Antenas do CRS/CCR/INPE-MCT**, no âmbito da Parceria: INPE/MCT – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais se Santa Maria – LACESM/CT – UFSM. O Projeto de Pesquisa tem por objetivo desenvolver um sistema computacional para o primeiro satélite, o NANOSATC-BR1, do Projeto NanoSatC-BR – Desenvolvimento de CubeSats. O estudo foi realizado analisando-se os requisitos funcionais do satélite e o fluxo de seus dados internos. Assim gerando uma base para o projeto do software de gestão de bordo do NANOSATC-BR1. A base deste trabalho foi realizada utilizando as experiências e pesquisas realizadas pelo bolsista Lucas Antunes Tambara, o qual desenvolveu os assuntos e conceitos básicos sendo este trabalho uma continuação provendo melhorias.



## **CAPÍTULO 1**

### **1.1. INTRODUÇÃO**

O Relatório é composto por descrições das atividades de pesquisa realizadas na área espacial referentes a pequenos satélites e voltado especificamente para uma classe de nanosatélites, os *CubeSats*, com identificação de conceitos, aplicações, estrutura, funcionamento e seu projeto.

É dada ênfase ao subsistema de computação de bordo, mais especificamente para o aplicativo de bordo de gestão de dados para o *CubeSat* NANOSATC-BR1 e assuntos relacionados, que englobam conhecimentos de ciências básicas, tecnologia espacial, funcionamento de todo o satélite, ferramentas de projeto e possíveis soluções aplicáveis para satélites dessa classe.

É realizada a análise do *hardware* utilizado para o computador de bordo com a finalidade de verificar a disponibilidade, como funciona e limitações deste sistema para que o aplicativo de bordo funcione como planejado pela missão.

A divisão dos capítulos representa a evolução da pesquisa que, inicialmente, teve foco na familiarização com conceitos do desenvolvimento de *CubeSats*. Posteriormente, é apresentado o Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de *CubeSats* e a situação atual de desenvolvimento do primeiro satélite deste projeto, o NANOSATC-BR1. Assim, são exploradas as funções e requisitos do aplicativo de gestão de bordo para este satélite e, através de fluxogramas, é representada uma estrutura-base para a construção do aplicativo.



## **1.2. OBJETIVO DO PROJETO**

O Projeto de Pesquisa tem por objetivo principal a obtenção de conhecimento de conceitos de forma suficiente para viabilizar a estruturação de um aplicativo de bordo para o NANOSATC-BR1, com identificação de requisitos, plataforma de desenvolvimento disponível e, ainda, a análise situação atual do Projeto deste satélite.

O fomento da pesquisa na área espacial, muito pouco explorada no Brasil, bem como a preocupação com o desenvolvimento que esta área pode trazer para a tecnologia e a formação de Recursos Humanos é outro objetivo a ser considerado. Ainda, ressalta-se que a área espacial traz grandes satisfações ao bolsista, representando forte atrativo para seu desenvolvimento profissional.

## **1.3. METODOLOGIA**

O Relatório foi desenvolvido através de extensa revisão bibliográfica de assuntos básicos sobre satélites, subsistemas de computador de bordo e todo contexto envolvido em missões espaciais, para posterior aplicação e entendimento do NANOSATC-BR1.

Através de pesquisa exploratória (Internet, livros, artigos científicos e documentos técnicos de equipamentos), foram estudados aplicativos de bordo para esta classe de satélites.

Foram utilizados neste trabalho, os relatórios e experiências já adquiridas por outros bolsistas, os quais desenvolveram a base de conhecimento neste assunto, principalmente o bolsista Lucas Antunes Tambara.

## CAPÍTULO 2

### 2.1. CUBESATS

Um CubeSat é um tipo de satélite artificial miniaturizado com forma cúbica (corpo do satélite), dimensões externas de 100 × 100 × 113,5 mm, volume interno de aproximadamente 1 litro, massa não superior a 1,33Kg, e tipicamente utilizando para missões científicas ou testes de novas tecnologias, Figura 1.



Figura 1 - Estrutura de um CubeSat.<sup>1</sup>

Devido as dimensões reduzidas de um CubeSat todos os subsistemas e carga útil estão concentrados em um único módulo, portanto, sua metodologia de desenvolvimento de projeto e ciclo de vida são diferenciados de satélites convencionais com maior porte.

As principais vantagens de desenvolvimento deste tipo de satélite são: o tempo reduzido de projeto, construção e o baixo custo total da missão, o que

---

<sup>1</sup> Fonte: <[http://www.lanl.gov/news/currents/2008/nov/cube\\_sats.shtml](http://www.lanl.gov/news/currents/2008/nov/cube_sats.shtml)>.





possibilita o seu desenvolvimento dentro de universidades como uma ferramenta prática de tecnologia espacial para os alunos.

Segundo Lee et. al (2009) iniciado em 1999, o Projeto CubeSat começou como uma parceria conjunta entre o Prof. Jordi Puig-Suari da *California Polytechnic State University* (Cal Poly), San Luis Obispo, com o Prof. Bob Twiggs do Laboratório de Desenvolvimento de Sistemas Espaciais da Universidade de Stanford (SSDL). O objetivo do projeto é fornecer um padrão para o design de picosatélites para reduzir custos e tempo de desenvolvimento, aumentar a acessibilidade ao espaço, e manter lançamentos freqüentes. Assim foi criado um documento chamado *CubeSat Design Specification – CDS* que mostra todos os requisitos de massa, estruturais, elétricos, entre outros, que descrevem como é o padrão deste satélite.

Atualmente, o Projeto CubeSat é uma colaboração internacional com mais de 100 universidades, escolas, empresas privadas e organizações governamentais, que desenvolvem CubeSats com diferentes objetivos e missões, (Figura 2) e, muitos deles contendo como carga útil sensores científicos.

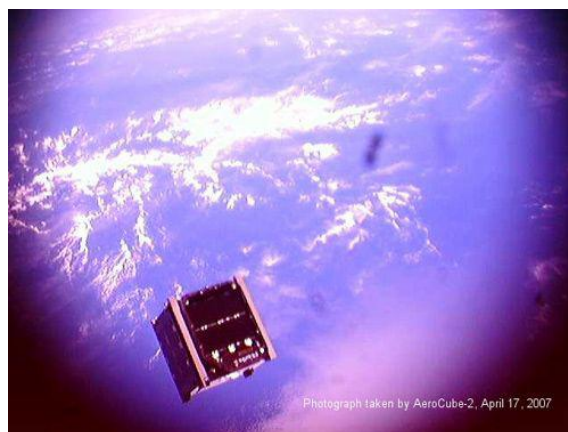


Figura 2 - Foto de um CubeSat captada por outro CubeSat.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Disponível em <<http://www.space.com/>>. Acesso em: 17/04/2011.

O lançamento de CubeSats é realizado utilizando um dispositivo de interface entre o veículo lançador e o CubeSat, onde cada dispositivo tem uma capacidade limitada do número de CubeSats (normalmente três unidades) a serem lançados. Estes dispositivos, também desenvolvidos pela Cal Poly, são chamados de PODs (*PicoSatellite Orbital Deployers*), Figura 3. Os PODs são prismas retangulares, onde os CubeSats são integrados, com uma tampa de abertura, que normalmente é acionada por um atuador (*cable release actuator*), e que, através de uma mola e trilhos laterais internos a estrutura principal do POD, os CubeSats são ejetados em órbita.

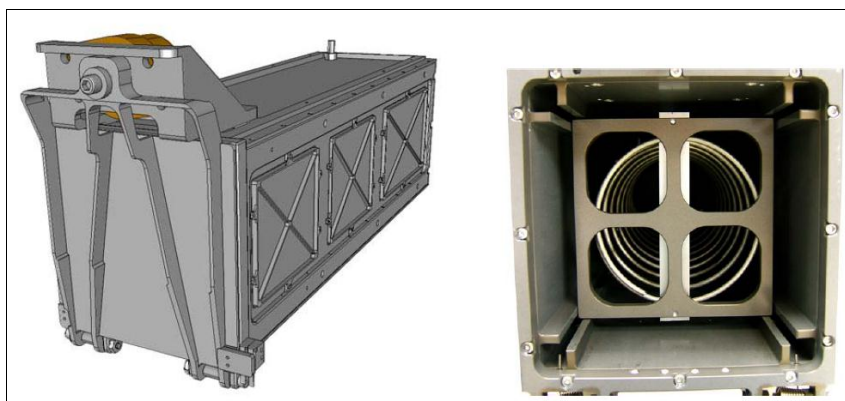


Figura 3 - Concepção de um POD.<sup>3</sup>

O mecanismo de abertura da tampa é feito através de um sinal elétrico enviado pelo veículo lançador ao POD, que através do sistema atuador libera um pino de travamento da tampa e através de um conjunto de molas de torção, localizados nas dobradiças da tampa do POD, são aplicadas forças para a abertura da mesma e os CubeSats são ejetados pelo mecanismo de mola interna percorrendo os trilhos laterais. A Figura 4 mostra como são montados os PODs no último estágio do veículo lançador.

---

<sup>3</sup> Fonte: Lee et al (2009).

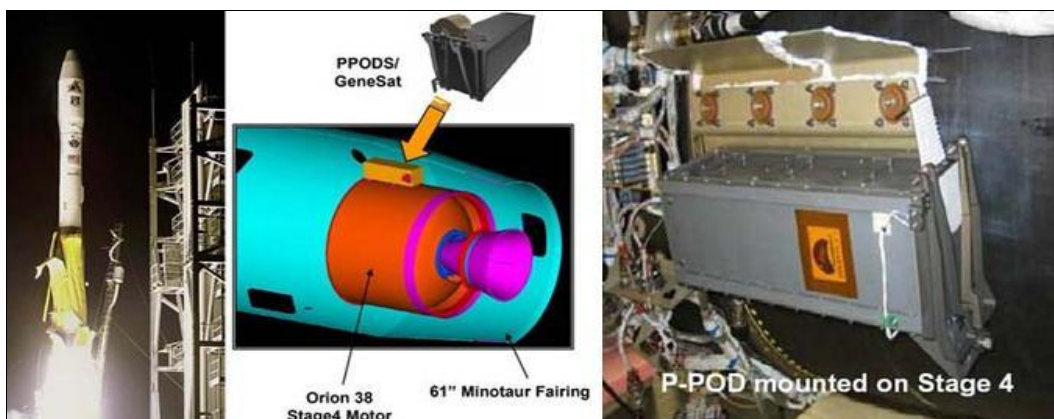


Figura 4 - Montagem de um POD em um veículo lançador.<sup>4</sup>

Algumas empresas desenvolveram diferentes PODs, como a ISIS, e para isto, é responsabilidade primária do desenvolvedor do POD garantir a segurança dos CubeSats, proteger o veículo lançador e a carga principal.

Os desenvolvedores de CubeSats devem desempenhar um papel ativo no sentido de garantir a segurança e o sucesso da missão através da implementação de boas práticas de engenharia, testes e verificação de seus sistemas. Falhas do CubeSats, do POD, ou da interface de *hardware* pode danificar o veículo lançador ou uma carga principal e colocar o programa CubeSat inteiro em risco. Como parte da comunidade CubeSat, todos participantes têm a obrigação de garantir a segurança dos seus sistemas e atender o projeto e os requisitos mínimos de testes e segurança. (Lee et al, 2009)

Com seu tamanho extremamente pequeno, CubeSats podem ser desenvolvidos e lançados por um valor estimado entre €80.000,00 a €150.000,00 cada, dependendo da missão e do país de origem do projeto, ressaltando-se que os projetos nos EUA tem seus custos significativamente reduzidos. Este baixo preço, em comparação com a maioria dos lançamentos de satélites, faz com que esse tipo de satélite se torne uma opção viável para as escolas e universidades, através de missões educacionais. Atualmente

<sup>4</sup> Fonte: <[http://www39.websamba.com/hh001/content/combination\\_launch.html](http://www39.websamba.com/hh001/content/combination_launch.html)>.



existem vários projetos em andamento para o desenvolvimento de Cubesats em nível mundial e foram lançados, até Julho de 2009 em torno de 50 CubeSats.

