

INPE-5641-NTC/305

AVALIAÇÃO DA NOVA CONCEPÇÃO DO SATÉLITE DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA A
APLICAÇÃO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

Otávio Luiz Bogossian
José Carlos Ephiphânio
Yosio Edemir Shimabukuro
Bernardo Rudorff

Publicação Interna - Sua reprodução para o público externo
está sujeito à autorização do
Instituto.

INPE
São José dos Campos
1995

*INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
COMISSÃO INTERNA DA OBT PARA ESTUDO DA MISSÃO SSR DA MECB*

INPE-5641-NTC/305

**AVALIAÇÃO DA NOVA CONCEPÇÃO DO
SATÉLITE DE SENSORIAMENTO REMOTO
PARA A APLICAÇÃO DE MONITORAMENTO
AMBIENTAL**

VERSÃO FINAL DE 3/07/95

MEMBROS DA COMISSÃO

*OTÁVIO LUIZ BOGOSSIAN
JOSÉ CARLOS EPIPHANIO
YOSIO EDEMIR SHIMABUKURO
BERNARDO RUDORFF*

RESUMO

Este relatório apresenta uma avaliação da nova missão do Satélite de Sensoriamento Remoto (SSR) que faz parte da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB). As linhas básicas para a nova concepção do SSR foram apresentadas, por técnicos do INPE, à empresa alemã Dornier a qual submeteu ao INPE uma proposta para o SSR. A principal característica da nova concepção do SSR é a baixa órbita equatorial, que permite uma alta taxa de aquisição de imagens, para as regiões Amazônica e Nordeste. A proposta do SSR foi analisada com a finalidade de avaliar a contribuição das imagens do SSR para o monitoramento ambiental. A partir desta análise foram sugeridas algumas adaptações visando aumentar o escopo das aplicações das imagens do SSR. O satélite terá uma resolução temporal de ~2 horas e obterá imagens, em dias consecutivos, nos mesmos horários. Ele cobrirá uma faixa no solo de mais de 2000 km (5°N até próximo de 15°S) obtendo imagens com uma resolução espacial de 100 metros no nadir e 200 metros na extremidade de imageamento (~15°S). O sensor do SSR deverá dispor de quatro bandas espectrais: a) 0,459 a 0,479 μm ; b) 0,630 a 0,690 μm ; c) 0,760 a 0,900 μm ; e d) 1,55 a 1,75 μm . As imagens adquiridas sobre toda a área recoberta deverão ser transmitidas pelo satélite para uma estação de recepção centralizada. Além da transmissão centralizada, o SSR transmitirá imagens de forma descentralizada, em tempo real, às estações de recepção de usuários locais a fim de permitir o monitoramento de processos dinâmicos. A alta resolução temporal do SSR deverá permitir a aquisição de imagens livres de cobertura de nuvens quer seja de forma direta ou indireta através da composição de imagens multitemporais. Algumas das principais atividades e fenômenos que poderão ser monitoradas através das imagens do SSR são: desmatamento, áreas queimadas, enchentes, caracterização da vegetação, classificação da vegetação, regeneração da vegetação, fenologia da vegetação, monitoramento de áreas agrícolas, desertificação, radiação solar, mineração, e monitoramento de sedimentos e de ecossistemas submarinos.

ABSTRACT

This report presents an evaluation of the new mission of the Remote Sensing Satellite (SSR) that is part of the Brazilian Complete Space Mission (MECB). The basic lines for the new conception of the SSR were presented, by INPE's technicians, to the German company Dornier which submitted to INPE a proposal for the SSR. The main characteristic of the new conception of the SSR is the low equatorial orbit, that enables a high acquisition rate of images, for the Amazon and Northeast regions. The new proposal for the SSR was analyzed with the objective to evaluate the contribution of the images of the SSR to environmental monitoring. From this analysis some adaptations were suggested in order to enlarge the scope of the applications of the SSR images. The satellite will have a temporal resolution of ~2 hours and will obtain images, in consecutive days, at same times. It will cover a ground swath of more than 2000 km (5°N up to near 15°S) with a spatial resolution of 100 meters at nadir and 200 meters at the imaging border (~15°S). The sensor of the SSR should have four spectral bands: a) 0.459 to 0.479 μm ; b) 0.630 to 0.690 μm ; c) 0.760 to 0.900 μm ; and d) 1.55 to 1.75 μm . The acquired images over the entire recovered area should be transmitted by the satellite to a centralized receiving station. In addition to the centralized transmission, the SSR will transmit images in a decentralized way, in real time, to the reception station of local users that could allow the monitoring of dynamic processes. The high temporal resolution of the SSR should permit to obtain cloud free images in either a direct or indirect way through the composition of multitemporal images. Some of the main activities and phenomena that could be monitored with the SSR are: deforestation, burned areas, flooding, characterization of vegetation, classification of vegetation, regeneration of vegetation, phenology of vegetation, monitoring of agricultural areas, desertification, solar radiation, mining, and monitoring of sediment and submarine ecosystems.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste relatório somente foi possível devido à valiosa colaboração de diversos especialistas da área de sensoriamento remoto e engenharia espacial, dentre os quais os autores gostariam de destacar os seguintes: Diógenes S. Alves, Getulio T. Batista, Eduardo J. B. Brito, Vitor C. Carvalho, Sherry C. Chen, Luiz A. V. Dias, Valdete Duarte, Antonio R. Formaggio, Pedro H. Filho, Raimundo A. Filho, Thelma Krug, João A. Lorenzetti, Paulo R. Martini, José S. Medeiros, Elizabete C. Moraes, Evlyn M. Novo, Danton Nunes, Lauro C. Pereira, Flávio J. Ponzoni, Carlos E. Santana, João R. Santos, Alberto Setzer, João V. Soares, Merriti R. Stevenson, Dalton M. Valeriano.

ÍNDICE

<i>1 - INTRODUÇÃO</i>	<i>1</i>
<i>2 - DESCRIÇÃO DA NOVA CONCEPÇÃO DO SSR</i>	<i>2</i>
2.1. A órbita do Satélite	3
2.2. A plataforma do Satélite	3
2.3. A carga útil do Satélite	3
2.4. O Segmento Solo de Aplicações	4
2.5. O Segmento Solo de Controle	4
<i>3 - APLICAÇÕES DO SATÉLITE DE SENSORIAMENTO REMOTO (SSR) PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL DAS REGIÕES AMAZÔNICA E NORDESTE</i>	<i>4</i>
3.1. DESMATAMENTO	5
3.2. ÁREAS QUEIMADAS	7
3.3 ENCHENTES	8
3.4 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO	9
3.5. REGENERAÇÃO DA VEGETAÇÃO	11
3.6. FENOLOGIA DA VEGETAÇÃO	12
3.7. MONITORAMENTO DE ÁREAS AGRÍCOLAS	13
3.8. DESERTIFICAÇÃO	14
3.8.1. Definição	14
3.9. OCEANOGRAFIA	14
3.10. RADIAÇÃO SOLAR	15
3.11 MINERAÇÃO	17
3.12. GEOLOGIA	18
<i>4 - ADAPTAÇÕES E MODIFICAÇÕES NECESSÁRIAS NO SSR PARA ATENDER A MAIOR GAMA DE APLICAÇÕES PARA O MONITORAMENTO DAS REGIÕES AMAZÔNICA E NORDESTE</i>	<i>20</i>
4.1. Resolução temporal	20
4.2. Resolução espectral	20
4.3. Resolução espacial	21
4.4. Resolução radiométrica	21
4.5. Recepção e transmissão de dados	21
<i>5 - CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES</i>	<i>22</i>
<i>6 - OBSERVAÇÕES FINAIS</i>	<i>23</i>

1 - INTRODUÇÃO

Este documento objetiva apresentar uma avaliação da nova concepção do Satélite de Sensoriamento Remoto (SSR) da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB) tomando por base diversas aplicações relacionadas ao monitoramento ambiental das regiões brasileiras compreendidas pelas baixas latitudes (p.ex., Amazônia, Cerrados e Nordeste).

