



CONASAT
CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES AMBIENTAIS

CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES PARA COLETA DE DADOS AMBIENTAIS

**Documento de Descrição da Missão
(DDM)**

Versão 1.0

CNS-DDM-001

JULHO, 2011

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE - CRN - Natal</p>	<p>Documento: CNS-DDM-001</p>	<p>Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p>Página: 2 de 63</p>

Registro de Propriedade do Documento

Autores	Organização	Data	Assinatura
Jeanne Samara dos Santos Lima	INPE/CNPq	06/07/2011	
Lúcio dos Santos Jotha	INPE/AEB/CNPq	14/07/2011	
Rafael Briani Biondi	INPE/AEB/CNPq	12/07/2011	

Aprovação	Organização	Data	Assinatura
Manoel Jozeane Mafra de Carvalho	INPE	15/07/2011	

Histórico de Revisão

Revisão	Data	Descrição
00	14/07/11	1ª Edição

Lista de Distribuição

Destinatário	Organização
Fátima Mattiello	INPE - São José dos Campos
Jackson Maia	AEB
João Braga	INPE - São José dos Campos
Mario Marcos Quintino da Silva	INPE - São José dos Campos
Otavio Santos Cupertino Durão	INPE - São José dos Campos
Ricardo Cartaxo Modesto de Souza	INPE - São José dos Campos

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 3 de 63

ÍNDICE

1.	DOCUMENTOS APLICÁVEIS E DOCUMENTOS REFERENCIADOS	7
1.1	DOCUMENTOS APLICÁVEIS	7
1.2	DOCUMENTOS REFERENCIADOS	7
1.3	DEFINIÇÕES, SINÔNIMOS E ABREVIACÕES.....	7
2.	INTRODUÇÃO	9
3.	VISÃO GERAL DA MISSÃO	10
3.1	PREMISSAS DA MISSÃO	10
3.2	OBJETIVOS DA MISSÃO	11
4.	ANÁLISE DA MISSÃO	12
4.1	AMBIENTE ESPACIAL	12
4.1.1	<i>Atmosfera</i>	12
4.1.2	<i>Coefficiente geopotencial</i>	13
4.1.3	<i>Campo magnético</i>	13
4.1.4	<i>Radiação – O ciclo solar</i>	14
4.1.5	<i>Radiação eletromagnética</i>	15
4.1.6	<i>Exposição à radiação</i>	15
4.2	ANÁLISE DOS TEMPOS DE COBERTURA DA CONSTELAÇÃO CONASAT	16
4.2.1	<i>Estações receptoras localizadas em Natal/RN e Cuiabá/MT</i>	16
4.2.1.1	Tempos de cobertura para as estações de Natal/RN e Cuiabá/MT.....	17
4.2.1.2	Tempos de cobertura após inserção da estação de Boa Vista/RR	28
4.2.1.3	Conclusões.....	31
5.	DEFINIÇÕES INICIAIS DO PROJETO.....	33
5.1	ESTRUTURA FÍSICA DOS SATÉLITES	33
5.2	IMPLEMENTAÇÃO DE ÊNFASE NAS TELECOMUNICAÇÕES	36
5.3	TIPO DA ÓRBITA	37
5.4	ALTITUDE DA ÓRBITA	38
5.5	MITIGAÇÃO DOS DETRITOS ESPACIAIS.....	38
5.6	ALCANCE DOS SATÉLITES	41
5.7	COBERTURA MÍNIMA ENTRE OS SATÉLITES E AS PLATAFORMAS DE COLETA DE DADOS	42
5.8	REPASSAGENS DOS SATÉLITES	43
5.9	ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DO PLANO ORBITAL	45
5.10	ANÁLISE DE COBERTURA BASEADO EM DADOS REAIS	46

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 4 de 63

6.	OPERAÇÃO DA MISSÃO.....	49
6.1	FASES DA MISSÃO.....	49
6.2	MODOS DE OPERAÇÃO.....	50
6.2.1	<i>Modo de lançamento</i>	50
6.2.2	<i>Modo de inicialização</i>	51
6.2.3	<i>Modo de alinhamento</i>	51
6.2.4	<i>Modo de operação</i>	51
6.2.5	<i>Modo de segurança</i>	52
7.	ESPECIFICAÇÃO PRELIMINAR DOS REQUISITOS TÉCNICOS.....	53
7.1	ARQUITETURA DA MISSÃO.....	53
7.2	SEGMENTO ESPACIAL.....	54
7.2.1	<i>Plataforma do satélite</i>	55
7.2.1.1	Subsistema estrutural.....	55
7.2.1.2	Subsistema de fornecimento de energia elétrica.....	57
7.2.1.3	Subsistema de detecção e controle de atitude.....	59
7.2.1.4	Subsistema de telemetria e telecomando.....	60
7.2.1.5	Subsistema de controle de bordo.....	61
7.2.1.6	Subsistema de controle térmico.....	61
7.2.1.7	Carga útil.....	61

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 5 de 63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Densidade da atmosfera terrestre para diferentes altitudes	12
Figura 2. Previsão do ciclo solar	15
Figura 3. Áreas de cobertura das Estações de Natal/RN e Cuiabá/MT (600 km e 30°).....	17
Figura 4. Contato entre PCDs, um nano-satélite e as estações de Nata/RN e Cuiabá/MT	18
Figura 5. Contato entre as PCDs e as Estações de Natal/RN e Cuiabá/MT (1 satélite)	19
Figura 6. Tempo máximo de revisita para um nano satélite	20
Figura 7. Planos orbitais de defasados de 30° (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites)	21
Figura 8. Contato entre as PCDs e as Estações de Natal/RN e Cuiabá/MT (4 satélites)	22
Figura 9. Tempos máximos de revisita para 4 nano-satélites	23
Figura 10. Planos orbitais de defasados de 30° (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites)	24
Figura 11. Contato entre as PCDs e as Estações de Natal/RN e Cuiabá/MT (8 satélites)	25
Figura 12. Tempos máximos de revisita para 8 nano-satélites	25
Figura 13. Planos orbitais de defasados de 30° (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites).....	26
Figura 14. Contato entre as PCDs e as Estações de Natal/RN e Cuiabá/MT (12 satélites).....	27
Figura 15. Tempos máximos de revisita para 12 nano-satélites	28
Figura 16. Áreas de cobertura das Estações de Natal/RN, Cuiabá/MT e Boa Vista/RR (600 km e 30°)	29
Figura 17. Configuração física inicial proposta para o CONASAT, segundo o modelo CubeSat	35
Figura 18. Configuração física proposta para o CONASAT segundo o modelo canadense.	36
Figura 19. Abas abertas vistas do lado das faces das antenas	37
Figura 20. Alcances do satélite na altitude de 600 km	40
Figura 21. Alcances do satélite na altitude de 500 km	41
Figura 22. Alcances do satélite na altitude de 600 km	41
Figura 23. Curvas de passagens típicas do satélite.....	43
Figura 24. Comparação entre as repassadas para altitudes de 500 km e 600 km	44
Figura 25. Comparação entre ângulos de inclinação do plano orbital	45
Figura 26. Dados reais recebidos pelo satélite SCD-2 em 2 passagens.....	47
Figura 27. Arquitetura geral da Missão CONASAT	54
Figura 28. Estrutura básica dos satélites	56
Figura 29. Modelo padrão de dispositivo ejetor XPOD.....	57
Figura 31. Diagrama em blocos do subsistema de energia elétrica	58
Figura 32. Potência elétrica gerada pelos painéis solares	59
Figura 33. Diagrama simplificado do transponder	62

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 6 de 63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Natal/RN e Cuiabá/MT – 1 satélite (600 km e 30°).....	18
Quadro 2. Natal/RN e Cuiabá/MT – 4 satélites (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites)	21
Quadro 3. Natal/RN e Cuiabá/MT – 8 satélites (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites)	24
Quadro 4. Natal/RN e Cuiabá/MT – 12 satélites (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites)	27
Quadro 5. Natal/RN, Cuiabá/MT e Boa Vista/RR (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites) ..	30

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 7 de 63

1. Documentos aplicáveis e documentos Referenciados

1.1 Documentos aplicáveis

[DA1] DRUM – Documento de Requisitos do Usuário e da Missão

1.2 Documentos referenciados

- [DR1] SCD-ETD-002 – O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais: estado atual, demandas e estudos de propostas de continuidade da missão de coleta de dados
- [DR2] European Code of Conduct for Space Debris Mitigation
- [DR3] ECSS-E-ST-10-04C Space environment
- [DR4] Space Mission Analysis and Design, 3ª Ed
- [DR5] Os satélites SCD1 e SCD2 da Missão Espacial Completa Brasileira, Valcir Orlando e Hélio Koiti Kuga

1.3 Definições, sinônimos e abreviações

AGI	<i>Analytical Graphics, Inc.</i>
AM	Amazonas
ARGOS	Operadora de Dados Ambientais composta pela CNES, NASA e NOAA
CB	Computador de Bordo
CBERS	Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CNES	<i>Centre National d'Etudes Spaciales</i>
CONASAT	Constelação de Nano-Satélites Ambientais
COTS	<i>Commercial Off-The-Shelf</i>
CRN	Centro Regional Nordeste
DAS	<i>Debris Assessment Software</i>
DRUM	Documento de Requisitos dos Usuários e da Missão
FN	Fernando de Noronha
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GO	Goiás
ICT	Instituição de Ciência e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 8 de 63

LEO	<i>Low Earth Orbit</i>
MA	Maranhão
MT	Mato Grosso
NASA	<i>National Aeronautics and Spatial Administration</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
RN	Rio Grande do Norte
RR	Roraima
RS	Rio Grande do Sul
SAA	<i>South Atlantic Anomaly</i>
SBCD	Sistema Brasileiro de Coleta de dados
SCD	Satélite de Coleta de Dados
SINDA	Sistema Nacional de Dados Ambientais
SP	São Paulo
STK	<i>Satellite Tool Kit</i>
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
UV	Ultra-Violeta

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 9 de 63

2. Introdução

Este documento apresenta a descrição da missão do CONASAT – Constelação de Nano-Satélites Ambientais para coleta de dados ambientais, incluindo sua proposta e objetivos com relação à descrição e concepção do sistema para atender aos requisitos e premissas da missão.

Este projeto permitirá a capacitação de recursos humanos e a agregação de especialistas no Centro Regional do Nordeste – CRN do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE para realizar um estudo detalhado de uma missão espacial para coleta de dados ambientais em todos os seus componentes (CNS-OBM-04, CNS-RQM-002).

Para realização da missão, é preciso o envolvimento de competências complementares das Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) locais e cooperação com as principais agências espaciais do mundo, no intuito de capacitar nova geração de especialistas. Através do projeto, procura-se atrair pesquisadores de Institutos de Ensino Superior, como a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), agregando diversas competências técnicas e científicas para capacitação no setor espacial e desenvolvimento de uma constelação de nano satélites de baixo custo (CNS-RQM-004). Além da garantia de continuidade da missão coleta de dados ambientais e a capacitação de novos especialistas, a execução do projeto possibilita o desenvolvimento de tecnologias espaciais, incorporando os avanços da nanotecnologia, informática, microeletrônica e telecomunicações. Dito de outra forma, o projeto irá promover a inovação tecnológica na região, podendo gerar impactos indiretos no sistema local de ciência e tecnologia (CNS-OBM-06).

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	<p>Documento: CNS-DDM-001</p>	<p>Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p>Página: 10 de 63</p>

3. Visão geral da missão

A missão do CONASAT compreende conceber uma solução para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais – SBCD, baseada no uso de uma constelação de nano satélites (CNS-RQM-006), com massa entre 1 kg a 10 kg (CNS-RQS-01), usando tecnologias emergentes nos ramos da eletrônica e das telecomunicações.

3.1 Premissas da missão

O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados tem o objetivo de oferecer ao país uma estrutura capaz de coletar dados enviados por Plataformas de Coleta de Dados - PCDs localizadas em qualquer ponto do território nacional e da sua plataforma marítima, disponibilizando-os para utilização pelos diversos usuários.

O segmento espacial do sistema brasileiro de coleta de dados é composto pelos satélites SCD1 e SCD2 desenvolvidos no Brasil, em operação desde 1993 e 1997, respectivamente, de órbita equatorial inclinada, mais adequada para a posição geográfica do Brasil e de satélites pertencentes à organização ARGOS europeia, de órbita polar. Por algum tempo foram utilizados os satélites CBERS1 e CBERS2 construídos por um consórcio entre Brasil e China, cuja missão principal difere da coleta de dados os quais se encontram, atualmente, fora de operação.

Quanto ao segmento de solo, existem duas estações receptoras dos satélites, uma em Cuiabá/MT e outra em Alcântara/MA. A recepção do sistema ARGOS e, o centro de controle da missão (SINDA), que funcionavam em Cachoeira Paulista/SP, foram transferidos para Natal/RN em meados de 2010. No SINDA os dados recebidos de todas as estações receptoras são concentrados, tratados e disponibilizados em áreas específicas através de um servidor de FTP para utilização dos usuários.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 11 de 63

A missão do CONASAT se propõe a complementar o segmento espacial do SBCD (CNS-RQM-001), procurando atender as necessidades atuais dos usuários (CNS-RQG-02, CNS-RQM-015).

3.2 Objetivos da missão

Os objetivos primários do CONASAT são:

- Garantir a continuidade da coleta de dados ambientais para o SBCD por meio de uma constelação de nano-satélites de baixo custo (CNS-OBM-01).
- Possibilitar a ampliação da capacidade do serviço de coleta de dados ambientais para o SBCD (CNS-OBM-02).
- Possibilitar a ampliação do alcance geográfico do serviço de coleta de dados ambientais para o SBCD, com a inclusão do Oceano Atlântico Tropical (CNS-OBM-03).
- Formar expertises no setor espacial brasileiro no segmento de desenvolvimento de nano-satélites (CNS-OBM-04).

Como objetivos secundários, pode-se citar:

- Desenvolver uma missão espacial a custos razoáveis à realidade brasileira (CNS-OBM-05).
- Contribuir para a indução do desenvolvimento tecnológico na região Nordeste, para que esta possa nuclear a constituição de novo pólo tecnológico a partir dos setores estratégicos associado com as oportunidades proporcionadas pelas condições naturais (CNS-OBM-06).
- Gerar uma demanda com escala para a indústria nacional, podendo criar oportunidades de novos negócios tecnológicos numa região cuja estrutura econômica é formada por poucas empresas de intensidade tecnológica e de pequeno porte (CNS-OBM-07).

 CONASAT <small>CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES AMBIENTAIS</small>	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 12 de 63

4. Análise da missão

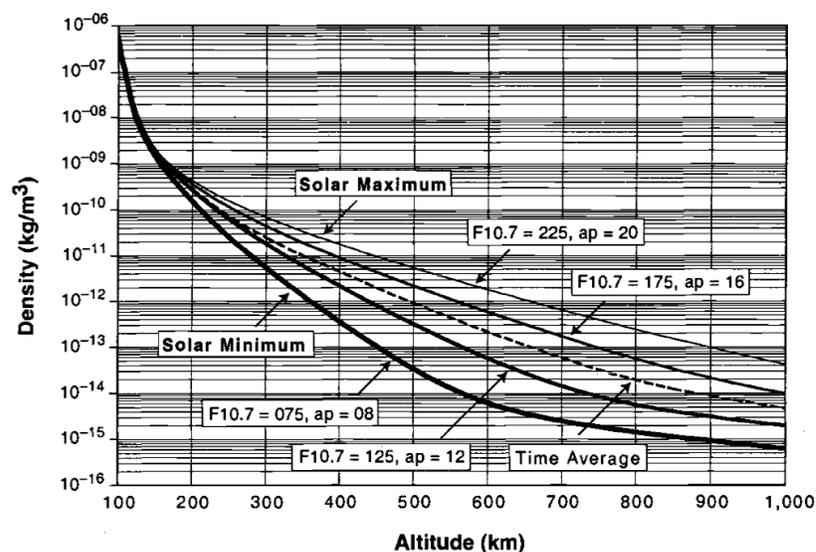
Este capítulo descreve a análise da missão tanto do ponto de vista ambiental, ou seja, de fatores que possam influenciar a missão, como do ponto de vista da coleta/transmissão de dados.

4.1 Ambiente espacial

4.1.1 Atmosfera

A órbita escolhida para os nano-satélites está situada entre 500 km e 1000 km de altitude, na Exosfera. A Exosfera tem início a 500 km de altitude e é a última camada da Atmosfera, podendo medir de 600 km a 1600 km.

Como se pode observar na Figura 1, as partículas situadas na Exosfera apresentam uma grande distância entre elas, o que proporciona uma baixa densidade. Com o aumento da altitude, a densidade, a pressão e a temperatura diminuem. Outro fator que contribui para a variação da densidade é o ciclo solar, e como podemos observar o ponto máximo do ciclo solar representa também a maior concentração de partículas na exosfera, portanto o ponto de maior densidade.