## **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 tecnologias espaciais e estudos científicos através do desenvolvimento de CubeSats. O primeiro CubeSat deste Programa, o Nanosatélite Científico Brasileiro 1 (NANOSATC-BR1), têm dois tipos de missões: uma tecnológica, para qualificação de circuitos integrados em ambiente espacial, e outra científica para o estudo da variabilidade das condições geomagnéticas 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 5, em 2006 pelo Dr. Nelson Jorge Schuch, que é o 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, pelo 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, orientados com apoio técnico de engenheiros, especialistas tecnologistas e pesquisadores do INPE/MCT.



Figura 5 - Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais.<sup>5</sup>

A idéia inicial, para NANOSATC-BR 1, é o desenvolvimento de um sistema simples e confiável, sendo uma primeira e inédita experiência para o Programa Espacial do Brasil. Assim, uma opção viável, que atendia aos interesses e requisitos do Projeto, foi o desenvolvimento de um satélite pequeno e, dentro deste contexto, estavam sendo largamente utilizados em universidades e empresas da área espacial os satélites da classe CubeSat.

Foi decidido, portanto, que seria utilizado essa configuração de satélite e que a plataforma seria adquirida de fornecedores especializados visando principalmente confiabilidade dos equipamentos e sistemas, além do rápido desenvolvimento a custos bastante reduzidos comparados a outras missões espaciais.

Os equipamentos (subsistemas) de CubeSats podem ser adquiridos “de prateleira”, possuindo especificações e níveis diferentes de acordo com a necessidade da missão, também possuem interfaces padronizadas facilitando o acesso e mudanças de projeto. A plataforma para o CubeSat do NANOSATC-BR será integrada e fornecida com os subsistemas de serviço: estrutura, sensores e atuadores de controle de atitude, computador de bordo, suprimento de energia, rádio transmissor/receptor e antenas.

A empresa escolhida, por processo licitatório público, para o fornecimento da plataforma do NANOSATC-BR foi a ISL – *Innovative Space*

---

<sup>5</sup> Fonte: <<http://www.inpe.br/crs>>.

Logistics BV, Molengraaffsingel 12-14, 2629 JD Delft, Holanda, Empresa do Grupo de Empresas controlado pela ISIS – *Innovative Solutions in Space*, de Delft, na Holanda. A empresa foi constituída há cerca de 10 anos por engenheiros recém formados na Universidade Técnica de Delft, onde desenvolveram um CubeSat durante a graduação (Delfi-C3) em um modelo similar ao utilizado no Projeto NANOSATC-BR.

Para o desenvolvimento do NANOSATC-BR 1 foram adquiridos, via processo licitatório, duas plataformas: o modelo de engenharia (EM) e o modelo de vôo (FM), e a Estação Terrena de Rastreamento completa.

A metodologia de desenvolvimento do NANOSATC-BR 1 tem como base a metodologia adotada pelo INPE/MCT, Figura 6, mas com suas próprias adaptações, como: as fases 0 e A são combinadas em uma só, assim como as B, C e D (não há a fase F) em virtude da limitação de tempo e custo do projeto, os quais são dois dos objetivos do desenvolvimento deste tipo de satélite.

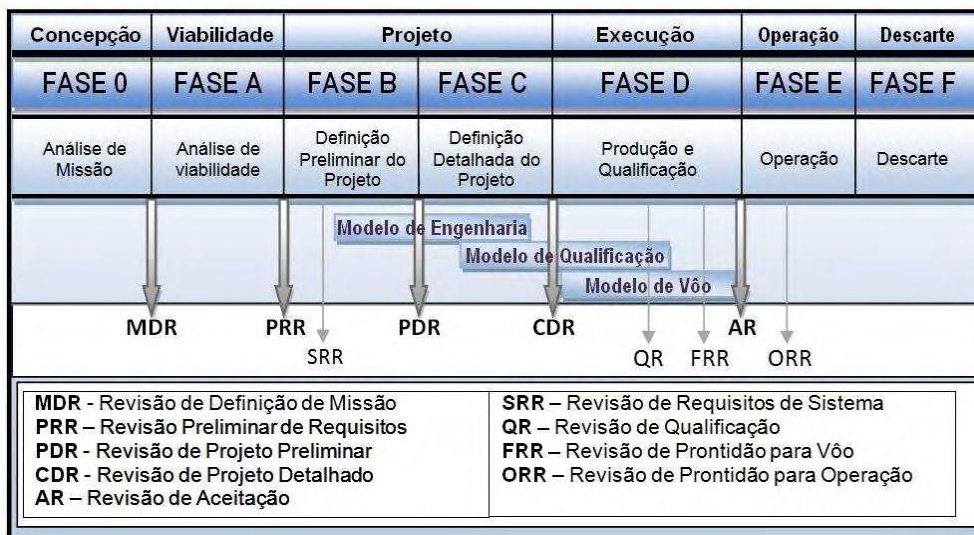


Figura 6 - Metodologia de Projeto Utilizada pelo INPE - Principais elementos constituintes do ciclo de vida de um projeto na área espacial, conforme diretrizes do padrão ECSS.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Fonte: Yassuda (2010).

### 2.2.1. Missão do NANOSATC-BR 1

O NANOSATC-BR 1 possui dois tipos de missão, uma científica e uma tecnológica, para tanto, o sistema de carga útil é composto por um magnetômetro para obtenção de medidas do módulo total do Campo Magnético Terrestre e por dois circuitos integrados com sistemas de proteção à radiação, projetados por duas diferentes universidades brasileiras, a UFSM e UFRGS, com possibilidades de uso espacial no futuro.

A missão científica (obtenção dos dados do magnetômetro e contagem dos *upsets* nos circuitos integrados) será utilizada com o objetivo de 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*).

A Anomalia Magnética do Atlântico Sul, Figura 7, é uma região da Terra onde a parte mais interna do cinturão de Van Allen mais se aproxima da superfície da Terra. O resultado é que para uma dada altitude, a intensidade de radiação é mais alta nesta região do que em qualquer outra. Odenwald (1999).

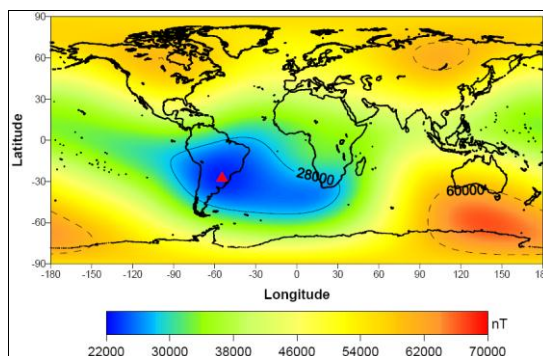


Figura 7 - Campo magnético total da Terra ano 2000, região em azul mostra a AMAS.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Fonte: Heirtzler (2002).

O Eletrojato Equatorial (EEJ), Figura 8, representa uma fita de intensa corrente elétrica que flui ao longo do equador na região E da Ionosfera durante o dia. A principal razão para a alta densidade de corrente é a geometria do campo geomagnético, exibindo linhas horizontais de força nestas latitudes. (Lühr et al, 2004).

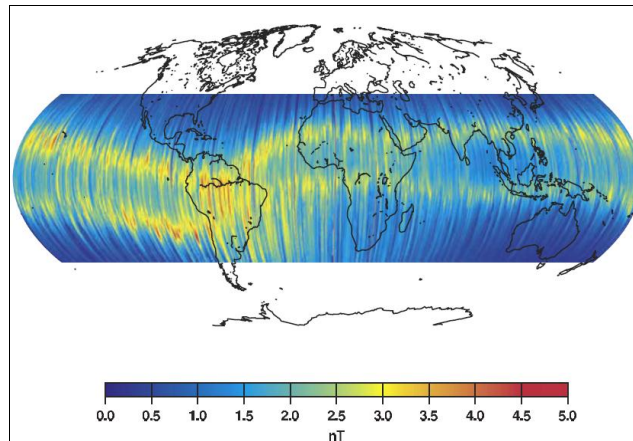


Figura 8 - Região do eletrojato ionosférico equatorial.<sup>8</sup>

As pesquisas científicas se utilizarão dos dados coletados pelo magnetômetro, os quais serão reduzidos a mapas de observação magnética e comparados com os já existentes, assim, obtendo certo grau de confiabilidade e então usando-os para pesquisas mais avançadas como, por exemplo, para o estudo dos riscos de funcionamento de equipamentos e sistemas eletrônicos a bordo de satélites que passam por estas regiões.

A missão tecnológica conta com a qualificação, em ambiente espacial (tolerância a radiação), dos circuitos integrados da SMDH-UFSM, Figura 9, e o FPGA da UFRGS, assim, mostrando a eficiência dos seus sistemas de proteção contra upsets causados pela incidência de partículas energéticas provenientes do espaço e também as funcionalidades destes sistemas.

---

<sup>8</sup> Fonte: Lühr et al (2004).





- Plano de AI&T
- Interface com o Lançador (POD);
- Testes de Qualificação das Cargas Úteis;
- Testes de Qualificação (Funcionais e Ambientais) no EM;
- Testes de Aceitação Funcionais no FM.

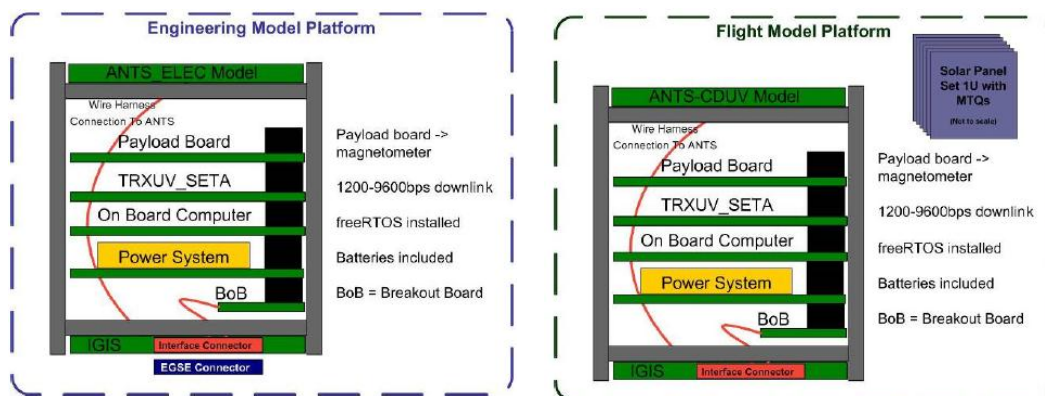


Figura 10 - Plataformas EM e FM do NANOSATC-BR1

A estrutura mecânica modular do NANOSATC-BR1 segue os padrões dimensionais e de segurança especificados para CubeSats (CDS), assim, para o NANOSATC-BR1 foi construído um modelo em software de elementos finitos, Figura 11, para estudos da arquitetura mecânica do satélite e análises de vibração e esforços de cargas externas.