O projeto MECB foi aprovado em 1979 pela antiga COBAE (Comissão Brasileira para Atividades Espaciais) e tomou um verdadeiro impulso em 1982. A MECB prevê a construção de 2 Satélites de Coleta de Dados (SCD-1 e 2), 2 Satélites de Sensoriamento Remoto (SSR-1 e 2), um Veículo Lançador de Satélites (VLS) e uma base de Lançamento em Alcântara-MA. Em fevereiro de 1993 foi lançado o primeiro Satélite de Coleta de Dados (SCD-1) da MECB, que continua operando além de sua vida útil inicialmente prevista (1 ano), e com excelente performance.

Em 1988 foi aprovada a primeira concepção do SSR, que teria como sensor o WFI (imageador de grande angular). A filosofia da missão SSR seguia a dos tradicionais satélites de observação da Terra. Teria uma cobertura global do Planeta a cada 4 dias através da aquisição de múltiplas faixas diárias sobre áreas diferentes da Terra, através de uma órbita quase polar e heliosíncrona. Haveria duas bandas espectrais (TM-3 e TM-4), resolução espacial ao redor de 260m, e sistema centralizado de recepção de dados. Em 1989, decidiu-se incorporar o WFI no satélite da missão CBERS (China Brasil Earth Resources Satellite). Tal decisão teria como consequência a duplicação do sensor em missões diferentes, causando uma certa redundância. Além disso, dado o atraso da MECB, haveria uma certa desatualização tecnológica caso se insistisse com a proposta inicial (WFI).

Diante disso, a revisão da missão do SSR da MECB tornou-se imprescindível. Em julho de 1994, representantes do INPE, em visita à Dornier (empresa alemã), debateram possíveis negócios comuns frente a identificação da disponibilidade de recursos financeiros no Banco Mundial destinados para estudos sobre o meio ambiente os quais foram fornecidos pelo governo alemão. Os representantes do INPE apresentaram as linhas mestras de um satélite equatorial de monitoramento ambiental. Como fruto de tais discussões, a Dornier apresentou uma concepção de satélite de monitoramento da Amazônia. Diante disso, e levando em conta a proposta da Dornier, o INPE decidiu alterar a missão do SSR da MECB.

Em março de 1995 foi estabelecida comissão contando com representantes da OBT e da ETE com o fim de avaliar as características do satélite e os possíveis benefícios da missão para o País. Este relatório corresponde ao resultado da análise desta comissão.

A nova missão proposta para o SSR objetiva, prioritariamente, o monitoramento ambiental da região Amazônica. A região Amazônica constitui uma das maiores riquezas do País, e deve haver um monitoramento e controle das atividades e do desenvolvimento

da região. A missão SSR vem ao encontro desse objetivo. É um instrumento claramente orientado para fornecer respostas num intervalo de tempo compatível com o dinamismo dos fatores ambientais ocorrentes nessa região. O SSR visa cobrir praticamente toda a Amazônia e a região Nordeste, e parte dos Cerrados, abrangendo desde 5° N até próximo de 15° S. Tem como ponto singular de sua concepção uma altíssima resolução temporal, adquirindo uma imagem do mesmo local a cada 2 horas. Esta resolução temporal, aliada a uma resolução espacial entre 100 e 200 metros imprimem ao satélite SSR-MECB potencialidades únicas em relação aos satélites existentes ou planejados.

A nova filosofia ora apresentada para o SSR constitui um avanço tecnológico significativo em nível mundial, já que nenhum País possui um instrumento de monitoramento ambiental com a combinação de resoluções espacial e temporal do SSR. Este satélite, ao invés de seguir os passos dos outros Países no desenvolvimento de satélites de Sensoriamento Remoto, toma um rumo distinto, especificamente aplicado às características do Brasil, sem que haja perda de compatibilidade em nível de bandas espectrais em relação aos dados de outros satélites (p. ex. o SPOT).

Outro aspecto inovador é a transmissão direta das imagens aos usuários. Ao invés de adotar uma filosofia rígida de transmissão centralizada de dados do satélite, haverá uma distribuição mista (centralizada e descentralizada). Isso minimizará ainda mais o tempo entre a aquisição do dado pelo satélite, e o recebimento e a análise pelo usuário. Tal descentralização da recepção de dados será materializada através da implantação de estações de recepção de baixo custo e baixa complexidade, de forma a reduzir o custo de investimento dos usuários não só em equipamentos mas também em formação de pessoal.

Este documento de avaliação da nova concepção do Satélite de Sensoriamento Remoto (SSR) da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB) tomando por base diversas aplicações relacionadas ao monitoramento ambiental das regiões brasileiras compreendidas pelas baixas latitudes (p.ex., Amazônia, Cerrados e Nordeste) complementa-se com as seguintes partes: descrição da nova concepção do SSR, apresentação e análise de aplicações potenciais dos dados do satélite, adaptações e modificações na concepção do SSR para atender à maior gama possível de aplicações, e conclusões finais e recomendações.

2 - DESCRIÇÃO DA NOVA CONCEPÇÃO DO SSR

A nova concepção do SSR prevê não somente mudanças nas características do satélite e segmento solo de aplicações como também na sua órbita. O projeto tem previsão de 3 anos e meio de duração e a vida útil da missão é de 7 anos e meio. A missão se constitui de 2 Satélites, de um Segmento Solo de Aplicações e de um Segmento Solo de Controle. Seu lançamento será efetuado pelo Veículo Lançador de Satélites da MECB à partir da base de Lançamento de Alcântara.

2.1. A órbita do Satélite

O satélite será posicionado em uma órbita equatorial de 1000 km (0° de inclinação) de altitude. A escolha desta órbita se deveu ao fato de permitir uma resolução temporal em torno de duas horas (mais precisamente 105 minutos) para a região em torno do equador. Também se deveu ao fato de permitir obtenção de imagens em vários horários do dia, aumentando a possibilidade de obtenção de imagens livre de nuvens bem como a baixa manutensibilidade da órbita.

2.2. A plataforma do Satélite

A plataforma do satélite tem uma massa prevista de 230 kg, uma estabilização a três eixos, propulsão a hidrazina e uma vida útil de 4 anos. Está sendo prevista a determinação da órbita a bordo, através do uso do sistema GPS. Isto será realizado através de um computador de bordo com configuração e dimensionamento para executar o monitoramento e acionamento das funções de bordo; bem como o controle de atitude, a determinação e a execução (comandadas de solo) de manobras de órbita. O controle do satélite será efetuado através de antenas na banda S.

