

## CONASAT - Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais

Manoel Jozeane Mafra de Carvalho<sup>1</sup>  
Jeanne Samara dos Santos Lima<sup>1</sup>  
Lúcio dos Santos Jotha<sup>1</sup>  
Pedro Silva de Aquino<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/CRN  
Rua Carlos Serrano, 2073 – Lagoa Nova - Natal - RN, Brasil  
manoel@crn.inpe.br  
{jsamara, luciojotha, pedroaquino}@crn2.inpe.br

**Abstract.** There is currently a pressing necessity of developing new satellites, both to assure the operation continuity of the Brazilian Environmental Data Collection (SBCD), as well as to take care of new demands for environmental monitoring, supplying new services and incorporating improvements to the system performance. The mission of CONASAT comprises designing a solution to the Brazilian Environmental Data Collection - SBCD, based on the use of a constellation of nano satellites with mass between 1 kg to 10 kg, using emerging technologies in the fields of electronics and telecommunications and the definition of a space mission in accordance with international standards applied in the space. The primary mission of the CONASAT satellite is receive the signals sent by the Platforms Environmental Data Collection, located throughout the Brazilian territory and territorial sea, treat them and resubmit them back to earth receiving stations.

**Palavras-chave:** cubesat, transponder, Brazilian Environmental Data Collection, Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais.

### 1. Introdução

A partir dos anos 1980, o INPE desenvolveu dois satélites de coleta de dados (SCD-1 e 2) e passou a operar um sistema de monitoramento ambiental por satélites (SCDs). O sistema é composto por satélites, estações de controle e recepção, uma rede de cerca de 800 plataformas automáticas de coleta de dados ambientais (PCDs) e boias oceanográficas espalhadas em todo território nacional e no mar (YAMAGUTI, 2006). O desenvolvimento dos SCDs foi um marco importante para a engenharia espacial brasileira, pois foram os primeiros satélites projetados, construídos e operados no país. O desenvolvimento dos SCDs utilizou as tecnologias disponíveis na época ainda no contexto da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB). O SCD-1 foi lançado em 1993 e o SCD-2 em 1997, estando ambos ainda em operação, embora o primeiro apresente algumas restrições.

Este sistema de monitoramento ambiental foi concebido com o objetivo de prover o país com dados para várias aplicações, notadamente no monitoramento de bacias hidrológicas, na previsão meteorológica e climática, no estudo de correntes oceânicas, no estudo da química da atmosfera, no controle da poluição, na previsão e mitigação de catástrofes, na avaliação do potencial de energias renováveis como, a eólica e a solar.

O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados (SBCD) 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 no Centro da Missão (SINDA) para utilização pelos diversos usuários.

O segmento espacial é composto atualmente pelos satélites SCD-1 e SCD-2, de órbita equatorial inclinada (mais adequada para a posição geográfica do Brasil), além do auxílio prestado pelos satélites de órbita polar pertencentes à organização NOAA.

O segmento solo é composto atualmente por duas estações receptoras, situadas em Cuiabá/MT e em Alcântara/MA. Os dados captados por estas estações são enviados para Centro de Controle da Missão (SINDA), situado em Natal/RN, onde são concentrados,

tratados e disponibilizados em áreas específicas em um servidor de FTP para utilização pelos usuários finais.

Dada a importância do SBCD e a situação dos satélites SCD-1 e SCD-2, fica patente a necessidade premente de desenvolvimento e lançamento de novos satélites, tanto para garantir a continuidade da operação do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados (SBCD), bem como cuidar de novas demandas de monitoramento ambiental, fornecendo novos serviços e melhorar o desempenho do sistema.

O projeto CONASAT objetiva oferecer uma opção tecnologicamente mais avançada e a custos reduzidos para garantir a continuidade do SBCD, através de uma constelação de nano satélites, que possibilitem melhorar a qualidade do serviço, no que diz respeito à capacidade, abrangência geográfica e tempos de revisita. A carga útil destes satélites é composta pelo Transponder em tecnologia digital, em desenvolvimento pelo INPE/CRN, em Natal/RN. As Figuras 1 e 2 apresentam, respectivamente, a topologia e arquitetura do SBCD.