Fonte: Space Mission Analysis and Design, 3ª Ed., Cap. 8

Figura 1. Densidade da atmosfera terrestre para diferentes altitudes

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="center">Página: 13 de 63</p>

Em uma orbita situada a 600 km de altitude a temperatura varia entre 600 e 1200K, mas devido à pequena quantidade de partículas na exosfera, a variação térmica não causa efeitos no satélite. (*Space Mission Analysis and Design, 3ª Ed., Cap. 8*)

Na Exosfera as partículas atômicas dominantes são os átomos de oxigênio, um forte agente oxidante, podendo causar pontos de corrosão no satélite. Nesta altitude a Atmosfera terrestre perturba o satélite, causando um efeito de desaceleração e consequentemente contribuindo para a diminuição da altitude da orbita. Levando-se em consideração que os nano-satélites da constelação CONASAT não possuem sistemas de propulsão, este se torna o fator mais importante no quesito “Mitigação de Detritos Espaciais”. (*Space Mission Analysis and Design, 3ª Ed., Cap. 8*)

Para a constelação de nano-satélites, os seguintes efeitos devem ser considerados para posterior análise:

- O arrasto atmosférico, que leva a uma desaceleração e finalmente ao decaimento da altitude orbital.
- A temperatura na Exosfera, que pode chegar a 1200K durante o dia, mas não causa efeitos à espaçonave.
- Os átomos de oxigênio, que podem causar um efeito corrosivo no satélite, dependendo dos materiais utilizados para a construção.

4.1.2 Coeficiente geopotencial

Nas fases 0 e A o coeficiente geopotencial considerado para os cálculos é J2. Este coeficiente descreve o desvio da forma esférica da terra devido ao seu achatamento. O valor deste coeficiente não possui unidade e é dado por $J_2 = 0.00108263$ e o raio terrestre considerado para o calculo do mesmo, no plano equatorial, é de 6.378,137 km.

4.1.3 Campo magnético

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 14 de 63

Os efeitos gerados pelo campo geomagnético dependem diretamente da inclinação orbital escolhida para o satélite. Em geral, o campo magnético da terra protege os satélites que se encontram nas órbitas baixas da exposição à radiação (caso dos satélites da constelação CONASAT). No entanto, este campo apresenta algumas áreas onde esta proteção é reduzida. Estas lacunas no campo eletromagnético estão situadas em sua grande maioria próximas aos pólos terrestres, com exceção da área conhecida como Anomalia do Atlântico Sul (*South Atlantic Anomaly – SAA*), e nestas regiões a exposição do satélite a radiação aumenta. Nas orbitas pouco inclinadas a SAA é a única área de interesse, enquanto nas orbitas polares deve-se considerar as anomalias associadas aos pólos.

Se o movimento da nave espacial é lateral à linha de fluxo magnético uma força eletromagnética será induzida. Este efeito leva a um fluxo de corrente através da nave e do plasma ao redor, e isso leva a uma diferença de potencial que pode afetar o controle de atitude.

4.1.4 Radiação – O ciclo solar

O sol possui diversos ciclos que apresentam diferentes períodos de duração. O ciclo solar mais importante é o que se repete a cada 11 anos (*11-year cycle*).

O ciclo atual teve início em 4 de janeiro de 2008 e os cientistas prevêem que este ciclo atingirá o seu ponto máximo nos anos de 2011 e 2012. Até o período de lançamento dos satélites da constelação CONASAT a radiação solar deverá apresentar uma baixa considerável, porém, não desprezível, como se pode constatar na Figura 2, abaixo:

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais</p> <p align="center">INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="center">Página: 15 de 63</p>

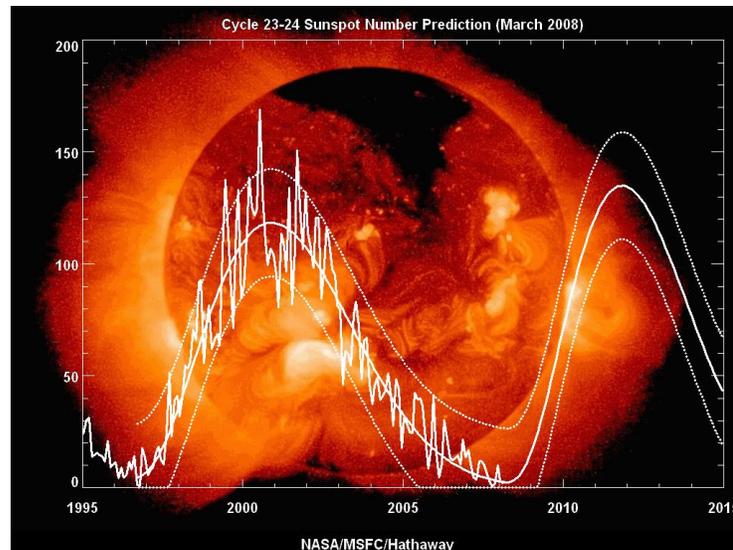


Figura 2. Previsão do ciclo solar

4.1.5 Radiação eletromagnética

A radiação ultravioleta afeta diretamente a espaçonave considerando-se que esta não é protegida desse tipo de radiação pela baixa atmosfera terrestre. Tal fenômeno pode levar a degradação UV, que é a mudança das características físicas dos materiais e deve ser levado em consideração para a sua escolha. Outro fator importante a se considerar é a pressão solar, ou seja, a força que a radiação solar exerce sobre as superfícies. (Space Mission Analysis and Design, 3ª Ed., Cap. 8)

4.1.6 Exposição à radiação

A dose total de radiação para os satélites da constelação CONASAT será calculada na próxima fase do projeto. No entanto, o escudo (blindagem) necessário para os componentes COTS precisa ser estimado e calculado considerando-se que 1 mm de Al (Alumínio) absorve aproximadamente 6000 rad. (Space Mission Analysis and Design, 3ª Ed., Cap. 8)

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="center">Página: 16 de 63</p>

4.2 Análise dos tempos de cobertura da constelação CONASAT

Este item do documento tem o objetivo de analisar e comparar os tempos de cobertura dos satélites de coleta de dados ambientais da constelação CONASAT. Esta análise foi feita com o auxílio do software STK 9.2 (AGI - Analytical Graphics, Inc).

O estudo será feito adotando-se os critérios abaixo, considerados como ideais para obtenção de uma maior cobertura da constelação:

- Estação receptora localizada em Natal/RN e Cuiabá/MT.
- Altitude de 600 km (quanto maior a altitude, maiores os tempos de cobertura);
- Inclinação de 30 graus (garantia da cobertura de todo o território nacional);
- Constelações formadas por 1, 4, 8 e 12 nano-satélites;
- Defasagem de 180 graus com relação à órbita kepleriana do nano-satélite subsequente (valores ótimos para os tempos de revisita);

O valor de defasagem de 180 graus com relação à órbita kepleriana dos satélites subsequentes foi definido com base em simulações prévias realizadas no software STK, que comprovam que este é o valor ótimo no que se diz respeito aos tempos de revisita. Isto se deve ao fato de que nesta condição os satélites estão equidistantes entre si e em hemisférios diferentes do planeta.

4.2.1 Estações receptoras localizadas em Natal/RN e Cuiabá/MT

Para esta análise foram selecionadas quatro Plataformas de coleta de dados (PCDs) localizadas em pontos representativos do território nacional: uma no Nordeste (Fernando de Noronha), uma no Centro-Oeste (Goiás), uma no Norte (Amazonas) e uma no Sul (Rio Grande do Sul). A comunicação entre estas PCDs e as estações receptoras de Natal/RN e Cuiabá/MT será intermediada pelos nano-satélites da constelação CONASAT e o objetivo proposto para esta etapa do documento é a análise dos tempos de contato, bem como dos tempos de revisita entre as PCDs e as bases de coleta de dados. Pode-se observar o cenário gerado para um primeiro estudo, no qual

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="center">Página: 17 de 63</p>

se encontra apenas um nano-satélite da constelação, na Figura 3.

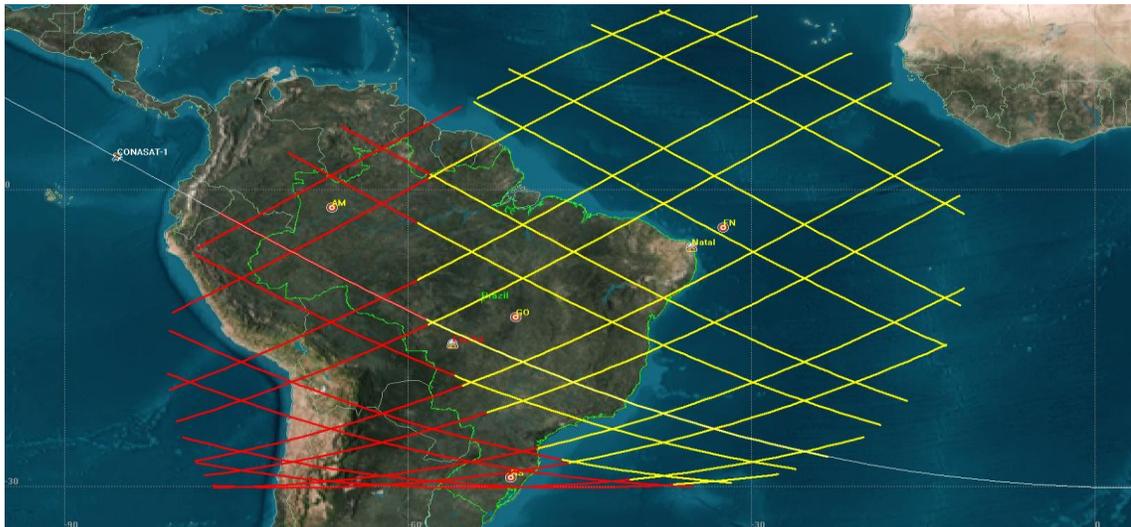


Figura 3. Áreas de cobertura das Estações de Natal/RN e Cuiabá/MT (600 km e 30°)

Na Figura 3 pode-se observar a área de cobertura da estação receptora de Natal/RN e da estação receptora de Cuiabá/MT tracejadas em amarelo e vermelho, respectivamente. Observa-se também, os pequenos alvos (targets) representando as plataformas de coleta de dados escolhidas para o presente estudo.

4.2.1.1 Tempos de cobertura para as estações de Natal/RN e Cuiabá/MT

Inicialmente serão analisados os tempos de cobertura de um nano-satélite da constelação CONASAT para os quatro casos possíveis, ou seja, para a comunicação entre as quatro PCDs escolhidas e as estações receptoras de Natal/RN e Cuiabá/MT.

Posteriormente, analisar-se-á o sistema composto por todas as PCDs, para uma análise mais precisa dos tempos de revisita da constelação de nano satélites Ambientais.

4.2.1.1.1 Tempos de cobertura para um nano-satélite

Pode-se ver na Figura 4 abaixo um caso de contato entre as quatro Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) e as estações receptoras de Natal/RN e de Cuiabá/MT, com o

	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 18 de 63

intermédio de um nano-satélite da constelação CONASAT:

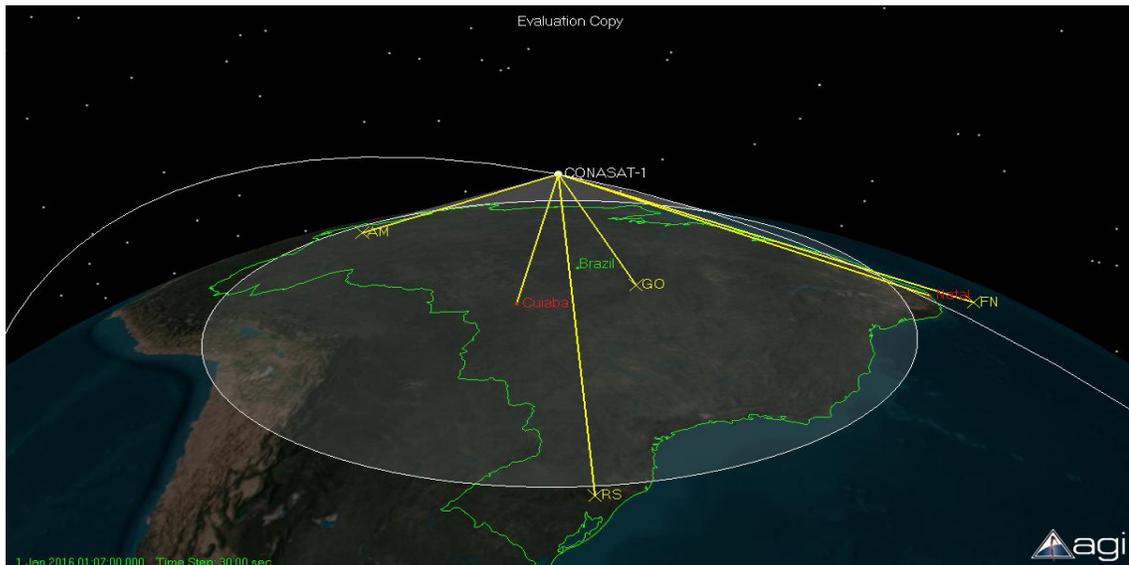


Figura 4. Contato entre PCDs, um nano-satélite e as estações de Nata/RN e Cuiabá/MT

Após simulações obtêm-se o Quadro 1, contendo os valores dos tempos máximos, mínimos, médios, acumulados e do número de passagens referentes a um ano de órbita do nano-satélite da constelação CONASAT. Como dito anteriormente, as PCDs analisadas estão localizadas no Amazonas (AM), em Fernando de Noronha (FN), em Goiás (GO) e no Rio Grande do Sul (RS).

PCD	Tempo máximo de contato (minutos)	Tempo médio de contato (minutos)	Tempo máximo de revisita (horas)	Tempo médio de revisita (minutos)	Número de contatos por ano	Tempo acumulado por ano (horas)	Número médio de contatos por dia
AM	12,3	7,4	10,3	94,8	2565	316,9	7,0
FN	13,2	9,8	8,5	92,7	3079	502,2	8,4
GO	13,6	11,1	10,3	91,3	3342	618,6	9,2
RS	13,7	11,2	13,8	90,4	2532	473,4	6,9

Quadro 1. Natal/RN e Cuiabá/MT – 1 satélite (600 km e 30°)

A Figura 5 abaixo mostra um gráfico dos contatos entra as PCDs e as estações receptoras de Natal/RN e Cuiabá/MT, por intermédio de um único nano-satélite da constelação CONASAT. Como se pode observar o tempo de contato é pequeno com relação ao tempo total e por isso o interesse de uma constelação de nano-satélites.

	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 19 de 63

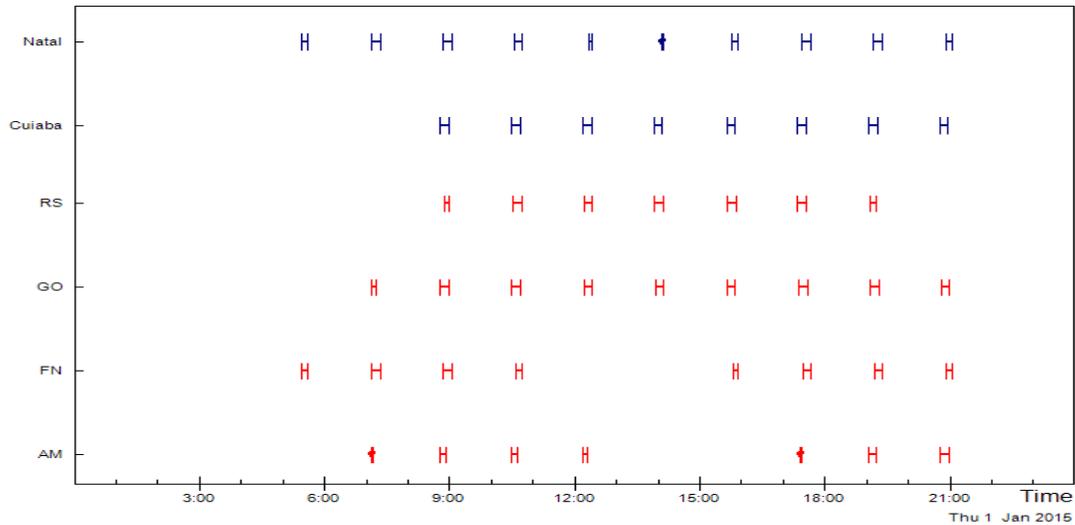


Figura 5. Contato entre as PCDs e as Estações de Natal/RN e Cuiabá/MT (1 satélite)

Foram analisados, até o presente momento, os tempos de contato entre as PCDs e as estações receptoras. Entretanto, a Figura 6 a seguir mostra os tempos máximos de revisita do satélite, ou seja, os tempos de espera entre comunicações. Esta análise é de extrema importância tendo em vista que muitas aplicações exigem uma taxa mínima de revisita, ou seja, um tempo máximo de atualização dos dados recebidos pelas estações receptoras. Como se pode observar na figura abaixo, todas as PCDs do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados foram introduzidas para esta simulação. Foram analisados 30 dias de transmissões.

