

Expansão e continuidade do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais face às demandas da Rede Hidrometeorológica Nacional

Áurea Aparecida da Silva
Bruno de Castro Braz
Mário Marcos Quintino da Silva
Wilson Yamaguti

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{aurea.silva, bruno.braz, quintino, yamaguti}@dss.inpe.br

Abstract: The Brazilian Environmental Data Collection System provides data collection services based on SCD-1 and SCD-2 satellites since 1993 with the SCD-1 launch and followed with the SCD-2 launch in 1998. Recently, besides the need of data collection services continuity, new demands from the National Hydrometeorological Network motivated the establishment of a working group composed by AEB, ANA, and INPE to provide analysis and configuration proposals for the microsatellite constellation that have a revisit time lower than 1 hour and covering any Brazilian region. This paper presents the mission analysis results from simulation studies regarding to possible constellation configurations to meet the revisit time and coverage requirements. The paper describes the present system performance regarding the revisit time offered by the SCD-1 and SCD-2 satellites, the criteria used to choose satellite constellations and results obtained from several simulations to guide the selection of solutions. The criteria intend to minimize the number of satellites in the constellation, while still meeting the requirements, as well as to reduce the number of different orbital planes due to launching costs. As a conclusion, a six satellite constellation distributed into three orbital planes meets the 1h revisit time and coverage requirements, but a partial solution can be achieved with 2 satellites into an equatorial orbital plane, with the required coverage but limited to the Amazon region.

Palavras-Chave: Data Collection Platform, revisit time, Brazilian Environmental Data Collection System, National Hydrometeorological Network, Plataforma de Coleta de Dados, tempo de revisita, Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais, Rede Hidrometeorológica Nacional.

1. Introdução

O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA) é constituído pela constelação de satélites SCD-1 e SCD-2, pelas diversas redes de Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) espalhadas pelo território nacional, pelas Estações de Recepção de Cuiabá e de Alcântara e pelo Centro de Missão Coleta de Dados (SINDA) em Natal, RN.

Este sistema de coleta de dados baseado em satélites de órbita baixa vem oferecendo serviços de coleta de dados para diversas organizações usuárias no Brasil e no exterior desde 1993, quando foi lançado o SCD-1.

Novas demandas têm sido colocadas, principalmente para atender as necessidades da Rede Hidrometeorológica Nacional, gerenciada pela Agência Nacional de Águas (ANA) que considera como requisitos mínimos a transmissão e a recepção de dados em intervalo máximo de uma hora, bem como a cobertura em todo o território nacional. Além disso, seria desejável que o sistema de satélites brasileiros pudesse oferecer transmissão intra-horária de dados a cada 15 minutos, por exemplo, com capacidade de interrogação e de atender aproximadamente 3000 PCDs. Estas funcionalidades são importantes para o acompanhamento de sistemas de alerta em bacias hidrográficas com baixo tempo de concentração e para a realização de manutenção e atualização remota das PCDs.

As demandas de Rede Hidrometeorológica Nacional motivaram a criação de um Grupo de Trabalho com o objetivo de realizar a análise de viabilidade e propor

alternativas de configuração de microssatélites para a missão de coleta de dados com participação de especialistas da ANA, da AEB e do INPE.

Desta forma, este artigo descreve os estudos e as análises realizadas para levantamento de propostas de configuração do segmento espacial para atender as demandas apresentadas com cobertura nacional e tempo de revisita menor que 1h. O artigo descreve sucintamente o desempenho do sistema de coleta de dados em operação, apresenta critérios de seleção das configurações do segmento espacial, faz análise dos resultados obtidos com as diversas simulações e finaliza com as principais conclusões do trabalho.

2. Desempenho do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais

Os satélites do SBCDA funcionam como retransmissores de mensagens, sem armazenamento a bordo. Assim, uma mensagem transmitida por uma plataforma de coleta de dados pode ser recebida pelo usuário somente quando há visibilidade mútua entre o enlace ascendente PCD-satélite e o enlace descendente satélite-estação conforme Yamaguti et al.(2009, 2012a) e Celestino et al. (2009).