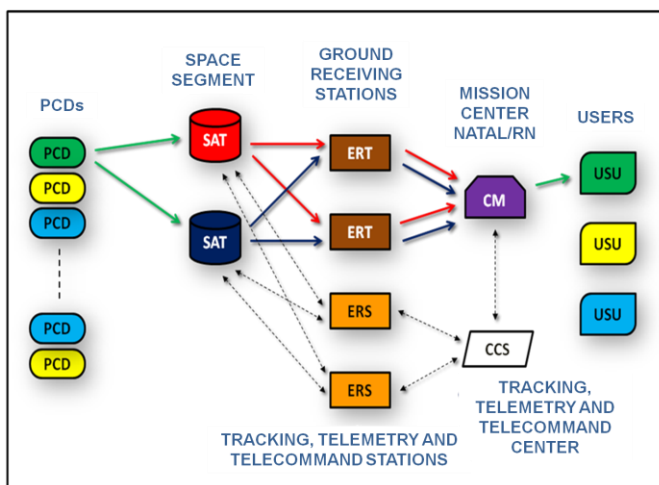


Figura 1. Topologia do SBCD

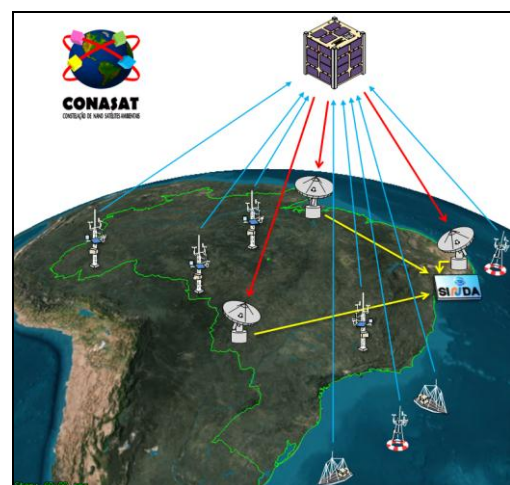


Figura 2. Arquitetura do SBCD

## 2. Metodologia de Trabalho

O desenvolvimento de um projeto espacial está sujeito a riscos em função de: (i) necessidade de alto nível de desempenho; (ii) número reduzido de produção, elevando o custo de desenvolvimento; (iii) inabilidade de operar completamente o elemento espacial em condições realísticas antes do seu lançamento ao espaço; (iv) acesso limitado ao produto durante a validação; e (v) condições ambientais específicas do espaço. Visando orientar a produção de sistemas espaciais de alta qualidade e a custos mais reduzidos, a Agência Espacial Européia (ESA) vem se empenhando para definir uma série de padrões chamados *European Cooperation for Space Standardization (ECSS)*, que possam ser usados tanto pelas agências espaciais governamentais como pela indústria aeroespacial. Este esforço é justificado por constantes falhas nas missões, bem como por atrasos devido a subestimados cálculos de custos e de cronograma.

As normas *ECSS* cobrem as áreas de um programa espacial, tais como: desempenho técnico e qualidade; orçamento, usuários relacionados, política; custo de contratos, cronograma, operação e segurança no funcionamento (*dependability*). O conjunto de normas *ECSS* está organizado em 3 ramos: (i) Gerenciamento de Projeto; (ii) Garantia do Produto Espacial (atividades de V&V: revisões, análises, testes); e (iii) Engenharia Espacial (atividades de realização de testes de *software*).

Cada missão tem sua especificidade e podem existir diversas soluções diferentes, com diferentes níveis de complexidade e custos associados. Neste projeto, os fatores custo e o tamanho dos satélites são as maiores restrições. Ao longo do desenvolvimento do projeto

CONASAT algumas concepções foram pensadas para a plataforma a ser adotada para o segmento espacial.

O estudo foi pautado na aderência às normas estabelecidas pela *ECSS* e desenvolvido em fases como se conduz uma missão espacial, em qualquer um de seus segmentos fundamentais (espacial, de lançamento e de solo), obedecendo a um ciclo de vida padronizado, como segue:

- Fase 0 (Zero): Análise de Missão / Identificação de Necessidades
- Fase A: Análise de Viabilidade
- Fase B: Definição Preliminar do Projeto
- Fase C: Definição Detalhada do Projeto
- Fase D: Produção e Qualificação
- Fase E: Operação
- Fase F: Descarte

As articulações entre as fases sucessivas são fornecidas pelas revisões que se destinam a auxiliar a equipe do projeto a tomar decisões relativas à mudança de fase. Assim ao final de cada fase há uma revisão em que o trabalho executado ao longo da fase é avaliado..