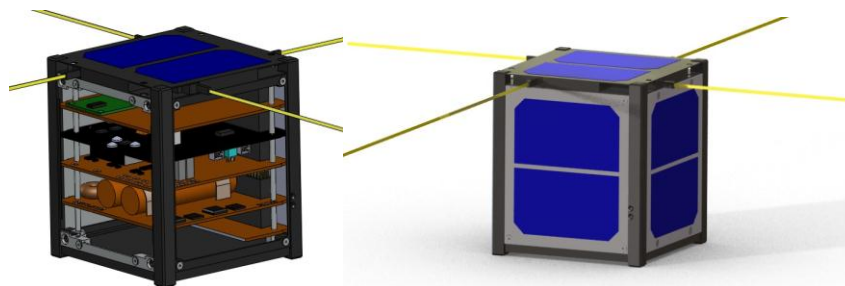


Figura 11 - Modelo estrutural do NANOSATC-BR1.

O Controle Térmico deve ser passivo e segundo as análises preliminares realizadas no software SINDA/Fluint – Thermal Desktop, Figura 12, mostram que é possível, somente com a utilização de revestimentos externos e internos, manter os requisitos necessários de gradientes de temperatura para o funcionamento de todos os equipamentos.

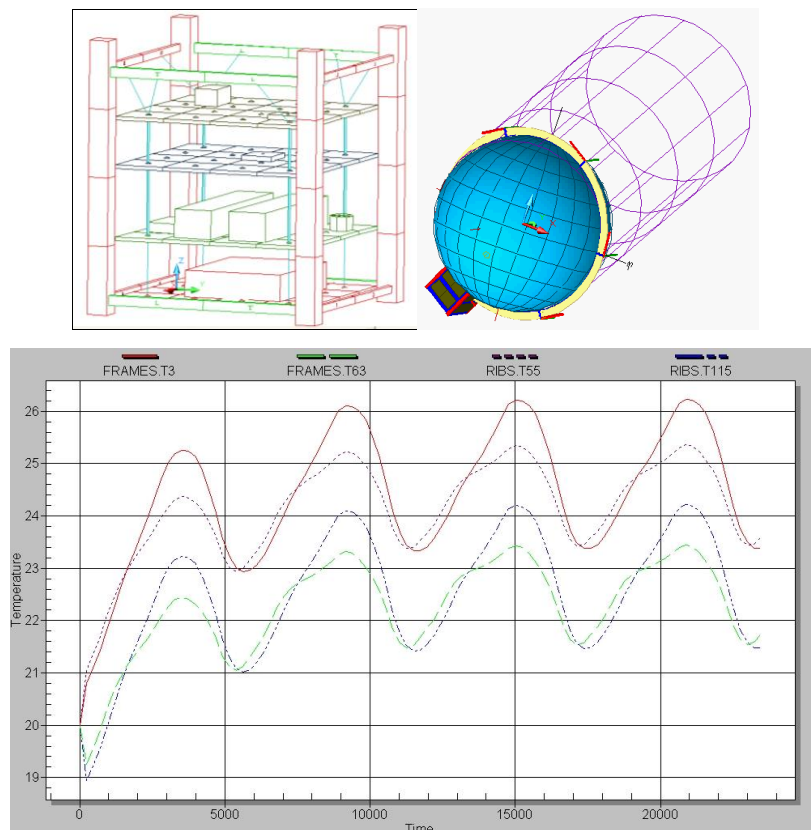


Figura 12 - Análise Térmica preliminar do NANOSATC-BR1.

A plataforma integrada do NANOSATC-BR1 constitui-se de uma estrutura em uma configuração para barramento padrão PC-104 facilitando a comunicação entre os componentes. O computador de bordo é o NanoMind A712 com sistema operacional FreeRTOS. Integrado à placa do computador de bordo está o magnetômetro que será usado para a determinação de atitude.

O controle de atitude do NANOSATC-BR1, Figura 13, é constituído de um sistema ativo em 3 eixos e, além do magnetômetro integrado à placa do

computador de bordo, possui, para determinação de atitude e 6 sensores solares analógicos integrados nos painéis solares do CubeSat. Os 3 painéis ficam localizados ortogonalmente e também possuem 3 torqueadores magnéticos de capacidade de torque equivalente a  $0,07 \text{ Am}^2$  cada, nas direções x, y e z do corpo do satélite. Estes sistemas disponibilizam uma capacidade de determinação e controle de 3 eixos com uma precisão nominal aproximada de  $9^\circ$ .

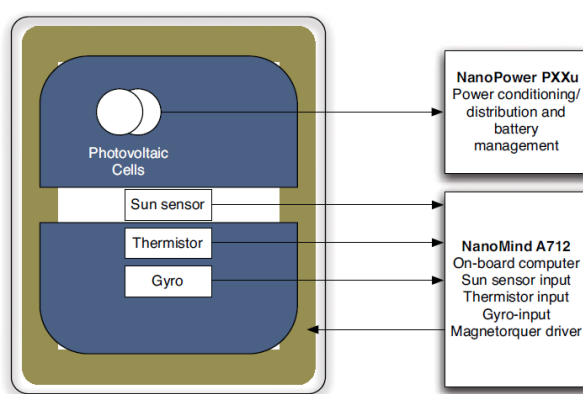
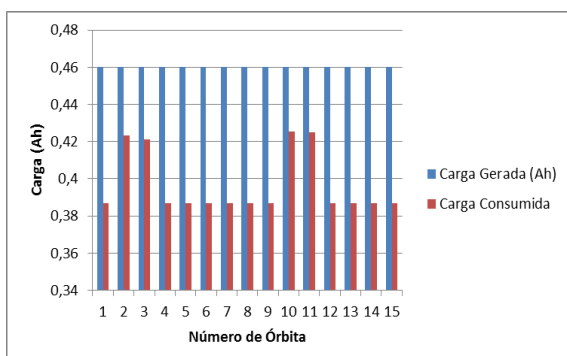


Figura 13 - Diagrama de Blocos do sistema de controle de atitude.

O controle em 3 eixos permite que, quando os atuadores magnéticos forem ativados, a leitura do magnetômetro de carga útil seja descartada. E esta perda de dados está de acordo com os requisitos de quantidade de dados da carga útil, que pode descartar até 10% dos dados lidos durante o período completo da órbita, que é de cerca de 100 minutos.

O sistema de potência utilizado é o NanoPower 30U, com 3 canais (um para cada par de painéis solares em faces opostas), incluindo as baterias. Uma análise preliminar foi realizada da arquitetura elétrica do NANOSATC-BR através de um Balanço de Potência e um ciclo DoD das baterias mostrado na Figura 14.



Subsistema	Standby (W)	Transmitting (W)
Estrutura	0	0
Controle Térmico	0	0
Suprimento de Energia	0.25	0.25
Transceiver	0.2 (Máximo)	1.6 (Máximo)
Controle de Atitude (giroscópio)	0.22	0.22
Computador de Bordo	0.3541	0.3541
<b>Total</b>	<b>1.0241</b>	<b>2.4241</b>

Figura 14 - Ciclo DoD das baterias e Balanço de Potência do NANOSATC-BR1.<sup>9</sup>

A estação terrena será fornecida em modo *turn key*. A estação é projetada para aplicações de rastreamento de satélites em órbita do tipo LEO, compatível com GENSO (*Global Education Network for Satellite Operations*) e possui rastreamento total em elevação e azimute. Opera em VHF e UHF em bandas comerciais e em rádio-amador: 144 – 146 MHz e 430 – 440 MHz (utilizada pelo NANOSATC-BR) e na banda S: 2200 – 2400 MHz .

No momento, dois lançadores são considerados como os mais prováveis para a realização do lançamento do CubeSat do Projeto NANOSATC-BR: o lançador indiano *Polar Satellite Launch Vehicle – PSLV* e o russo *Soyuz*. Estes são os que têm feito os lançamentos mais recentes de CubeSats, ambos utilizam da interface POD que o NANOSATC-BR1 também utilizará. O custo estimado de lançamento é de cerca de US\$ 100 mil (cem mil dólares americanos) e a própria empresa fornecedora da plataforma do CubeSat está realizando um *procurement* para lançadores. A data prevista para o lançamento é no segundo semestre de 2012 como mostra a Figura 15.

<sup>9</sup> Fonte: NanoSatC-BR\_EPS-1.1\_Rev.1\_Arquitetura Elétrica, Maio 2011.



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT  
 Relatório Final de Atividades

Atividade	Ano	2011			2011			2012			2012			2012			2012									
	Trim.	1º			2º			3º			4º			1º			2º			3º			4º			
	Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
Emissão da LOC para compra das plataformas (EM e FM) e estação terrena																										
Embarque para o Brasil das plataformas e da estação terrena																										
Desenvolvimento dos softwares de bordo																										
Disponibilização das cargas úteis																										
Integração																										
Instalação e operação da estação terrena																										
Testes da EM																										
Testes da FM e POD																										
Embarque para lançamento																										
Lançamento																										
Operação																										

Figura 15 - Conograma das Atividades do Projeto NANOSATC-BR1.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Fonte: DOCUMENTO DE REVISÃO PRELIMINAR - Projeto NanosatC - Maio 2011



## **CAPÍTULO 3**

### **3.1. COMPUTADOR DE BORDO DO NANOSATC-BR1**

O computador de bordo do NANOSATC-BR1 deverá executar uma série de ações, descritas no aplicativo de bordo, com as duas macro funções listadas abaixo:

- Gerenciamento de Dados (*DataHandling*);
- Determinação e Controle de Atitude.

O objetivo deste projeto de IC é o desenvolvimento do módulo do aplicativo de gerenciamento de dados, para isto, foi necessário um entendimento prévio dos sistemas que compõe o NANOSATC-BR1 e uma definição prévia das tarefas que o OBC deve executar.

O *hardware* disponível para os dois módulos do software é descrito no subcapítulo seguinte e este deve ser utilizado de acordo com as prioridades da missão.

#### **3.1.1. Hardware e Interfaces do Computador de Bordo do NANOSATC-BR1**

O computador de bordo do NANOSATC-BR1 é o NanoMind A712, ANEXO A, desenvolvido pela empresa GomSpace ApS. Este computador foi desenvolvido para atender os requisitos em casos críticos de demanda de energia em ambientes espaciais para nano e pico-satélites.

Juntamente com o microprocessador, a placa do computador de bordo, possui um magnetômetro de três eixos para medição do campo magnético terrestre e drivers de comando para bobinas magnéticas, disponibilizando

controle de atitude magnético completo. Além disso, disponibiliza espaço na memória interna para o código de software e suas aplicações.