A meta inicial de desempenho do sistema, que considerava apenas um satélite, era receber corretamente pelo menos uma mensagem/dia de cada plataforma, independente de sua localização de acordo com Yamaguti et al.(2009).

Atualmente esta meta não é aceitável para a maioria das aplicações que utilizam o sistema, que impõe a recepção de pelo menos cinco mensagens distribuídas ao longo do dia. Isto só é satisfeito considerando a operação simultânea dos dois satélites.

O SBCDA necessita, de forma urgente, da reposição dos satélites SCD-1 e SCD-2. O satélite SCD-1, lançado em 9 de fevereiro de 1993, completará no próximo ano, 20 anos em órbita, com a restrição de operar somente quando está iluminado. Apesar do tempo, o SCD-1 provê ainda serviços de coleta de dados. A simulação por um período de 15 dias mostra que de 169 passagens, 140 representaram as passagens iluminadas e 29 passagens em eclipse, assim o impacto da ausência da bateria corresponde a perda de 17,2% das passagens. Já o satélite SCD-2, lançado em 22 de outubro de 1998, completará no próximo ano, 15 anos em órbita.

Para avaliação global de acesso ao sistema, foi realizada a análise de cobertura baseada em dados reais do sistema em operação e os dados obtidos nas simulações feitas com o software STK (System Tool Kit), com relação à cobertura do sistema. A simulação foi realizada em um período de 15 dias (28/08/2012 a 12/09/2012). Foi utilizado o conjunto de satélites SCD-1 e SCD-2, porém, com o SCD-1 operando apenas quando iluminado, desconsiderando passagens curtas (menores que 3 minutos), e com a restrição de recepção pelas estações de Cuiabá e de Alcântara.

A Tabela 1 apresenta os resultados da simulação para avaliar o tempo de revisita para um conjunto de 10 PCDs espalhadas no território nacional, considerando apenas a constelação constituída pelos satélites SCD-1 e SCD-2. Na Figura 1 tem-se a distribuição dessas PCDs no território brasileiro.

Através do estudo do desempenho atual do sistema brasileiro, observa-se que o tempo de revisita para essas PCDs fica entre 1,41 a 1,71 horas. Além disso, o tempo de revisita satisfatória menor do que 1 hora cumpre o requisito em menos de 22% dos casos.



Figura 1 – Distribuição e localização das PCDs utilizadas nos estudos.

Tabela 1 - Revisita com os satélites SCD-1 e SCD-2.

PCD	Lat (grau)	Long (grau)	Duração Pass. Max. (min)	Duração Pass. Média (min)	Gap ¹ Max. (h)	Gap Médio (h)	% Revisita ≤ 2 h	% Revisita ≤ 1 h
Amapá (AP)	2,05	-50,79	25,16	13,16	5,22	1,58	85,50	17,45
Atalaia (AL)	-9,52	-36,03	24,17	12,19	1,65	1,46	100	8,63
Colatina (ES)	-19,53	-40,63	16,14	11,97	1,85	1,47	100	7,37
Cucui (AM)	1,18	-66,83	21,93	09,85	3,48	1,46	92,38	21,82
F. Angical (TO)	-12,28	-48,30	26,36	14,52	1,61	1,42	100	8,63
Fortaleza (PA)	-6,04	-57,64	26,24	14,19	1,60	1,41	100	10,67
MET Cruz. Sul (AC)	-7,6	-72,77	17,79	09,73	1,69	1,42	100	16,94
Quarai (RS)	-30,38	-56,46	15,30	12,58	3,65	1,65	95,88	0
S. Pedro S. Paulo (PE)	0,917	-29,34	21,45	10,42	5,24	1,71	83,77	20,24
Trindade (ES)	-20,5	-29,30	15,05	09,23	1,81	1,53	100	6,94

3. Critérios de Seleção das Alternativas de Configuração do Segmento Espacial

Para definição dos critérios de seleção das diversas configurações para uma constelação de satélites que possa atender ao requisito de cobertura nacional e revisita menor que 1h, foram analisados os efeitos da inclinação de órbita, considerando PCDs localizadas em Oiapoque, Cuiabá e Chuí e sem restrição de recepção por uma estação terrena.