2.3. A carga útil do Satélite

A carga útil do satélite se constituirá de um instrumento imageador a base de tecnologia CCD que observará latitudes de 5° N a 15° S, estabelecendo uma faixa de cobertura no solo de 2200 km. Sua implementação está prevista em dois módulos, o primeiro cobrindo $\pm 5^\circ$ de latitude e o segundo de 5° até 15° S. As bandas previstas são 0.55, 0.66 e $0.90 \mu\text{m}$ com resolução no nadir de 100 m. A largura destas bandas se situa entre 30 a 40 nm. No limite do campo de visada (FOV) os ângulos de incidência se situarão próximos de 70° e resolução ao redor de 200 m. Está sendo prevista também uma banda no infravermelho médio em $1,35 \mu\text{m}$ com largura de 700 nm e com resolução de 300 m no nadir.

A transmissão para o solo será efetuada através de dois grupos de antenas. Um primeiro grupo, constituído de uma única antena na Banda X é orientado para transmitir todos os dados adquiridos pelo satélite. O segundo grupo será constituído de 5 antenas na Banda S orientadas a transmitir os dados provenientes de uma das 5 faixas preestabelecidas e fixas da terra, irradiando potência somente para a faixa ao redor de 500 km a que correspondem os dados. Os dados transmitidos pelo segundo grupo serão compactados visando reduzir a taxa de transmissão.

2.4. O Segmento Solo de Aplicações

O Segmento Solo de Aplicações será constituído de um Sistema de Recepção Centralizado visando receber e processar os dados provenientes do primeiro grupo de antenas, ou seja, todos os dados adquiridos pelo satélite.

O Segmento Solo de Aplicações também será constituído de um Sistema de Recepção Distribuído, no qual diversos Sistemas de Processamento e Recepção Direta, de baixo custo, estarão disponíveis para serem operados diretamente pelos usuários. Cada sistema, que possui antenas fixas, deverá ser posicionado em uma das 5 faixas, de acordo com os dados de interesse do usuário, estando desta forma, apto a receber somente os dados da faixa correspondente. As antenas terão aberturas que lhes permitirão receber uma faixa de 250 km em seu entorno.

2.5. O Segmento Solo de Controle

O Segmento Solo de Controle será constituído de duas Estações de Rastreamento e Controle (Cuiabá-MT e Alcântara-MA), um Centro de Controle em São José dos Campos-SP e facilidades de comunicação de dados para interligar o Centro às estações de rastreamento e controle.

3 - APLICAÇÕES DO SATÉLITE DE SENSORIAMENTO REMOTO (SSR) PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL DAS REGIÕES AMAZÔNICA E NORDESTE

As imagens a serem fornecidas pelos SSR deverão proporcionar informações para o monitoramento e estudo de diversas atividades e fenômenos na região norte e nordeste do Brasil, acima do paralelo 15°S. Esta região tem sofrido contínuas modificações ao longo das últimas décadas, particularmente a partir de 1950. Com o avanço da agricultura e pecuária na região dos cerrados e a ocupação extensiva de partes da região Amazônica, ocorreram profundas modificações no que se refere ao uso da terra. Juntamente com o desenvolvimento da agricultura e pecuária, rotas de migração e escoamento da produção foram criadas e ampliadas causando um contínuo e crescente ciclo de ocupação dessas regiões. Atividades de mineração e a implantação de hidroelétricas também trouxeram modificações marcantes, não só para a região Amazônica, mas também para o Nordeste brasileiro. A dinâmica dessas ocorrências é complexa e o seu monitoramento requer informações obtidas por sensoriamento remoto através de um satélite com as características do SSR, cuja resolução temporal é muito alta e, portanto, inédita comparada aos demais satélites de sensoriamento remoto, hoje disponíveis. A frequência de obtenção de imagens a cada 2 horas irá permitir a obtenção

de imagens livres de cobertura de nuvens para o monitoramento das mais diversas aplicações e fenômenos, durante todo o ano. As imagens livres de nuvens poderão ser obtidas diretamente ou através da composição de imagens multitemporais visando a eliminação de nuvens. A resolução espacial do SSR será de 100 m (nadir) próximo ao equador, chegando até uma resolução de 200 m para a região próxima aos 15° S, devido ao grande ângulo de visada dos sensores a bordo do SSR. Espera-se que esta resolução espacial, aliada à alta resolução temporal, além das diversas bandas espectrais propostas, seja adequada para atender uma ampla gama de aplicações de técnicas de sensoriamento remoto para o monitoramento ambiental da região abrangida pelo satélite. Outra característica importante do SSR é a sua possibilidade de transmitir imagens diretamente à estação de trabalho do usuário local, sobre uma área de até ~500 x 500 km (a localização desta área dependerá da posição da estação de trabalho do usuário dentro das faixas de transmissão do satélite). Atividades que requerem uma alta taxa de frequência de imagens, tais como acompanhamento de queimadas, desmatamento e enchentes, serão altamente beneficiadas por esta característica do SSR. Cabe ressaltar que as imagens sobre todo o território brasileiro coberto pelo SSR serão também recebidas e processadas através de uma estação centralizada, podendo, posteriormente, ser distribuída aos usuários, tal como vem sendo realizado para as imagens dos demais satélites de sensoriamento remoto (p.ex. SPOT e Landsat).

O satélite SSR vem sendo especialmente projetado para o monitoramento e diversas atividades e fenômenos das regiões Amazônica e Nordeste, tais como a) desmatamento e queimadas na região Amazônica; b) enchentes e inundações; c) desertificação no Nordeste; d) caracterização, classificação, regeneração e estudo da fenologia da vegetação; e) atividades agrícolas e de mineração; f) estudos oceanográficos e radiação solar. Uma descrição mais detalhada sobre o potencial do SSR no monitoramento ambiental, através do uso de técnicas de sensoriamento remoto, para algumas das principais atividades e fenômenos dessas importantes regiões do território brasileiro são apresentadas a seguir.

3.1. DESMATAMENTO

3.1.1. Definição

A Amazônia inclui áreas de vegetação do tipo cerrado, campos, campos cerrados, cerradão, floresta tropical úmida, mangue e reflorestamento. Esta região é importante no que se refere ao sistema climático global e figura como uma das prioridades para estudos científicos que visam o entendimento dos processos ligados às mudanças globais. Os efeitos causados pela alteração na cobertura florestal podem afetar de forma significativa os ciclos hidrológico e biogeoquímicos. O desmatamento, seguido pela queima e decomposição da biomassa, causa a liberação de carbono para a atmosfera, principalmente na forma de CO₂, e pode contribuir nos processos de mudanças globais através da intensificação do “efeito estufa”. Imagens orbitais do satélite Landsat revelaram que houve um aumento da área desmatada entre o período de 1978 a 1991 de

274.000 km². Contudo, o monitoramento e a avaliação das áreas desmatadas estão limitados não apenas pela disponibilidade de imagens livres de cobertura de nuvens, mas também pelo longo período decorrido entre a aquisição do dado e o seu fornecimento ao usuário.