O computador é composto por um processador ARM7 da Atmel, o AT91SAM71A. Este micro-processador está na família dos processadores embutidos ARM7 TDMI, tem uma alta performance de 32-bit arquitetura RISC e baixo consumo de potência de 0,35W. Através do diagrama de blocos mostrado na Figura 16 é possível identificar como funciona o fluxo de informações internamente ao computador de bordo. (NanoMind A712 Datasheet, 2010)

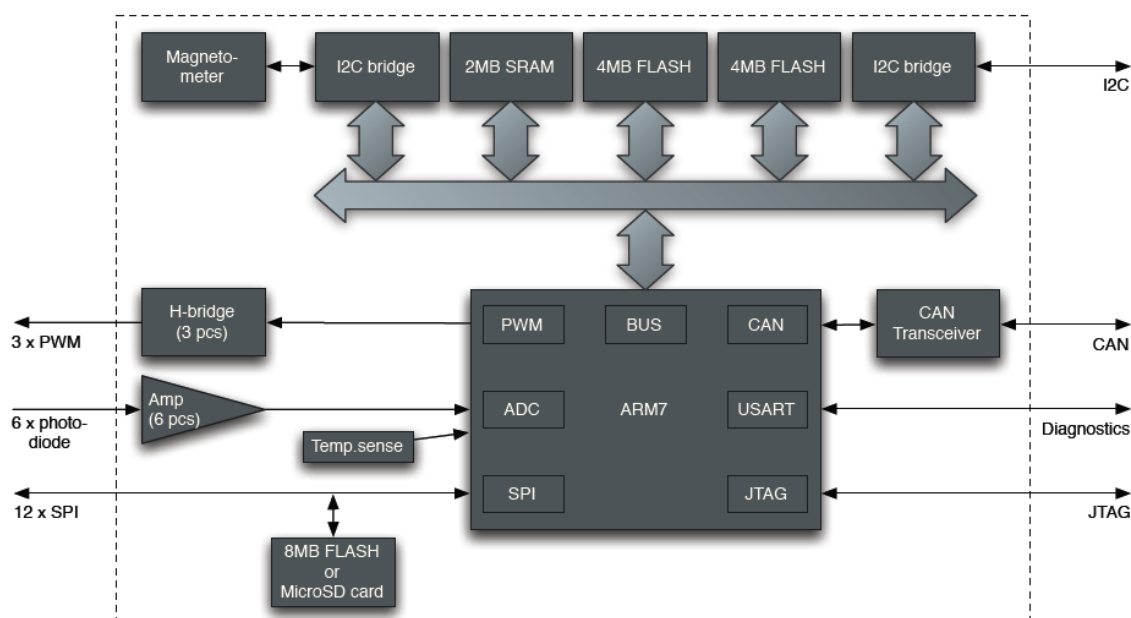


Figura 16 - Diagrama de Blocos do NanoMind A712.<sup>11</sup>

Uma das principais interfaces do NanoMind A712 para comunicação com os demais subsistemas é a interface CAN – *Controller Area Network*. O CAN é um protocolo de comunicação seriado que tem potencial de controlar a distribuição em tempo real com um alto nível de segurança. Este permite uma velocidade de 1 Mbit/s utilizando o SN65HVD230 como um transceiver CAN,

<sup>11</sup> Fonte: NanoMind A712 Datasheet, 2010





garantindo proteção contra cruzamento de dados, perda de aterramento, sobre-tensão e altas temperaturas.

O NanoMind possui uma interface bidirecional de comunicação I<sup>2</sup>C para transferência de dados entre domínio e escravo e esta provavelmente será a interface mais utilizada para comunicação com os demais subsistemas do NANOSATC-BR1. A sincronização de *clock* permite a transferência de taxas diferentes de bits, tendo como limite superior 400 kbit/s com um buffer de transmissão e recepção de 68 bytes.

Além disso o NanoMind possui um sistema completo para controle de atitude magnético com os seguintes componentes: Magnetômetro de 3 eixos, 3 drivers de saída H-bridge para controlar magnetotorquers (um em cada eixo ortogonal) e ainda 6 entradas analógicas como interface para fotodiodos conhecidos como sensores solares (medir a luz solar incidente).

Assim, todos os componentes que compõe o NanoMind estão listados abaixo:

- *ARM7 8-40MHz RISC CPU*
- *2 MB SRAM*
- *4MB parallel FLASH memory for code storage*
- *4MB parallel FLASH memory for code and data storage*
- *MicroSD card socket*
- *I2C 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 sensor*

O *layout* dos sistemas de memória podem ser vistos na Figura 17.

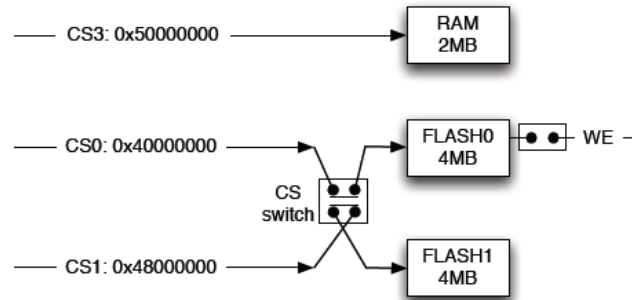


Figura 17 - Layout das memórias internas do NanoMind A712.<sup>12</sup>

### 3.1.2. Desenvolvimento de Software no NanoMind A712

O sistema é preparado para operação com o sistema operacional em tempo real FreeRTOS em conjunto com uma estrutura de software, o que permite um rápido começo no desenvolvimento do software embarcado. O pacote do software inclui uma biblioteca com drivers de dispositivos para os periféricos, e uma interface customizável de *debugging* do software. O *debugging* software já é pré-instalado no sistema e permite fácil transferência para o armazenamento do programa FLASH usando uma conexão de porta serial e um programa linux, que também está incluído. (NanoMind A712 Datasheet, 2010)

Junto com o computador de bordo NanoMind A712, interface de debug do software e as bibliotecas disponíveis, será fornecido um ambiente integrado de desenvolvimento do software – IDE, baseado no sistema Eclipse, Figura 18. O software poderá ser importado de qualquer ambiente de trabalho usando o arquivo do projeto e compilando este diretamente no IDE fornecido. Além disso, o Eclipse disponibiliza documentação online para todas bibliotecas de funções desenvolvidas pela GOMspace.

<sup>12</sup> Fonte: NanoMind A712 Datasheet, 2010.

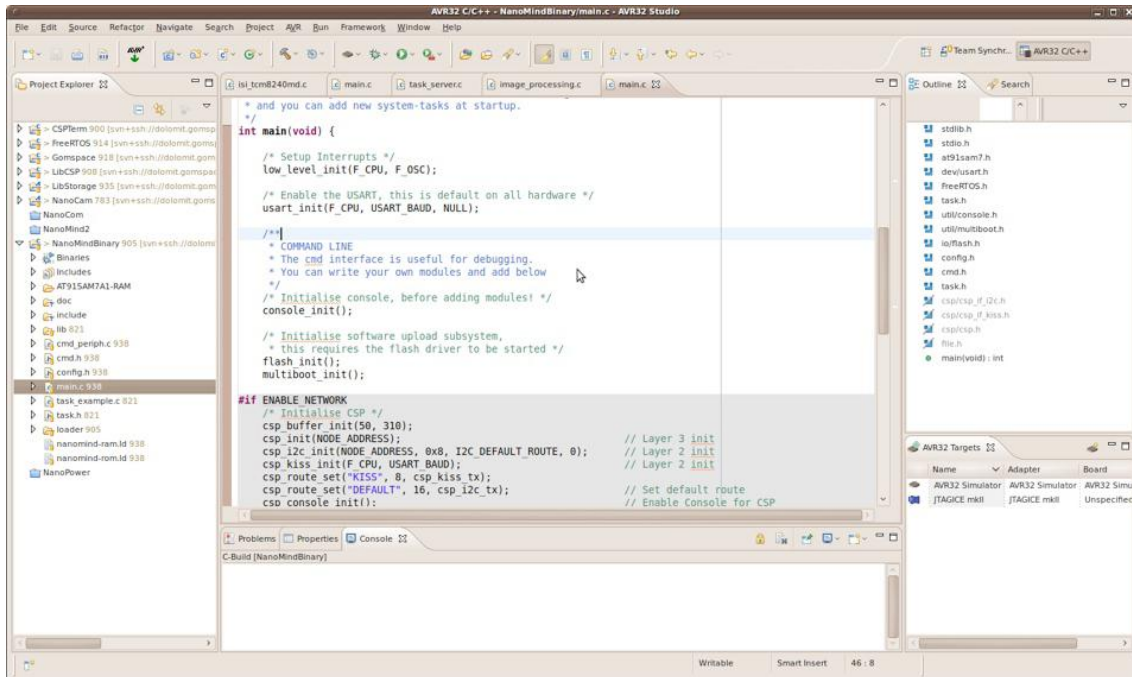


Figura 18 - Ambiente integrado de desenvolvimento de software Eclipse.<sup>13</sup>

Neste ambiente de desenvolvimento Eclipse deverão ser desenvolvidos os dois softwares de bordo: de gestão de bordo (*datahandling*) e determinação e controle de atitude. Neste relatório é explorado o desenvolvimento do software de gestão de bordo com ênfase para o fluxo das informações internas ao satélite, assim, resultando em uma idéia da estruturação no código a ser desenvolvido.

### 3.1.3. Sistema Operacional - FreeRTOS

O FreeRTOS é um sistema operacional de tempo real enxuto, simples e de fácil uso. O seu código fonte, feito em linguagem C com partes em assembly, é aberto e possui pouco mais de 2.200 linhas de código, que são essencialmente distribuídas em quatro arquivos: task.c, queue.c, croutine.c e list.c. Uma outra característica interessante desse sistema está na sua portabilidade, sendo o mesmo oficialmente disponível para 17 arquiteturas de

<sup>13</sup> Fonte: NanoMind A712 Datasheet, 2010.

monoprocessadores diferentes, entre elas a PIC, ARM e Zilog Z80, as quais são amplamente difundidas em produtos comerciais através de sistemas computacionais embutidos (Galvão, 2009).

Como a maioria dos sistemas operacionais de tempo real, o FreeRTOS provê para os desenvolvedores de sistemas concorrentes de tempo-real acesso aos recursos de hardware, facilitando com isso o desenvolvimento dos mesmo. Assim, FreeRTOS trabalha, como mostra a Figura 19, fornecendo uma camada de abstração localizada entre a aplicação e o hardware, que tem como papel esconder dos desenvolvedores de aplicações os detalhes do hardware que será utilizado.

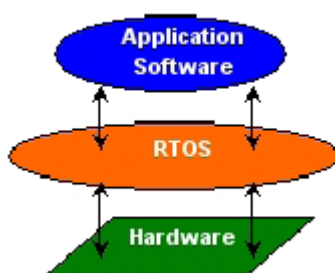


Figura 19 - Camada abstrata proporcionada pelo FreeRTOS.<sup>14</sup>

Para prover tal abstração o FreeRTOS é composto por um conjunto de bibliotecas de tipos e funções que devem ser referenciadas com o código da aplicação a ser desenvolvida. Juntas, essas bibliotecas fornecem para o desenvolvedor serviços como gerenciamento de tarefa, comunicação e sincronização entre tarefas, gerenciamento de memória e controle dos dispositivos de entrada e saída.

A criação de uma aplicação utilizando o FreeRTOS pode ser dividida em duas partes. Na primeira parte são criadas, de acordo com modelos fornecidos pelo FreeRTOS, as tarefas e demais estruturas de controle que serão utilizadas pela aplicação. Na segunda parte é feito o cadastramento das tarefas utilizadas

---

<sup>14</sup> Fonte: Galvão, 2009.



pelo o sistema assim como a inicialização do mesmo. Por fim, o sistema é compilado para arquitetura desejada (Galvão, 2009).

#### **3.1.4. CubeSat Space Protocol - CSP**

CubeSat Space Protocol é um pequeno protocolo desenvolvido para CubeSats. A idéia foi desenvolvida por um grupo de estudantes da Universidade de Aalborg em 2008, e depois aprimorada para o AAUSAT3 (CubeSat) com lançamento previsto para 2011. Este é um protocolo 32bit de cabeçalho contendo as informações de rede e transporte. Sua utilização foi criada para, mas não somente, sistemas embarcados como o microprocessador 8-bit AVR e o 32-bit ARM da Atmel. A implementação foi desenvolvida em C e é compatível para rodar nos sistemas operacionais FreeRTOS e POSIX – baseados em sistemas operacionais como Linux e BSD. A sigla CSP era originalmente usada como abreviação para CAN Space Protocol pois a primeira versão do driver foi escrita para a interface CAN. A camada física desde então foi aumentada para uma generalização incluindo outras tecnologias e o nome foi escolhido CubeSat Space Protocol sem mudança na abreviação.