Um dos pontos de partida para o desenvolvimento da missão foi avaliar o funcionamento e desempenho do SBCD, visando corrigir falhas existentes, avaliar necessidades não atendidas, além de captar novas aplicações. A partir da identificação da necessidade deu-se início ao estudo de uma missão espacial para coleta de dados ambientais baseada em nano satélites, com todos os seus ciclos de vida em conformidade com os padrões internacionais aplicados na área espacial.

### 3. Resultados e Discussões

O projeto CONASAT já foi executado até a Fase A onde foi avaliada a viabilidade do projeto nos seus aspectos técnico, econômico e cronograma, além da avaliação dos riscos e das incertezas. Na fase inicial (fase 0) foi feito um levantamento dos usuários do SBCD, por meio de uma pesquisa, com aplicação de questionários, visando avaliar a satisfação dos mesmos com as configurações atuais e detectar novas necessidades e adequações. Assim, foram definidos vários requisitos, baseados em uma análise direcionada para o melhor cumprimento da missão.

A Tabela 1 mostra a situação operacional apresentada pela rede de PCDs.

Tabela 1. Situação operacional das PCDs Cadastradas.

SITUAÇÃO	QUANTIDADE	PERCENTUAL
ATIVAS	432	46%
INATIVAS	499	54%
<b>TOTAL DE PCDs CADASTRADAS</b>	<b>931</b>	<b>100%</b>

Chama a atenção nesta tabela a grande quantidade de PCDs inativas, totalizando 54% do total, fato este preocupante por não permitir se ter uma noção clara do crescimento da rede para o dimensionamento do novo sistema. Sendo grande a predominância de PCDs voltadas para aplicações hidrológicas e meteorológicas, que representam 74% das ativas.

Os resultados obtidos a partir dos questionários aplicados permitiu inferir algumas outras considerações acerca dos requisitos e das necessidades dos atuais usuários, bem como de usuários potenciais.

Dos entrevistados, 77% fazem coleta de dados manuais e são unânimes no interesse em automatizar este processo, considerando o SBCD como opção, ilustrado no Gráfico 1.

É importante ressaltar o número total de pontos de coleta manuais *in situ* declarados (3718), dos quais a Agência Nacional de Águas contribui com 3300. Este dado demonstra uma demanda potencial significativa para o SBCD.

Foi questionado aos usuários se o tempo de revisita (periodicidade de atualização da informação) de 3 horas é adequado à sua aplicação; senão, qual o tempo máximo exigido (em minutos). O Gráfico 2 mostra que, dos usuários entrevistados, 85% não consideram o tempo de revisita do sistema atual adequado às suas necessidade de aplicação.

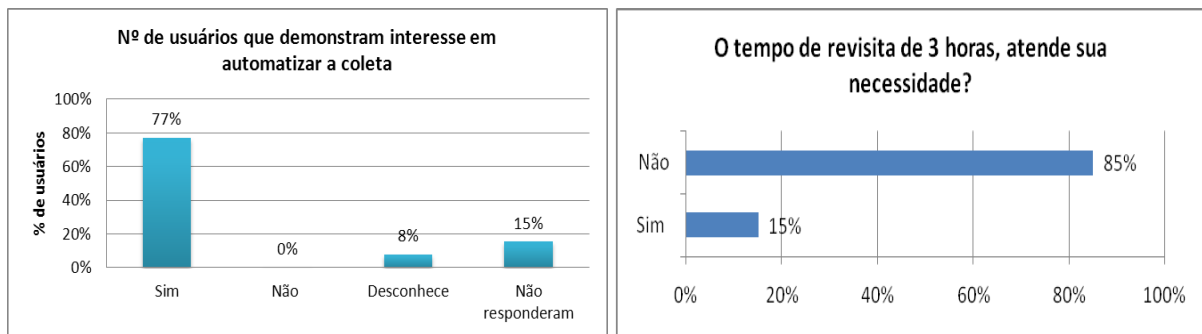


Gráfico 1. Interesse em automatizar a coleta. Gráfico 2. Opinião sobre o tempo de revisita.

Quanto ao tempo máximo de revisita exigido à sua aplicação, 54% dos usuários responderam que o tempo de revisita ideal seria de 60 min, como mostra o Gráfico 3.

