

Plano de Engenharia de Sistemas aplicado ao Projeto NANOSATC-BR2

Tiago Travi Farias,

tiago.travi.farias@gmail.com

Lucas Lourencena Caldas Franke,

l.franke@hotmail.com

Maurício Ricardo Balestrini,

balestrinmr@gmail.com

Iago Camargo Silveira,

iago7_2011@hotmail.com

Guilherma Paul. Jaenisch,

guilherme.jaenisch@gmail.com

Marcos Antônio Dal Piaz,

marcosdpiaz@gmail.com

Dr. Otávio Santos Cupertino Durão,

otavio.durao@inpe.br

Dr. Nelson Jorge Schuch,

njschuch@gmail.com

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Caixa Postal 5021 CEP: 97110-970 - Santa Maria, RS.

RESUMO: Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento do Plano de Engenharia de Sistemas (SEP) do NANOSATC-BR 2. O NANOSATC-BR 2 é o segundo satélite, padrão cubesat, do Programa NANOSATC-BR – Desenvolvimento de Cubesats, o qual é desenvolvido nas instalações construídas através da parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e o Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria (LACESM/CRS/INPE/MCTI). Esse programa visa ao desenvolvimento e a capacitação de recursos humanos, habilitando jovens estudantes a serem capazes de analisar, planejar e executar projetos, a fim de desenvolver satélites. O primeiro satélite, nanosatc-br1, foi lançado em junho de 2014 e atualmente encontra-se em estado nominal, orbitando a 600km de altitude. O SEP foi desenvolvido e elaborado com a finalidade de definir metodologias, processos e organizações que irão realizar as atividades técnicas, desde a concepção do projeto até seu descarte, de acordo com os requisitos e necessidades dos Stakeholders. Além disso, o SEP estabelece o conjunto geral de atividades de Engenharia de Sistemas aplicado às atividades dos sistemas de solo e operação durante o ciclo de vida do Projeto NANOSATC-BR2. O programa tem apoio e suporte da Agência Espacial Brasileira (AEB).

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia de Sistemas, Plano, Cubesat.

ABSTRACT: This work has the objective to show the Systems Engineering Plan (SEP) of NANOSATC-BR. NANOSATC-BR 2 is the second satellite, CubeSat

standard, of the NANOSATC-BR Program - Development Cubesats, which is performed in the facilities built on the partnership between the National Institute of Space Research and the Technological Center from Federal University of Santa Maria (LACESM/CRS/INPE-MCTI). This program primarily aims at developing and training human resources, enabling young students to be able to analyze, plan and execute projects in order to achieve release their second nanosatellite, the first (NANOSATC-BR 1) was launched in June 2014. This SEP was developed and produced in order to define methodologies, processes and organizations which will perform the technical activities, from project conception to its disposal, in accordance with the requirements and needs of stakeholders. In addition, the SEP provides the general assembly of Systems Engineering activities applied to the activities of soil systems and operation during the life cycle of the Project NANOSATC - BR2. The program has support and support of the Brazilian Space Agency (AEB).

KEYWORDS: *Systems Engineering, Plan, Cubesat.*

INTRODUÇÃO

O NANOSATC-BR 2 é o segundo cubesat do PROJETO NANOSATC-BR DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS. Consiste em um nanosatélite do padrão Cubesat (2U), Fig (1). Assim, o nanosatélite se encaixa em todas as especificações devidas a um satélite da classe dos Cubesats, ou seja, para cada estágio (1U) o satélite possui massa de no máximo 1,33kg e uma forma cúbica com arestas de 100 mm, 100 mm, 100 cm.

A prática de Engenharia de Sistemas é recente, iniciou há algumas décadas pela NASA devido à complexidade e grande quantidade de projetos a serem realizados. A Engenharia de Sistemas, de um modo geral, tem a missão de suprir as necessidades do *stakeholder* (cliente), utilizando um método de organização e planejamento para analisar e executar todas as etapas de um projeto complexo.