Hoje, a implementação do protocolo é mantida ativamente pelos estudantes de Aalborg e a companhia GOMspace. E o seu código é disponível por uma licença e está armazenado no Google.

O CSP permite que sistemas embarcados distribuídos implementem um serviço de topologia de rede orientada. As camadas do CSP correspondem às mesmas camadas do modelo TCP/IP. A implementação suporta uma conexão orientada de protocolo de transporte (camada 4), um roteiro de destino (camada 3) e várias interfaces de rede (camadas 1 - 2). Um serviço de topologia orientada facilita o desenvolvimento dos subsistemas do satélite, dese que, a interface de comunicação é a mesma para todos subsistemas. Isto significa que cada desenvolvedor de subsistema somente precisa definir um contrato de serviço, e o número das portas do sistema. Além disso a inter-



dependência dos subsistemas são reduzidas, e redundância é facilmente adicionada ao adicionar vários nós semelhantes ao barramento de comunicação.

CSP suporta várias tecnologias de camadas físicas. O código fonte do LGPL licenciado contém a implementação de um driver de fragmentação CAN, e CAN drivers para socketCAN, o AT90CAN128 e o AT91SAM7A1 da Atmel. O restante dos drivers da camada física não estão incluídos no código fonte do LGPL e devem ser implementados separadamente. As interfaces CSP somente precisam implementar uma função para transmissão do pacote de dados, e inserir nos pacotes de dados recebidos o protocolo com a função `csp_new_packet`. O CSP foi testado com sucesso com as seguintes camadas físicas:

- *CAN*
- *I2C*
- *RS-232 using the KISS[1] protocol*
- *CCSDS 131.0-B-1. Spacelink protocol*
- *TCP/IP*

Existem duas versões do cabeçalho do CSP. A versão 0.9, Figura 20, foi utilizada até novembro de 2010, quando foi substituído com um novo cabeçalho com suporte para mais portas. O campo de prioridade não é utilizado em ambos cabeçalhos, desde que o CSP não suporta Quality of Service (QoS). Os bits para prioridade devem ser 0. O cabeçalho do CSP não contém um campo de comprimento. Se necessário deve ser implementado na camada física de interface.

O cabeçalho do CSP original (versão 0.9) suporta até 16 *hosts* na rede, com 32 portas disponíveis em cada *host*. Endereço 15 é reservado para o tráfego de broadcast. O intervalo de portas é dividido em três segmentos:

- Portas 0 -7: usados para serviços gerais, tais como ping e estado do buffer e são implementados pelo desenvolvedor com o CSP;



- Portas 8 – 15: usados para serviço de subsistema específico;
- Portas 16 – 31: portas efêmeras usando para conexões de saída. Bits 28 e 29 são usados para marcação de pacotes com HMAC e criptografia XTEA.

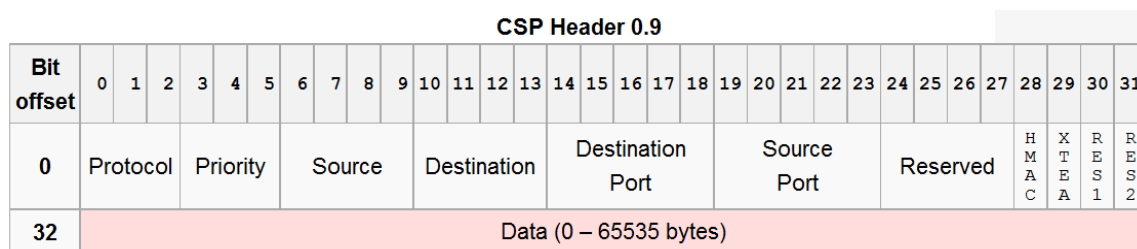


Figura 20 – Cabeçalho do protocolo CSP versão 0.9.

Em novembro de 2010, o cabeçalho foi redefinido para suportar mais hosts e portas, versão 1.0, Figura 21. O campo protocolo foi removido, e os pacotes RDP são identificados por um bit definido no campo flags. O campo de prioridade foi ajustado para dois bits e os bits livres foram usados para dobrar o host e o intervalo de portas. O CSP agora suporta até 32 hosts na rede, com 64 portas disponíveis em cada host. O Endereço 31 está reservado para o tráfego de broadcast.

O intervalo de portas é ainda dividido em três segmentos ajustáveis:

- Portas 0 – 7: são usados para serviços gerais, tais como ping e estado do buffer, e são implementados pelo manipulador de serviço CSP;
- Portas 8 – 47: são usadas para serviços subsistema específico;
- Portas 48 – 63: são portas efêmeras usado para conexões de saída. Os bits 28-31 são usados para a marcação de pacotes com HMAC, criptografia XTEA, cabeçalho RDP e CRC32 checksum.



**CSP Header 1.0+**

Bit offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	Priority		Source				Destination				Destination Port				Source Port				Reserved				H M A C	X T E A	R D P	C R C						
32	Data (0 – 65535 bytes)																															

Figura 21 – Cabeçalho do protocolo CSP versão 1.0.





## **CAPÍTULO 4**

### **4.1. APLICATIVOS DE BORDO EM SATÉLITES DO TIPO CUBESAT**

O OBC – *OnBoard Computer* deve utilizar um aplicativo de bordo que implementa todas ou a maioria das funções de comando e controle dos subsistemas, e gerenciamento de dados internos, fazendo as interfaces com os equipamentos do satélite e envio/recepção de dados. Assim, esse sistema computacional embarcado tem por objetivo principal monitorar o comportamento e estado funcional dos demais subsistemas do satélite e efetuar seus controles quando necessário, assim como garantir o armazenamento temporário e a integridade dos dados da missão.

Em geral, sistemas espaciais embarcados requerem controle em tempo real com alta confiabilidade e, por esta razão, os sistemas computacionais a bordo de satélites devem realizar serviços compatíveis com os demais elementos do veículo espacial e do segmento solo.

As funções de “comando e controle” a bordo de satélites possibilitam a operação remota dos seus subsistemas, tanto os que compõem a plataforma quanto os da carga útil ao longo da vida do satélite. Eles permitem que o controlador de solo corrija uma falha e opere um mecanismo conforme previsto, por exemplo. Estas operações devem ser realizadas de forma altamente confiável via telemetria. A facilidade de telecomando temporizado a bordo é importante para o controle do veículo e das cargas úteis ao longo de toda a órbita. Ela está fundamentada na capacidade do OBC de interpretação dos códigos de telecomandos e consequente execução num instante de tempo estipulado por solo. O recurso de temporização a bordo possibilita que telecomandos enviados do solo, quando recebidos pelo satélite em visada pela estação solo, sejam executados posteriormente, fora de visada.



As funções associadas à “telemetria” a bordo da aeronave contemplam a monitoração em tempo real dos equipamentos e subsistemas da plataforma e também da carga útil em termos dos parâmetros críticos à sobrevivência da missão. Também são funções de telemetria no OBC a organização e armazenamento temporário dos dados da missão que serão transmitidos para solo. Entende-se por dados da missão as “telemetrias” da plataforma (parâmetros de diagnóstico) e da carga útil. A telemetria da plataforma geralmente engloba os dados de “*housekeeping*”, ou seja, parâmetros de engenharia que precisam ser monitorados em solo para checar a saúde e o estado de operação dos equipamentos a bordo. A telemetria da carga útil consiste no conjunto de dados da aplicação, isto é, os dados científicos de interesse da missão.

A computação realizada pelo aplicativo de bordo em satélites também é utilizada para reduzir a telemetria das missões, aumentar a confiabilidade e contribuir para a redução de custos em outras partes da missão. Por exemplo, compressão de dados a bordo pode reduzir a taxa de bits de telemetria. Muitas vezes, além do aplicativo de bordo embarcado no computador de bordo, há também um responsável pelo controle de atitude e órbita do satélite.

O aplicativo de bordo pode também exercer funções de determinação e controle de atitude quando necessário compartilhando a mesma *performance* disponível do computador de bordo com as demais funções do o aplicativo de bordo. O módulo do aplicativo direcionado a determinação e controle de atitude, chamado de ACDS - *Attitude Control and Determination System*, é um conjunto de algoritmos complexos que deve atuar periodicamente ou integralmente no OBC . O objetivo desse tipo de sistema é estabilizar o satélite através da comparação dos seus eixos de referência com outras fontes de referências disponíveis e conhecidas, que podem ser: as estrelas, o Sol, a Terra e o campo magnético terrestre.

## 4.2. SOFTWARE DE DATA HANDLING DO NANOSATC-BR1

O *software* de gestão de bordo do NANOSATC-BR1 deverá atender a uma série de requisitos e ações em diferentes níveis de prioridade, o que necessita um bom planejamento antes do desenvolvimento em si do código de *software*.

Assim, com este objetivo, a base para a estrutura do *software* foi a análise do fluxo de dados internos e levantamento das funções, em alto nível, que o OBC deverá executar.

### 4.2.1. Análise do Fluxo de Dados de Bordo

O objetivo deste subcapítulo é analisar o fluxo de dados entre os subsistemas do NANOSATC-BR1 para, através de diagramas, mostrar como os dados são processados pelo computador de bordo. As Figuras 22 e 23, a seguir, descrevem esses subsistemas e, em alto nível, a comunicação entre o satélite e a estação terrestre e dos subsistemas entre si.

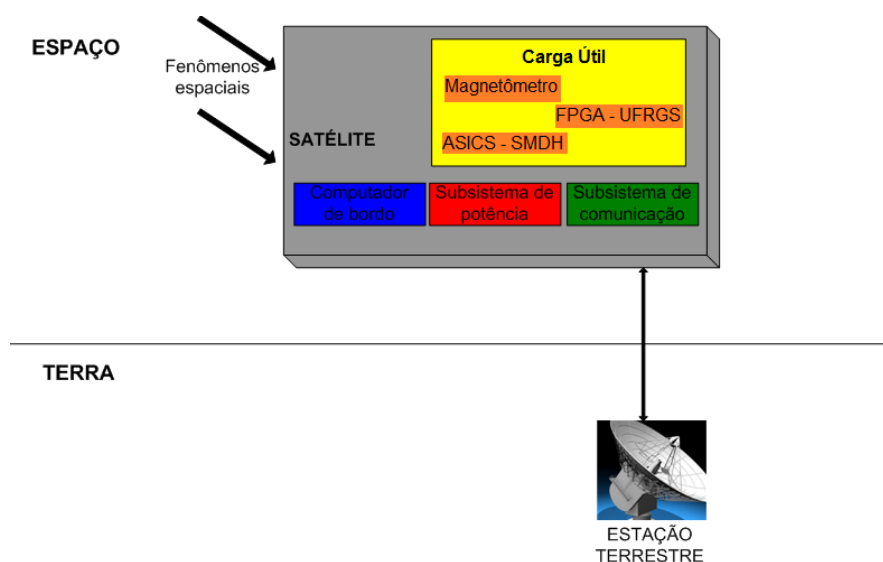


Figura 22 - Distribuição dos subsistemas do satélite e a comunicação com a estação terrestre.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Adaptado de: Tambara, 2010

A comunicação dos subsistemas do NANOSATC-BR1 com o seu computador de bordo provavelmente será realizada através de um canal linear que, utilizando a interface I<sup>2</sup>C, oferece diversas vantagens, como o modo de operação mestre-escravo, em que o computador de bordo pode controlar e se comunicar com todos os dispositivos através de um único canal, simplificando o fluxo de dados dentro do satélite.