3.1.2. Importância do SSR

O sensoriamento remoto orbital tem sido uma importante ferramenta na avaliação de áreas desmatadas na região Amazônica. Têm sido utilizadas basicamente as imagens dos satélites Landsat e SPOT, que tem uma resolução temporal de 16 e 26 dias, respectivamente. Até certo ponto, tem se obtido bastante êxito nesta atividade, apesar das limitações impostas pela baixa resolução temporal destes satélites, que dificulta a obtenção de imagens livres de cobertura de nuvens. Desta forma, a avaliação da área desmatada é feita com imagens de vários anos, de acordo com a sua disponibilidade a fim de se poder obter o total recobrimento da região.

Um satélite com as características do SSR poderá fornecer imagens livres de cobertura de nuvens com uma probabilidade muito maior, pois sua resolução temporal é de ~2 horas. Além disto, será possível obter uma imagem composta por diversas imagens adquiridas em dias subsequentes e, desta forma, eliminar a cobertura aleatória de nuvens. Por exemplo, pode-se obter uma imagem por semana desde que, pelo menos em uma das passagens do SSR, uma pequena fração da imagem esteja descoberta de nuvem e sombra de nuvem durante aquela semana. Isto fará com que as estimativas de desmatamento sejam mais precisas, evitando-se a prognose temporal que tem sido utilizada quando ocorre cobertura de nuvem em imagens fornecidas pelos atuais satélites. As estimativas de desmatamento também poderão ser feitas com maior frequência. A evolução do desmatamento, especialmente em áreas extensas, poderia ser avaliada em tempo quase real, pois o usuário terá a possibilidade de receber os dados do SSR diretamente em sua estação local de trabalho (~500 x 500 km), ou então sobre toda a região imageada pelo SSR através das imagens recebidas na estação central. Além disso, espera-se que o SSR contribua também na caracterização da vegetação de tal forma que a estimativa da área desmatada, aliada ao tipo de vegetação, possibilite avaliar com maior precisão a taxa de desmatamento, avaliar a quantidade de carbono liberado através da atividade do desmatamento e estimar sua real contribuição no aumento da concentração global do gás carbônico na camada troposférica.

3.1.3. Sumário

A atividade de desmatamento na região Amazônica continua sendo relevante, e a obtenção de estimativas confiáveis sobre a extensão e localização do desmatamento é de grande importância. Por exemplo, é fundamental que se disponha de informações confiáveis sobre a real contribuição do aumento da concentração de CO₂ na atmosfera como resultado da presente atividade de desmatamento na região Amazônica. A alta resolução temporal do SSR (~2 horas) poderá fornecer informações de interesse científico para o melhor entendimento dos processos de mudanças globais, além de servir como uma importante ferramenta de fiscalização e vigilância na região Amazônica. A possibilidade de obter imagens em tempo real através da transmissão direta das imagens

ao usuário local é uma característica muito desejável do SSR para o monitoramento das atividades de desmatamento.

3.2. ÁREAS QUEIMADAS

3.2.1. Definição

O uso do fogo em áreas destinadas à agricultura e pecuária é uma prática de manejo muito utilizada no Brasil, principalmente na região do cerrado e em áreas de capoeira na Amazônia. Durante as últimas décadas as áreas de floresta tropical e de cerrado denso têm sido alvos de desmatamento, sendo que o fogo tem contribuído para o aumento das áreas queimadas. A determinação do número, extensão, distribuição geográfica e temporal das áreas queimadas, são fundamentais no fornecimento de informações em diversas áreas científicas, técnicas e administrativas. As queimadas provocam emissões de compostos químicos que têm aumentado as concentrações de poluentes atmosféricos chegando, muitas vezes, a níveis superiores aos recomendados pelos padrões ambientais nacionais e estrangeiros. Este fenômeno tem se espalhado sobre áreas de milhões de km² trazendo prejuízos para a saúde da população regional, especialmente em termos de doenças pulmonares e alérgicas. A poluição atmosférica tem sido apontada também como causa de estresse na vegetação, podendo causar prejuízos na produção agrícola e na vegetação da região Amazônica. O fechamento de aeroportos devido à elevada quantidade de fumaça também tem causado problemas para a região.

3.2.2. Importância do SSR

A alta frequência temporal do SSR aliada a uma resolução espacial em torno de 1 a 4 ha, possibilita a identificação e a quantificação de áreas queimadas, especialmente através da composição colorida de imagens nas faixas espectrais do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. Com a alta frequência temporal do SSR (~2 horas), somada às suas diversas bandas espectrais e à característica de transmissão dos dados do SSR em tempo real ao usuário local, será possível identificar e estimar as áreas queimadas e monitorar sua evolução de forma quase que instantânea. Com as imagens obtidas em diferentes horários ao longo do dia, espera-se que o SSR contribua grandemente no aperfeiçoamento do atual sistema de detecção de queimadas que vem sendo realizado no INPE, de forma operacional, para detectar queimadas através sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) que tem uma resolução espacial nominal de apenas 1,1 x 1,1 km (~120 ha) e está limitado à obtenção de uma imagem por dia.

3.2.3. Sumário

A detecção de queimadas é uma atividade relevante e que vem sendo executada de forma operacional no INPE e em algumas outras instituições brasileiras através do uso de imagens do sensor AVHRR com a finalidade de fiscalizar mais de uma centena de

áreas de preservação. Porém, o AVHRR apresenta uma série de limitações para a realização efetiva desta aplicação, e o SSR deverá melhorar a metodologia operacional atualmente existente, principalmente no que se refere à quantificação das áreas queimadas, devido à sua alta resolução temporal e espacial. Além disso, os dados do SSR poderão ser transmitidos em tempo real para o usuário local permitindo a identificação e fiscalização de áreas queimadas. Com isso, as providências necessárias poderão ser tomadas de forma extremamente rápida.

3.3 ENCHENTES

3.3.1. Definição

A região Amazônica é caracterizada por uma elevada precipitação registrando-se freqüentemente precipitações de mais de 3.000 mm anuais, o que desenvolveu na região uma extensa rede fluvial. Devido à grande extensão territorial da Amazônia ela possui diversas regiões geomorfológicas tais como as terras baixas. Essa associação de elevada precipitação e extensa rede fluvial, canalizando a água para as terras baixas, provoca, em certas épocas do ano, enchentes ou inundações. As enchentes podem ser definidas como episódios em que a vazão de um rio ultrapassa o nível de margens plenas e podem ser classificadas em termos de seu período de recorrência. Enchentes normais são aquelas com período de recorrência entre 1 e 2 anos enquanto que as enchentes excepcionais são aquelas que ocorrem em período superior a 50 anos. Estudos na área de hidrologia têm desenvolvido modelos de previsão de enchentes a partir de dados de precipitação e vazão. Informações sobre a variação da área alagada e o tempo de permanência da água nas planícies da região Amazônica somente podem ser obtidas através da aquisição de dados de sensoriamento remoto com alta repetitividade. Estas informações são relevantes para avaliar os prejuízos causados pelas enchentes e também servem para planejar o uso efetivo das planícies de inundação. As inundações podem também ameaçar as populações ribeirinhas e exigem medidas de curto prazo para mitigar o problema. Outro aspecto das inundações nessas regiões é o desenvolvimento de uma flora e fauna muito susceptíveis às alterações ambientais provocadas pela ação antrópica. Embora as características climáticas da região Nordeste sejam muito diferentes daquelas da região Amazônica, os fenômenos de enchente também estão presentes. Apesar de haver diferenças climáticas entre sub-regiões, em geral, são freqüentes as ocorrências de enchentes, devido à alta concentração da precipitação, num curto período de tempo, aliado à baixa capacidade de infiltração da água em certos tipos de solos.