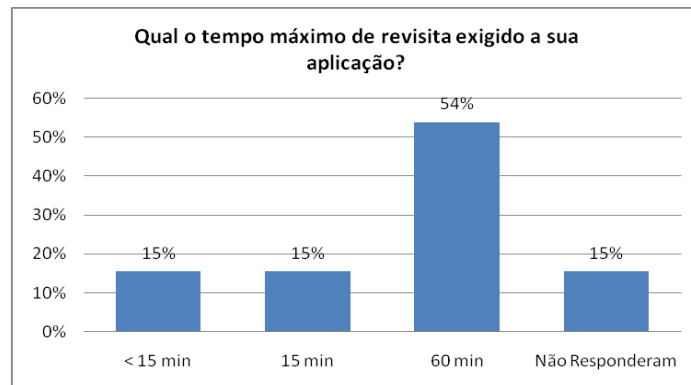


Gráfico 3. Tempo de revisita máximo desejável.

Os resultados retirados da pesquisa com os usuários do SBCD possibilitaram o estabelecimento dos requisitos básicos da missão CONASAT, que consiste de uma constelação de nano satélites para coleta de dados ambientais baseada no padrão CubeSat. Este padrão foi desenvolvido pela *California Polytechnic State University*, em parceria com a *Stanford University's Space Systems Development Laboratory*. Este tipo de plataforma, além de apresentar um custo relativamente baixo, devido à sua popularização, principalmente em projetos universitários, é facilmente aceita como carga secundária em lançadores comerciais, devido ao seu, também padronizado, dispositivo ejetor, o *P-POD (Poly Picosatellite Orbital Deployer)*.

A carga útil prevista para os satélites CONASAT é um transponder digital de comunicação, desenvolvido no INPE/CRN, com recepção de dados em banda UHF e transmissão em banda S, que possibilitará a comunicação entre as plataformas de coleta de dados e as estações receptoras. O projeto é orientado segundo as normas da *European Cooperation for Space Standardization - ECSS* e, no que diz respeito à mitigação dos detritos espaciais, segue o código de conduta europeu (2004), que prevê um tempo máximo de decaimento, seja natural ou forçado, de 25 anos após o término da vida útil da missão.

Ao longo do desenvolvimento do projeto CONASAT, algumas concepções foram pensadas para a plataforma a ser adotada para o segmento espacial, levando-se em conta os requisitos e as restrições da missão. O primeiro grande redirecionamento do projeto ocorreu após a revisão da Fase 0, que acarretou, como maior mudança, a decisão da utilização de uma plataforma já pronta, adquirida no mercado especializado, na qual será embarcada e integrada a carga útil (o *Transponder DCS*, em desenvolvimento no INPE/CRN).

Os satélites CONASAT utilizarão uma estrutura física de tamanho 8U: um cubo de arestas de aproximadamente 20cm, ilustrada na Figura 3. Desta forma se pode dispor de espaço físico suficiente para abrigar todos os subsistemas em redundância, além de propiciar uma área de painéis solares capaz de gerar a energia elétrica necessária para atender à demanda da carga útil (*Transponder DCS*).

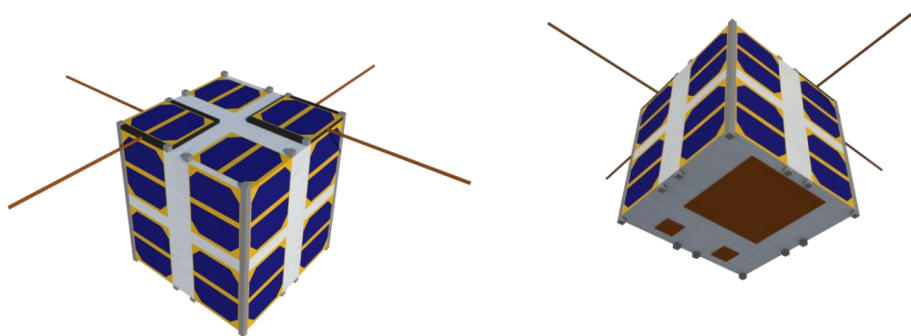


Figura 3. Modelo Ilustrativo da estrutura da plataforma 8U

### 3.1. Análise de Cobertura, tempo de revisita e descarte

Um dos fatores que mais afetam a cobertura do satélite é o tipo e a altitude da órbita. Foi adotado como requisito inicial a utilização de órbita terrestre baixa (*LEO - Low Earth Orbit*), entre 400 km e 1000 km de altitude.