O objetivo principal da missão do Projeto NANOSATC-BR2, é a utilização de uma sonda de Langmuir para captação de dados da região da Ionosfera onde está presente em grande quantidade matéria na forma plasmática. Os principais requisitos da missão estão na tabela 1. Outro passo pertinente executado nas etapas iniciais de avaliação da missão é a delimitação quantitativa de operação dos componentes e sistemas que compõe a plataforma, ou seja, qual a capacidade que cada sistema tem condições de operar, os quais estão expostos na tabela 2.

A missão científica do NANOSATC-BR 2 se deu pela necessidade dos pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) os quais necessitam de medidas de parâmetros da região ionosférica da atmosfera terrestre para estudar a dinâmica de fenômenos, tais que afetam diretamente os

sistemas de comunicação que utilizam esta região como meio de propagação. Também é de interesse pesquisar e estudar a geração das bolhas de plasma, as quais ainda não se têm estudos relevantes e concretos. De objetivo secundário, a missão também prevê a validação de sistemas eletrônicos, os quais serão desenvolvidos por instituições parceiras do INPE, tais são: 1 FPGA e 2 CIs.

Os objetivos dos sistemas a serem desenvolvidos seguem abaixo:

- Fornecer suporte para manter o NANOSATC-BR 2 por pelo menos 360 dias funcional em órbita;
- Disponibilizar dados de propriedades da ionosfera;
- Disponibilizar dados das cargas úteis tecnológicas visando sua validação.



Fonte: ISIS WebSite

Figura 1. Concepção artística da plataforma 2U da ISIS

Tabela 1. Requisitos e Parâmetros do NANOSATC-BR 2

Etapa	Requisito	Parâmetros a definir
1.1.1	Realizar medições da Sonda de Langmuir	- Atitude adequada - Consumo de energia - Quantidade de Dados - Temperatura de operação
1.2.1	Realizar testes em circuitos integrados	- Atitude adequada - Consumo de energia - Quantidade de

		Dados - Temperatura de operação
1.2.2	Realizar testes em determinação de atitude	- Atitude adequada - Consumo de energia - Quantidade de Dados - Temperatura de operação
1.3.1	Gerar Energia Elétrica	- Atitude considerada - Parâmetros de órbita
1.3.2.1	Manter o satélite com uma temperatura segura	- Parâmetros de órbita - Energia dissipada por todos componentes

Tabela 2. Restrições (constraints), dimensões e massa de cada componente da plataforma do satélite NANOSATC-BR2

1. Suprimento de Energia - EPS	- Dimensões: 96 x 90 x 26 mm; - Capacidade das baterias: 13,32 W·h; - Consumo de energia: 0,25 W.
2. Sistema de Rádio – TRXUV	- Consumo modo transmitter (downlink): 1,05 W; - Consumo modo receiver (uplink): 0,24 W; - Taxa de transferência modo transmitter (VHF): 1200 – 9600 bits/s; - Taxa de transferência modo receiver (UHF): 1200 bits/s ;

	<ul style="list-style-type: none"> - Potência de sinal (output): 22 – 23,7 dBm. - Dimensões: 90 x 96 x 28 mm - Massa: 90 g
3. Controle de atitude – iMTQ	<ul style="list-style-type: none"> - Massa 194 g - Dimensões 95,9 mm x 90,1 mm x 15 mm - Consumo em operação: 0,66 W
4. Estrutura - STS	<ul style="list-style-type: none"> - 7 slots - Dimensões 100 mm x 100 mm x 200 mm
5. iSPA Constraints – Power System	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensões 80,0 mm x 40,0 mm x 150± 20 µm - Massa 36g
6. IGIS Constraints – Interface System	
7. Antennas Constraints – Communication System	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensão 102 x 102 x 9 mm - Massa 88 g - Consumo de energia: 0,03 W
8. OBC Constraints – Management System	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensão 96 x 90 x 10 mm - Consumo de energia: 0,21 W
9. Orbit Constraints	<ul style="list-style-type: none"> - Orbita Sun Synchronous - 98° de Inclinação - 700km de altitude - 10° de RAAN