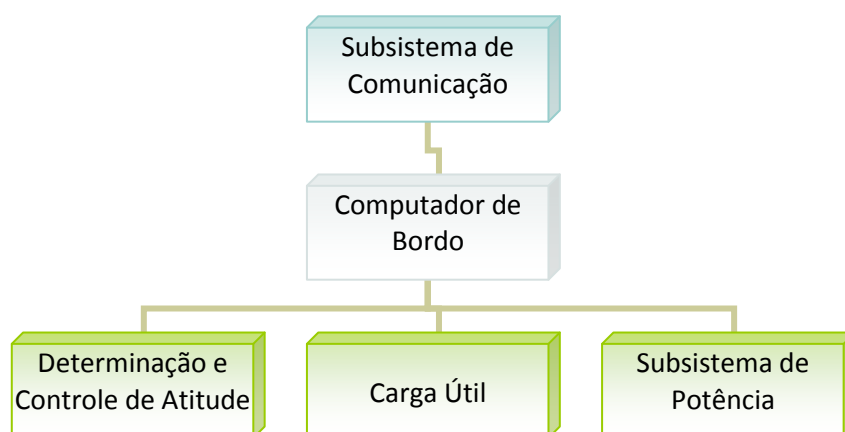


Figura 23 - Arquitetura de comunicação entre os subsistemas do NanoSatC-BR1.

Para um refinamento do fluxo de dados interno ao NANOSATC-BR1 foram levantadas as necessidades e potencialidades de cada subsistema separadamente, como mostra o subcapítulo seguinte.

#### **4.2.2. Descrição das Funções do OBC**

Para a análise e levantamento das funções que o computador de bordo do NANOSATC-BR1 deverá executar, serão analisados os subsistemas que compõe o satélite e através dos requisitos de cada um, serão levantadas as funções do OBC.

##### **4.2.2.1. Carga Útil**



A carga útil do NANOSATC-BR1 será uma única placa (*Slot*) dentro do satélite onde estarão os 3 sistemas da missão:

- Magnetômetro XEN-1210
- CI da SMDH
- FPGA ProASIC3 (CI da UFRGS)

O FPGA da UFRGS deverá, em princípio (ainda está sendo feita análise de viabilidade) controlar os demais sistemas de carga útil, servindo como um centralizador das ações. Este FPGA é um ProASIC3 da empresa Actel e será programado pela equipe da UFRGS. O ASICS da SMDH é um *driver* de comando que deverá testar as suas funcionalidades durante a órbita e as respostas destes testes são os dados de interesse da equipe desenvolvedora. Assim, para o CI da SMDH, o FPGA será encarregado de processar, enviar e receber estas informações. Ainda não está definido como serão enviados os comandos para este CI, são duas as possibilidades:

- Serão enviados via telecomandos da estação terrena, os pacotes de comandos para a execução dos testes deste CI;
- Ou os testes já estarão previamente definidos e sincronizados como funções do FPGA, assim, deixando o OBC do NANOSATC-BR1 somente responsável pelos dados de interesse dos desenvolvedores. Sendo esta a opção selecionada para este trabalho.

Os dados serão cadeias de bits de resposta aos testes executados, então, será função do aplicativo de gestão de bordo a recepção destes dados, sincronização com o *clock* do OBC, e a padronização utilizando o protocolo CSP e armazenamento na memória interna do NanoMind A712 até o envio dos dados para o subsistema de comunicação (*transceiver*).

O Magnetômetro definido até o momento para medição do campo magnético terrestre, é o XEN-1210 desenvolvido pela empresa Xensor Integration – XI. Este magnetômetro deverá coletar os dados do campo



magnético terrestre nas 3 direções X,Y e Z (dados digitais) e enviá-los ao FPGA, o qual poderá processar os dados ou somente enviá-los ao OBC, sendo função do OBC o processamento destes dados (cálculo do módulo do campo), sincronização com o *clock* do OBC, padronização utilizando o protocolo CSP e armazenamento na memória (sendo esta segunda opção a utilizada para este trabalho).

O FPGA da UFRGS será, então, a interface com o OBC do módulo de carga útil do NANOSATC-BR1, o qual, também têm dados de saída de interesse da equipe da UFRGS mostrando a funcionalidade do sistema e principalmente sua performance. Esses dados ainda não foram especificados mas, para este trabalho é considerado função do NanoMind a padronização com o protocolo CSP e armazenamento na memória. A interface com o OBC, até então, será via I<sup>2</sup>C devido à facilidade na transferência dos dados.

Até o momento não foi definida uma padronização para estes dados da carga útil, estes deverão estar organizados, devidamente identificados e armazenados na memória em espaços pré-definidos pelo desenvolvedor do alpicativo de bordo. A solução pode ser o uso do CSP como protocolo padrão para o fluxo de dados internos do CubeSat, mas ainda está sendo feito um estudo de viabilidade.

#### 4.2.2.2. Subsistema de Comunicação - *Transceiver*

O subsistema de comunicação do NANOSATC-BR1 é composto pelo TRXU VHF/UHF Transceiver, este sistema permite a comunicação com a estação terrena através de telemetrias, telecomandos e *beacon* em uma só placa. Algumas características desse sistema são listadas abaixo:

- Operação Dupla Integral (envio e recebimento de dados simultaneamente);
- Velocidade de *downlink* de até 9600 bps;

- Adicional sinal em código morse de *beacon*;
- *Loopback mode* para o recebimento (um sinal é enviado quando dados estão sendo recebidos somente para certificação), ver Figura 24;
- Codificação e decodificação do Protocolo AX.25 interno.

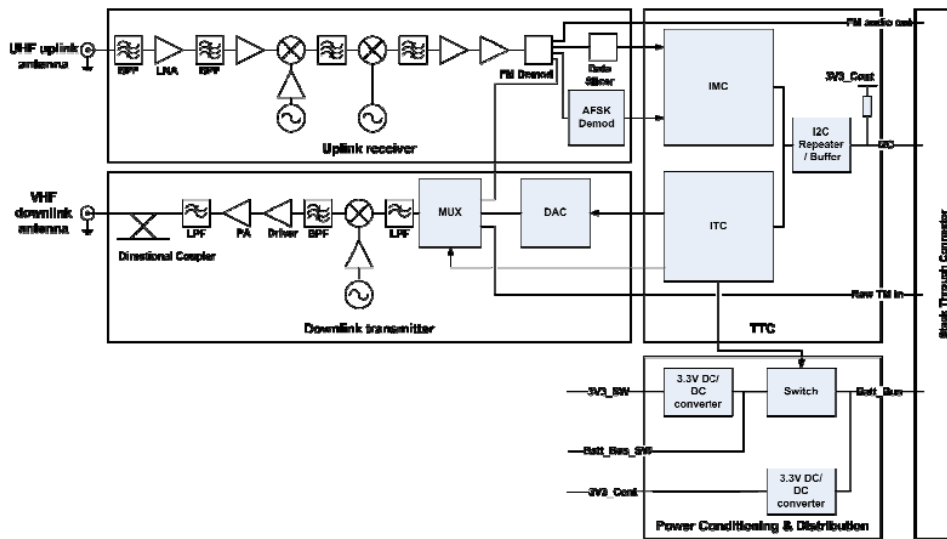


Figura 24 - Diagrama de blocos do ISIS TRXU VHF/UHF Transceiver.<sup>16</sup>

O *transceiver* comunica-se com o OBC através de interface I<sup>2</sup>C, enviando os telecomandos recebidos da estação terrena para o OBC, enviando para a estação terrena as telemetrias da memória do OBC e também os dados de condicionamento (*housekeeping*).

Os dados enviados para a estação terrena (*downlink*) devem estar na modulação BPSK (*Raised-Cosine Binary Phase Shift Keying*) o que é feito pelo próprio *transceiver*. Os dados recebidos da estação terrena (*uplink*) devem utilizar modulação AFSK (o que é feito pelo *software* de solo na estação terrena) e o protocolo AX.25, assim, para a comunicação com o OBC o *transceiver* deve demodular este sinal antes de enviá-lo ao OBC.

Assim, é função interna do *transceiver* a modulação e demodulação do sinal e protocolagem do sinal em AX.25. Ainda não se tem conhecimento de

<sup>16</sup> Fonte: TRXU VHF/UHF Transceiver Datasheet



qual tipo de dado ou padrão dos dados será utilizado para as informações advindas ou de entrada do computador de bordo, como já mencionado a solução pode ser o protocolo CSP.

#### 4.2.2.3. Subsistema de Comunicação – Antenas

O sistema de antenas do NANOSATC-BR1 é o *Deployable UHF and VHF antennas system* desenvolvido pela empresa ISIS. Este sistema de antenas é composto por 4 fitas de metal de 55 cm de comprimento que se desdobram do suporte sob um comando. Este desdobramento das antenas ocorre com o derretimento de um pequeno fio que segura a antena dobrada no suporte. Esses fios podem ser rompidos utilizando dois elementos redundantes aquecedores por fio, controlados por dois microcontroladores redundantes, garantindo a abertura das antenas.

A comunicação é feita através de interface I<sup>2</sup>C, Figura 25, por onde os microcontroladores recebem o sinal para a liberação das antenas e são enviados dados de segurança, status do desdobramento das antenas e temperatura.



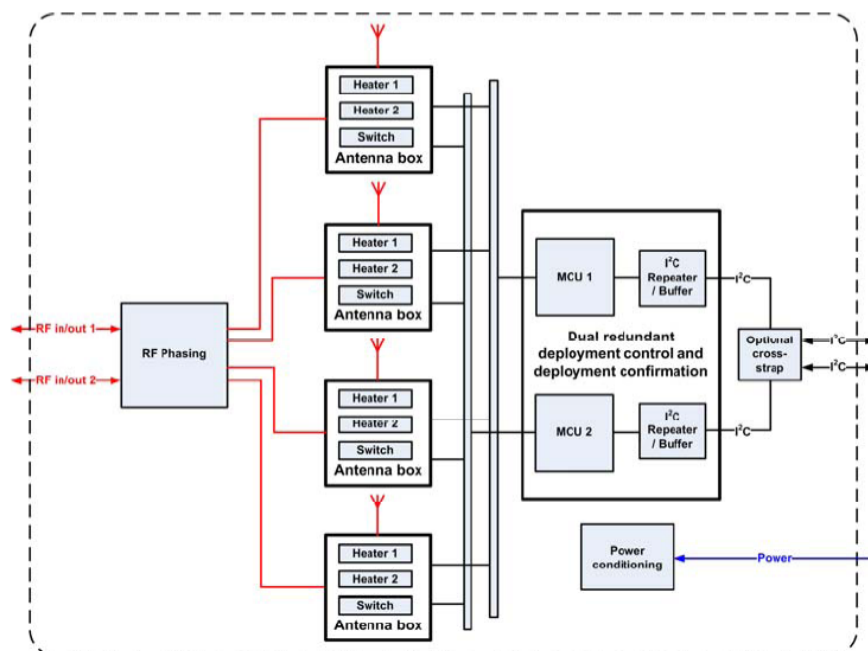


Figura 25 - Diagrama de blocos do ISIS Deployable UHF and VHF antennas system.<sup>17</sup>

#### 4.2.2.4. Subsistema de Potência

O subsistema de potência é o NanoPower 30u desenvolvido pela empresa GOMspace este sistema tem interface com células fotovoltaicas de tripla junção e utiliza um eficiente conversor para armazenar a carga nas baterias de lítio-íon. A energia armazenada nas baterias é utilizada para alimentar eletricamente todas as partes do satélite através de duas voltagens diferentes 3.3V@5A e 5V@4A e estas saídas possuem proteção contra variações de corrente.