Foi simulado um conjunto de órbitas, considerando apenas 1 satélite por plano e cada plano com as seguintes inclinações: 0° (órbita equatorial), 15°, 30°, 45°, 60°, 75° e 98° (órbita sol síncrona). Na Figura 2 tem-se a representação das órbitas em diferentes inclinações, além do estudo de tempo de revisita (passagem) dos satélites para as plataformas localizadas em Oiapoque, Cuiabá e Chuí.

Na Tabela 2 observam-se os valores máximos e médios de *gap* (intervalo entre passagens) para cada tipo de órbita nas regiões em estudo. O período de análise foi de 15 dias, entre 01/08/2012 e 16/08/2012.

Com esse estudo preliminar, observou-se que órbita de inclinação igual a 0° (equatorial) cobre bem a região amazônica e para uma melhor cobertura em todo o território nacional, a inclinação da órbita deve ficar em torno de 30°. Em órbitas polares (98°) observa-se um número de passagem ou revisita muito pequeno (da ordem de 4 passagens por dia). Outro critério a ser observado é considerar o tempo de passagem do satélite sobre a PCD.

¹ *Gap* = intervalo entre passagens

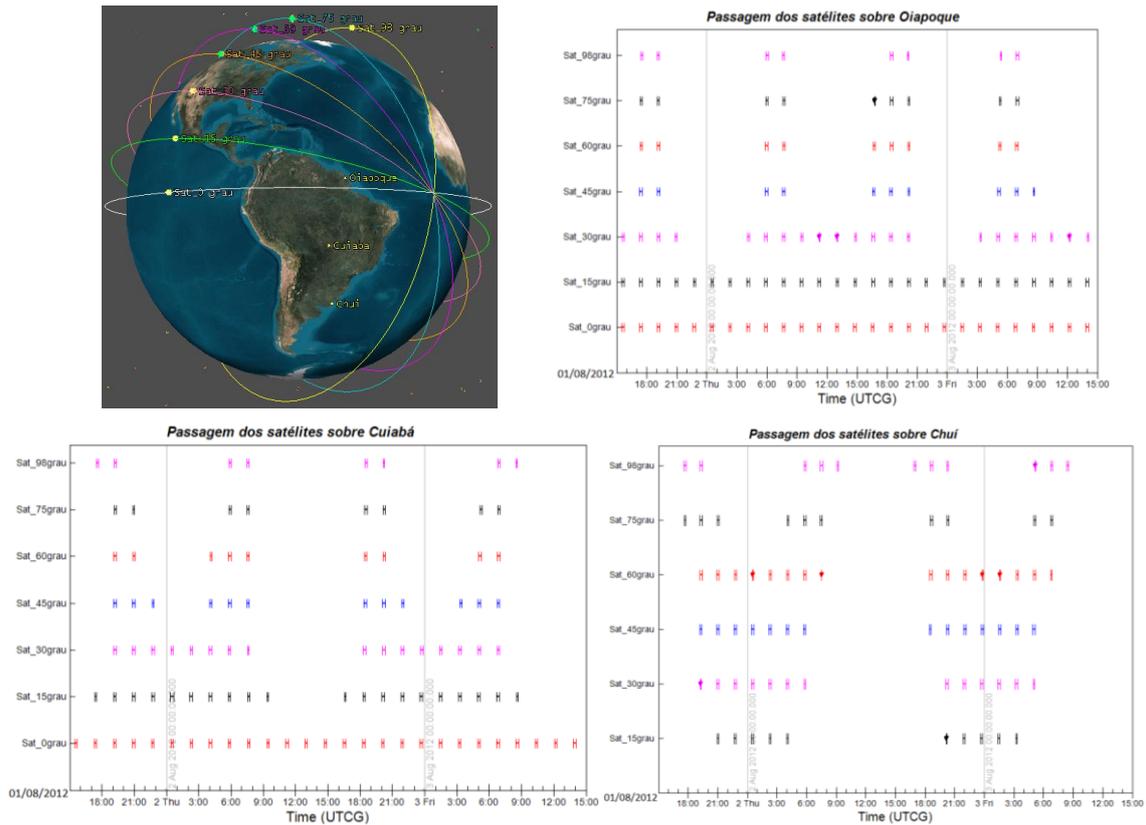


Figura 2 – Seleção de inclinação de órbita e passagem dos satélites com suas diferentes inclinações sobre a região do Oiapoque, Cuiabá e Chuí.

Tabela 2 – Duração média das passagens e *gap* máximo e médio para as PCDs localizadas no Oiapoque, Cuiabá e Chuí em função das diferentes inclinações de órbita.

Inclinação de órbita (°)	Oiapoque			Cuiabá			Chuí		
	Duração Média (min)	Gap Max. (hora)	Gap Médio (hora)	Duração Média (min)	Gap Max. (hora)	Gap Médio	Duração Média (min)	Gap Max.	Gap Médio
0	15,61	1,52	1,52	12,94	1,57	1,56	—*	—*	—*
15	14,31	1,60	1,54	13,02	7,09	2,08	8,95	17,74	4,59
30	11,29	7,04	2,06	13,50	10,61	2,48	13,10	14,26	3,46
45	12,12	8,88	3,71	11,83	10,68	3,20	13,74	14,24	3,07
60	12,01	10,58	4,67	12,18	10,73	4,54	10,79	12,55	2,77
75	11,70	10,62	5,18	12,01	10,74	5,10	11,92	10,92	4,19
98	11,70	10,65	5,35	11,67	10,75	5,10	11,38	10,33	4,15

4. Resultados e Discussão