 CONASAT CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES AMBIENTAIS	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 20 de 63

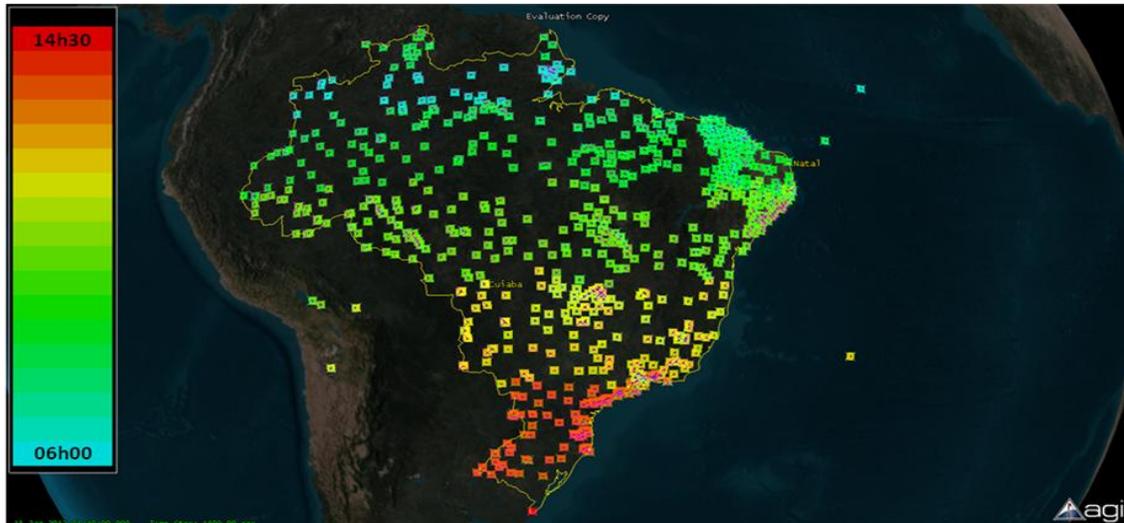


Figura 6. Tempo máximo de revisita para um nano satélite

A área com a maior taxa de revisita está localizada na região Norte do Brasil. Isto se deve ao fato de que quanto mais próximo a linha do equador esteja localizada a PCD mais espalhadas estarão as visitas a esta PCD ao longo do dia. Para esta região os tempos máximos de revisita estão entre 6 e 8 horas. Por outro lado, a região Sul pode apresentar tempos de revisita máximos de até 14 horas e meia. O tempo máximo de revisita na maior parte do território nacional é de aproximadamente 10 horas e os tempos médios de revisita para o caso de um único nano-satélite são de aproximadamente 1 hora e meia para todo o país.

4.2.1.1.2 Tempos de cobertura para quatro nano-satélites

Como se pode observar na Figura 7, para este caso a constelação CONASAT é formada por quatro nano-satélites, cada um com seu plano orbital defasado de 90 graus do subsequente. Os nano-satélites também estão defasados de 180 graus com relação à órbita kepleriana do nano-satélite seguinte (True Anomaly), para a obtenção de tempos de revisita mais uniformes. Desta forma enquanto um satélite esta passando no hemisfério Norte, ou seja, fora da área de cobertura do país, o seu subsequente está passando no hemisfério Sul.

	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 21 de 63

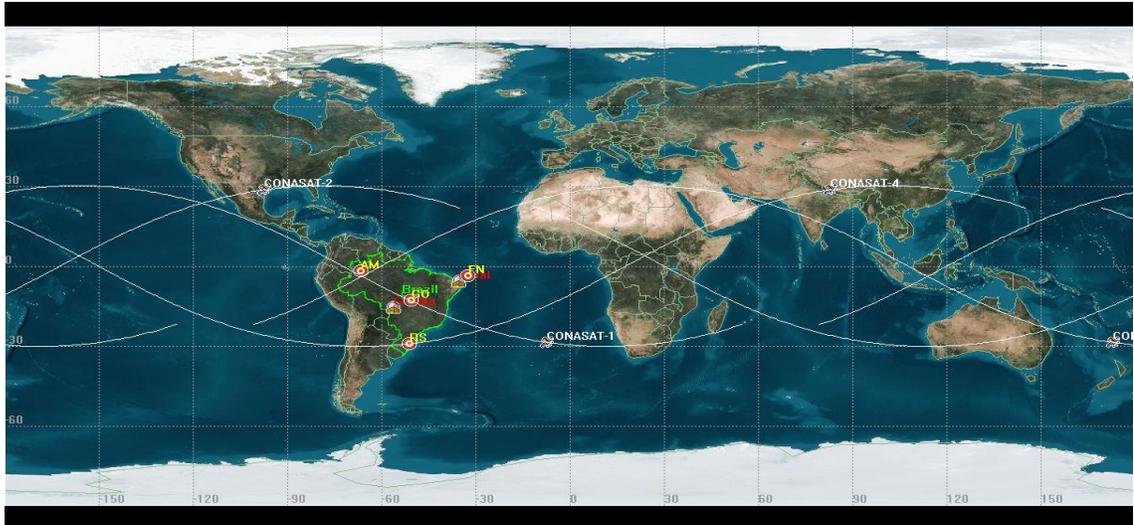


Figura 7. Planos orbitais de defasados de 30° (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites)

O Quadro 2 abaixo contém os valores dos tempos máximos, mínimos, médios, acumulados e do número de passagens referentes a um ano de orbita de quatro satélites da constelação CONASAT. Como no caso anterior, as PCDs analisadas foram: Amazonas (AM), Fernando de Noronha (FN), Goiás (GO) e Rio Grande do Sul (RS).

PCD	Tempo máximo de contato (minutos)	Tempo médio de contato (minutos)	Tempo máximo de revisita (horas)	Tempo médio de revisita (minutos)	Número de contatos por ano	Tempo acumulado por ano (horas)	Número médio de contatos por dia
AM	12,2	7,4	1,6	42,5	10235	1267,7	28,0
FN	13,2	9,8	1,1	37,8	12320	2009,0	33,8
GO	13,6	11,1	1,1	18,5	13376	2473,3	36,7
RS	13,7	11,2	1,5	21,1	10138	1891,7	27,8

Quadro 2. Natal/RN e Cuiabá/MT – 4 satélites (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites)

A Figura 8 abaixo mostra um gráfico dos contatos entra as PCDs e as estações receptoras, por intermédio de quatro nano-satélites da constelação CONASAT. Como se pode observar o tempo de contato é relativamente maior do que no caso anterior, provando a eficácia no uso de constelações de satélites.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais</p> <p align="center">INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="center">Página: 22 de 63</p>

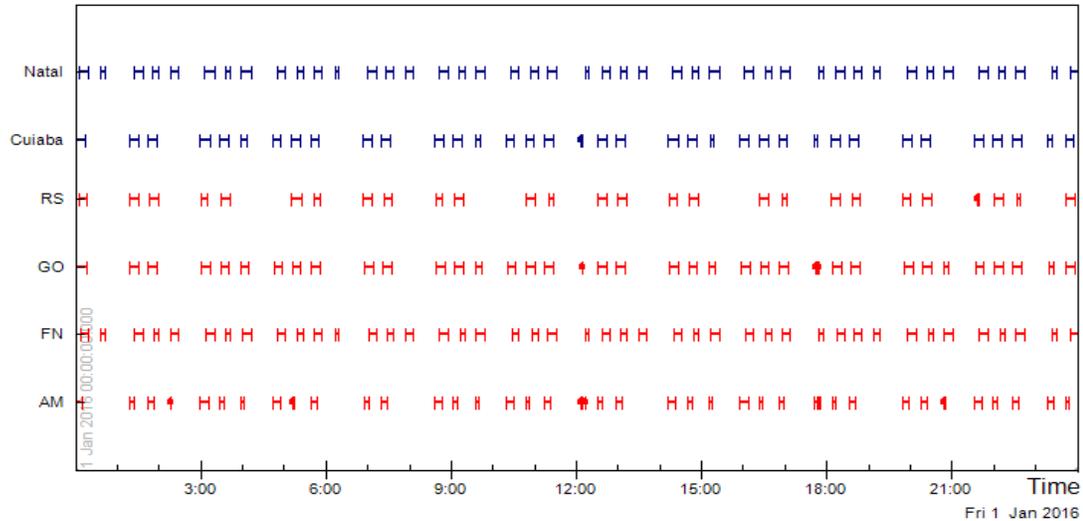


Figura 8. Contato entre as PCDs e as Estações de Natal/RN e Cuiabá/MT (4 satélites)

Como para o caso anterior, a Figura 9 a seguir mostra os tempos de revisita do satélite, ou seja, os tempos de espera entre comunicações. Todas as PCDs do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados foram introduzidas para esta simulação e o tempo de análise foi de 30 dias de transmissões.

 CONASAT CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES AMBIENTAIS	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 23 de 63

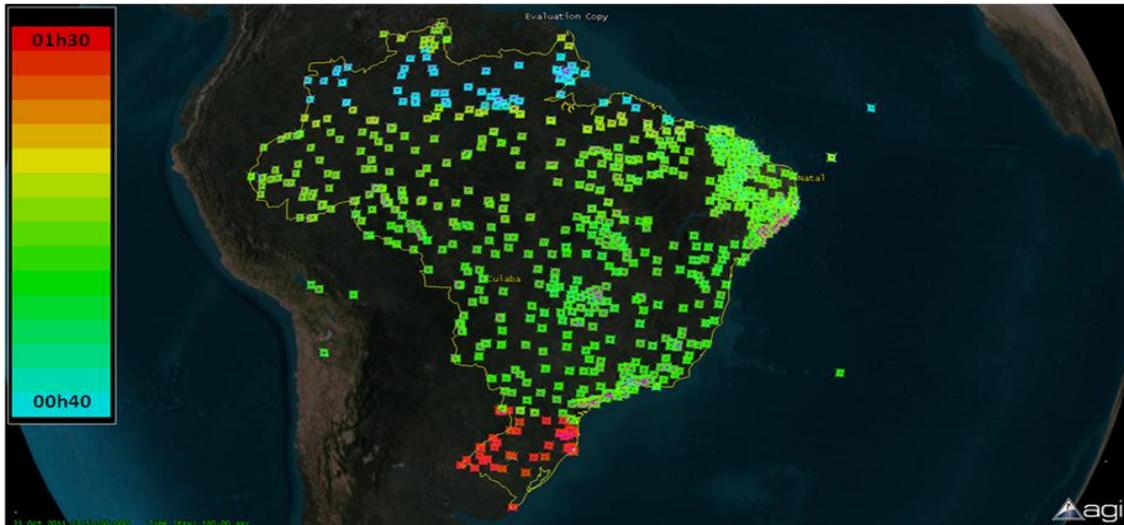


Figura 9. Tempos máximos de revisita para 4 nano-satélites

Para este caso o ganho mais significativo quanto ao tempo de revisita fica na região norte do país que passa de 6 a 8 horas, com o uso de um nano-satélite, para aproximadamente 40 minutos, com o uso de uma constelação formada por quatro nano-satélites. O tempo máximo de revisita na maior parte do território nacional é de aproximadamente 1 hora e os tempos médios de revisita para o caso de uma constelação formada por quatro nano-satélites são de aproximadamente 30 minutos em todo o país.

4.2.1.1.3 Tempos de cobertura para oito nano-satélites

Como se pode observar na Figura 10 abaixo, para este caso a constelação CONASAT é formada por oito nano-satélites, cada um com seu plano orbital defasado de 45 graus do subsequente. Como no caso anterior os satélites estão defasados de 180 graus com relação à órbita kepleriana do satélite seguinte (True Anomaly).

	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 24 de 63

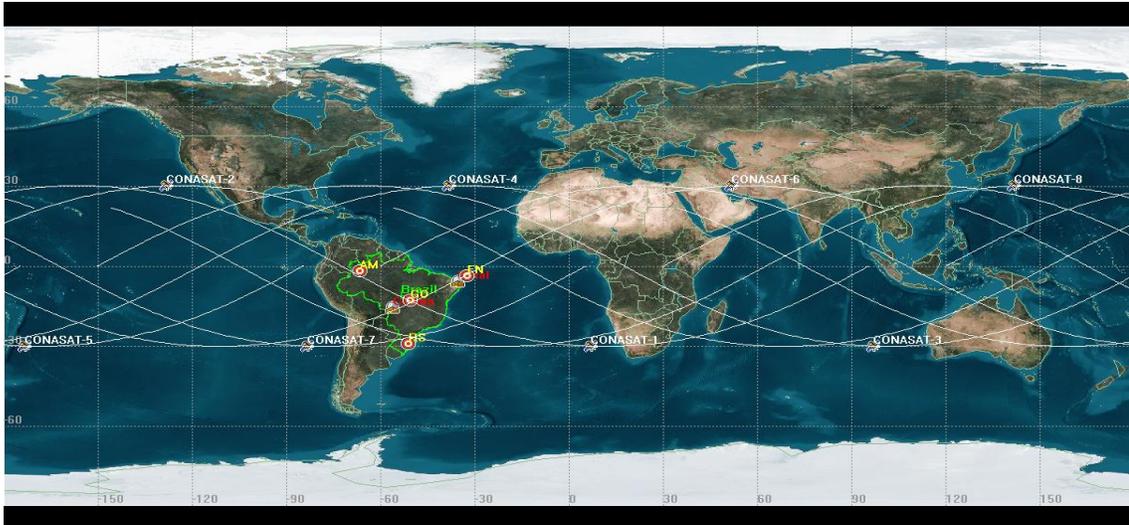


Figura 10. Planos orbitais de defasados de 30° (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites)

O Quadro 3 a seguir contém os valores dos tempos máximos, mínimos, médios, acumulados e do número de passagens referentes a um ano de órbita de oito nano-satélites da constelação CONASAT. Como no caso anterior, as PCDs analisadas foram: Amazonas (AM), Fernando de Noronha (FN), Goiás (GO) e Rio Grande do Sul (RS).

PCD	Tempo máximo de contato (minutos)	Tempo médio de contato (minutos)	Tempo máximo de revisita (minutos)	Tempo médio de revisita (minutos)	Número de contatos por ano	Tempo acumulado por ano (horas)	Número médio de contatos por dia
AM	12,3	7,4	40,8	18,7	20476	2535,6	56,1
FN	13,3	9,8	37,6	5,3	24634	4018,2	67,5
GO	13,6	11,1	14,7	12,4	26770	4946,7	73,3
RS	13,7	11,2	28,3	10,9	20290	3783,4	55,6

Quadro 3. Natal/RN e Cuiabá/MT – 8 satélites (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites)

A Figura 11 abaixo mostra o gráfico dos contatos entre as PCDs e as estações receptoras de Natal/RN e Cuiabá/MT por intermédio de oito nano-satélites da constelação CONASAT.

	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 25 de 63

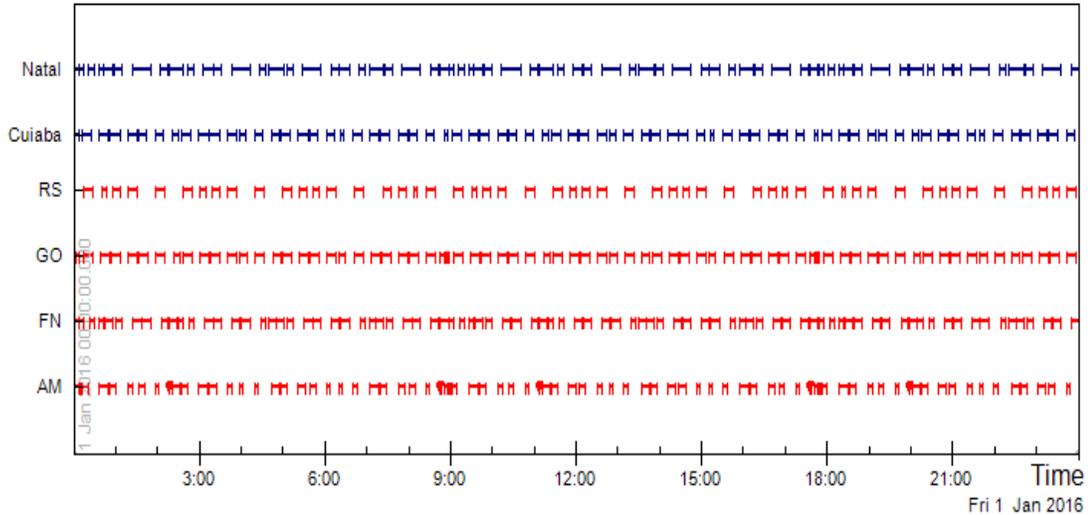


Figura 11. Contato entre as PCDs e as Estações de Natal/RN e Cuiabá/MT (8 satélites)

A Figura 12, como nos casos anteriores, mostra os tempos de revisita do satélite, ou seja, os tempos de espera entre comunicações. Todas as PCDs do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados foram introduzidas para esta simulação e o tempo de análise foi de 30 dias de transmissões.

