

O SATÉLITE DE SENSORIAMENTO REMOTO SSR-1 PARA MONITORAMENTO DA AMAZÔNIA

BERNARDO FRIEDRICH THEODOR RUDORFF¹

JANIO KONO¹

MARIO MARCOS QUINTINO DA SILVA¹

YOSIO EDEMIR SHIMABUKURO¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 -12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{bernardo, yosio}@ltid.inpe.br e {kono, quintino}@dss.inpe.br

Abstract: This article presents the recent advances for the Brazilian Remote Sensing Satellite - SSR-1 based on a phase A/B study for the payload. The unique characteristic of the SSR-1 is its low equatorial orbit which provides synoptic images of the entire Amazon region, several times a day. This is of paramount relevance to partially overcome the frequent cloud cover over the Amazon region which is the greatest limitation to monitor, via optical remote sensing systems, ongoing human activities. The SSR-1 will be a 400 kg satellite using the Brazilian multission platform for small satellites, which is being developed under INPE's coordination and manufactured by the Brazilian industry. The SSR imaging system consists of: a VIS/NIR sensor with a spatial resolution at nadir of 40 m and a swath from 5°N to 15°S; and a MIR sensor with a spatial resolution of 500 m and a swath from 5°N to 5°S. The VIS/NIR sensor is a pushbroom CCD camera with three optical heads and five spectral bands: blue, green, red, NIR and an additional water vapor content band for atmospheric correction purpose. The MIR sensor is a pushbroom camera with two optical heads and one band in the 3.4 - 4.2 μm region.

Key words: Remote sensing, satellite, equatorial orbit, Amazon region

1. Introdução

O Satélite de Sensoriamento Remoto - SSR é um satélite de observação da Terra que está previsto dentro do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) da Agência Espacial Brasileira (AEB). Inicialmente ele foi definido para uma órbita polar, tendo como carga útil o sensor WFI (*Wide Field Imager*) que hoje se encontra a bordo dos satélites da série CBERS. Em meados da década de 90 do século passado foi revista a missão do SSR passando a ser um satélite com órbita equatorial baixa, visando atender a demanda por imagens de sensoriamento remoto para fins de monitoramento da região Amazônica. As primeiras especificações desta nova concepção do SSR e as suas diversas aplicações potenciais, tais como: desmatamento, queimadas, enchentes, caracterização e classificação da vegetação, monitoramento de áreas agrícolas, radiação solar, mineração e geologia estão descritas em Bogossian et al. (1995) e Rudorff et al. (1995;1996). Outras aplicações como desertificação na região Nordeste e estudos em oceanografia também são possíveis devido à faixa de cobertura do SSR estar entre as latitudes de 5°N e 15°S (**Figura 1**).

A região Amazônica possui a maior floresta tropical do mundo, abrangendo área de aproximadamente 5 milhões de km². Essa região está passando por acelerado e complexo processo de modificação, em função da intensa ação antrópica, em especial durante as últimas décadas. Um sistema eficiente de monitoramento é fundamental para o controle, manejo e fiscalização dos recursos naturais da região. Apesar dos diversos satélites de sensoriamento remoto disponíveis no Brasil (CBERS, Landsat, Spot) não se dispõe ainda de um sistema com alta frequência de observação. O fator limitante que hoje dificulta a aquisição de imagens para fins de monitoramento é a intensa cobertura de nuvens, aliado à baixa revisita (16 a 26 dias) dos atuais satélites de sensoriamento remoto ótico de resolução espacial média (20 a 100

m). Por exemplo, com o satélite Landsat, que possui um período de revisita de 16 dias, é comum dispor-se de apenas uma cena livre de nuvens por ano em boa parte da Amazônia. Com o SSR em órbita equatorial, pode-se minimizar este problema através da aquisição de várias imagens por dia, aumentando assim a possibilidade de se obter imagens livres de cobertura de nuvens de forma direta ou a partir de mosaicos de imagens multitemporais parcialmente livres de nuvens.