3.3.2. Importância do SSR

O monitoramento de fenômenos de curta duração tal como enchentes e inundações precisam ser observados por satélites de alta resolução temporal tal como o SSR, principalmente devido a dois fatores: 1) a dinâmica da inundação e; 2) a intensa cobertura de nuvens na região que impede a obtenção de imagens livres de cobertura de nuvens. Nenhum dos atuais satélites permite um monitoramento adequado deste

fenômeno, incluindo o Earth Radar Satellite (ERS-1) que apesar de não ser influenciado pela presença de nuvens, possui uma resolução temporal de apenas 35 dias. O satélite NOAA/AVHRR possui uma resolução temporal razoável (diária) que permitiria a observação das enchentes, porém sua resolução espacial (~1,1 a 5 km) é inadequada para avaliar a dimensão da enchente. Desta forma o SSR apresenta-se como uma excelente alternativa para o monitoramento de enchentes pois, além de possuir uma resolução espacial razoável (~100 a 200 m), apresenta uma resolução temporal de ~2 horas o que certamente permitirá a obtenção de imagens livres de cobertura de nuvens, quer seja diretamente ou através da composição de imagens multitemporais visando a eliminação de nuvens. Além disto, o SSR poderá ser útil para o fornecimento de dados de entrada em modelos de previsão de enchentes nas planície de inundação. Em áreas florestadas a detecção da presença de água é dificultada mas existem indicações de que ela pode ser demarcada pelo impacto indireto sobre os lagos de várzea. A identificação de regiões de extravasamento da vazão apresenta valor prático para realização de obras de contenção de inundação. A característica da transmissão dos dados em tempo real é também altamente desejável para o monitoramento de enchentes e inundações.

3.3.3. Sumário

O monitoramento de enchentes nas regiões Amazônica e Nordeste através de imagens obtidas pelos satélites de sensoriamento remoto, atualmente em operação, pode ser considerado como sendo praticamente inviável devido às limitações de suas resoluções temporal e/ou espacial. O satélite NOAA/AVHRR apresenta repetitividade razoável (diária) porém sua resolução espacial é incompatível para observação de enchentes. Outros satélites (p. ex.. Landsat/TM e SPOT/HRV) têm boa resolução espacial mas apresentam uma baixa repetitividade temporal. Finalmente, o satélite ERS-1 embora seja insensível às nuvens e tenha boa resolução espacial, apresenta uma resolução temporal inadequada (35 dias). Portanto, o SSR, com altíssima repetitividade (~2 horas) e resolução espacial razoável (~100 a 200 m) parece reunir características ideais para o monitoramento de enchentes nas regiões Amazônica e Nordeste.

3.4 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO

3.4.1. Definição

O conhecimento das condições da cobertura vegetal, sua distribuição espacial e sua variação temporal tem grande importância científica e econômica. Por exemplo, sob o ponto de vista científico, o clima é afetado pelo balanço de energia que pode ser modificado pela influência que a cobertura vegetal exerce nas trocas energéticas entre a superfície e a atmosfera; além disto, pode-se destacar a fiscalização da exploração deste recurso natural que tem conseqüências sobre a economia da região Amazônica. A identificação de aptidões de determinadas regiões, com vistas ao zoneamento ecológico-econômico (ZEE), é atualmente realizada através do diagnóstico das condições da cobertura vegetal e do uso da terra. A caracterização do tipo de vegetação é também relevante nos processos de fotossíntese e evapotranspiração, onde as folhas são as grandes responsáveis pela troca de energia entre a biosfera e a atmosfera. As folhas

absorvem parte da energia solar e a convertem em energia química através do processo da fotossíntese. Outra característica importante das folhas é que elas refletem e transmitem boa parte da energia solar incidente na região do infravermelho próximo. As variações nas quantidades de energia absorvida, refletida e transmitida pelas folhas da vegetação são função dos diferentes tipos de vegetação. O sensoriamento remoto ao nível orbital, através da coleta de informações adquiridas em diferentes bandas espectrais, ao longo do desenvolvimento da vegetação, é uma ferramenta de grande potencial na caracterização dos diferentes tipos de vegetação nos níveis local, regional e global. Além disso, espera-se que a obtenção de imagens orbitais em diferentes horários possa revelar diferenças fisionômicas na cobertura vegetal.

3.4.2. Importância do SSR

Dadas as características do SSR, que possui alta resolução temporal e bandas espectrais próprias para o monitoramento da vegetação, espera-se poder caracterizar diferentes tipos de cobertura vegetal não só através das variações da resposta espectral ao longo do tempo, mas também através da obtenção de imagens em diferentes condições de iluminação que possam revelar diferenças entre as fisionomias vegetais as quais não se observam em condições fixas de iluminação. Os atuais satélites, tais como Landsat e SPOT, não têm apresentado resultados satisfatórios para a caracterização de diferentes tipos de vegetação, principalmente devido à baixa frequência de passagem destes satélites (Landsat, 16 dias e SPOT, 26 dias). Na prática a probabilidade de obter uma imagem livre de cobertura de nuvens, através destes satélites, nas regiões Amazônica e Nordeste, é muito baixa (muitas vezes menos de uma imagem ao ano). Já o satélite NOAA/AVHRR possui uma resolução temporal melhor (diária), o que aumenta a probabilidade de aquisição de imagens úteis (livres de nuvens), porém sua baixa resolução espacial (1,1 a 5 km) limita a caracterização da vegetação ao nível local. Com o SSR, que terá uma resolução temporal de 2 horas, espera-se obter imagens úteis com maior frequência de tal forma que a vegetação possa ser efetivamente caracterizada ao nível local, regional e global.

3.4.3. Sumário

A alta frequência de aquisição de imagens pelo SSR aumentará a probabilidade de se obter imagens livres de cobertura de nuvens sobre os diferentes tipos de vegetação em seus diversos estágios de desenvolvimento, o que deverá permitir caracterizar e classificar os diversos ecossistemas. A aquisição de imagens pelo SSR em diferentes ângulos de elevação solar poderá fornecer respostas espectrais diferenciadas em função da fitofisionomia. Também auxiliará de forma significativa na caracterização da vegetação para áreas compatíveis com a resolução espacial do SSR, que é em torno de 1 a 4 ha.

3.5. REGENERAÇÃO DA VEGETAÇÃO

3.5.1. Definição

Áreas originalmente cobertas com florestas, na região Amazônica, e que foram desmatadas, por diversas razões, são geralmente abandonadas após um certo tempo de uso exploratório (p. ex. agricultura e pecuária). Nestas áreas ocorre a regeneração natural da vegetação que, ao longo do tempo, reabsorve o CO₂ originalmente transferido para a atmosfera. Isto se dá através do processo da fotossíntese que reincorpora o carbono na vegetação e, conseqüentemente, diminui a concentração de CO₂ na atmosfera. Contudo, a extensão, localização e caracterização destas áreas de vegetação em regeneração não são bem definidas e, conseqüentemente, a avaliação das taxas de absorção de CO₂ atmosférico não podem ser quantificadas de forma satisfatória. Há uma crescente preocupação, na comunidade científica mundial, no sentido de se obter estimativas confiáveis sobre a real contribuição das áreas de regeneração na absorção do CO₂ atmosférico a fim de melhor avaliar o seu possível papel nos processos de mudanças globais.