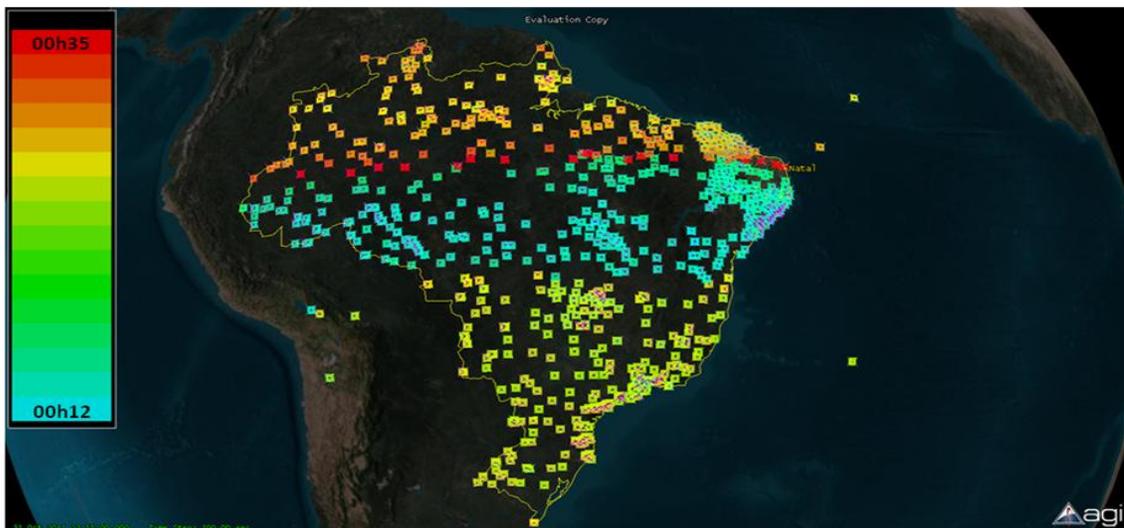


Figura 12. Tempos máximos de revisita para 8 nano-satélites

Para este caso o ganho mais significativo quanto ao tempo de revisita fica na região central do país que passa de aproximadamente 1 hora, com uma constelação de quatro nano-satélites, para aproximadamente 12 minutos, com uma constelação formada por

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais</p> <p align="center">INPE – CRN – Natal</p>	<p>Documento: CNS-DDM-001</p>	<p>Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>	<p>Página: 26 de 63</p>	

oito nano-satélites. O tempo máximo de revisita na maior parte do território nacional é de aproximadamente 30 minutos e os tempos médios de revisita para o caso de uma constelação formada por oito nano-satélites são de aproximadamente 15 minutos em todo o país.

4.2.1.1.4 Tempos de cobertura para doze nano-satélites

Como se pode observar na Figura 13 abaixo, para este caso a constelação CONASAT é formada por doze nano-satélites, cada um com seu plano orbital defasado de 30 graus do subsequente. Como no caso anterior os satélites estão de 180 graus com relação à órbita kepleriana do satélite seguinte (True Anomaly).

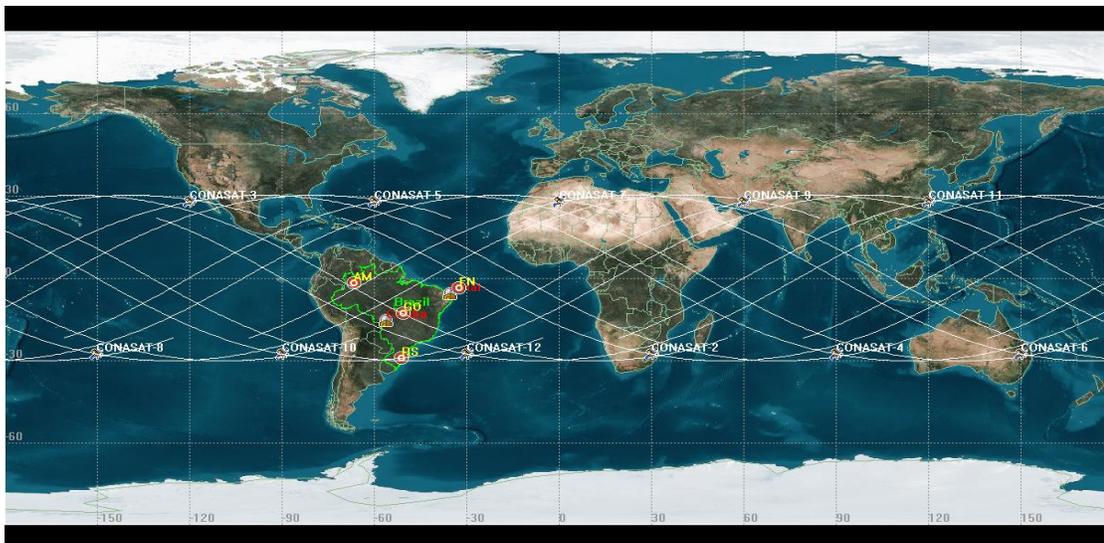


Figura 13. Planos orbitais de defasados de 30° (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites)

O Quadro 4 abaixo contém os valores dos tempos máximos, mínimos, médios, acumulados e do número de passagens referentes a um ano de orbita de doze nano-satélites da constelação CONASAT. Como no caso anterior, as PCDs analisadas foram: Amazonas (AM), Fernando de Noronha (FN), Goiás (GO) e Rio Grande do Sul (RS).

PCD	Tempo máximo de contato (minutos)	Tempo médio de contato (minutos)	Tempo máximo de revisita (minutos)	Tempo médio de revisita (minutos)	Número de contatos por ano	Tempo acumulado por ano (horas)	Número médio de contatos por dia
AM	20,7	10,4	27,4	16,1	20906	3623,9	57,3

	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 27 de 63

FN	33,1	17,6	23,5	12,9	16834	4947,7	46,1
GO	24,6	15,0	6,3	4,3	27652	6913,2	75,8
RS	13,7	11,2	16,6	4,2	30412	5675,1	83,3

Quadro 4. Natal/RN e Cuiabá/MT – 12 satélites (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites)

A Figura 14 abaixo mostra um gráfico dos contatos entre as PCDs e as estações receptoras de Natal/RN e Cuiabá/MT, por intermédio de doze nano-satélites da constelação CONASAT:

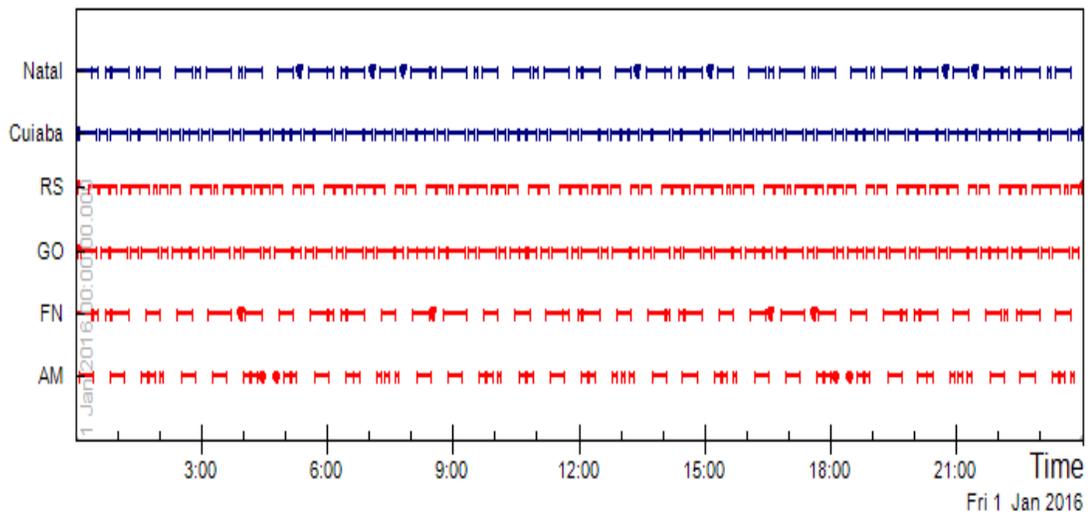


Figura 14. Contato entre as PCDs e as Estações de Natal/RN e Cuiabá/MT (12 satélites)

Como para os casos anteriores, a Figura 15 abaixo mostra os tempos de revisita do satélite, ou seja, os tempos de espera entre comunicações. Todas as PCDs do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados foram introduzidas para esta simulação e o tempo de análise foi de 30 dias de transmissões.

 CONASAT CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES AMBIENTAIS	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 28 de 63

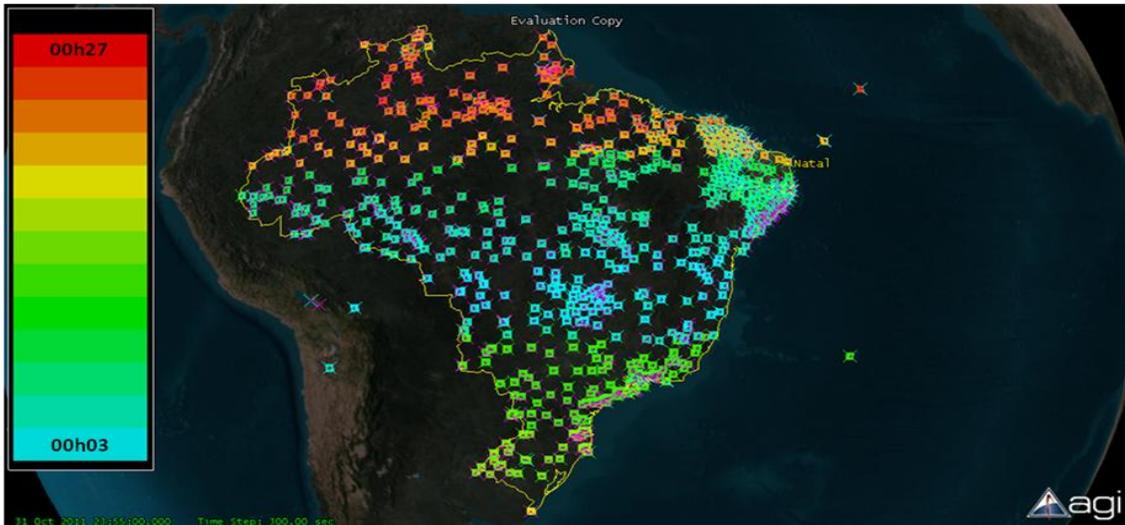


Figura 15. Tempos máximos de revisita para 12 nano-satélites

Para este caso o ganho mais significativo quanto ao tempo de revisita fica na região central do país que passa de aproximadamente 12 minutos, com uma constelação formada por oito nano-satélites, para aproximadamente 4 minutos, com uma constelação formada por doze nano-satélites. O tempo máximo de revisita na maior parte do território nacional é de aproximadamente 20 minutos e os tempos médios de revisita para o caso de uma constelação formada por oito nano-satélites são de aproximadamente 10 minutos em todo o país.

A seguir analisar-se-á uma possível melhoria para a constelação de nano-satélites CONASAT, com a inserção da estação receptora de Boa Vista/RR.

4.2.1.2 Tempos de cobertura após inserção da estação de Boa Vista/RR

Na Figura 16 abaixo, pode-se observar o aumento da área de cobertura do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados com a inserção da estação receptora de Boa Vista/RR:

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais</p> <p align="center">INPE – CRN – Natal</p>	<p>Documento: CNS-DDM-001</p>	<p>Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p>Página: 29 de 63</p>

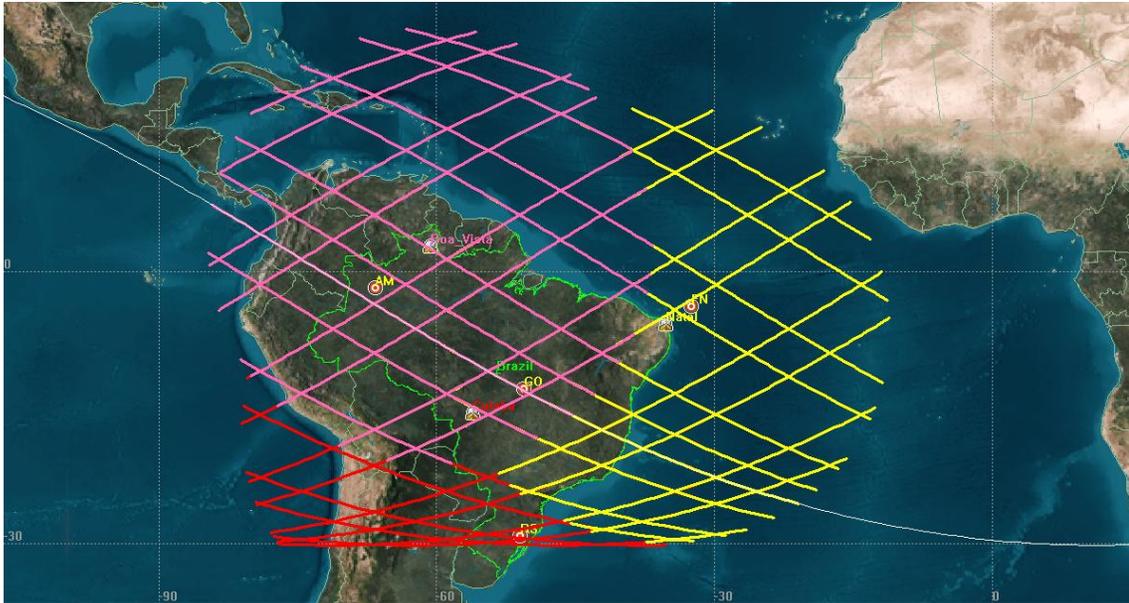


Figura 16. Áreas de cobertura das Estações de Natal/RN, Cuiabá/MT e Boa Vista/RR (600 km e 30°)

Nesta Figura 16 pode-se observar a área de cobertura da estação receptora de Natal/RN, da estação receptora de Cuiabá/MT e da estação receptora de Boa Vista/RR, tracejadas em amarelo, vermelho e rosa, respectivamente. Observa-se Também que a inserção da estação receptora de Boa Vista/RR no Sistema Brasileiro de Coleta de Dados privilegia a região Norte e Central do país.

O Quadro 5 a seguir contém os valores dos tempos máximos, mínimos, médios, acumulados e do número de passagens referentes a um ano de orbita dos nano-satélites da constelação CONASAT. Como no caso anterior, as PCDs analisadas foram: Amazonas (AM), Fernando de Noronha (FN), Goiás (GO) e Rio Grande do Sul (RS), entretanto, para estas simulações considerar-se-á a inserção da estação receptora de Boa Vista/RR, além das estações de Natal/RN e Cuiabá/MT já simuladas no primeiro caso.

	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE - CRN - Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 30 de 63

Número de Satélites	PCD	Tempo máximo de contato (minutos)	Tempo médio de contato (minutos)	Tempo máximo de revisita (minutos)	Tempo médio de revisita (minutos)	Número de contatos por ano	Tempo acumulado por ano (horas)	Número médio de contatos por dia
1	AM	12,8	9,3	508,4 (8,5 horas)	93,5	3112	482,7	8,5
	FN	13,2	9,7	511,7 (8,5 horas)	92,7	3113	503,2	8,5
	GO	13,6	11,3	616,6 (10,3 horas)	91,3	3303	622,6	9,1
	RS	13,7	11,2	827,0 (13,8 horas)	90,4	2532	473,4	6,9
4	AM	12,7	9,3	44,5 (0,74 horas)	39,5	12436	1931,3	34,1
	FN	13,2	9,7	67,7 (1,1 horas)	37,8	12459	2013,3	34,1
	GO	13,6	11,3	63,7 (1,1 horas)	18,4	13237	2498,1	36,3
	RS	13,7	11,2	92,1 (1,5 horas)	21,1	10138	1891,7	27,8
8	AM	12,8	9,3	30,7	4,0	24879	3862,9	68,2
	FN	13,3	9,7	37,6	5,1	24908	4027,6	68,2
	GO	13,6	11,3	14,7	12,4	26487	4978,4	72,6
	RS	13,7	11,2	28,3	10,9	20290	3783,4	55,6
12	AM	31,2	19,6	24,7	20,3	14962	4877,0	50,0
	FN	33,2	17,6	23,5	12,9	16865	4954,4	46,2
	GO	24,6	15,7	6,3	4,3	26526	6935,1	72,7
	RS	13,7	11,2	16,6	4,2	30412	5675,1	83,3

Quadro 5. Natal/RN, Cuiabá/MT e Boa Vista/RR (600 km, 30° e True Anomaly de 180° entre satélites)

Pode-se observar que, para o caso de uma constelação formada por doze nano-satélites obtêm-se números de contatos por ano menores que para o caso de uma constelação formada por oito nano-satélites. Isto ocorre, pois em alguns casos, antes do término do contato entre a PCD e a estação receptora com o intermédio de um nano-satélite, uma nova comunicação é estabelecida com o nano-satélite subsequente. Desta forma, o contador de número de contatos considera a comunicação com os dois nano-satélites como um único contato. Os dados que comprovam este acontecimento são os tempos acumulados por ano e os tempos máximos de contato, que como esperado são superiores para o caso da constelação formada por doze nano-satélites se comparados ao caso da constelação formada por oito nano-satélites.