O NanoPower 30u é controlado via interface I<sup>2</sup>C e têm um microcontrolador interno, como mostra a Figura 26, que possibilita a monitoria de todo sistema de potência com segurança obtendo medidas das voltagens, correntes e temperaturas dos sistemas. Através da interface I<sup>2</sup>C é possível ler medidas, controlar o liga e desliga das saídas e determinar/ler vários parâmetros.

<sup>17</sup> Fonte: ISIS Deployable UHF and VHF antennas system Datasheet

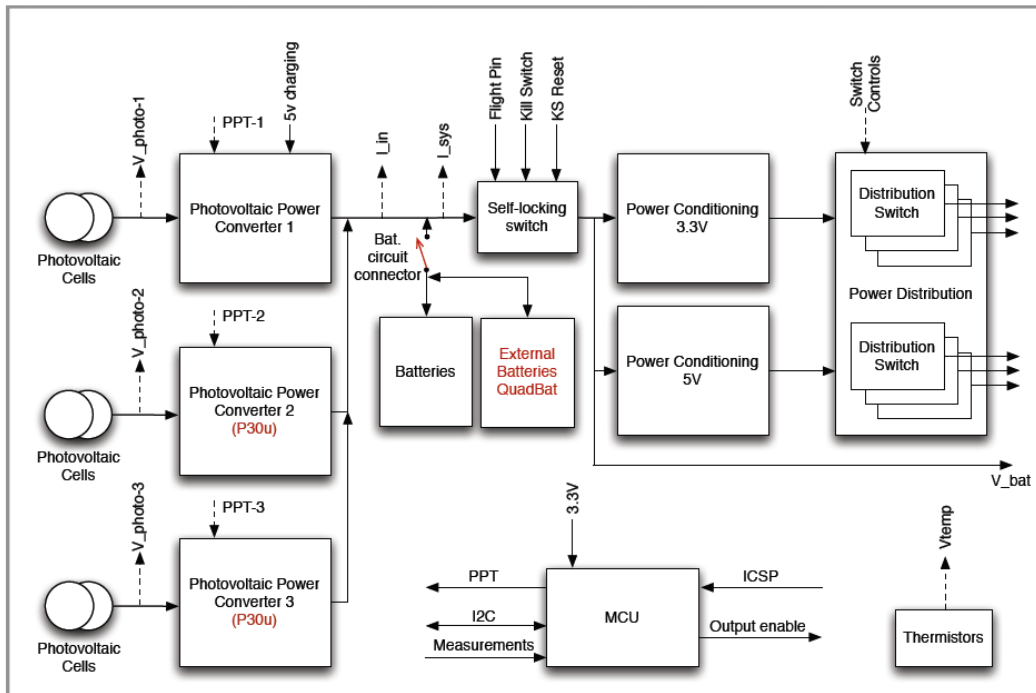


Figura 26 - Diagrama de blocos do NanoPower 30u.<sup>18</sup>

O NanoPower comunica-se com o OBC através da interface I<sup>2</sup>C e pode-se usar uma única transmissão com qualquer número de bytes utilizando as condições START/STOP. Para isto ele utiliza um endereço escravo contendo 7 bit, Figura 27.

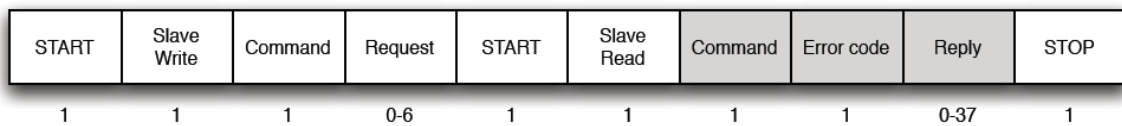


Figura 27 - Protocolo de comunicação START/STOP do NanoPower 30u.<sup>19</sup>

O NanoPower utiliza um protocolo chamado *CubeSat Space Protocol* (CSP) para comunicação com o OBC, este define um simples código identificador de 32-bit no qual o endereço e porta de destino devem ser

<sup>18</sup> Fonte: NanoPower 30u Datasheet.

<sup>19</sup> Fonte: NanoPower 30u Datasheet.



especificados corretamente para que o NanoPower aceite a mensagem, Figura 28.

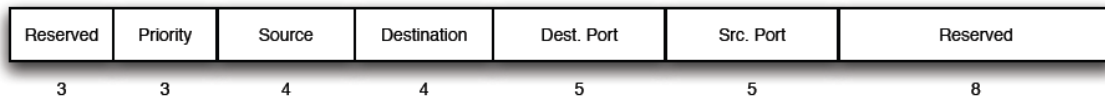


Figura 28 - Código identificador CubeSat Space Protocol.<sup>19</sup>

#### 4.2.2.5. Sistema de Determinação e Controle de Atitude

O sistema de determinação e controle de atitude, mostrado no Subcapítulo 2.2.2, deverá comunicar com o OBC para que os dados dos sensores componentes do sistema (sensores solares, magnetômetro e giroscópios) sejam processados pelo módulo do aplicativo responsável pela determinação e controle de atitude gerando como resposta comandos aos atuadores do sistema (*magnetorquers*).

Os sistemas de determinação e controle de atitude têm ligação direta com o OBC como listado abaixo:

- O magnetômetro faz parte do conjunto do computador de bordo (NanoMind A712) e tem interface I<sup>2</sup>C dedicada com o microcontrolador;
- Os *magnetorquers* são controlados pelas 3 saídas H-Bridge – PWM;
- Os dados dos *photodiodes* (sensor solar) têm interface analógica com o OBC dedicadas – ADC;
- Os dados dos giroscópios utilizam a interface SPI (essas interfaces são utilizadas para controlar os painéis NanoPower Solar 100).

A Figura 29 mostra o diagrama de blocos do NanoMind A712.

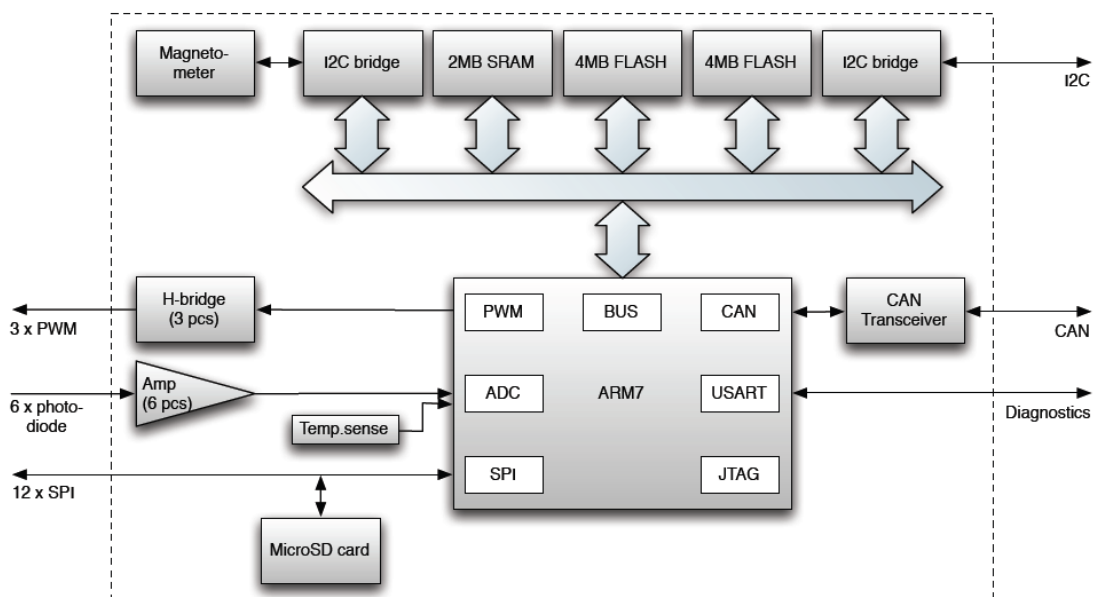


Figura 29 - Diagrama de blocos do NanoMind A712.

#### 4.2.3. Análise Estruturada

A partir da especificação dos requisitos e funções do aplicativo de gestão de bordo, um modelo do fluxo de dados em nível de sistema foi inicialmente construído por Lucas Tambara (2010) e neste trabalho foi aprimorado e reconstituído de acordo com as novas necessidades e mudança na concepção e equipamentos do NANOSATC-BR1, conforme mostra a Figura 30. O diagrama da Figura 30 pode ser melhor visualizado no ANEXO B.

O modelo obtido retrata que o aplicativo é mais voltado ao armazenamento e organização de dados do que ao processamento, pois a maior parte dos processos coleta dados e os armazenam em memória (somente os dados do magnetômetro devem ser processados). Deve-se ressaltar que no modelo desenvolvido, muitas informações não são apresentadas, como por exemplo, o tempo em que uma tarefa é executada e detalhes de *hardware* e eletrônica. Os processos são considerados processadores de dados e os fluxos somente transportam dados com valores, não são representadas informações sobre o fluxo de controle ou seqüência

temporal, pois esse item é apenas uma referência para a implementação do aplicativo, que será abordada futuramente.

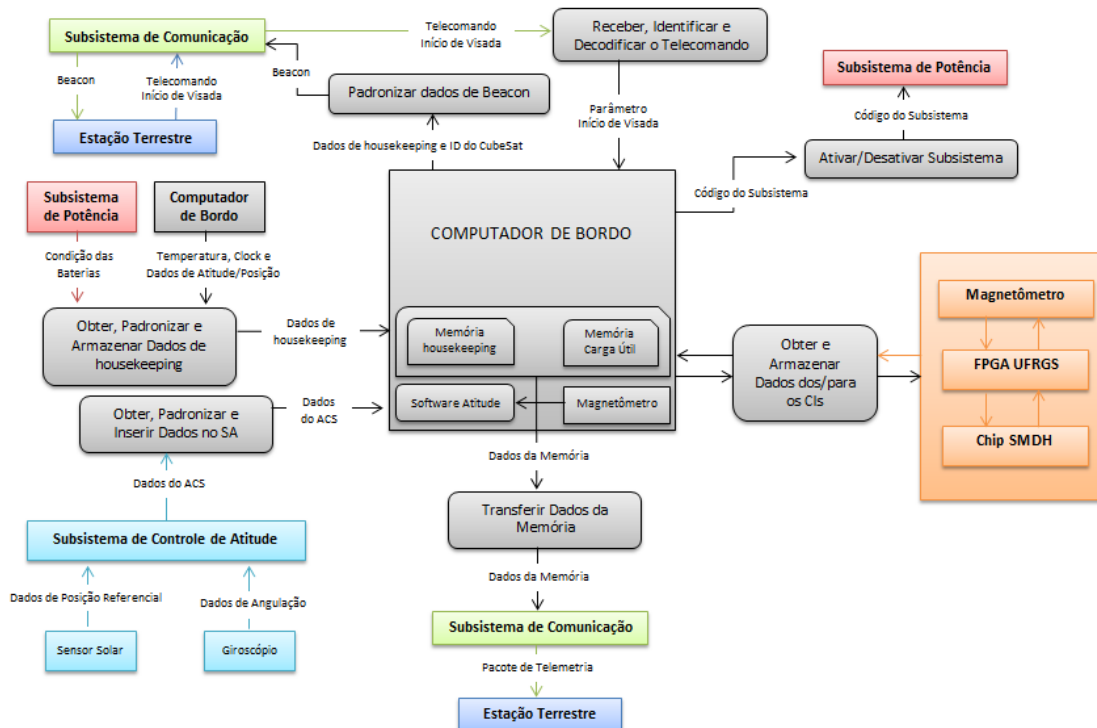


Figura 30 - Diagrama de fluxo de dados do NanoSatC-BR em nível de sistema.