10. Thermal Constraints	<ul style="list-style-type: none"> - EPS: Sistema de Suprimento de energia (-5°C/+45°C) - TRXUV: Rádio Transreceptor (-10°C/+60°C)

METODOLOGIA

A metodologia abordada para realização do SEP, foi o modelo em ‘V’ da Engenharia de Sistemas, Fig (2), criado para desenvolvimneto de produtos complexos, que é a fase de AIT (assembly, integration and test), primeira fase realizada para concepção e desenvolvimento de um produto.

Esta fase de AIT, se divide em três partes:

- Montagem: É a fase em que os componentes são montados, assim, formando um sistema.
- Integração: Nesta fase, os sistemas são conectados entre si, comunicando-se, assim, formando o produto desenvolvido.
- Teste: Fase de desenvolvimento onde é feito a verificação e testes das propriedades previamente estabelecidas no projeto, caso aconteça algum erro, voltamos a primeira fase.

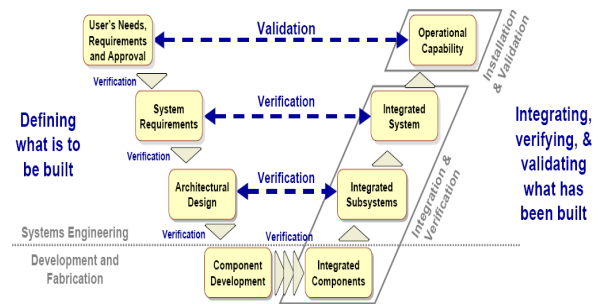


Figura 2. Modelo de V de desenvolvimento de sistemas. (LOUREIRO, 2012 apud STEVENS et al 1998)

Também foi utilizado um *software* junto ao programa Excel para a obtenção de dados necessários para o projeto, que serão apresentados mais a frente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a realização do mapeamento do Projeto, iniciou-se pelo mapeamento físico da missão, Fig (3), esta estrutura engloba todas as partes envolvidas no desenvolvimento, validação e lançamento do NANOSATC-BR 2.

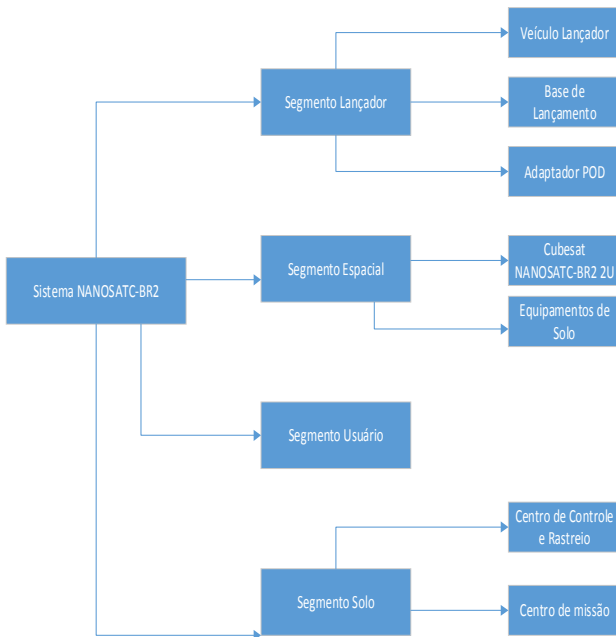


Figura 3. Estrutura física da missão

O grupo envolvido na missão é bem diversificado, heterogêneo, pois conta com alunos de graduação dos seguintes cursos: Engenharia Mecânica; Engenharia de Produção; Engenharia Elétrica; Física e além destes cursos de graduação, também conta com alunos de Mestrado e Doutorado, Mestres e Doutores de áreas específicas para o melhor andamento do Projeto. Outro ponto muito importante na área da Engenharia de Sistemas é realizar a Estrutura de Trabalho do Projeto (*Work Breakdown Structure - WBS*), Fig. (4), o qual mostra a estrutura de trabalho, suas particularidades, dando um *overview* da estrutura geral desde o gerenciamento até empresas parceiras.