Comparando este Quadro 5 com os Quadros 1, 2, 3 e 4 anteriores, pode-se observar também que a inserção da estação receptora de Boa Vista/RR melhora de forma

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 31 de 63

significativa os tempos de cobertura e revisita da região Norte do país. Para as regiões Nordeste e Central esta melhora é inferior a 2% enquanto que para a região Sul a inserção desta estação receptora é imperceptível.

Para a região Norte, a melhoria do sistema, no que se diz respeito a tempo acumulado por ano, após a inserção da estação receptora de Boa Vista/RR, foi de aproximadamente 26%. No que se diz respeito aos tempos máximos de revisita, esta melhora foi de aproximadamente 10%.

4.2.1.3 Conclusões

Esta primeira etapa do projeto da constelação CONASAT prova a aplicabilidade do projeto em termos de tempos de cobertura, tendo em vista que os tempos encontrados em simulação são largamente suficientes e capazes de cobrir as necessidades do sistema atual de coleta de dados, bem como de prover melhorias ao mesmo.

Os piores casos nacionais para os tempos máximos de revisita dos nano-satélites são:

- 14 horas e meia para um único nano-satélite;
- 1 hora e meia para uma constelação formada por quatro nano-satélites;
- 40 minutos para uma constelação formada por oito nano satélites;
- 30 minutos para uma constelação formada por doze nano satélites.

Por outro lado, os tempos médios de revisita dos satélites são:

- 1 hora e meia para um único nano-satélite;
- 30 minutos para uma constelação formada por quatro nano-satélites;
- 15 minutos para uma constelação formada por oito nano satélites;
- 10 minutos para uma constelação formada por doze nano satélites.

Com a inserção da estação receptora de Boa Vista/RR observou-se a melhoria do sistema para a região Norte, no que se diz respeito a tempo acumulado por ano, que foi

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 32 de 63

de aproximadamente 26%. No que diz respeito aos tempos máximos de revisita, esta melhora foi de aproximadamente 10%. Para as regiões Nordeste e Central esta melhora é inferior a 2% enquanto que para a região Sul a inserção desta estação receptora é imperceptível.

Outro ponto observado neste estudo foi a disponibilidade de tempo ocioso sobre outros países (África, Austrália, Nova Zelândia, entre outros) o que torna o projeto atrativo para os sistemas de coletas de dados destes países.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="center">Página: 33 de 63</p>

5. Definições iniciais do projeto

O projeto de uma constelação de satélites é considerado um projeto complexo por envolver diversos aspectos, apresentando muitas variáveis, o que aponta para uma infinidade de opções possíveis. A análise prévia dos requisitos e restrições da missão, enumerados no documento DRUM – Documento de Requisitos do Usuário e da Missão, já restringe bastante tais possibilidades. Uma subsequente análise isolada de cada uma dessas variáveis, feitas, tanto por meio de simulações, como por levantamento de dados reais, possibilita encontrar soluções que viabilizem o projeto.

A missão principal dos satélites CONASAT é receber os sinais enviados pelas Plataformas de Coleta de Dados Ambientais - PCDs, localizadas em todo o território e mar territorial brasileiro, tratá-los e reenviá-los de volta para as estações receptoras terrenas (CNS-OBM-01). Estas plataformas transmitem com potência muito reduzida, o que exige um sistema de antenas receptoras de boa eficiência nos satélites. Por outro lado, para que o sinal retransmitido para a terra possa ser recebido com a desejada qualidade, é necessário um nível de potência adequado no transmissor do transponder, o que impõe a necessidade de um determinado consumo de energia elétrica. Para o melhor cumprimento da missão, uma ênfase especial do projeto está sendo dada ao sistema de telecomunicações.

5.1 Estrutura física dos satélites

A restrição básica do projeto refere-se ao custo, que deve ser o menor possível, tanto dos satélites em si (CNS-RSM-01), quanto do processo de lançamento (CNS-RSM-04). Para isso foi adotada como premissa inicial que a constelação será constituída de nano satélites (CNS-RQM-006) que, pela classificação geral, são aqueles que possuem massa entre 1 kg e 10 kg (CNS-RQS-01), o que corresponde aproximadamente a volumes equivalentes a cubos de arestas entre 10 cm e 20 cm.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 34 de 63

O uso de nano satélites já se popularizou, a ponto de haver configurações físicas padronizadas, que possam ser colocados em órbita por meio de dispositivos ejetores (*deployers*) também padronizados e lançados como carga secundária ou mesmo terciária dos veículos lançadores, o que faz com que a oferta de oportunidades de lançamento seja maior e os custos menores (CNS-RSM-05).

O padrão inicialmente estudado foi o CubeSat, criado pela California Polytechnic State University, baseado em módulos cúbicos de arestas de 10 cm, que pode ser composto por até 3 módulos, totalizando 10x10x30 cm. No momento inicial este padrão se mostrou um pouco crítico no tocante à disponibilidade de área externa para colocação dos painéis solares que geram a energia elétrica que alimenta os subsistemas do satélite (CNS-RQS-04, CNS-RQM-016), além de espaço físico destinados às antenas. Simulações feitas com este padrão com o tamanho de 3 módulos, além da expansão de mais 2, de forma telescópica, além da inclusão das 4 abas articuladas, começa a torná-lo viável. No entanto, com o considerável aumento das dificuldades mecânicas envolvidas (Figura 17), a utilização deste padrão foi descartado.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="center">Página: 35 de 63</p>

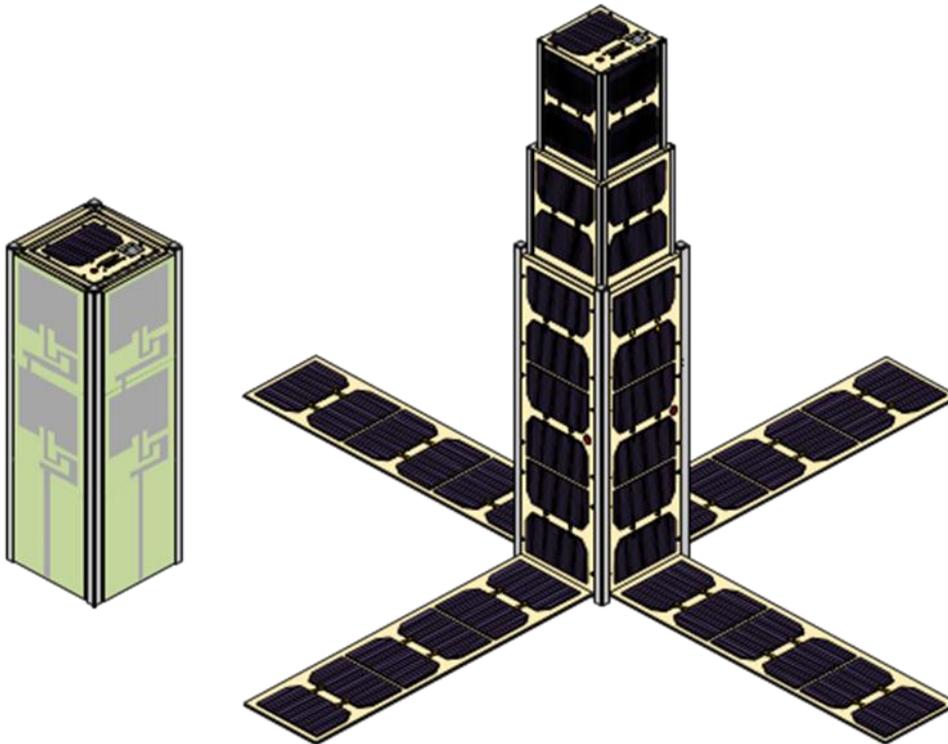


Figura 17. Configuração física inicial proposta para o CONASAT, segundo o modelo CubeSat

Uma segunda alternativa, que está se apresentando mais viável, é o padrão adotado pelo *Space Flight Laboratory* da Universidade de Toronto, também cúbico, com arestas de 20 cm e massa máxima de 10 kg, o que permite uma margem maior para contornar as limitações existentes no modelo anterior, além de apresentar menores dificuldades mecânicas (Figura 18). A utilização das 4 abas articuladas (CNS-RQM-017) oferece área suficiente para as antenas e painéis solares adicionais, permitindo assim um melhor sistema de antenas (CNS-RQS-04) e geração de energia elétrica suficiente para a expectativa de consumo do satélite (CNS-RQM-016).

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais</p> <p align="center">INPE – CRN – Natal</p>	<p>Documento: CNS-DDM-001</p>	<p>Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p>Página: 36 de 63</p>

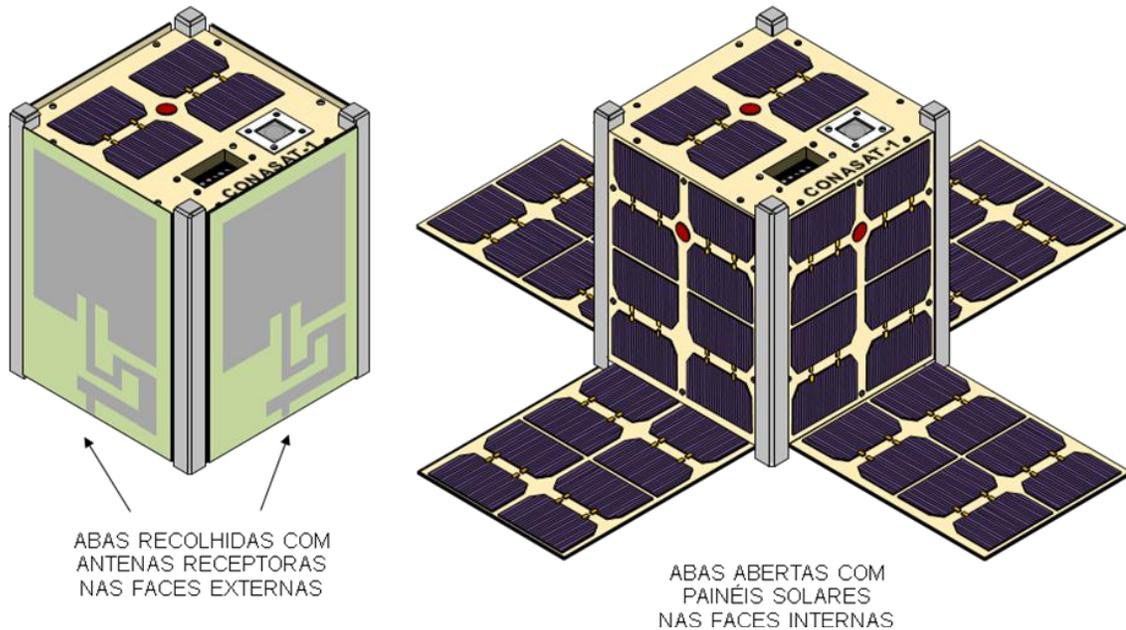


Figura 18. Configuração física proposta para o CONASAT segundo o modelo canadense.

5.2 Implementação de ênfase nas telecomunicações

Para se conseguir um desempenho maior nas telecomunicações, está sendo dado tratamento especial ao sistema de antenas, tendo sido tomadas as seguintes medidas:

- Adoção de controle de atitude que estabilize o satélite em pelo menos dois eixos (CNS-RQS-06, CNS-RQM-018), mantendo uma das faces sempre voltada para a superfície da terra (CNS-RQM-016). Nesta face se situam as antenas, que poderão assim possuir características de direcionalidade, o que aumenta seu rendimento de recepção.
- Utilização de 4 antenas receptoras direcionadas para a superfície da terra visando o aumento do ganho de recepção (CNS-RQO-04). O sinal captado por cada antena é tratado individualmente, o que facilita o processo de separação de sinais recebidos simultaneamente de mais de uma PCD.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais</p> <p align="center">INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="center">Página: 37 de 63</p>

- Adoção de 4 abas articuladas (Figura 19), que se abrem após a colocação do satélite em órbita, ficando paralelas à face voltada para a superfície da terra (CNS-RQM-017), alojando cada uma delas uma antena receptora (CNS-RQM-007). Estuda-se a aplicação de determinado ângulo a essas abas para fins de conseguir melhorias na cobertura (CNS-OBM-03). As faces opostas dessas abas serão equipadas com mais painéis solares (CNS-RQM-016). A face inferior central do satélite está reservada para as antenas transmissora de descida e de telemetria e telecomando (CNS-OBM-03).

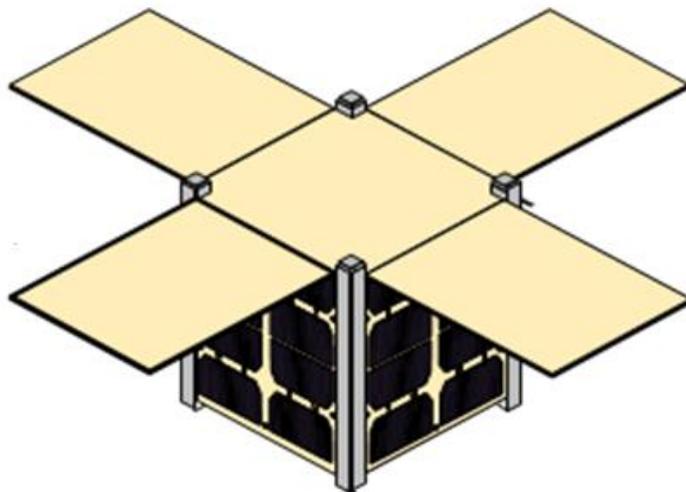


Figura 19. Abas abertas vistas do lado das faces das antenas

5.3 Tipo da órbita

Devido ao fato do Brasil se encontrar próximo da linha do equador, o tipo de órbita que propicia um maior tempo de contato com os satélites é a órbita circular equatorial inclinada (CNS-RQO-01, CNS-RQO-02, CNS-RQM-024, CNS-RQM-025). Outra vantagem da órbita circular é que ela oferece condições uniformes com relação à propagação das ondas de rádio, o que simplifica o projeto dos sistemas de telecomunicações.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 38 de 63

5.4 Altitude da órbita

Como a restrição básica de nosso projeto é o custo, as altitudes relativamente mais baixas tornam o projeto mais viável.

Foi determinado como requisito inicial que será utilizada órbita terrestre baixa (LEO - *Low Earth Orbit*), que se situa entre 400 km e 1000 km de altitude (CNS-RQO-03, CNS-RQM-026). Existem alguns fatores que norteiam esta escolha. Com relação às telecomunicações, órbitas mais baixas oferecem menores perdas de sinal. Com relação à cobertura, as mais altas apresentam melhor alcance. Com relação à ação das radiações existentes no espaço, as mais baixas oferecem menor exposição e, por conseguinte, uma maior expectativa de vida útil. Outros fatores, a seguir, serão determinantes para a escolha da altitude a ser adotada.

5.5 Mitigação dos detritos espaciais

Uma restrição importante em qualquer projeto espacial refere-se ao cumprimento do Código de Conduta Europeu, requisito SD-OP-03, parágrafo A (Detritos Espaciais - DR2), que determina que todo satélite deve ser descartado de sua órbita em um tempo máximo de 25 anos após o encerramento do seu tempo de missão (CNS-RQG-06, CNS-RQM-010). Este estudo é pertinente neste momento, pois estabelece limites para a altitude da órbita para que possa ser cumprido o descarte.

Esta retirada de orbita pode ser efetuada das seguintes formas:

- Uso de propulsores para redução da altitude, fazendo com que o satélite seja atraído pela terra e destruído pelo atrito durante o reingresso em sua atmosfera;
- Implantar uma superfície capaz de acelerar o efeito do arrasto atmosférico para que naturalmente o satélite seja reintroduzido na atmosfera terrestre.
- Adotar uma altitude da órbita tal que, naturalmente, apenas pela ação do arrasto, ocorra a gradativa redução de velocidade do satélite ao longo do tempo, fazendo sua altitude diminuir até um limite em que a gravidade da terra provoca sua queda e destruição pelo atrito com a atmosfera.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 39 de 63

Levando-se em consideração que os satélites da constelação CONASAT não devem apresentar mecanismos de propulsão (CNS-RQS-02), tanto por razões econômicas, quanto por imposições de segurança dos veículos lançadores para as suas cargas secundárias, a primeira opção não pode ser considerada. A segunda é difícil de ser implementada, pois exige mecanismos de abertura de superfícies para acelerar o efeito do arrasto atmosférico. Desta forma, a terceira opção é a mais viável para o projeto (CNS-RSM-05, CNS-RQM-010).