Neste artigo é apresentado o resultado de um estudo para a nova carga útil do SSR em função das modificações que ocorreram em sua plataforma, principalmente no que se refere à maior massa e potência disponíveis para o sensor na plataforma multimissão. Este estudo foi realizado pelo DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*) em cooperação técnica com o INPE e se encontra documentado em DLR (2001). Como parte integral deste estudo foi realizada uma campanha aerotransportada com o sensor hiperespectral HyMap (Cocks et al., 1998), em abril de 2000 numa região próxima à cidade de Rio Branco, Acre.

2. A missão SSR

2.1 Requisitos

Visando recobrir quase a totalidade da Amazônia Legal Brasileira (5°N a 17°S) o sensor do SSR deve ter uma largura de órbita ou faixa de imageamento da superfície terrestre de 2200 km compreendida entre as latitudes 5° Norte e 15° Sul (**Figura 1**). Essa faixa de imageamento corresponde a uma área de 6,3 milhões de km² (74 % do território brasileiro).

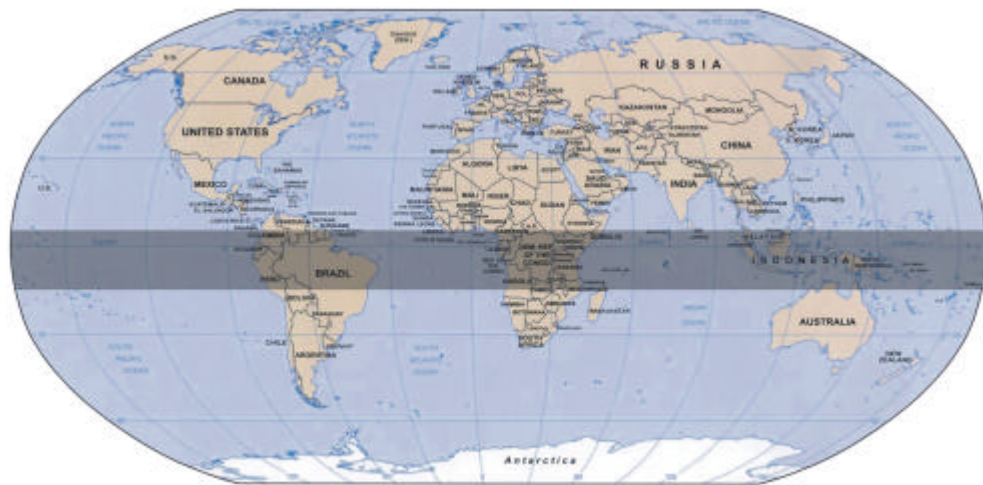


Figura 1 - Cobertura global do SSR

As imagens devem ser adquiridas em três bandas no visível-VIS (azul, verde e vermelho), uma no infravermelho próximo-NIR e uma banda no infravermelho médio-MIR. A resolução espacial das imagens no nadir para as bandas do VIS/NIR deve ser de 40m e para a banda MIR de 500m. Além de transmitir os dados para o centro de recepção dos dados em Cuiabá, MT, o sistema deve ter a capacidade de transmitir dados em tempo quase real para pequenas estações de baixo custo conforme ilustrado na **Figura 2**.