Depois de feita a segmentação e estruturação do Projeto e do plano de trabalho, descreve-se o Ciclo de Vida do Projeto pela Tabela 3, essa mostra todas as etapas realizadas em FASES (0, A, B, C, D, E, F) desde a concepção da missão até o descarte da mesma.

Tabela 3. Ciclo de Vida do Projeto

Fase 0: Concepção e Análise da Missão
Fase A: Análise de Viabilidade da Missão
Fase B: Definição Preliminar do Projeto
Fase C: Definição Detalhada do Projeto
Fase D: Produção e Qualificação
Fase E: Operação

Fase F: Descarte

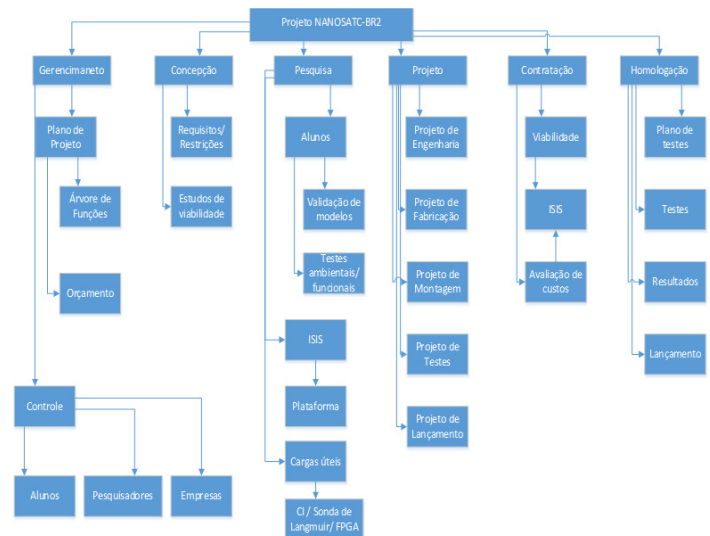


Figura 4. *Work Breakdown Structure* do Projeto NANOSATC - BR 2

Foi feito o ciclo de vida do projeto, esse determina e divide por fases e etapas o que deve ser feito em cada uma delas. O objetivo deste ciclo de vida, é proporcionar ao projeto uma forma mais organizada e padronizada para que o Projeto NANOSATC-BR 2 seja feito e realizado com o mínimo de erros.

A árvore de funções é usada para sistemas complexos, baseia-se em um diagrama de um sistema, mostrando todas as suas funções. O objetivo da árvore de funções é solucionar problemas e conseguir soluções o mais simples possível. Para o Projeto NANOSATC-BR 2 foi realizada esta *function tree*, mostrando todas as funções e sub-funções do projeto, partindo das funções primárias. Segue a árvore de funções na Fig (5).

O sistema de suprimento de Energia (EPS) (Tabelas 4, 5 e 6) é responsável pela maior restrição do projeto, ou seja, restrição de energia. Foram feitas várias tabelas que se conectam ao *software excel* de maneira a realizar simulação do estoque de energia possível para diversas órbitas.

Tabela 4. Informações gerais do Projeto NANOSATC-BR

Title Page	
General information	
Company	INPE
Project:	NCBR2
Power Subsystem Engineer:	
Project Systems Engineer:	
Project Manager:	
Orbit Type:	SSO
ADCS Simulation	

Satellite configuration	2U cubesat
Rev No.:	0,1
Date Data Last Modified:	10/jun/14