Os cálculos de decaimento são feitos pelo programa DAS (Debris Assessment Software) disponibilizado pela NASA. O dado básico para o cálculo é a relação área-massa do satélite, que toma como base a área média de arrasto, dependente do formato deste. Para o projeto CONASAT, partindo-se da premissa de ser adotado o formato cúbico com arestas de 20 cm, temos a área média de arrasto de 0,06 m². O incremento de área devido à inclusão das 4 abas articuladas não altera a área média de arrasto, devido ao seu posicionamento, sempre paralelo à superfície da terra, com relação ao deslocamento do satélite. Outro dado importante é o calendário de lançamento do satélite com relação ao ciclo de atividade solar.

O cálculo do decaimento fornece como resultado final um gráfico com as curvas de decaimento de altitude ao longo do tempo, de onde podemos definir um valor máximo de altitude a ser adotado para a órbita.

Tomando-se como base um nano satélite cúbico com 20 cm de arestas, fizemos simulações para os valores de massa de 5 kg e 10 kg (limite máximo) em órbitas acima de 500 km de altitude, supondo o lançamento no ano de 2016, obtendo as curvas do Figura 20. Simulações feitas com variação do ano de lançamento em dois anos a mais ou a menos não apresentaram diferenças significativas. A altitude máxima obtida capaz de garantir que o satélite com massa no valor limite de 10 kg seja descartado dentro de 25 anos, é de 600 km. Assim, a análise se resumiu a esta faixa entre 500 km e 600 km de altitude.

 CONASAT <small>CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES AMBIENTAIS</small>	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais</p> <p align="center">INPE – CRN – Natal</p>	<p>Documento: CNS-DDM-001</p>	<p>Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p>Página: 40 de 63</p>

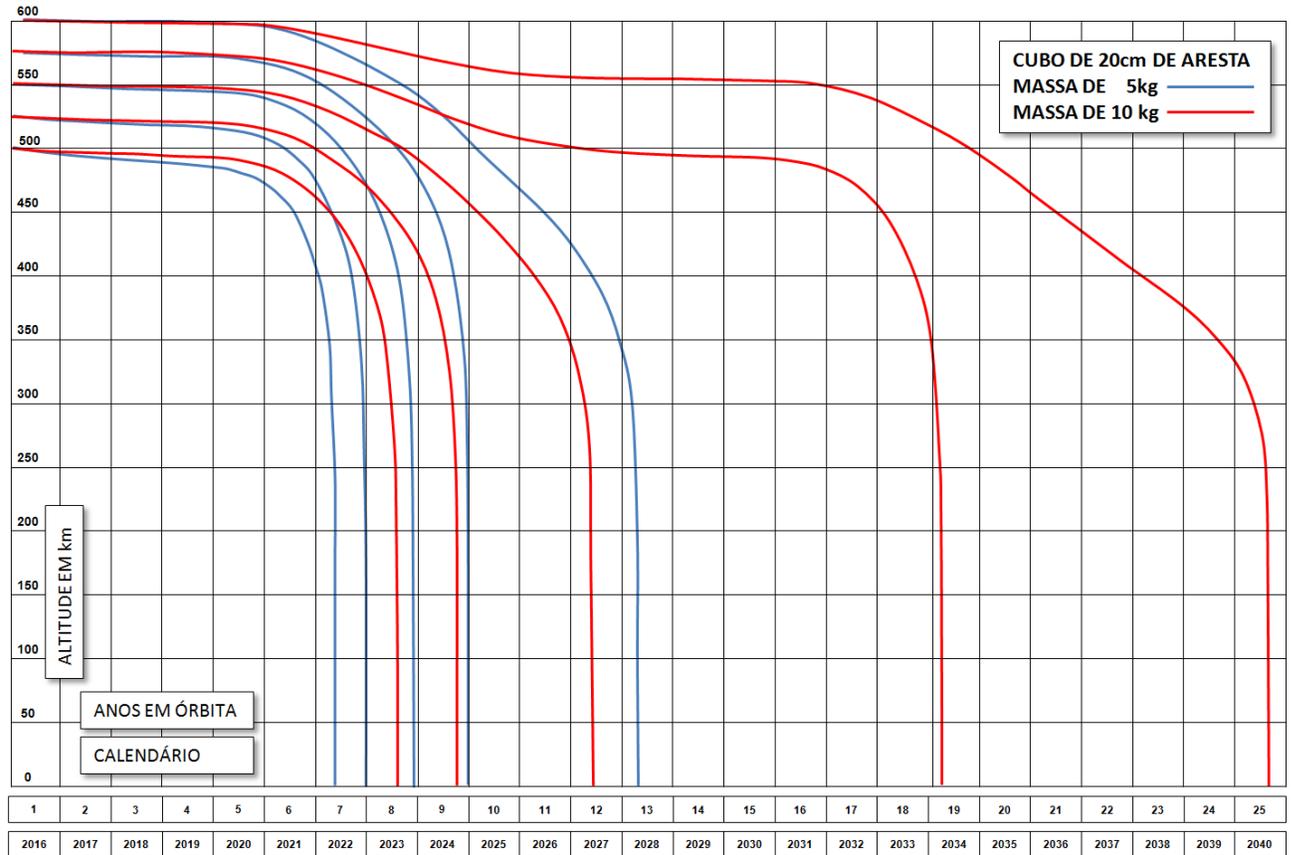


Figura 20. Alcances do satélite na altitude de 600 km

Lembrando que o tempo de missão mínimo é de 6 meses (CNS-RQG-04, CNS-RQM-009), podemos observar, no caso extremo de satélite com massa de 5 kg a 500 km de altitude, uma garantia de órbita de 5 anos, o que representa uma boa sobrevivência. No outro extremo, com massa de 10 kg a 600 km de altitude, este tempo aumenta para 17 anos, com a garantia do descarte dentro de 25 anos a contar do lançamento, mesmo que sua vida útil venha a ser curta.

Considerando-se que é altamente desejável uma maior vida útil dos satélites, torna-se interessante a adoção da maior altitude (600 km) e maior massa (10 kg). A maior massa nos deixa com folga para a adoção de tecnologias não tão compactas e, consequentemente, de menor custo (CNS-RSM-01).

 CONASAT CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES AMBIENTAIS	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 41 de 63

5.6 Alcance dos satélites

Um requisito importante no projeto é garantir uma cobertura de todo o território nacional, com a inclusão de todo o mar territorial (CNS-RQM-030). As Figuras 21 e 22 mostram algumas amostras de alcances para satélites a altitudes de 500 km e 600 km.

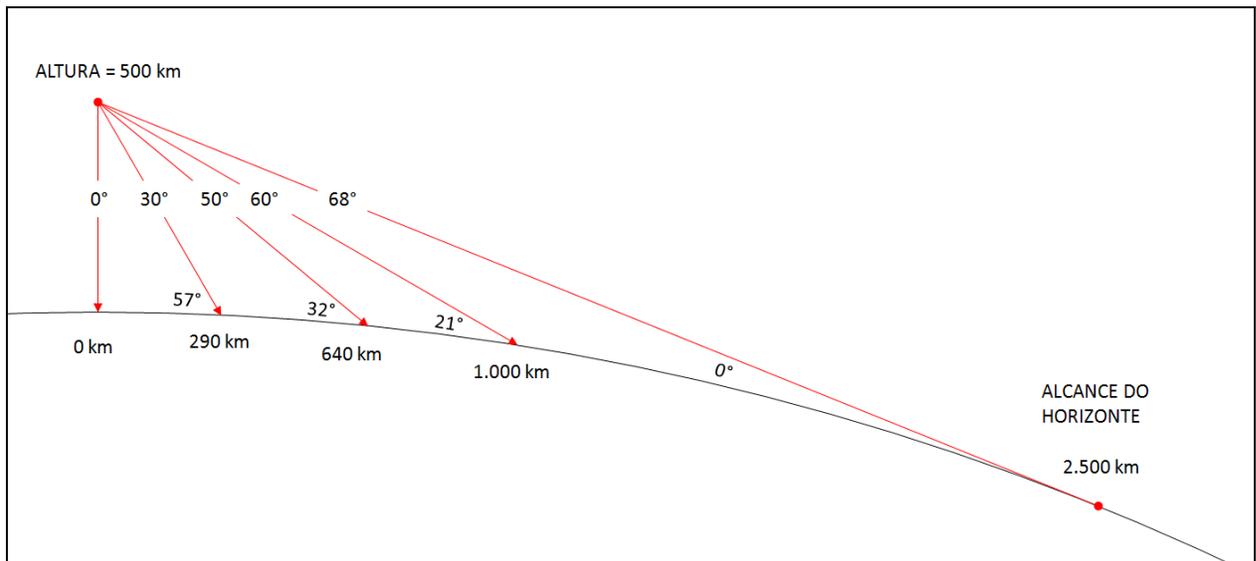


Figura 21. Alcances do satélite na altitude de 500 km

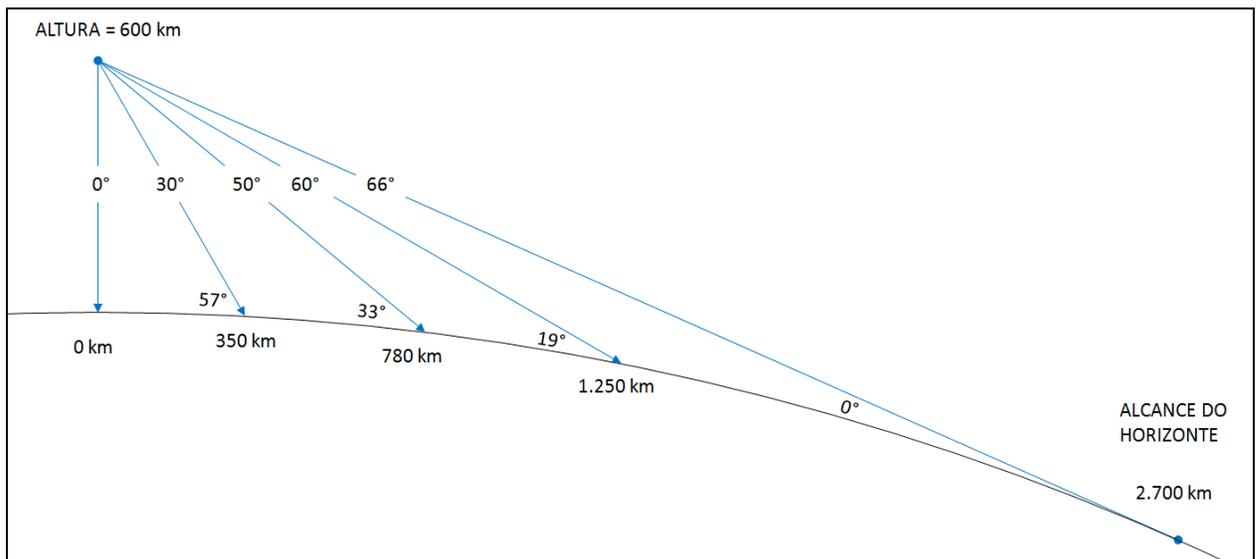


Figura 22. Alcances do satélite na altitude de 600 km

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 42 de 63

Podemos observar que a altitude de órbita de 600 km oferece um maior alcance do que a de 500 km, sendo este mais um fator que aponta para a sua adoção (CNS-OBM-03).

5.7 Cobertura mínima entre os satélites e as Plataformas de Coleta de Dados

As PCDs estão localizadas em todo o território nacional, além de embarcações e bóias no Oceano Atlântico. Em sua grande maioria, estas plataformas atualizam seus dados coletados a cada 3 horas. Em sua versão padrão, somente possuem link de subida e, não tendo como detectar as passagens dos satélites, transmitem seus dados repetidas vezes, em média a cada 200 segundos, até nova atualização. Como não detectam a posição no espaço onde esteja presente o satélite, sua transmissão é omnidirecional. Estes dois fatores fazem com que a potência transmitida seja limitada, o que impõe que os satélites devam ter um sistema de antenas receptoras eficientes.

Para a faixa de altitudes que os satélites irão operar, entre 500 km e 600 km, ocorrem aproximadamente 14 passagens por dia, das quais 8 são visíveis pelas Estações Receptoras Terrestres, ficando o tempo restante, equivalente às outras 6 passagens (aproximadamente 10 horas) totalmente sem visibilidade. Cada passagem ocorre em média a cada 1 hora e 41 minutos para a altitude de 500 km e 1 hora e 43 minutos para a altitude de 600 km.

A Figura 23 mostra uma simulação feita para uma órbita típica circular a uma altitudes de 500 km e 600 km, mostrando as 8 passagens visíveis consecutivas do satélite sobre o território brasileiro.

 CONASAT CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES AMBIENTAIS	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 43 de 63



Figura 23. Curvas de passagens típicas do satélite

Para que todo o território nacional seja contemplado por passagens sucessivas do satélite é necessário que as antenas receptoras do satélite tenham um raio de cobertura mínimo de 700 km, que corresponde à metade da distância máxima entre duas passagens consecutivas. Para se conseguir este raio de cobertura, o ângulo da abertura da antena receptora com relação à perpendicular à superfície da terra deve estar situada em torno de 50°.

5.8 Repassagens dos satélites

Das 14 voltas diárias de cada satélite, apenas 8 são visíveis pelas Estações Receptoras Terrestres. As próximas 8 passagens do dia seguinte ocorrem aproximadamente 25 minutos antes dos horários do dia anterior, para a altitude de 500 km. Para a altitude de 600 km ocorrem 9 minutos depois.

Um aspecto interessante é a comparação da trajetória das passagens de um dia com relação ao dia anterior. Na Figura 24 vemos a comparação entre as repassadas para as altitudes de 500 km e 600 km.

 CONASAT <small>CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES AMBIENTAIS</small>	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 44 de 63



Figura 24. Comparação entre as repassadas para altitudes de 500 km e 600 km

Nota-se que para a altitude de 500 km as passagens se dão muito próximas às do dia anterior (distância geográfica máxima de 77 km, na região norte). Desta forma, existe um intervalo de tempo muito grande para que seja visitada toda a região intermediária entre duas passagens consecutivas do satélite, distantes 1.400km entre si. Um mesmo local só é revisitado aproximadamente a cada 18 dias.

Para a altitude de 600 km, essas repassadas são muito mais espaçadas (máximo de 520 km, na região norte), o que propicia revisitas a intervalos menores de tempo (CNS-RQG-05, CNS-RQM-019).

Apesar das antenas terem um raio de alcance mínimo de 700 km, cobrindo toda a área intermediária entre duas passagens consecutivas do satélite, a possibilidade de ocorrência de erros de recepção é maior para maiores distâncias. Assim sendo, deve-se evitar que as repassadas sejam muito próximas, o que iria privilegiar certas áreas em detrimento de outras. As simulações feitas indicaram a altitude crítica de 483 km, onde as repassadas são sempre sobre as mesmas regiões. Deve-se adotar, portanto, uma altitude de órbita bem acima deste valor para se afastar desta altitude crítica, de modo

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais</p> <p align="center">INPE – CRN – Natal</p>	<p>Documento: CNS-DDM-001</p>	<p>Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p>Página: 45 de 63</p>

que durante a sua vida útil esta não seja alcançada pelo processo natural de perda de altitude pelo decaimento. Esta é mais uma razão para se optar pela altitude de 600 km.

5.9 Ângulo de inclinação do plano orbital

A escolha do ângulo de inclinação do plano orbital com relação ao equador deve ser tal que contemple um maior tempo de passagem e cobertura de todo o território brasileiro. A Figura 25 mostra simulações para os ângulos de 25° e 30°, que são mais indicados para nosso país.

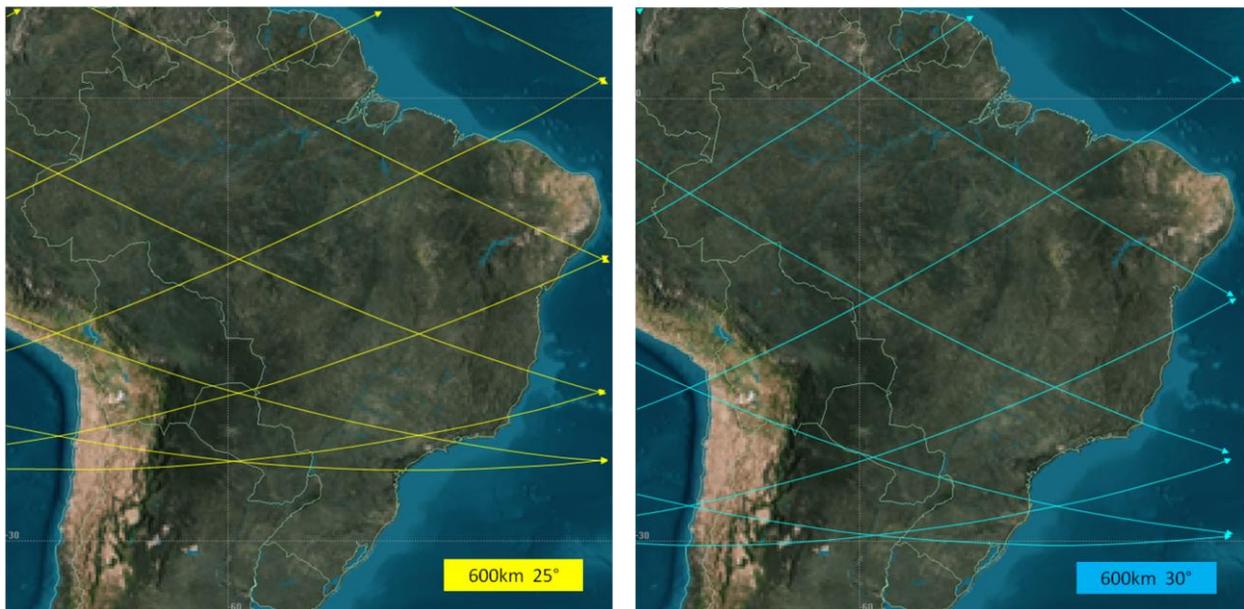


Figura 25. Comparação entre ângulos de inclinação do plano orbital

Valores menores que 25° contemplam menos o sul do país, mas este fato é bem compensado pela cobertura das antenas receptoras dos satélites. Valores maiores que 30° aumentam a cobertura da América do Sul, apesar de aumentar em pouco a distância entre passagens sucessivas dos satélites. Por oferecer melhores resultados na análise de cobertura feita pelo software STK, foi adotado o ângulo de 30° para o projeto CONASAT.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 46 de 63

5.10 Análise de cobertura baseado em dados reais

Para fins de validação dos dados obtidos nas simulações feitas com o software STK, com relação à cobertura do sistema, foi feita uma análise baseada em dados reais do sistema hoje em operação.