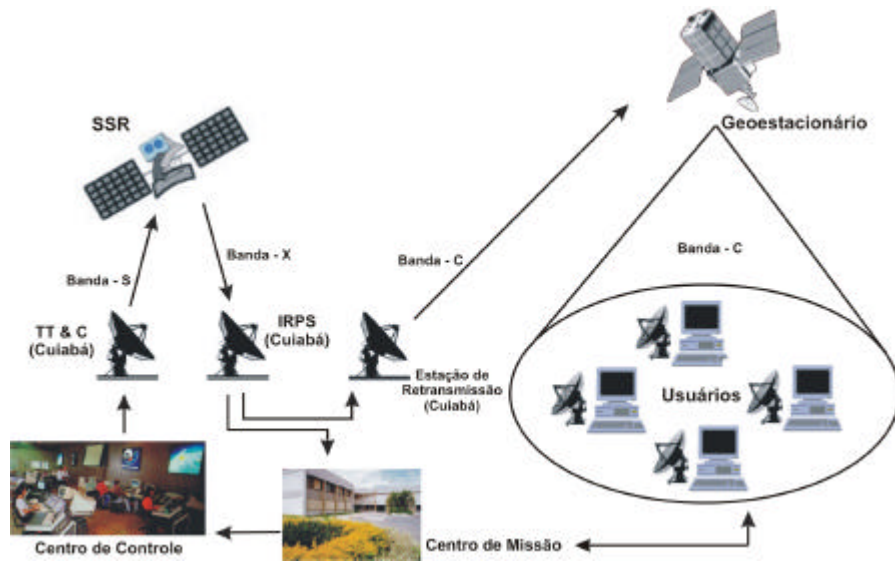


Figura 2 - O sistema SSR-1

2.2 Restrições

A carga útil do SSR deve ser modular, compatível com a plataforma multimissão e com o segmento solo. Desta forma, a carga útil está limitada à massa de 100 kg, a potência média não deve ultrapassar 140 W, a taxa de transmissão de dados deve ser inferior a 150 Mbps e a vida útil da missão deve ser de 4 anos. O sistema SSR deve consistir do satélite e do segmento solo conforme apresentado na **Figura 2**.

2.3 Particularidades

Em comparação com os demais satélites de órbita polar heliosíncrona o SSR apresenta algumas particularidades que precisam ser vistas com cuidado, principalmente no que se refere à órbita e à largura de imageamento. Uma delas é a variação do ângulo de elevação solar durante o período de 12 minutos de imageamento sobre o Brasil, quando o satélite atravessa 3 fusos horários, fazendo com que uma mesma imagem seja adquirida sob diferentes condições de iluminação. Além disso, as imagens adquiridas ao longo do dia, através das diversas passagens do SSR, terão grande variação no azimute solar. Outro aspecto relevante a ser considerado é a condição extrema de visada, principalmente entre as latitudes de 10°S e 15° S. Por exemplo, a 15°S o ângulo de visada do sensor é de 56° fora do nadir e o ângulo de visada do alvo é de 20° acima do horizonte, conforme mostra a **Figura 3**. A consequência destas condições extremas causa um aumento significativo da trajetória do sinal pela atmosfera implicando em distorções e perda na qualidade radiométrica e deverá requerer técnicas e procedimentos especiais de correção atmosférica. Além disso, a resolução espacial sofre uma significativa degradação na medida em que a visada do sensor se afasta do nadir.

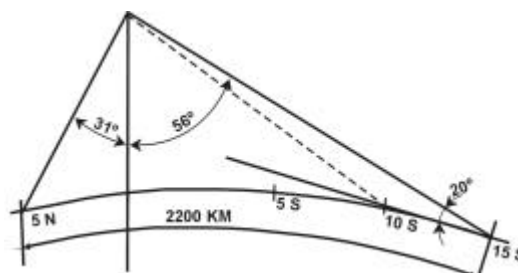


Figura 3 - Geometria de visada do SSR-1

3. Carga útil

A carga útil foi concebida levando-se em consideração os requisitos e as restrições para a missão do SSR procurando seguir os seguintes princípios: a) uso de tecnologia aprovada e testada; b) dimensão pequena; c) baixa potência; e d) baixo custo.

O sistema de imageamento do SSR consiste de um sensor VIS/NIR e de um sensor MIR, uma unidade de processamento digital, uma unidade de controle e uma unidade RF.