Tabela 5. Disposição de energia do NANOSATC-BR 2

Inputs		
Power Regulator and Battery efficiencies		Unit:
Battery Charge Efficiency:	90%	
+5V Regulator Efficiency:	90%	
+3.3V Regulator Efficiency:	90%	
Battery Characteristics :		Unit:
Technology:	Lithium - Ion	
Battery Cells in Series String:	2,00	Cells
Parallel Strings:	1,00	String(s)
Battery Operating Temperature:	20,00	deg. C
Cell Voltage (Fully Charged; Under Load):	4,20	V/Cell
Cell Voltage (Typical Operating Cond.; Under Load):	3,70	V/Cell
Cell Voltage (At Lowest S.O.C. Limit):	3,15	V/Cell
Cell Voltage (Fully Charged; Under Trickle Ch):	4,20	V/Cell
Battery Cell Capacity:	1,80	amp-hrs
Battery Safe Trickle Charge Rate	0,90	amps
Battery Voltage (Fully Charged; Under Load):	8,4	V

Battery Voltage (At Lowest S.O.C. Limit):	6,30	V
Battery Voltage (Fully Charged; Under Trickle Ch):	8,40	V
Battery Voltage (Typical @ 20 deg.C):	7,40	V
Battery Capacity:	1,80	Amp-Hrs
Total Battery Energy	799,20	watt-min.
Orbital Characteristics		
Orbit altitude	630,0	[km]
ADCS implementation	Active magnetic nadir pointing	
Type of orbit	Midnight-noon	
Period	5839,0	[s]
Sunlit time	4315,0	[s]
Eclipse time	1524,0	s
Orbital period	97,3	[min]
Sunlit Minutes per Orbit:	71,9	[min]
Eclipse Minutes per Orbit:	25,4	[min]
Orbits per day	14,8	[]
Start Condition	Simulation for initial Angular velocity of 12deg/s for X and Y	
Note	Inertia tensor [0.02;0;0/0;0.02;0/0;0;0.01]	
Operational Characteristics		
Typical groundstation passes per day	4,0	[-]
Typical groundstation orbit time	15,0	[min]
TT&C groundstation duty cycle	100,0	[%]
TT&C donwlink time per day	60,0	[min]
TT&C downlink Duty Cycle	4,2	[%]
Payload downlink duty	NA	[%]

cycle		
Payload downlink time per day	NA	[min]
Payload downlink Duty Cycle	NA	[%]
<i>Incoming solar power</i>		These values come from the ISIS ADCS simulator
Midnight-noon		
Orbit average	13,1	[W]
Sunlit average	20,13	[W]
RAAN 45 deg		
Orbit average	12,4	[W]
Sunlit average	16,3	[W]
Dusk-dawn		
Orbit average		[W]
Sunlit average		[W]
Solar panel/cell configuration characteristics		
Solar cell conversion efficiency	21,00	[%]
Cell height	0,04	[m]
Cell width	0,08	[m]
Total Number of cells	20,00	[-]
Side Panel height	0,20	[m]
Side Panel width	0,10	[m]
Top Panel width	0,10	[m]
Top Panel height	0,10	[m]
Total panel area	0,10	[m^2]
Solar panel area	0,06	[m^2]
Percentage of available area covered by solar panels	100,00	[%]
Power generation		
Orbit average	2,60	[W]
Sunlit average	3,42	[W]

Tabela 6. Provisão de Energia do NANOSATC-BR 2

Power Output	10/02				10/04							
Load Characteristics	Current	Current	Current	Current	Orb Average	Peak	Sub-system Average	Sub-system	Orb Average	Energy/Orbit		
Component	Direction	407-408	+5V	Regulator	+3.3V	Reg	Power	Uster	Power	Uster	Energy	
Consumption Power PLEPS Internal consumption	0.00	amps	0.00	amps	0.05	amps	0.05	amps	0.25	amps	34.1	wh/orbit
Consumption Power PLEPS External consumption	0.00	amps	0.00	amps	0.05	amps	0.05	amps	0.25	amps	20.3	wh/orbit
Power Transceiver (Tx/Dx)	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.24	amps	22.1	wh/orbit
Power Transceiver (Control)	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.24	amps	22.1	wh/orbit
Antenna System Standby power	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.0	wh/orbit
Antenna System Active power	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.0	wh/orbit
Payload Interface	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.0	wh/orbit
Payload standby	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.0	wh/orbit
Payload Operational	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.00	amps	0.0	wh/orbit
Total Power Consumption Per Regulator	1.25	amps	1.00	amps	1.16	amps	2.40	amps	0.80	amps	87.4	wh/orbit
Total Power Consumption Per Regulator	1.65	amps	1.30	amps	1.45	amps	2.88	amps	1.05	amps	102.1	wh/orbit