3.5.2. Importância do SSR

A extensão, localização e caracterização das áreas de vegetação em regeneração, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, tem sido dificultado por uma série de razões. A principal delas tem sido a baixa disponibilidade de imagens orbitais livres de cobertura de nuvens. Outro fator importante na identificação de áreas em regeneração é a época de aquisição das imagens. Durante certos períodos do ano as áreas em regeneração assemelham-se muito com outros alvos nas imagens, não sendo possível discriminá-las. Por exemplo, devido à semelhança entre áreas de regeneração e áreas de pastagem durante certas épocas do ano, é praticamente inviável a sua discriminação através das técnicas de sensoriamento remoto hoje disponíveis, requerendo extensivos trabalhos de campo. Todavia, com a alta frequência de passagem do SSR (2 horas) espera-se obter imagens livres de cobertura de nuvens em períodos que permitem caracterizar e quantificar estas áreas com alta confiabilidade. O SSR também poderá ter um importante papel na estratificação de diferentes estágios de regeneração (idade da floresta secundária) através da utilização de imagens obtidas em anos subseqüentes.

3.5.3. Sumário

O estudo da regeneração da vegetação através de técnicas de sensoriamento remoto tem sido limitado pela baixa disponibilidade de imagens livres de nuvens em períodos adequados. A caracterização e quantificação das áreas em regeneração é relevante para o estudo de mudanças globais e para o melhor conhecimento sobre o seu papel no processo de absorção do CO₂ atmosférico. A alta resolução temporal do SSR aumentará a probabilidade de obtenção de imagens livres de cobertura de nuvens permitindo caracterizar e quantificar as áreas de vegetação em regeneração com alta confiabilidade.

3.6. FENOLOGIA DA VEGETAÇÃO

3.6.1. Definição

A fenologia da vegetação é a variação natural que ocorre na vegetação e está relacionada com a variação do clima e com as estações. Essa variação natural que ocorre na vegetação ao longo do ano é uma das características utilizadas para discriminar diferentes tipos de vegetação. Em regiões tropicais a fenologia da cobertura vegetal está normalmente associada à variação estacional, à disponibilidade de água no solo e à capacidade de retenção da água pelo solo. Outra variação na cobertura vegetal pode ser causada pela predominância de uma espécie que perde todas suas folhas (caducifolia) numa dada estação do ano, como é o caso da Caatinga. Exceto por enclaves presentes no seu domínio, como o carnaubal ou as florestas presentes nas encostas úmidas, toda a região a ser imageada pelo SSR apresenta uma marcante variação na biomassa foliar e, conseqüentemente, na atividade fotossintética ao longo do ano. O Cerrado apresenta espécies caducifolias, sobretudo no estrato rasteiro ou herbáceo. Há florestas caducifolias dentro do domínio da floresta tropical associadas às regiões com estação seca pronunciada, como é o caso dos limites sul, norte e leste da região Amazônica. Nas várzeas amazônicas as formações campestres apresentam fenologia foliar bastante dinâmica, com alternância de colonização por parte de espécies adaptadas às condições de inundação e emersão da planície fluvial. O mapeamento da dinâmica espacial e temporal destas variações fenológicas permite a melhor caracterização e classificação da cobertura vegetal, permitindo a inferência sobre a qualidade do solo e a aptidão agrícola.

3.6.2. Importância do SSR

A alta resolução temporal do SSR permitirá a montagem de mosaicos mensais de imagens livres de cobertura de nuvens para o estudo da fenologia da cobertura vegetal. Experiências anteriores com imagens do Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) induzem à expectativa de que as imagens do SSR irão contribuir significativamente no estudo da fenologia da vegetação, principalmente devido à sua melhor resolução temporal e espacial.

3.6.3. Sumário

Os estudos fenológicos da vegetação podem propiciar meios para diagnosticar os impactos favoráveis e desfavoráveis que o meio ambiente exerce na vegetação ao longo do ano vindo a favorecer o entendimento da dinâmica da vegetação e o seu monitoramento. As imagens do SSR deverão melhorar de forma significativa os atuais métodos de estudo da fenologia da vegetação e contribuir para melhorar a classificação da vegetação através de técnicas de sensoriamento remoto.

3.7. MONITORAMENTO DE ÁREAS AGRÍCOLAS

3.7.1. Definição

A ocupação da Amazônia após o descobrimento do Brasil pelos europeus foi iniciada com a exploração econômica dos recursos naturais principalmente nas atividades de extrativismo vegetal, agricultura e pecuária. Ainda hoje, o extrativismo tem considerável importância na economia regional, mormente como fonte geradora de emprego nas explorações de madeira, palmito, seringueira, babaçu, dentre outras. No que tange à utilização agrícola dos solos da Amazônia brasileira, observa-se que a pecuária desponta como a atividade de maior expressão abrangendo uma área de ~42 milhões de ha. A lavoura temporária, ocupa ~5,2 milhões de ha e a lavoura permanente tem cerca de 1 milhão de ha. A agricultura, com exceção dos grandes projetos, é principalmente praticada nas suas formas peculiares, ou seja: a) agricultura de várzea (praticada em solos de fertilidade natural alta, porém, sujeito às inundações periódicas e sazonais) e; b) agricultura migratória que consiste na forma tradicional de cultivo, onde é feita a derrubada da vegetação, queima e plantio durante 2 a 3 anos em pequenas áreas. Esta forma de cultivo ainda é bastante difundida na Amazônia e vem contribuindo para o aumento das áreas desmatadas e queimadas. Estas atividades favorecem a erosão dos solos, além de provocar um desequilíbrio nos ecossistemas vindo a comprometer o estoque da biodiversidade.

3.7.2. Importância do SSR

A grande limitação da utilização de técnicas de sensoriamento remoto para o monitoramento da atividade agrícola nas regiões Amazônica e Nordeste, tem sido a indisponibilidade de imagens livres de cobertura de nuvens, em épocas adequadas, durante o ciclo das culturas. Certamente a resolução temporal do SSR irá minimizar ou até mesmo eliminar essa limitação. Todavia, o monitoramento de áreas agrícolas pouco extensas poderá estar limitado pela resolução espacial do SSR (~100 a 200 m). A característica do SSR que permite a obtenção de imagens em diferentes horários poderá ser um fator favorável na identificação e discriminação de alvos agrícolas.

3.7.3 Sumário

As práticas agrícolas na Amazônia e no Nordeste são diversas e variadas e seu monitoramento através de técnicas de sensoriamento remoto tem sido limitado principalmente devido à indisponibilidade de imagens livres de cobertura de nuvens em períodos adequados. Certamente o SSR irá minimizar a indisponibilidade de imagens livres de nuvens, porém poderá apresentar ainda algumas limitações no que se refere ao monitoramento de áreas agrícolas pequenas menores do que 10 ha.