3.1 Sensor VIS/NIR

O sensor VIS/NIR é uma câmara CCD de varredura com três cabeças óticas combinadas para alcançar o campo de visada de 56° e a resolução espacial de 40m a nadir. Cada plano focal possui 1 barra de CCD para cada uma das bandas conforme o projeto da câmara HRSC (*High Resolution Stereo Camera*) desenvolvido pelo DLR. As cinco bandas espectrais estão centradas no azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, além de uma banda adicional para estimativa do conteúdo de vapor de água a ser utilizada no procedimento de correção atmosférica das imagens (**Tabela 1**). A **Tabela 2** indica as principais características das três lentes que compõem o sensor VIS/NIR. Os detetores CCD são *Thomson THX 7834C* com 12.000 pixels. A resolução espacial (*GSD-ground sample distance*) obtida com esta configuração é apresentada na **Figura 4**.

Tabela 1 - Bandas espectrais do sensor VIS/NIR

Bandas		Comprimento de Onda
B1	Azul	0,447 to 0,502 μm
B2	Verde	0,518 to 0,566 μm
B3	Vermelho	0,636 to 0,682 μm
B4	Infra vermelho próximo	0,786 to 0,890 μm
B5	Vapor d'água	0,814 to 0,844 μm

Tabela 2 - Características óticas do sensor VIS/NIR

	Lente Norte	Lente Central	Lente Sul
Distância Focal (mm)	137	137	190
Número F	4,85	4,85	4,85
FOV (graus)	31,8	31,8	23,1
Abertura (mm)	115	115	100
Orientação a partir do nadir	+15°	-17°	-44,5°

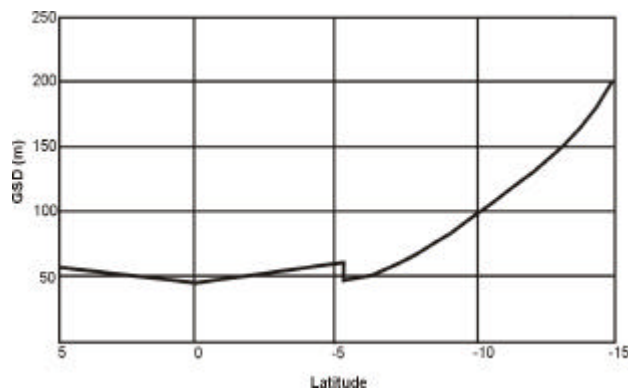


Figura 4 - Resolução espacial (GSD) do SSR-1 em função da latitude.

Um conversor A/D irá acomodar toda a variação dinâmica do sinal, podendo operar em variadas condições de iluminação sem a necessidade de mudança de ganho. A estimativa para a taxa de transmissão de dados dessa câmara é de 252 Mbps. Como o segmento solo está limitado a uma taxa de recepção de dados de 150 Mbps, será necessário comprimir os dados. O método de compressão em tempo real utiliza o CWIC (*Constant Rate Wavelet based Image Compression*).

3.2 Sensor MIR

O sensor MIR é uma câmara de varredura com duas cabeças óticas combinadas para atingirem o campo de visada de 32°. Cada cabeça ótica está montada num plano focal com duas linhas alternadas de detetores de HgCdTe de 512 pixels, refrigerados para operarem em temperatura de 80 K. Este projeto está baseado na tecnologia desenvolvida pelo DLR para o satélite BIRD (*Bi-spectral IR Detection*) em órbita desde 22 de outubro de 2001. Em função do alto consumo de energia desse sensor e da elevada degradação da resolução espacial em latitudes acima de 5°, optou-se por limitar sua abrangência a latitudes entre 5°N e 5°S, com resolução espacial variando de 500m no nadir a 700m nas bordas da imagem. A banda espectral do sensor MIR corresponde à faixa do infravermelho médio que vai de 3,4 a 4,2 μm . Para evitar a saturação em áreas de queimada, o sensor realiza um processamento em tempo real para detecção de pixel com alta radiância possibilitando sua reaquisição com menor tempo de integração. A relação sinal ruído para diferenças de temperatura será melhor do que 0,5 K.