Utilizando o estudo das diferentes inclinações, novas simulações foram realizadas considerando planos orbitais com inclinação de 0 e 30° e altitude de 750 km, no intervalo de 01/08/2012, 15h (UTC) a 16/08/2012, 15h (UTC) para o cálculo de estimativa de tempo de revisita. Os planos e número de satélites analisados, bem como os resultados de tempo de revisita encontram-se nas Tabelas 3, 4 e 5.

* Não há passagem na região do Chuí.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos em termos de acesso de uma plataforma localizada no Chuí, em Cuiabá e no Oiapoque. Enquanto que a Figura 3 mostra o acesso completo pelo conjunto de satélites para as mesmas localizações citadas anteriormente, além de uma visualização da constelação de satélites.

Tabela 3 - 1 Plano com inclinação de 30° e 6 Satélites distribuídos no plano.

PCD	Gap Max (hora)	Gap Médio (hora)	Revisitas Satisfatórias até 60 min (%)	Revisitas Satisfatórias até 15 min (%)	Tempo de Serviço Satisfatório (%)
Oiapoque	5,63	0,19	98,42	95,58	76,54
Cuiabá	8,70	0,22	98,21	98,21	63,75
Chuí	12,90	0,38	97,58	97,58	46,25

À primeira vista, este tipo de solução parece atender ao requisito de revisita satisfatória menor que 60 minutos em 95% dos casos, mesmo para o critério de revisita de 15 minutos. Contudo quando se analisa o conjunto de passagens dos 6 satélites sobre as três PCDs de referência, mostrado na Figura 3, nota-se que *gaps* significativos (12,90 h para Chuí e 5,63h para Oiapoque) inviabilizam a coleta de dados na taxa de amostragem de 1h durante aproximadamente 54% do tempo no caso da PCD no Chuí e 24% do tempo no caso de Oiapoque. Assim, esta solução não atende a demanda colocada pela ANA.

A alternativa para cobrir esses *gaps* é o uso de mais planos orbitais, escolhidos com Ascensão do Nó Ascendente adequados, de forma a cobrir a região de *gap* e viabilizar a coleta de dados de forma regular ao longo do tempo. A inserção de mais satélites em um mesmo plano orbital não atende essa necessidade de reduzir os *gaps* para valores menores que 1h.