Outro fator muito importante para a escolha da altitude, foi a necessidade de atender ao Código de Conduta Europeu que prevê o decaimento do satélite no prazo máximo de 25 anos após o término de sua vida útil. Foram feitas simulações para valores de altitude de órbita entre 600 e 700 km, cujos resultados são apresentados na Tabela 2. A Figura 4 mostra as curvas de decaimento de altitude ao longo do tempo. A partir daí, pode-se definir um valor máximo de altitude a ser adotado para a órbita.

Tabela 2. Tempos de decaimento

Altitude	Tempo Máximo de Decaimento
600 km	17,9 anos
625 km	21,6 anos
650 km	30,9 anos
675 km	42,7 anos
700 km	61,7 anos

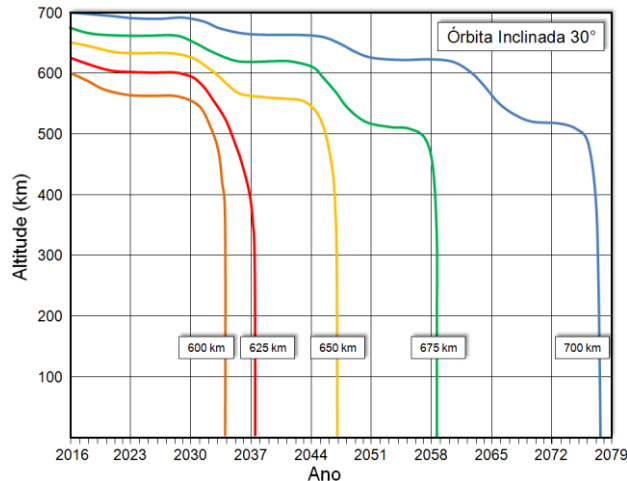


Figura 4. Perfis de Decaimento

O resultado destas análises é de que, se considerarmos um tempo de missão de 24 meses para o satélite, pode ser utilizada uma altitude máxima de órbita de aproximadamente 625 km.

Para que fosse satisfeito um dos requisitos de missão (tempo de revisita máximo de 60 minutos em no mínimo 95% dos casos), avaliou-se o uso de constelações com 2, 4, 8 e 12 satélites. A partir destes estudos, foi constatado que o uso de 4 satélites não satisfazia este requisito e o uso de 8 satélites satisfazia com folga considerável. Durante a fase A, novos estudos foram realizados e apontaram para a utilização de uma constelação composta por 6 satélites, distribuídos em um, dois, três ou seis planos orbitais.

As análises foram desenvolvidas no *software STK*, com o uso da ferramenta *Walker* de criação de constelações, e apresentaram os resultados para as configurações citadas anteriormente. Para este estudo foram consideradas quatro PCDs hipotéticas localizadas em pontos estratégicos do Brasil (Fernando de Noronha, Amazonas, Goiás e Rio Grande do Sul) e as duas estações receptoras do INPE, localizadas em Alcântara/MA e Cuiabá/MS.

Foram consideradas órbitas circulares com inclinação de 30 graus em relação ao equador e altitude de 625 km.

A Figura 5 mostra ilustrações em 2D e 3D de um dos cenários de estudo realizado, que representou a melhor solução: Três planos orbitais contendo dois satélites em cada plano.