O SINDA - Sistema Nacional de Dados Ambientais utiliza os satélites SCD-1 e SCD-2, de órbitas circulares inclinadas de 25°, planos orbitais defasados de 180° e altitude média de 750 km. A recepção é feita pelas estações terrenas de Cuiabá-MT e Alcântara/MA.

Para esta análise foram utilizados os arquivos de produção que as estações recebem a cada passagem de satélite, e após um tratamento, enviam para o Centro da Missão de Coleta de Dados em Natal-RN. Estes arquivos possuem uma codificação específica que exige algumas etapas de conversão para ser possível identificar os dados enviados pelas PCDs. Para a análise em questão, interessou apenas o número de identificação da PCD, a data e o horário.

De posse desses dados foram plotados no software STK as coordenadas das PCDs identificadas a cada passagem do satélite, além do traçado da órbita do satélite obtida a partir da base de dados de rastreamento.

A Figura 26 mostra exemplos de duas passagens do satélite SCD-2 no dia 29/04/2011 referentes aos horários médios de 16h00min e 20h00min, onde se destaca:

- marcas azuis - coordenadas geográficas das PCDs recebidas pelo satélite
- linha vermelha - trajetória do satélite obtida da base de dados de rastreamento
- linha verde - limite máximo em que o satélite recebeu sinais de PCDs
- linha preta tracejada - alcance máximo de visibilidade do satélite

 CONASAT <small>CONSTELAÇÃO DE NANO SATÉLITES AMBIENTAIS</small>	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão	Página: 47 de 63	

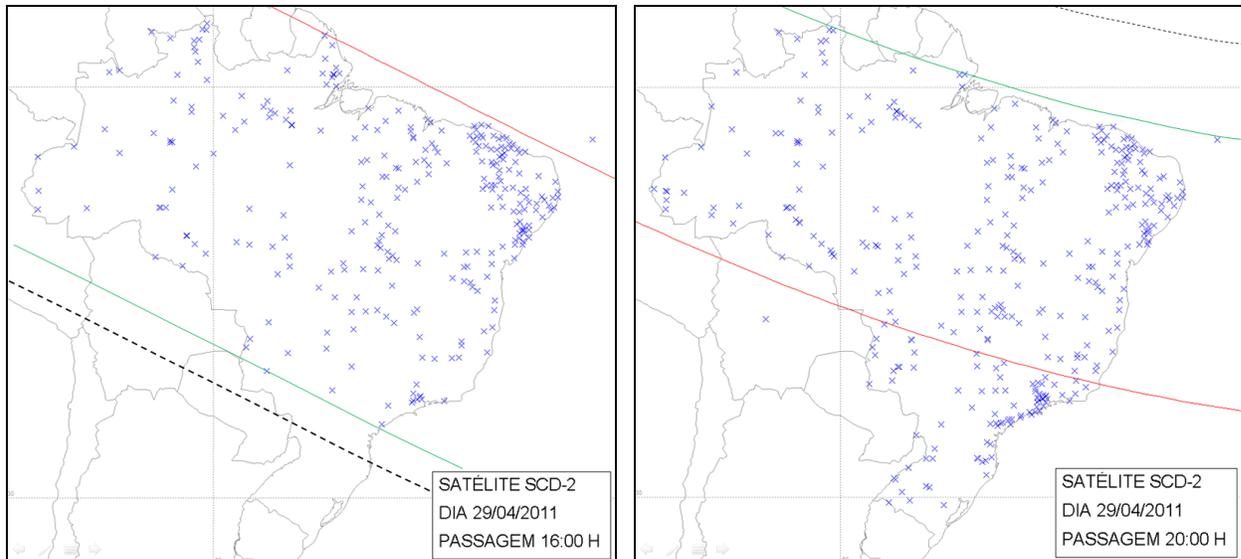


Figura 26. Dados reais recebidos pelo satélite SCD-2 em 2 passagens

Os resultados obtidos desta pesquisa foram surpreendentes, pela constatação do alcance de recepção dos atuais satélites. Pode-se observar nas duas passagens exemplificadas a grande cobertura, alcançando as marcas de 2.660 km e 2.360 km em cada uma das passagens, para alcances máximos de visibilidade de 2.913 km e 2.704 km respectivamente.

Na concepção dos satélites SCD1 e SCD2, foi adotado o sistema de estabilização de atitude por rotação, onde o eixo de rotação tende a manter uma orientação inercial, apontando para um ponto fixo no espaço, fazendo com que o ângulo entre esse eixo e a superfície da terra varie bastante durante cada passagem. São utilizadas duas antenas, uma em cada base do satélite, para se conseguir a cobertura total de 360°, o que não é a situação ideal em termos de eficiência de recepção. ("Os satélites SCD1 e SCD2 da Missão Espacial Completa Brasileira", Valcir Orlando e Hélio Koiti Kuga)

Isto gera um grande otimismo, pelo fato de que o projeto CONASAT adotará estabilização de atitude em, pelo menos 2 eixos, fazendo com que as antenas permaneçam sempre apontadas para a superfície da terra, privilegiando a recepção e

	Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 48 de 63

retransmissão de sinais. Se a cobertura dos satélites atuais já é muito boa, melhor será no novo projeto.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="center">Página: 49 de 63</p>

6. Operação da missão

6.1 Fases da missão

Nesta seção as fases da missão são descritas. São as seguintes as fases ao longo do ciclo da missão:

- Fase de montagem, integração e teste
- Fase de preparação para o lançamento
- Fase de pré-lançamento
- Fase de lançamento e colocação em órbita
- Fase de validação
- Fase de operação
- Fase de descarte

Na fase de montagem, integração e teste são testados todos os sistemas do satélite em laboratório, além de serem feitos os preparos no segmento terrestre para receber a missão.

Na fase de preparação para o lançamento são feitos todos os testes finais de aceitação, o transporte do satélite para o local de lançamento e uma demonstração de todo o procedimento de operação do segmento terrestre. Nesta fase o pessoal de operação deve ser instruído e treinado para a nova missão.

Na fase de pré-lançamento o satélite é lavado até o dispositivo de lançamento do veículo lançador, sendo submetido a todos os procedimentos exigidos pelas rotinas de lançamento, onde são feitos os testes finais e integração com o lançador.

Na fase de lançamento e colocação em órbita ocorre o lançamento, a separação entre o satélite e o lançador (ejeção), a inicialização dos sistemas a bordo do satélite para entrada em operação.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 50 de 63

Durante a fase de validação o satélite faz o primeiro contato com o segmento terrestre, incluindo a primeira transmissão de telemetria e recepção dos primeiros telecomandos. Nesta fase todos os subsistemas e dispositivos são testados e é iniciada a operação do sistema de controle de atitude para a estabilização do satélite. No segmento terrestre é verificado a operacionalidade do satélite, assim como é feita a validação dos dados recebidos, por parte de usuários do sistema. Após estas confirmações o satélite passa para a fase de operação.

A fase operacional se caracteriza pelo funcionamento rotineiro das cargas embarcadas no satélite, durante um tempo calculado no projeto como a vida útil da missão. Neste projeto a carga é apenas o transponder para o serviço de coleta de dados ambientais e o tempo mínimo de missão foi calculada para 6 meses para cada satélite da constelação. Se as condições de cada satélite superarem as expectativas, esta fase pode ser estendida por tempo maior.

A fase de descarte foi dimensionada para o decaimento natural do satélite dentro do limite de 25 anos exigida pelo código de conduta vigente, sendo garantido que neste limite cada satélite da constelação reingressará na atmosfera terrestre e será consumido totalmente pelo atrito resultante da altíssima velocidade. Como os satélites não possuem propulsão, esta fase não poderá ser antecipada.

6.2 Modos de operação

Esta seção define de uma forma básica os modos operacionais dos satélites CONASAT. Um maior detalhamento desses modos será feito em fase posterior do projeto.

6.2.1 Modo de lançamento

É exigência dos provedores de lançamento que toda a alimentação de energia dos subsistemas do satélite esteja desligada durante a fase de lançamento. O satélite

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 51 de 63

seguirá o padrão que determina que todo nano-satélite seja dotado de um sistema de chave mecânica como, por exemplo, um micro-switch, que provoca o ligamento automático da energia no momento em que ele é ejetado pelo lançador para ser colocado em órbita. No aspecto estrutural, qualquer apêndice externo ao satélite deve permanecer recolhido e travado em posição que respeite os limites definidos pelo veículo lançador.

6.2.2 Modo de inicialização

Após a ejeção o satélite passa para o modo de inicialização, quando o computador de bordo é energizado, inicializado e testado. Durante o modo de inicialização o controle de atitude e a carga (transponder) não são ainda ativados. Quando todas as rotinas são cumpridas, o satélite passa automaticamente para o modo de alinhamento.

6.2.3 Modo de alinhamento

No modo de alinhamento o subsistema de controle de atitude é colocado em operação para que o satélite tenha seu movimento estabilizado e seja colocado nas orientações corretas, segundo o sistema de coordenadas pré-definido. Durante o modo de alinhamento a carga (transponder) ainda não é ativada.

6.2.4 Modo de operação

O modo de operação representa o modo principal em que o satélite operará durante o maior tempo de sua vida útil. Neste modo a carga (transponder) é ativada, passando a funcionar em caráter rotineiro. A partir deste instante o satélite passa a receber as transmissões das plataformas em terra e retransmiti-las para as estações receptoras terrestres.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="center">Página: 52 de 63</p>

6.2.5 Modo de segurança

No caso de ser detectado um problema no funcionamento de algum subsistema do satélite, este entra automaticamente no modo de segurança, no qual as funções essenciais são mantidas em operação de uma forma reduzida, procurando manter um nível de funcionamento aceitável, enquanto é ativado o modo de auto-teste, que busca soluções para contornar o problema. Quando o problema for sanado ou, ao menos, contornado, pode ser restaurado o modo de operação da carga.

Quando o satélite entra no modo de segurança, é ativada a rotina de auto-teste, onde são efetuados testes nos diversos subsistemas, procurando detectar a origem do problema que originou esta situação. Depois de detectado o problema, são tomadas decisões para contorná-lo, podendo ser feitas alterações na configuração do sistema, como por exemplo, racionamento de energia elétrica.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 53 de 63

7. Especificação preliminar dos requisitos técnicos

7.1 Arquitetura da missão

A arquitetura do sistema será tal que aproveitará ao máximo a estrutura terrestre atualmente existente (CNS-RSM-03), ficando constituída de:

- Rede de PCDs atualmente integrantes do SBCD, que operam nos padrões ARGOS 2 e 3, instaladas em todo o território brasileiro, em embarcações, bóias fixas e móveis, situadas ao longo do mar territorial brasileiro, transmissores afixados em animais para aplicações de monitoramento e rastreo (CNS-RQG-11). Serão atendidas outras aplicações ainda em implantação, como a localização de barcos pesqueiros (CNS-RQG-12), além de estar prevista a operação em sistemas bidirecionais (CNS-RQG-03).
- Segmento espacial, composto pela constelação de nano satélites CONASAT, tendo como carga útil um transponder para retransmissão dos sinais recebidos das PCDs
- Segmento terrestre, utilizando as estações receptoras terrestres atualmente existentes em Cuiabá/MT e Natal/RN (CNS-RQM-012) e, possivelmente, inclusão de uma nova em Boa Vista/RR que se encontra em estudo.
- Centro da missão de coleta de dados ambientais, situado em Natal/RN (CNS-RQM-011), onde os dados recebidos por todas as estações receptoras terrestres são concentrados, processados e armazenados, sendo disponibilizados para os usuários do sistema.
- Estações de rastreo de satélites, localizadas em Cuiabá/MT e Alcântara/MA, equipadas para acompanhar o posicionamento dos satélites, receber os dados de telemetria por estes enviados e enviar sinais de telecomando.
- Centro de controle de satélites, localizado em São José dos Campos/SP, que centraliza as ações das estações de rastreo, oferecendo a logística de telemetria

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais</p> <p align="center">INPE – CRN – Natal</p>	<p>Documento: CNS-DDM-001</p>	<p>Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p>Página: 54 de 63</p>

e telecomando requerido para o perfeito cumprimento de cada uma das missões espaciais.

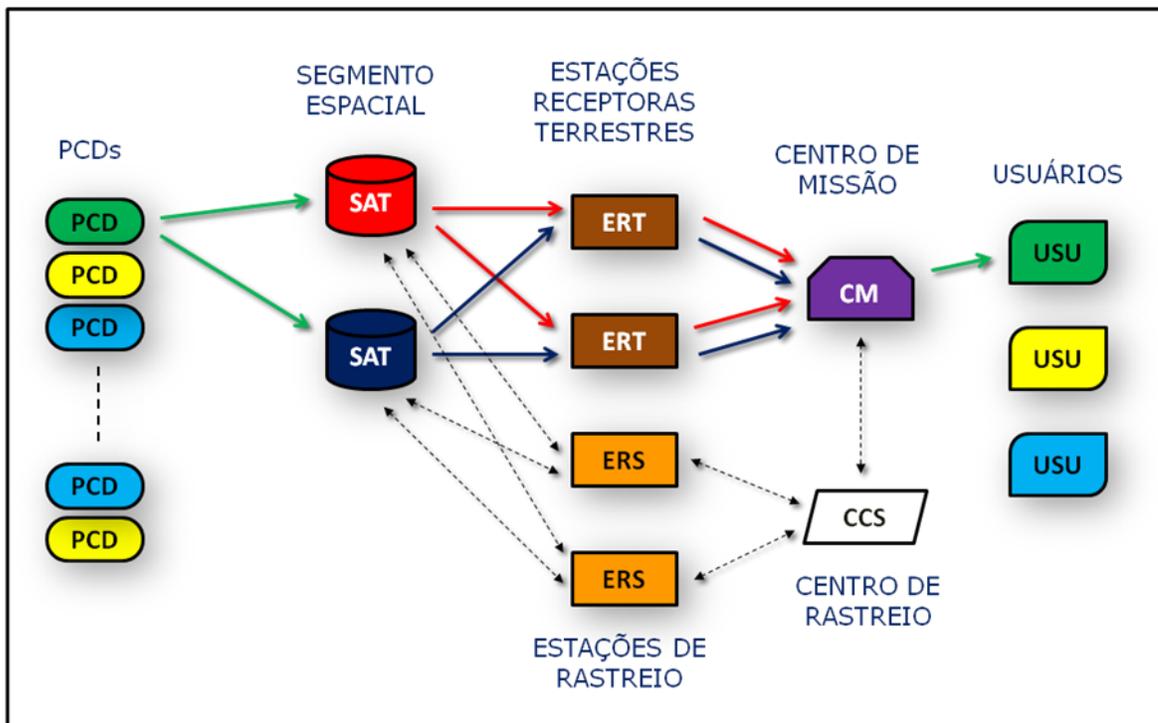


Figura 27. Arquitetura geral da Missão CONASAT

7.2 Segmento espacial

O Projeto CONASAT contempla inicialmente a operação simultânea mínima de dois satélites, com parâmetros orbitais de modo a fornecer uma cobertura suficiente para atender à demanda atual do SBCD.

Considerando como premissas básicas do projeto o baixo custo dos satélites (CNS-RSM-01), a fabricação em série (CNS-OBM-07), a vida útil curta (CNS-RQG-04) e o baixo custo de lançamento (CNS-RSM-05), haverá grande oportunidade da existência de quantidade maior de satélites em operação simultânea, o que dará um ganho ao sistema em termos de tempos de revisita (CNS-RQG-05, CNS-RQM-019).