3.3 Projeto mecânico

Todos os itens da carga útil serão montados num painel dedicado que provê a interface com a plataforma conforme ilustrado na **Figura 5**. Esta solução simplifica as atividades de definição da interface, de montagem e de integração e teste. Os parâmetros básicos do módulo da carga útil são: a) massa de 95 kg; b) volume de 1084 x 1130 x 322 mm; e c) potência de 375W / 97W.

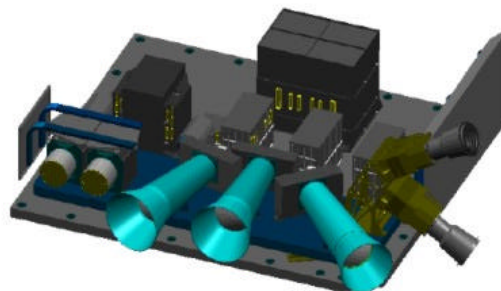


Figura 5. Layout mecânico

4. Atendimento dos requisitos

O atendimento dos requisitos da missão SSR foi demonstrado através dos dados coletados na campanha aerotransportada com o sensor HyMap simulando os dados do SSR. Foram também realizadas simulações computacionais para verificar o desempenho do sensor VIS/NIR. A campanha de vôo foi realizada em abril de 2000 numa região próxima à cidade de Rio Branco no estado do Acre. Para simular os dados do SSR foram estabelecidas as seguintes condições: a) variação das condições de iluminação solar ao longo do dia; b)

variação no ângulo de visada considerando um largo campo de visada; e c) características do alvo e da atmosfera.

Para simular a variação nas condições de iluminação foram adquiridas imagens a cada duas horas, entre 8:00 horas da manhã e 4:00 horas da tarde. Todavia, devido às condições atmosféricas desfavoráveis, durante as duas semanas previstas para realização da missão, foi possível adquirir dados em apenas um dia em horários em torno de 8:00 e 10:00 horas da manhã. Para os dados das 8:00 horas foi possível adquirir imagens tanto a nadir quanto fora do nadir (até 65°), inclinando-se a aeronave para o lado (**Figura 6**). Os alvos da região são tipicamente floresta tropical e pastagens.

As principais conclusões desse estudo podem ser assim resumidas: 1) a razão sinal ruído de 1% para a banda azul pode ser atendida sob condições de atmosfera padrão (10 km de visibilidade) até 8°S; mais ao sul só será possível atender este requerimento sob boas condições atmosféricas (23 km de visibilidade); 2) na extremidade sul da faixa de imageamento (15°S) o efeito de sombreamento da visada oblíqua pode causar problemas; por exemplo, para a latitude de 15°S uma árvore de 40 m de altura projeta uma sombra de 115 m; 3) fortes efeitos de ângulo de visada podem ser corrigidos levando em conta turbidez, conteúdo do vapor d'água e dependência do comprimento de onda no espalhamento por aerossóis; 4) a influência do ângulo de visada sobre o conteúdo de vapor d'água mostrou ser sistemático e deve ser passível de correção; 5) apesar da alta taxa de aquisição de dados, o número de imagens úteis deve ser muito restrito devido à combinação de efeitos radiométricos com efeitos de sombreamento da visada oblíqua e sombra de nuvens; 6) embora apenas uma pequena quantidade de dados do HyMap tenha sido adquirida, em comparação com o que havia sido planejado inicialmente, os dados permitiram simular diferentes condições de iluminação e visada além de auxiliarem na definição das bandas espectrais; e 7) devido às características especiais das imagens do SSR-1, influenciadas tanto pelo sensor quanto pelo alvo, é necessário que sejam realizados estudos que desenvolvam padrões metodológicos para utilização adequada destas imagens.