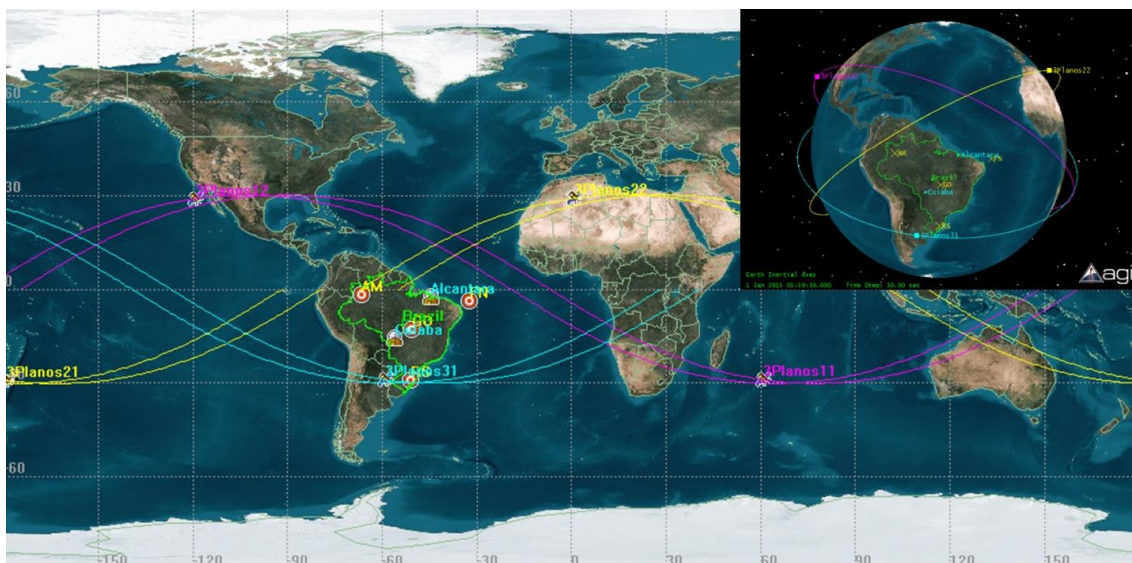


Figura 5. Três planos orbitais contendo dois satélites cada

Após as simulações, foram obtidos os resultados apresentados nas Tabelas 3,4,5 e 6, com os tempos máximos e médios de contato, tempos máximos e médios de revisita, porcentagem de revisitas satisfatórias e número médio de contatos por dia, para todos os casos propostos.

Tabela 3. 1 plano orbital com 6 satélites

PCD	Tempo máximo de contato (minutos)	Tempo médio de contato (minutos)	Tempo máximo de revisita (horas)	Tempo médio de revisita (minutos)	Revisitas satisfatórias	Número médio de contatos por dia
AM	12,3	7,7	7,4	24,3	96,48%	45,1
FN	10,8	7,5	6,9	21,7	96,86%	49,2
GO	13,6	11,0	8,7	15,6	98,12%	54,1
RS	13,2	10,4	12,4	24,4	97,54%	41,4

Tabela 4. 2 planos orbitais com 3 satélites

PCD	Tempo máximo de contato (minutos)	Tempo médio de contato (minutos)	Tempo máximo de revisita (horas)	Tempo médio de revisita (minutos)	Revisitas satisfatórias	Número médio de contatos por dia
AM	12,3	7,7	4,6	24,3	96,48%	45,1
FN	10,8	7,5	4,0	21,7	96,86%	49,2
GO	13,6	11,0	0,4	15,6	100%	54,1
RS	13,2	10,4	0,9	24,4	100%	41,4

Tabela 5. 3 planos orbitais com 2 satélites

PCD	Tempo máximo de contato (minutos)	Tempo médio de contato (minutos)	Tempo máximo de revisita (horas)	Tempo médio de revisita (minutos)	Revisitas satisfatórias	Número médio de contatos por dia
AM	14,1	7,9	0,8	27,1	100%	41,1
FN	12,9	8,0	0,8	25,0	100%	43,5
GO	18,8	11,9	0,7	20,2	100%	44,9
RS	20,7	11,3	0,7	28,2	100%	36,5

Tabela 6. 6 planos orbitais com 1 satélite

PCD	Tempo máximo de contato (minutos)	Tempo médio de contato (minutos)	Tempo máximo de revisita (horas)	Tempo médio de revisita (minutos)	Revisitas satisfatórias	Número médio de contatos por dia
AM	17,3	7,7	1,1	24,5	99,44%	44,6
FN	10,8	7,5	1,0	21,7	100%	49,3
GO	34,2	12,7	1,2	18,5	96,85%	46,1
RS	32,8	11,2	1,4	26,6	79,59%	38,0

Observou-se que o melhor caso do ponto de vista de revisita é aquele em que os seis satélites da constelação estão divididos em três planos orbitais. Para este caso, o tempo de revisita é inferior a uma hora em 100% das passagens.

Para os dois primeiros casos (um e dois planos orbitais) observou-se uma porcentagem superior a 95% no que diz respeito ao tempo de revisita inferior a uma hora, entretanto, apresentou valores elevados de tempo máximo de revisita, o que significa que o sistema pode ficar sem atualização de dados por tempo bem superior ao desejado.

Para o último caso (6 planos orbitais) observou-se que o Sul do país apresenta uma porcentagem bem inferior a 95% no que se diz respeito ao tempo de revisita ideal, entretanto, como o tempo máximo de revisita é baixo, este dado aponta para passagens regulares com valores pouco acima de uma hora. Estes dados podem ser observados nas Figuras 6 e 7.