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="center">Página: 55 de 63</p>

7.2.1 Plataforma do satélite

Os satélites são compostos por subsistemas encarregados de prover funções específicas para o seu funcionamento. O controle da carga útil (*payload*) deve ser totalmente independente dos demais subsistemas, de modo a aumentar a confiabilidade.

Considerando-se que a vida útil mínima desejada para a missão é relativamente curta, e que o projeto deve ter baixo custo, uma das restrições adotadas pela missão refere-se aos componentes eletrônicos, que representam um dos itens de mais alto custo. Foi decidido pelo uso de componentes eletrônicos comuns não qualificados (componentes COTS - *commercial off-the-shelf*), que apresentam custos muito inferior e mais sujeitos a falhas (CNS-RSM-02, CNS-RQM-003).

Outro fator de redução de custos é a construção máxima possível no país das partes componentes dos satélites, o que vem a fomentar a pesquisa e a indústria nacionais (CNS-RQM-004).

O maior custo do projeto é representado pelo lançamento dos satélites. Este item será minimizado, procurando se priorizar a adoção de veículos lançadores nacionais (CNS-RQG-10 , CNS-RQM-013).

7.2.1.1 Subsistema estrutural

Um fator importante para reduzir os custos do projeto é a adoção de um padrão único para a constelação, trazendo simplicidade e possibilitando viabilizar o processo industrial de fabricação (CNS-RQS-05, CNS-RQM-029).

Os estudos preliminares apontaram como alternativa mais viável, o padrão físico adotado pelo Space Flight Laboratory da Universidade de Toronto, baseado em um estrutura cúbica com arestas de 20 cm e massa máxima de 10 kg, com inclusão de 4 abas articuladas. Uma das razões que norteiam esta escolha é a maior disponibilidade

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="center">Página: 56 de 63</p>

de área externa para colocação dos painéis de geração de energia elétrica e das antenas. Outra razão é o maior limite de massa disponível, o que deixa uma maior margem para utilização de componentes e blindagens protetoras.

A outra alternativa, adotando o padrão CubeSat, da California Polytechnic State University, fica descartada pelas dificuldades e limitações apresentadas.

A Figura 28 mostra a estrutura básica adotada. A sustentação é composta por um esqueleto de perfil metálico de formato externo cúbico com 20 cm de arestas. Quatro de suas arestas paralelas ultrapassam um pouco os limites do cubo e são os trilhos que apóiam o satélite no interior do dispositivo de ejeção do veículo lançador e que deslizam durante a fase de liberação. São vistas também as 4 abas articuladas que são posicionadas somente após a colocação em órbita. A figura 29 mostra um modelo comum de ejetor (*deployer*).

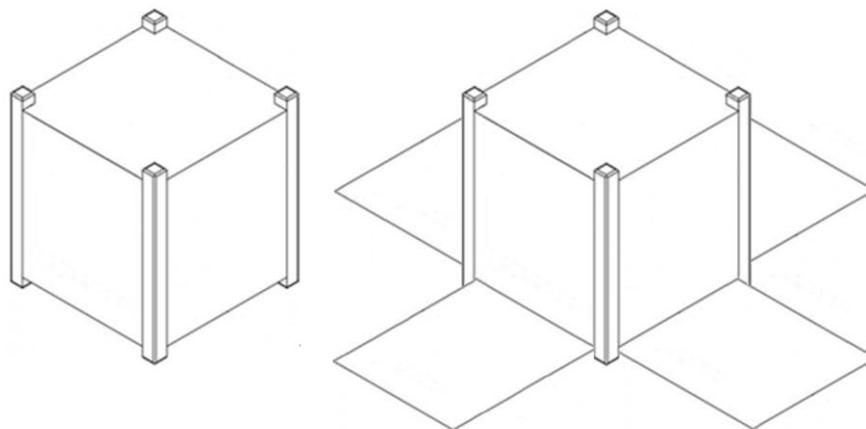


Figura 28. Estrutura básica dos satélites

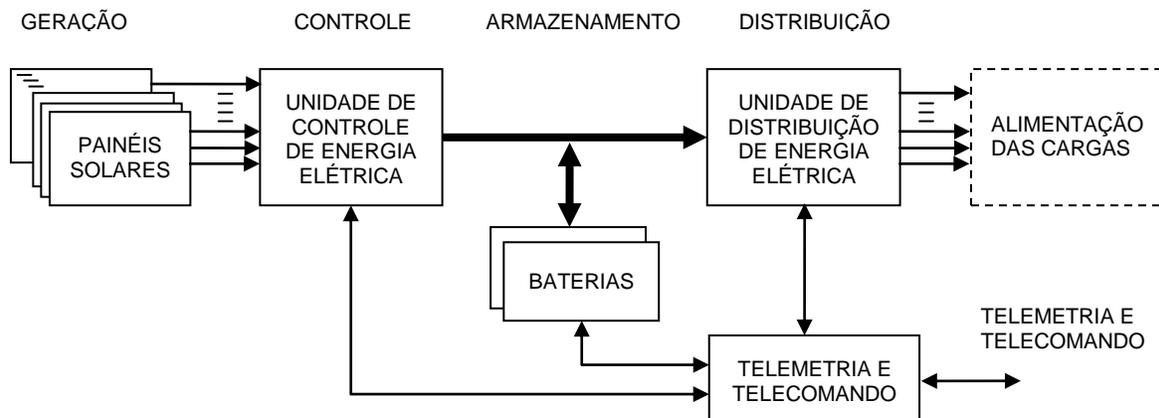
	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais</p> <p align="center">INPE – CRN – Natal</p>	<p>Documento: CNS-DDM-001</p>	<p>Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p>Página: 57 de 63</p>



Figura 29. Modelo padrão de dispositivo ejetor XPOD

7.2.1.2 Subsistema de fornecimento de energia elétrica

A função básica deste subsistema é gerar, controlar, armazenar e distribuir a energia elétrica utilizada por todos os subsistemas do satélite. É composta por 4 blocos principais, cabendo a cada um cumprir uma dessas funções. O diagrama em blocos é mostrado na figura 31.



	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 58 de 63

Figura 30. Diagrama em blocos do subsistema de energia elétrica

A energia elétrica necessária para alimentar as cargas do CONASAT (CNS-RQM-028) será gerada por painéis solares de Gálio-Arsênio colocadas nas 4 faces laterais de sua estrutura, na face voltada contra a superfície da terra e nas 4 abas articuladas voltadas para o mesmo sentido.

A figura 32 ilustra a simulação da geração de energia elétrica feita no software STK, considerando que cada face que contém painéis solares apresenta 80% de ocupação e que a eficiência energética da conversão e do armazenamento de energia elétrica é de 90% (valores referenciados em sistemas energéticos espaciais da empresa *Clyde Space*).

Em azul são mostrados os valores instantâneos da geração do conjunto de painéis solares colocados em 9 das 14 superfícies do satélite. Pode-se notar os ciclos de geração provocado pela posição do satélite com relação ao sol ao longo de sua trajetória na órbita e de eclipse provocado pela sombra ocasionada pela terra. A curva em vermelho é referente a média de geração energética ao longo do tempo e apresentou valor de 10,5 Watts. Este valor foi obtido em um estudo inicial, e está propenso a mudanças ao longo do projeto.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	<p>Documento: CNS-DDM-001</p>	<p>Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p>Página: 59 de 63</p>

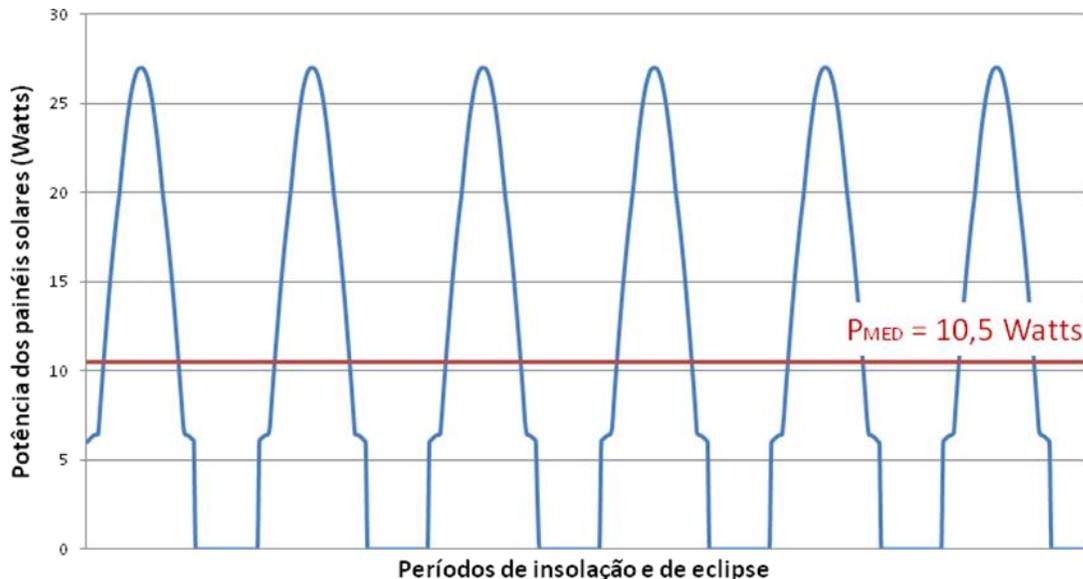


Figura 31. Potência elétrica gerada pelos painéis solares

Para a próxima fase do projeto (fase A) o estudo do subsistema de fornecimento de energia elétrica será aprofundado. Serão efetuados estudos referentes aos painéis solares, a conversão, ao armazenamento e a distribuição elétrica do satélite.

7.2.1.3 Subsistema de detecção e controle de atitude

Como premissa básica do projeto, a estabilização dos satélites deverá fazer com que as faces que contêm as antenas esteja sempre voltada para a superfície da terra (CNS-RQM-016). Para isso o sistema de controle de atitude deve prover estabilização em apenas dois eixos (CNS-RQS-06).

Está prevista em etapa posterior a evolução do projeto visando a implementação de link de comunicação entre satélites (CNS-RQM-008), com o objetivo de expandir a cobertura da constelação (CNS-OBM-03). Isso irá criar a necessidade da inclusão de sistema adicional de antenas em faces laterais dos satélites e exigência adicional de estabilização de mais um eixo, para que dois satélites que estejam em comunicação entre si, se posicionem de modo que suas antenas se enxerguem.

Inicialmente, a pesquisa no que se diz respeito ao hardware dedicado ao controle de

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 60 de 63

atitude aponta para o uso de sensoriamento baseado em magnetômetros e/ou sensores solares, enquanto os atuadores serão baseados em rodas de reação ou *magnetorquers*. Nota-se que estes são estudos iniciais e podem sofrer alterações ao decorrer do projeto.

7.2.1.4 Subsistema de telemetria e telecomando

É condição essencial para a missão o uso de sistema de telemetria e telecomando (CNS-RQS-07, CNS-RQM-022). Por meio da telemetria se tem conhecimento do comportamento dos sistemas internos do satélite ao longo de sua vida útil (CNS-RQG-07, CNS-RQM-020), tornando possível por outro lado, pelo uso de telecomandos, efetuar ações corretivas e emergenciais para alterar condições de operação. Por se tratar de um projeto de constelação, em que os satélites serão lançados a intervalos entre si, é interessante se ter o máximo de informações sobre o funcionamento dos mesmos, para que alterações que se fizerem necessárias possam ser incluídas nos próximos satélites a serem lançados.

É requisito inicial do projeto que o transponder deva operar apenas enquanto o satélite esteja dentro da faixa de alcance das PCDs e das estações receptoras terrenas. Para isso, este terá a função de ser ligado e desligado através de telecomando (CNS-RQG-08, CNS-RQM-021).

Por meio de telemetria e previsão de posicionamento dos satélites dentro da órbita, é feita uma previsão de passagens para um universo de tempo de, por exemplo, uma semana, que são armazenados a bordo. Desta forma, mesmo haja falha temporária no recebimento de telecomando, o computador de bordo poderá comandar os eventos do transponder, executando o agendamento previamente armazenado, garantindo sua operação durante as passagens dos satélites (CNS-RQG-09, CNS-RQM-023).

A princípio, o hardware a ser utilizado deverá operar na faixa de banda-S, compatível com os sistemas atualmente adotados pelas estações de rastreamento e telecomando (CNS-RSM-03).

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="center">Página: 61 de 63</p>

7.2.1.5 Subsistema de controle de bordo

As funções básicas rotineiras realizadas pelo satélite são controladas pelo computador de bordo, que prevê, entre outras, o procedimento de controle de atitude, realização de auto-testes, gerenciamento da operação do transponder, além de controle dos dados de telemetria e telecomando.

7.2.1.6 Subsistema de controle térmico

Por questões de limitação de custo e simplicidade do projeto, o controle térmico do satélite será passivo (CNS-RQS-03, CNS-RQM-027). Desta forma o subsistema de controle térmico limita-se a uma constituição estrutural que permita que o satélite opere dentro de uma faixa de temperatura, que é basicamente imposta pelos limites de operação componentes eletrônicos utilizados nos subsistemas do satélite, e será estudada com mais profundidade nas próximas fases do projeto.

7.2.1.7 Carga útil

Como a missão principal dos satélites da constelação CONASAT é a retransmissão de sinais do SBCD, a carga útil dos mesmos é constituída apenas pelo transponder (CNS-RQG-01, CNS-RQM-014), que provê as seguintes funções:

- Recepção, através de sistema de multi-antenas, dos sinais provenientes das PCDs, na frequência de 401,635 MHz \pm 60 kHz, compatível com os padrões ARGOS 2 e 3 (CNS-RQG-02, CNS-RQM-015).
- Amplificação, filtragem, translação para uma faixa de frequência Intermediária e digitalização dos sinais captados.
- Tratamento digital diferenciado dos sinais recebidos.
- Combinação de todos esses sinais, conversão para sinal analógico, modulação da portadora na frequência do link de descida e amplificação para o nível requerido de transmissão para as estações receptoras terrestres.

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	<p align="center">Documento: CNS-DDM-001</p>	<p align="center">Versão: 1.0</p>
	<p>Título: Documento de Descrição da Missão</p>		<p align="right">Página: 62 de 63</p>

A Figura 33 mostra o diagrama de blocos do transponder digital:

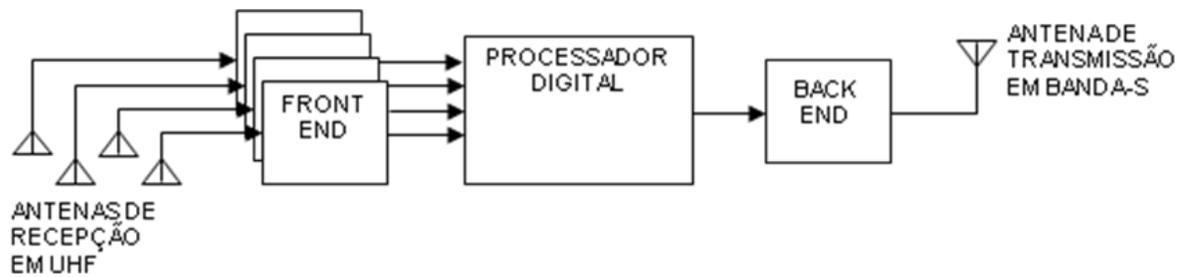


Figura 32. Diagrama simplificado do transponder

Visando aumentar o ganho de recepção, serão utilizadas 4 antenas receptoras, colocadas em cada uma das 4 abas articuladas, que se encontram permanentemente voltadas para a superfície da terra. Encontra-se em estudo a utilização de antenas do tipo planar para a faixa de UHF, com o possível estreitamento de sua curva de recepção, conjugado com a aplicação de ângulo de inclinação nas abas, visando aumentar a cobertura.

Os sinais de UHF transmitidos pelas PCDs são recebidos preferencialmente por uma das antenas receptoras do satélite. O sistema de multi-antenas permite um tratamento diferenciado de sinais, o que pode tornar possível a recepção simultânea de varias plataformas, podendo reduzir drasticamente a ocorrência de colisões.

No módulo "*Front End*" os sinais das antenas são filtrados, amplificados, convertidos para uma Frequência Intermediária, em torno de 95 kHz, sendo depois digitalizados para serem tratados por processos digitais.

O módulo de processamento digital recebe os sinais digitais provenientes das recepções das antenas, tratando-os de forma igual. São formados os sinais de modulação necessários para o padrão de modulação adotado no "*Back End*".

No módulo "*Back End*" os sinais digitais recebidos do processador digital são convertidos para sinais analógicos, transladados para a faixa de frequência do link de

	<p align="center">Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais INPE – CRN – Natal</p>	Documento: CNS-DDM-001	Versão: 1.0
	Título: Documento de Descrição da Missão		Página: 63 de 63

descida em banda-S e combinados em quadratura. O sinal resultante é finalmente amplificado para o nível necessário para alimentar a antena.

A antena de transmissão na Banda-S é do tipo planar apontada no sentido perpendicular à superfície da terra com lóbulo de transmissão em cardióide, que garante o nível de sinal requerido pelas estações receptoras terrestres.