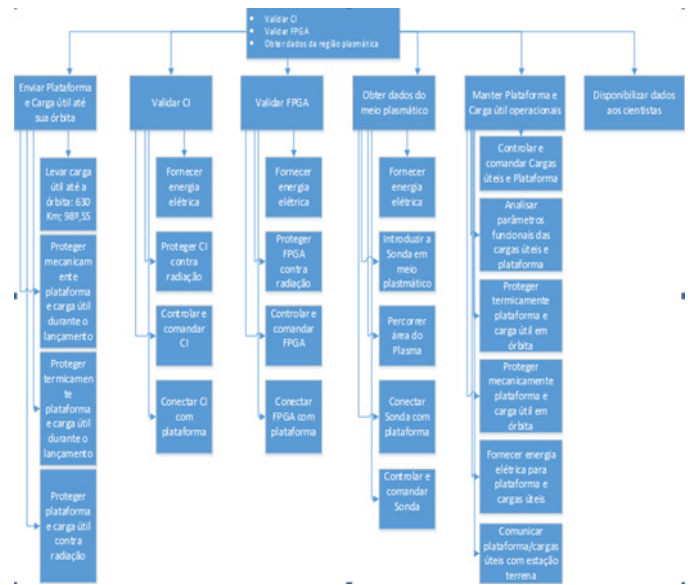


Figura 5. Arvore de Funções do Projeto NANOSATC-BR 2.

CONCLUSÃO

A partir da realização e implementação do Plano de Engenharia de Sistemas realizado, temos que o Projeto NANOSATC-BR 2 vai ser processado e realizado de uma forma segura e padronizada, assim, com expectativa para ser lançado em 2015 com sucesso. Podemos verificar os resultados alcançados do EPS pela Tabela 7.

Tabela 7. Resultado do Sistema de Suprimento de Energia (EPS).

Resultado	
<i>Órbita</i>	630km de altitude RAAN de 45° Ângulo de vetor solar – 90°
<i>Cargas úteis</i>	CIIs – Sempre ligadas FPGA – Sempre ligada Sonda de Langmuir – 20%
<i>Tempo de recarga de bateria</i>	Máx – 71,92 minutos Simulado – 57,12 minutos

Dr. Nelson Jorge Schuch,
njschuch@gmail.com

Os autores são os únicos responsáveis por este artigo.

Foram realizadas todas as etapas de planejamento de Engenharia de Sistemas de um produto complexo, desde a determinação de requerimentos e restrições, árvore de funções, estrutura de trabalho até a parte de estoque e armazenamento de energia.

REFERÊNCIAS

- NANOSATC-BR. Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. Santa Maria – RS, Junho 2010.
- WIKIPEDIA. The Free Encyclopedia. Disponível em: <<http://wikipedia.org>>.
- ECSS-M-ST-10C rev. 1 – Space Project Management – Project Planning and implementation
- ECSS-M-10B – Space Project Management – Project Breakdown Structure

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Tiago Travi Farias,
tiago.travi.farias@gmail.com
Lucas Lourencena Caldas Franke,
l.franke@hotmail.com
Maurício Ricardo Balestrini,
balestrinmr@gmail.com
Iago Camargo Silveira,
iago7_2011@hotmail.com
Guilherma Paul. Jaenisch,
guilherme.jaenisch@gmail.com
Marcos Antônio Dal Piaz,
marcosdpiaz@gmail.com
Dr. Otávio Santos Cupertino Durão,
otavio.durao@inpe.br