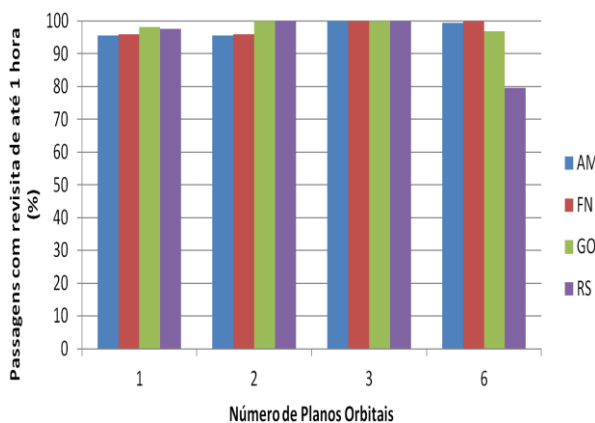


Figura 6. Percentual de passagens (até 1 hora)

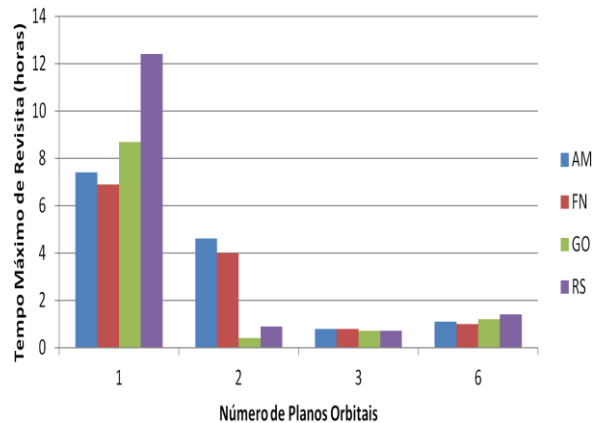


Figura 7. Tempo máximo de revisita (horas)

#### 4. Conclusões

Ao longo do desenvolvimento do projeto CONASAT, em suas diversas fases tem se consolidado cada vez mais a viabilidade da utilização de nano satélites no segmento espacial para a prestação do serviço de coleta de dados ambientais, tanto no aspecto técnico, como no econômico. Neste primeiro momento do desenvolvimento, em que o projeto está direcionado para a utilização de uma plataforma já pronta adquirida no mercado internacional, nela embarcando a carga útil, podemos centrar mais os esforços no desempenho e características técnicas e computacionais que desejamos da plataforma para o melhor cumprimento da missão. O projeto CONASAT pode oferecer uma alternativa tecnológica de forma a garantir a continuidade do SBCD, através de uma constelação de nano satélites, que possibilitem melhorar a qualidade do serviço e atender a demanda dos usuários do sistema.

#### Agradecimentos

À AEB e CNPq pelos recursos disponibilizados, aprovados conforme Edital AEB/MCT/CNPq N° 033/10, ao INPE, em especial ao CRN, onde está sendo desenvolvido o projeto.

#### Referências Bibliográficas

Dubut, j.p.; Carvalho, m.j.m.; Santos, m.a.f. 2000, Suivi de chargements sensibles ou dangereux par satellite système et solution proposés. In: **5o International Symposium of Small Satellite Systems and Services**, La Baule, 19-23 de junho de 2000. Toulouse:CNES. Proceedings. 6p.

European Code of Conduct for Space Debris Mitigation, 2004.

ECSS-E-ST-10C: Space engineering - System engineering general requirements. ESA. Disponível em: [www.ecss.nl](http://www.ecss.nl). Acesso em 02.nov.2012.

ECSS-E-ST-10-06C: Space engineering - Technical requirements specification. ESA. Disponível em: [www.ecss.nl](http://www.ecss.nl). Acesso em 02.nov.2012

Larson, W. J., Wertz, J. R., **Space Mission Analysis and Design**, Space Technology Series, Torrance, California, Terceira edição, 1999.

Lee, Simon et al. **Cubesat Design Specification**. California Polytechnic State University, 2009.

Mukund R. Patel. **Spacecraft Power Systems**. Editora CRC Press, 2005.

Prado, A. F. B. A., **Fundamentos de Tecnologia Espacial** – São José dos Campos : INPE, 2001.

Yamaguti, W., Rozenfeld P.(2006), **Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais: Estado Atual, Demandas e Estudo de Propostas de Continuidade da Missão de Coleta de Dados**, INPE, 2006.