#### 4.2.4. Especificação dos processos

Com o diagrama de fluxo de dados em nível de sistema estruturado, é realizada, a seguir, a especificação dos processos que compõe o diagrama com a finalidade de servir de guia para o projeto do aplicativo que implementará os processos.

- **Transmissão do beacon:** Periodicamente (ainda não definida periodicidade) o subsistema de comunicação deve enviar o sinal de beacon identificador do satélite e que contém alguns dados de housekeeping para que a estação terrena (previamente apontada para a posição de início de visada segundo a previsão orbital).



- Receber o telecomando de início de visada: Após identificado o sinal de beacon pela estação terrena, esta envia um telecomando ao satélite para que ele inicie o downlink dos dados da memória. O computador aceita telecomandos como entrada de dados. O processo avalia os sinais recebidos para identificar o sinal referente à estação terrestre do NanoSatC-BR. A saída de dados é um sinal emitido ao computador de bordo sinalizando que o satélite está visível pela sua estação terrestre.
- Ativa/Desativa um subsistema: aceita códigos referente aos subsistemas do satélite como entrada de dados. O processo avalia os sinais recebidos e verifica o estado do subsistema. Caso necessário, o subsistema esteja desligado, ele é ligado, caso contrário, ele é desligado. A saída de dados é o mesmo código da entrada de dados mais um bit sinalizando a ativação ou desativação do subsistema em questão.
- Obter dados da Carga Útil:
  - Obter dados do magnetômetro: possui como entrada de dados três sinais digitais referentes aos eixos X, Y e Z do campo magnético terrestre e sincroniza com o horário de bordo. A saída de dados consiste no pacote de telemetria no formato digital formado que corresponde a uma amostra do campo magnético terrestre (módulo do campo).
  - Obter dados do ASICS da SMDH: possui como entrada de dados o resultado do teste executado no CI junto com o horário de bordo. O processo reúne os dados recebidos como uma parte do pacote de telemetria.
  - Obter dados do FPGA da UFRGS: possui como entrada de dados um pacote de diagnóstico das funções do FPGA e estado das memórias.
- Obter dados de *housekeeping*: possui como entrada de dados um dado referente à carga das baterias, um dado referente à temperatura interna



do computador de bordo e o horário de bordo. O processo reúne os dados recebidos em um único pacote de telemetria. A saída de dados consiste no pacote de telemetria formado que corresponde a uma amostra da saúde do satélite.

- Receber os dados dos sensores de atitude: possui entrada de dados dos sensores de determinação de atitude, reconhece estes dados, padroniza e serve como entrada para o Software de determinação e controle de atitude.
- Transmitir dados armazenados na memória: possui como entrada de dados o conteúdo armazenado em memória, isso é, os pacotes de telemetria obtidos pelo magnetômetro, pelo detector de partículas e pelo processo de obtenção de dados de *housekeeping*. O processo reúne os dados recebidos para que eles sejam encapsulados no protocolo AX.25 pelo transceptor, protocolo esse designado para uso em rádios amadores. A saída de dados consiste no conteúdo armazenado em memória para envio ao subsistema de comunicação.



## **CAPÍTULO 5**

### **5.1. CONCLUSÃO**

O Relatório descreveu as atividades desenvolvidas pelo aluno no **“PROJETO DE UM SOFTWARE DE BORDO PARA MISSÃO NANOSATC-BR”**, no período de março de 2011 a julho de 2011 dando continuação as atividades deste projeto.

Os resultados obtidos sintetizam as principais necessidades da parte do aplicativo referente a gestão de bordo, a ser embarcado no *CubeSat* NANOSATC-BR1.

Após a descrição dos satélites da classe dos *CubeSats* e da revisão bibliográfica, foram apresentados os objetivos do Projeto NANOSATC-BR e todo contexto envolvido, mostrando sua fase atual de desenvolvimento e necessidades futuras.

Uma descrição da estrutura do sistema foi feita com a finalidade de expor os assuntos relacionados a ele, os componentes que fornecerão ou receberão dados do computador de bordo e as funcionalidades do mesmo para desempenhar todas as operações necessárias ao correto funcionamento do satélite.

O objetivo técnico inicial do Projeto foi atingido, fazer uma estruturação do código, em alto nível, através de diagramas representativos com as funções que o computador de bordo deve desempenhar.





## **5.2. TRABALHOS FUTUROS**

O aluno pretende continuar atuando no Projeto NANOSATC-BR, deixando a cargo de novos alunos a continuidade das atividades referentes ao desenvolvimento do aplicativo de bordo do satélite NANOSATC-BR1.

Apartir deste trabalho é possível começar diretamente no desenvolvimento do código em si do aplicativo, aprimorando algumas das tarefas e utilizando a base desenvolvida até aqui.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOHRER, R. Z. G. **DESENVOLVIMENTO DO PROJETO MECÂNICO ESTRUTURAL DO NANOSATC-BR**. Relatório Final de Atividades PCI/MCT. Maio 2011. 28p.

BONEMA, A. **NANOSATC-BR Platform and Ground Station STATUS UPDATE**. Documento de Projeto. mar. 2011. 6p.

BÜRGER, E. E., **Interface Lançador/Cubesat para o Projeto do NanoSatC-BR**. Relatório Final de Bolsa PIBIC/INPE – CNPq. pp.76 2009. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE, Santa Maria, RS. 2009.

COSTA, L. L. **PROJETO DO SUBSISTEMA DE CONTROLE TÉRMICO PARA CUBESATS**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2010. 122p.

**CubeSat Community** – Comunidade Internacional CubeSat. California Polytechnic State University, California, US, 2002. Disponível em <<http://www.cubesat.org/>>. Acesso em: 23 abr. 2011.

**CubeSatshop.com** – Site de venda de produtos para CubeSats e nanosatélites em geral. Holanda, 2006. Disponível em: <<http://www.cubesatshop.com/>>. Acesso em: 20 jun. 2011.

DIRETÓRIO DOS GRUPOS DE PESQUISA DO BRASIL – CNPq. **Estudantes, Grupos que Participa**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://dgp.cnpq.br/diretorioc/index.html>>. Acesso em 21 jun. 2011

DURÃO, O. S. C., SCHUCH, N. J., et. al. **DOCUMENTO PRELIMINAR DE REVISÃO - STATUS DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIAS ESPACIAIS DO PROJETO NANOSATC-BR – DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS**. Documento apresentado a AEB. Maio 2011. p. 256.

GEOMAGNETISM. **Equatorial Electrojet**. Ago 2010. Disponível em: <[http://geomag.org/info/equatorial\\_electrojet.html](http://geomag.org/info/equatorial_electrojet.html)>. Acesso em: 9 jun. 2011

GOMspace. **NanoMind A712 Datasheet**. Documento de especificação técnica. GOMspace . 2009. 15p.

GOMspace. **NanoPower P-series Datasheet**. Documento de especificação técnica. GOMspace GS-DS-NANOPOWER-2.1.2. mar. 2009. 20p.



GOMspace. **NanoPower Solar 100U Datasheet**. Documento de especificação técnica. GOMspace GS-ICD-NPS-1.4. jan. 2011. 6p.

HEIRTZLER, J. R., “**The Future of the South Atlantic Anomaly and implications for radiation damage in space**”. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, pp.1701-1708. 2002.

HEIRTZLER, J. R., 2002, **The Future of the South Atlantic Anomaly and implications for radiation damage in space**. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. pp. 64. 1701-1708.

IRION, D. **NANOSATC-BR1\_EPS\_ Arquitetura Elétrica Ver.1.1 Rev.1 – Maio 2011**. Documento de Projeto. maio. 2011. 10p.

ISIS. **Deployable UHF and VHF antennas Datasheet**. Documento de especificação técnica. 2010. 2p.

ISIS. **TRXUV VHF/UHF Transceiver Datasheet**. Documento de especificação técnica. 2010. 2p.

LARSON, W.J. AND WERTZ, J.R. **Space Mission Analysis and Design**. 2<sup>a</sup> ed. Torrance, California: Space Technology Library, 1992. p. 865.

LEE, S., TOORIAN, A., LAN, W. & MUNAKATA, R., **CubeSat Design Specification – CDS**. Rev.12. 2009. The CubeSat Program. California Polytechnic State University. Disponível em:  
<[http://www.cubesat.org/images/developers/cds\\_rev12.pdf](http://www.cubesat.org/images/developers/cds_rev12.pdf)>. Acesso em 11 mar. 2011.

LÜHR, H., S. MAUS, & M. ROTHER, “**Noon-time equatorial electrojet: Its spatial features as determined by the CHAMP satellite**”, J. Geophys. Res., 109, A01306, doi:10.1029/2002JA009656. 2004.

NOAA NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER. **World Magnetic Model (WMM)**. Mar 2010. Disponível em:  
<<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/DoDWMM.shtml>>. Acesso em: 9 jun. 2011

ODENWALD, STEN. **Ask the Astronomer, Operated since 1995 by NASA**. 1999. Disponível em: <<http://www.astronomycafe.net/qadir/qanda.html>>. Acesso em 18 mai. 2011.

PRADO, A. F. B. de A. & KUGA, H. K., **Fundamentos de Tecnologia Espacial**. 1<sup>a</sup>ed. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos – SP, 2001. pp. 102-126.



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. 2010. 126p.

WIKIPEDIA. **The Free Encyclopedia**. Disponível em: <<http://wikipedia.org>>. Acesso em 15/06/2011

XENSOR INTEGRATION. **Datasheet XEN-1210**. Documento de especificação técnica. maio. 2011. 14p.

YASSUDA, I. DOS S., **Ciclo de Vida de Projetos na Área Espacial**. 2010. 35f. Exame de Qualificação do Curso de Pós-Graduação em Gerenciamento e Engenharia de Sistemas Espaciais, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, SP. 2010.



## **ATIVIDADES COMPLEMENTARES – PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS**

1. **COSTA, L. L.; DURÃO, O. S. C.; SCHUCH, N. J.. DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO DE BORDO DE GERENCIAMENTO DE DADOS PARA O CUBESAT NANOSATC-BR.** Em: Seminário de Iniciação Científica do CRS – SICCRS 2011, 2011, Santa Maria. Livro de Resumos do SICCRS 2011, pg 23. 2011.

2. **COSTA, L. L. ; SCHUCH, N. J. ; DURAO, O. S. C. ; BURGER, E. E. ; BOHRER, R. Z. G. . DEVELOPING COUNTRY S SMALL SATELLITES MISSIONS.** In: 61st International Astronautical Congress, 2010, Praga, CZ. Final Programme, 2010.

3. **STEKEL, T. R. C. ; SCHUCH, N. J. ; ECHER, E. ; ANTUNES, C. E. ; COSTA, L. L. . SPACE WEATHER EFFECTS IN SPACE MISSIONS MEASURED FROM SATELLITES AND GROUND-BASED INSTRUMENTS NEAR THE SOUTH ATLANTIC MAGNETIC ANOMALY CENTER.** In: 61st International Astronautical Congress, 2010, Praga, CZ. Final Programme, 2010

4. **BURGER, E. E. ; SCHUCH, N. J. ; DURAO, O. S. C. ; COSTA, L. L. ; STEKEL, T. R. C. . SMALL SATELLITES CURRENT SITUATION FOR ACCESS TO SPACE ORBITS.** In: 61st International Astronautical Congress, 2010, Praga, CZ. Final Programme, 2010.

## **ANEXOS**

---

## **ANEXO A – NanoMind A712 Datasheet**

## ANEXO B - Diagrama de Fluxo de Dados do NanoSatC-BR1 em Nível de Sistema