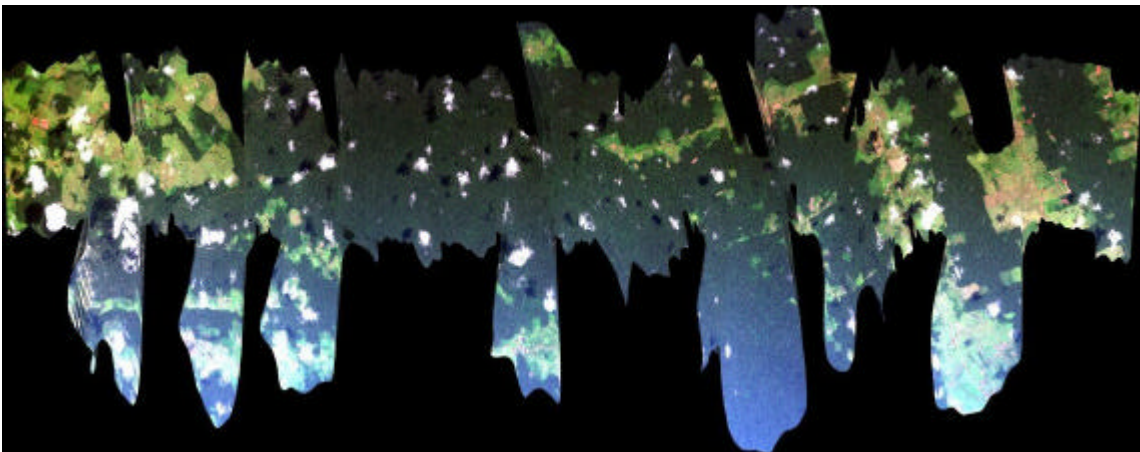


Figura 6 - Imagem em composição colorida nas bandas 15, 10 e 5 do HyMap mostrando o efeito da inclinação da aeronave para obtenção da imagem fora do nadir.

5. Conclusão

Os resultados preliminares do estudo realizado pelo DLR em cooperação técnica com o INPE (DLR, 2001) indicaram que a maioria dos requerimentos do SSR podem ser atendidos através de uma carga útil composta por dois sensores: uma câmara VIS/NIR e outra MIR. Em função das limitações de massa e potência deste satélite de pequeno porte não é possível atender plenamente aos requerimentos da câmara MIR em termos da resolução espacial e da largura

de órbita. Uma perda significativa na qualidade da imagem do sensor VIS/NIR ocorre para a porção entre as latitudes de 13°S e 15°S. Contudo, é possível que para certas aplicações as imagens desta região possam ser úteis devido à alta revisita do SSR.

6. Referências bibliográficas

Bogossian, O.L.; Epiphanyo, J.C.; Shimabukuro, Y.E.; Rudorff, B. **Avaliação da nova concepção do satélite de sensoriamento remoto para aplicação de monitoramento ambiental.** São José dos Campos, 1995. 23p. (INPE-5641-NTC/305).

Cocks, T.; Jenssen, R.; Steward, A.; Wilson, I.; Shields, T. 1998. The HyMap airborne hyperspectral sensor: the system, calibration and performance. **In Proceedings of the 1st Workshop on Imaging Spectroscopy**, Zürich.

Rudorff, B.F.T.; Epiphanyo, J.C.N.; Shimabukuro, Y.E.; Krug, T.; Carvalho, H.C. 1996. Applications of the Brazilian Remote Sensing Satellite (SSR) to monitor the Amazon. **In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**. Vol. XXXI, Part B7, Vienna.

Rudorff, B.F.T.; Epiphanyo, J.C.N.; Shimabukuro, Y.E.; Bogossian, O.L.; Krug, T. 1995. Um satélite de monitoramento ambiental para o Brasil. **Ciência Hoje**, 115:58-61.

DLR-Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. **Phase A/B study for the VIS/NIR/MIR payload on the Brazilian equatorial satellite SSR1 – Final Report**. 169 p. (2001).