As Tabelas 4 e 5 sumarizam os resultados com diferentes configurações de satélites, para as regiões do Oiapoque, Cuiabá e Chuí, mostrando a porcentagem de revisita satisfatória de até 60 e 15 minutos, respectivamente, conforme Yamaguti et al.(2012b).

Na solução de dois planos orbitais e dois satélites por plano orbital, totalizando 4 satélites, a PCD instalada no Chuí não é atendida no critério do tempo de revisita de 1h. A estação ficaria com um *gap* máximo de 1,4 horas enquanto que as PCDs localizadas em Cuiabá e Oiapoque seriam atendidas dentro do critério desejado.

O acréscimo de mais satélites nos planos orbitais (2 planos e 3 satélites por plano) melhora para a PCD no Chuí, porém ainda não atende ao critério desejado. O *gap* máximo (1,38h) para o Chuí se mantém praticamente com o mesmo valor (1,4 horas) da solução de 2 planos e 2 satélites por plano.

Com os resultados da solução de 8 satélites colocados em 2 planos orbitais, nota-se atendimento para as três localidades de referência, e melhora para revisitas de 15 minutos.

Os resultados com a solução de 3 planos orbitais, com apenas um satélite para cada plano orbital não atende aos critérios de revisita tanto para o Chuí (*gap* máximo de 1,52h) como para Cuiabá (*gap* máximo de 1,56h).

O acréscimo de mais satélites nos planos orbitais de forma a obter 3 planos orbitais e 2 satélites por plano orbital, totalizando 6 satélites passa a atender aos requisitos de revisita de 1 hora. Esta seria uma solução com menor número de satélites quando comparado com os dois planos orbitais e 4 satélites por plano, totalizando 8 satélites visto anteriormente. A Figura 4 mostra os resultados da análise. Cada traço no formato de um “H” representa uma passagem sobre a PCD. O “H” mais estreito significa uma

passagem mais curta enquanto que o “H” mais largo representa uma passagem mais longa sobre a localidade.

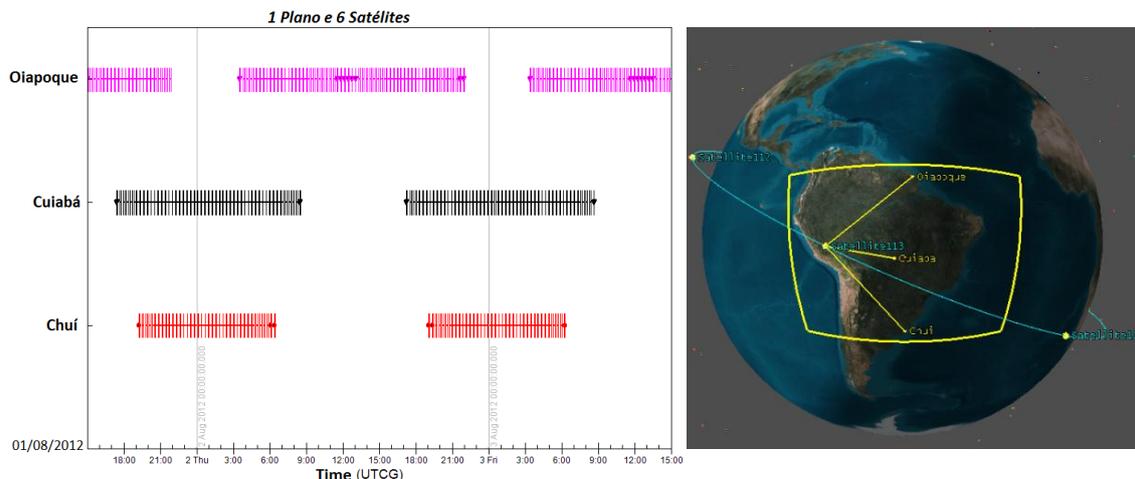


Figura 3 – 1Plano/6Satélites (30°) - Distribuição das passagens dos satélites (02 dias) e visualização 3D da constelação.