3.8. DESERTIFICAÇÃO

3.8.1. Definição

Os desertos são caracterizados pela aridez devida à baixa quantidade de chuva e alta radiação solar. A falta de água impõe uma restrição à produtividade da terra e limita o crescimento e desenvolvimento das plantas e conseqüentemente restringe a capacidade de suporte. O ecossistema é particularmente vulnerável nas zonas semi-áridas e é facilmente destruído pela exploração antrópica inadequada. A região Nordeste do Brasil, que é caracterizada pela vegetação da caatinga, está sujeita ao processo de desertificação causado principalmente pelo crescimento populacional e pelo uso inadequado de técnicas agrícolas que, aliadas ao clima desfavorável, propiciam e aceleram o processo de desertificação. O monitoramento de áreas em processo de desertificação através do emprego de técnicas de sensoriamento remoto na região Nordeste do Brasil tem sido muito limitado principalmente pela falta de imagens livres de cobertura de nuvens, restringindo os estudos relacionados à dinâmica da cobertura vegetal em relação ao clima e uso do solo.

3.8.2. Importância do SSR

Estudos sobre o processo de desertificação na região semi-árida do Nordeste brasileiro, através de técnicas de sensoriamento remoto podem ser intensificados através das imagens livres de cobertura de nuvens. O SSR permitirá efetuar uma série de estudos relacionados com o processo de desertificação buscando um melhor entendimento da interação entre o clima e a vegetação.

3.8.3. Sumário

A região semi-árida do Nordeste brasileiro tem como principal problema a irregularidade na distribuição de relativamente pouca chuva que, aliada ao manejo inadequado do solo, pode acelerar o processo de desertificação. A indisponibilidade de imagens livres de cobertura de nuvens limita o estudo dos processos de desertificação via sensoriamento remoto. A alta resolução temporal do SSR permitirá a utilização de técnica de sensoriamento remoto para o planejamento do uso sustentado dentro do conceito do zoneamento ecológico-econômico vindo a contribuir na diminuição de áreas com risco de desertificação.

3.9. OCEANOGRAFIA

3.9.1. Definição

Na área de oceanografia pode-se destacar o monitoramento de sedimentos suspensos, de ecossistemas submarinos e de ilhas oceânicas e atóis brasileiros. O monitoramento de sedimentos suspensos é útil na avaliação do estado presente e evolução temporal do processo de erosão costeira, principalmente na região

nordeste/norte do Brasil. O monitoramento de ecossistemas submarinos, até ~25 m de profundidade, é importante para a determinação de batimetria, tipos de fundos, bancos de algas e outros parâmetros do fundo marinho. O monitoramento de ilhas oceânicas e atóis brasileiros é importante para o controle ambiental de ecossistemas tais como: Fernando de Noronha, Rochedos de São Pedro e São Paulo e Atol das Rocas. É possível também, que através do processamento adequado das imagens de sensoriamento remoto, possa ser monitorado o movimento de embarcações através do rastro deixado na superfície do mar.

3.9.2. Importância do SSR

A grande vantagem do SSR para as aplicações na área de oceanografia está ligada à sua alta repetitividade temporal (~2 horas), que deverá minimizar o problema da indisponibilidade de imagens livres de cobertura de nuvens, muito comum na região equatorial sul, e que impede ou dificulta o monitoramento desses sistemas através das imagens dos satélites de observação da terra hoje disponíveis. Cabe ressaltar que o SSR deverá dispor de uma banda espectral na faixa de comprimento de onda correspondente ao azul. Também será imprescindível a instalação de estações de recepção de dados em tempo real em região de baixa latitude no norte ou nordeste, tal como Natal ou Fortaleza, e em alguma ilha oceânica tal como Fernando de Noronha.

3.9.3. Sumário

Para as aplicações na área de oceanografia é fundamental que o sensor do SSR disponha de uma banda espectral na faixa de 0,459 a 0,479 μm (banda proposta no MODIS) e a instalação de estações remotas para recepção de dados em tempo real. Estas estações poderiam ser instaladas no INPE/Natal ou na FUNCEME/Fortaleza e em Fernando de Noronha para garantir a cobertura da região do oceano Atlântico equatorial

3.10. RADIAÇÃO SOLAR

3.10.1 Definição

A radiação solar é a mais importante fonte natural de energia para a Terra. O conhecimento detalhado da distribuição espacial e temporal da radiação solar é fundamental para diversas finalidades, entre as quais destacam-se o aproveitamento de energia não-convencional e as aplicações agrícolas, hidrológicas e climatológicas. Além disso, a região Amazônica atua como uma importante fonte de distribuição global de energia para a circulação geral da atmosfera. Tradicionalmente, o estudo sobre a radiação solar na superfície é realizado através de instrumentos convencionais específicos, cuja operação exige cuidados especiais que incluem procedimentos rotineiros de calibração e manutenção e são praticamente inexistentes na região Amazônica. Os satélites de observações ambientais geoestacionários oferecem uma alternativa para a estimativa de radiação solar, com alta resolução espacial e temporal, ao prover dados básicos para modelos especialmente concebidos para essa finalidade. Esses

modelos exigem a operação de instrumentos convencionais, instalados em pontos representativos, para fins de validação e calibração. A comunidade científica internacional tem se dedicado com sucesso à elaboração de metodologias para a estimativa de radiação solar usando imagens obtidas, em caráter operacional, pelos satélites heliossíncronos e geoestacionários. Além disso, em várias oportunidades foram operados a bordo de satélites instrumentos especialmente desenvolvidos para esse fim, sendo o ERBE (Earth Radiation Budget Experiment) a iniciativa mais bem sucedida nesse sentido. Atualmente, os satélites meteorológicos geoestacionários que observam o Brasil são os da comunidade européia e, em especial, o GOES-8 e o METEOSAT-5 (com restrições) observam toda a região Amazônica, pois encontram-se posicionados em 75°W. Desde 1981 pesquisadores brasileiros, em especial no INPE, vêm trabalhando com estimativa de radiação solar por satélite. Embora alguns resultados já tenham sido alcançados, muitas etapas ainda precisam ser cumpridas para que se faça uso pleno do modelo para fins operacionais.

3.10.2. Importância do SSR

A baixa resolução espacial dos satélites geoestacionários (satélites meteorológicos) e a baixa resolução temporal (satélites de observação dos recursos naturais) apresentam limitações para estimar a radiação solar via sensoriamento remoto. Os dados provenientes do SSR, que possuem uma resolução temporal de aproximadamente 2 horas e uma alta resolução espacial para estudos desta natureza, apresentam-se como uma excelente perspectiva para estimar a radiação solar incidente na superfície terrestre e certamente fornecerão uma significativa contribuição no entendimento do sistema global do clima. Todavia, é fundamental que o sensor do SSR disponha de uma banda centrada em 0,470 μm com uma largura de 20 nm. Seria desejável também que o SSR dispusesse de uma banda centrada em 1,240 μm com uma largura de 20 nm. O estudo simultâneo de observações globais de nuvens e das propriedades óticas de aerossóis é muito importante para o entendimento do sistema global do clima. As partículas de aerossóis são componentes importantes no sistema terra-atmosfera, pois afetam a visibilidade atmosférica, a radiação armazenada na Terra e a qualidade das imagens obtidas via sensoriamento remoto. Contudo, o efeito dos aerossóis sobre a radiação solar direta ou sobre o efeito de nuvens é considerada, na comunidade científica, como sendo a fonte de maior incerteza relacionada ao impacto climático.