Uma solução para atender ao requisito de tempo de revisita de 15 minutos seria uma constelação com 3 planos orbitais e 4 satélites por plano orbital. Nesta solução qualquer PCD de referência poderia ter acesso ao sistema a cada 15 minutos e os *gaps* seriam menores 11,4 minutos para Chuí, 13,2 minutos para Cuiabá e 6,6 minutos para Oiapoque.

A solução para uma constelação com 6 planos orbitais e 1 satélite por plano orbital, totalizando 6 satélites, também atende ao requisito de revisita de 1h. Esta solução não é muito interessante se for considerado o critério de revisita de 15 minutos e o *gap* máximo é de 0,97h para o Chuí. O uso de mais planos orbitais pode aumentar o custo de lançamento da constelação, pois para cada plano orbital talvez seja necessário um lançamento separado, a não ser que seja colocada capacidade de propulsão nos satélites para mudança de plano orbital como feito na constelação Formosat-3 (Chen-Joe Fong, et al., 2009).

Os resultados da análise considerando um plano orbital a 0° de inclinação com 2 satélites distribuídos no plano atendem o requisito de revisita para 1h para a região Amazônica. Neste caso, o *gap* médio coincide com o *gap* máximo (37,99 min. para Oiapoque e 40,64 min. para Cuiabá). Considerando o mesmo plano orbital com 4 satélites o tempo de revisita reduz para cerca de 15 minutos, com *gap* de 11,17 min. para Oiapoque e 13,83 min. para Cuiabá. É importante ressaltar que estas soluções com plano orbital de 0° de inclinação atendem somente a região acima de 26° Sul. A região sul do Brasil não seria atendida por esta solução, pois as PCDs não tem visibilidade e ou acesso aos satélites.

5. Comentários Finais

O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais continua oferecendo serviços de coleta de dados, apesar da degradação do segmento espacial, em especial o satélite SCD-1. O SCD-1 opera somente em condição iluminada, reduzindo cerca de 20% de suas passagens em relação ao seu funcionamento nominal. Porém, para garantir o sistema de coleta de dados, o sistema necessita de investimentos para continuar a prestação de serviços e para atender as novas demandas da comunidade usuária.

Tabela 4 - Estudo do tempo de revisita satisfatória de até 60 minutos.

<i>Configuração para revisita de até 1 h</i>				<i>PCD</i>		
Nº de Planos Orbitais	Nº de Satélites por Plano	Total de Satélites	Inclinação da Órbita	Oiapoque	Cuiabá	Chuí
1	2	2	0°	100%	100%	—*
1	4	4		100%	100%	—*
2	2	4	30°	100%	100%	92,80%
2	3	6		100%	100%	96,93%
2	4	8		100%	100%	100%
3	1	3		100%	93,38%	56,21%
3	2	6		100%	100%	100%
3	4	12		100%	100%	100%
6	1	6		100%	100%	100%

Tabela 5 - Estudo do tempo de revisita satisfatória de até 15 minutos.

<i>Configuração para revisita de até 15 min</i>				<i>PCD</i>		
Nº de Planos Orbitais	Nº de Satélites por Plano	Total de Satélites	Inclinação da Órbita	Oiapoque	Cuiabá	Chuí
1	2	2	0°	0%	0%	—*
1	4	4		100%	100%	—*
2	2	4	30°	51,82%	20,23%	0%
2	3	6		43,89%	23,02%	0%
2	4	8		52,92%	100%	78,28%
3	1	3		0%	0%	0%
3	2	6		72,81%	45,78%	6,71%
3	4	12		100%	100%	100%
6	1	6		0%	0%	0%

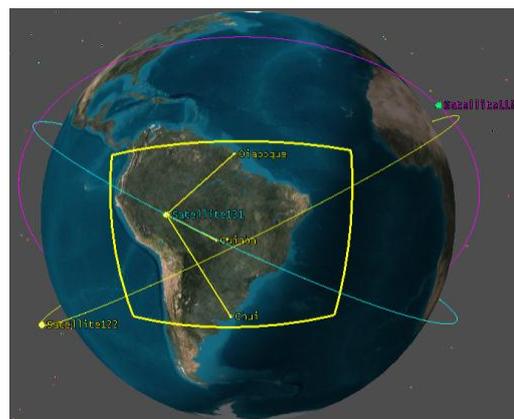
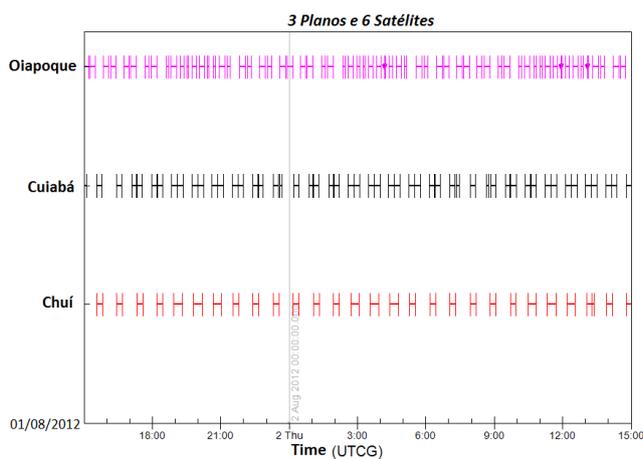


Figura 4 – 3Planos/6Satélites (30°) - Distribuição das passagens dos satélites (01 dia) e visualização 3D da constelação.

* Não há passagem na região do Chuí.

Para o atendimento das demandas da Rede Hidrometeorológica Nacional, as soluções para o segmento espacial baseiam-se em constelações de satélites de órbita baixa (LEO) com planos orbitais entre 0° a 30°. A restrição de revisita melhor que 1h e em qualquer localidade do território nacional implica em pelo menos 6 satélites distribuídos em 3 planos orbitais. Caso esta restrição possa ser abrandada, pode-se reduzir o número de satélites, como por exemplo, a constelação de 2 satélites com inclinação próxima de zero, porém na região sul, abaixo de 26°S, as PCDs não tem acesso aos satélites. Para o requisito de pelo menos 15 minutos de revisita, a constelação que atende essa necessidade é a de 12 satélites distribuídos em 3 planos orbitais, com cerca de 30° de inclinação. Porém, essa constelação tem um custo muito alto. A constelação de 4 satélites com inclinação próxima de zero leva a um resultado satisfatório para latitudes acima de 18°S.

Outro desafio relacionado ao segmento espacial é a necessidade de subsistema de propulsão no satélite para inserção na posição orbital adequada e sua manutenção ao longo do tempo, bem como lançamento de múltiplos satélites para redução de custos de lançamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (processo N° 300601/2011-5) pelo apoio financeiro.

Referência Bibliográfica

Celestino, C. C.; Yamaguti, W.; Kuga, H.; Sousa, C. T. **A localização geográfica de plataformas no Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 1605-1610. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00044-7. Disponível em:

<<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2009/03.02.18.19/doc/@sumario.htm#6>>. Acesso em: 01 nov. 2012.

Chen-Joe Fong, et. al. **Formosat-3/COSMIC Spacecraft Constellation System, Mission Results, and Prospect for Follow-On Mission**. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol.20, No.1, 1-19, February 2009. doi: 10.3319/TAO.2008.01.03.01(F3C).

Yamaguti, W.; Orlando, V.; Pereira, S. P. **Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais: Status e planos futuros**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 1633-1640. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00044-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.21.20.46/doc/1633-1640.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2012.

Yamaguti, W. et al. **Status do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA) – Julho/2012**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2012a. 49 p. (SCD-ETD-009).

Yamaguti, W. et al. **Análise dos Requisitos de Missão para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2012b. 51 p. (SCD-ETD-010).