3.10.3. Sumário

É de fundamental importância a disponibilidade de informações confiáveis nas bandas definidas para o SSR. A possível introdução das bandas especificadas acima é altamente desejável pois poderá proporcionar um melhor entendimento dos efeitos de aerossóis atmosféricos, o que viria a aprimorar a estimativa de radiação solar e do albedo atmosférico. Logo, a utilização destas bandas do espectro solar viria a contribuir para aprimorar os conhecimentos da distribuição de energia solar na região Amazônica e Nordeste do Brasil, bem como para a estimativa de elementos básicos para a obtenção do balanço de radiação e para a estimativa de evapotranspiração. As informações sobre

radiação solar servirão como dados de entrada para modelos climáticos e virão a complementar a rede solarimétrica.

3.11 MINERAÇÃO

3.11.1 Definição

Na região Amazônica estão instaladas três das províncias minerais mais importantes do planeta: Rio Pitinga (Sn), Rio Trombetas (bauxita) e Serra dos Carajás (Fe, Ni, Cu, Mn e Au). Outras províncias de relativa importância são: Serra do Navio (Mn) e Rondônia (Sn e Au). A estas vêm se somar as jazidas de óleo e gás do Alto Tefé, Vale do Rio Urubu, no Estado do Amazonas. Estes projetos de exploração estão organizados de forma a não prejudicar ostensivamente os recursos hídricos e o meio ambiente físico. Em Pitinga, Trombetas e Rondônia foram construídas bacias de contenção de rejeitos após a identificação de plumas turvas na rede hídrica em imagens de satélite. Outros projetos, como aqueles no rio abaixo de São Félix do Xingu, continuam lançando quantidades enormes de rejeitos diretamente na rede hídrica. A preocupação ambiental existente por parte da comunidade exploradora não ocorre nas áreas de extração informal como em garimpos. Nos casos mais conhecidos como em Peixoto de Azevedo (MT) e Cuiú-Cuiú (PA), o processo acelerado de instalação de garimpos (da ordem de dias) e a dispersão rápida dos rejeitos na rede hídrica provocam situações totalmente descontroladas sob ponto de vista de monitoramento e impacto ambiental. Estas situações reclamam por sistemas de observação da Terra com atributos mais específicos quanto aos domínios temporal e espacial, do que aqueles disponíveis atualmente (p. ex. SPOT e Landsat).

3.11.2 Importância do SSR

O SSR reúne uma série de características desejáveis para monitorar projetos organizados e informais de exploração mineral na Amazônia, permitindo identificar de forma rápida a presença de atividades exploratórias clandestinas, como por exemplo, em reservas indígenas ou ecológicas. O SSR poderá também dar suporte à detecção de mudanças no meio ambiente físico provocadas por expansão dos projetos organizados de exploração ou pela instalação de novos projetos. As situações atualmente estudadas indicam que o SSR possui uma resolução espacial adequada pois, mesmo que as áreas sejam pequenas ou com bordas de baixo contraste, a alta resolução temporal do SSR poderá torná-lo um sondador para posterior análise em imagens de maior resolução espacial.

3.11.3 Sumário

O SSR apresenta um grande potencial para detectar mudanças no meio ambiente físico advindas de atividade mineradora formal ou informal, devido à sua alta resolução temporal. Além disto, o SSR apresenta um grande potencial para ser utilizado como sondador devido à sua alta repetitividade e resolução espacial média, podendo atuar de

forma integrada com outros sistemas orbitais de melhor resolução espacial (p. ex. SPOT, Landsat e CBERS).

3.12. GEOLOGIA

3.12.1. Definição

A Amazônia é uma região com reconhecido potencial em seu subsolo. Porém, sabe-se ainda muito pouco sobre a real extensão dos seus recursos minerais, embora haja um grande interesse econômico e estratégico com relação a estes recursos. Para isto, é necessário que se intensifiquem estudos do mapeamento geológico-estrutural tectônico que visem indicar áreas potenciais para a exploração mineral e/ou recursos energéticos. Todavia, a exploração mineral e de outros recursos geológicos ocorre tanto na forma legal quanto na forma clandestina. Estas explorações vêm causando sérios danos ao meio ambiente e à economia devido à evasão ilegal dos recursos explorados.

3.12.2. Importância do SSR

Os diversos programas de sensoriamento remoto têm dado significativas contribuições para o conhecimento geológico na região Amazônica, sendo que o Projeto Radambrasil pode ser considerado como o exemplo mais bem sucedido. Mais recentemente, imagens de sistemas de radares e de sistemas ópticos ao nível orbital também têm contribuído de forma significativa no avanço do conhecimento dos recursos geológicos na região Amazônica. As imagens dos satélites Landsat e do SPOT possuem uma alta resolução espacial mas têm a restrição de apresentarem uma baixa resolução temporal, o que, para a área de geologia, muitas vezes não constitui um impedimento chave. A contribuição do SSR para estudos na área de geologia, principalmente na região Amazônica, poderá ser significativa em função das suas características inéditas em relação a outros satélites de sensoriamento remoto na faixa óptica. O SSR obterá imagens com diferentes ângulos de iluminação e com uma alta taxa de repetitividade. Os múltiplos ângulos de iluminação propiciarão um realce das feições geomorfológicas e, por conseguinte, ampliará a possibilidade de identificação de feições de interesse como, por exemplo, o destaque do relevo, principalmente numa zona de difícil acesso e precariamente cartografada. A alta resolução temporal poderá ser útil para estudos em geobotânica a partir da caracterização da vegetação conforme analisado no item 3.4. Adicionalmente, a alta resolução temporal do SSR amplia a possibilidade de monitorar as atividades ligadas à geologia, como, por exemplo a questão dos garimpos apresentada no item 3.11.

3.12.3. Sumário

O SSR apresenta uma característica única em termos de obtenção de imagens com diferentes ângulos de iluminação o que realça as feições geomorfológicas através do sombreamento diferenciado, destacando o relevo, que é de grande importância nos estudos na área de geologia. A alta resolução temporal aliada aos diferentes ângulos de

iluminação das imagens adquiridas pelo SSR poderão contribuir significativamente nos estudos de geobotânica através da caracterização e identificação da vegetação. Os dados do SSR também poderão ser utilizados em combinação com outros sistemas de aquisição de dados em sensoriamento remoto aumentando o conhecimento sobre os recursos minerais na Amazônia.

4 - ADAPTAÇÕES E MODIFICAÇÕES NECESSÁRIAS NO SSR PARA ATENDER A MAIOR GAMA DE APLICAÇÕES PARA O MONITORAMENTO DAS REGIÕES AMAZÔNICA E NORDESTE

4.1. Resolução temporal

A resolução temporal atualmente prevista para o SSR é de 105 minutos e, por não ser múltipla da duração de um dia, não propiciará imageamentos no mesmo horário local em dias consecutivos. Esta é uma característica indesejável uma vez que se faz necessário obter imagens com o mesmo horário local em dias consecutivos para manter as mesmas condições de geometria de iluminação. Visto que a região equatorial sul possui uma freqüente cobertura de nuvens, é de se esperar que se tenha que lançar mão de técnicas de processamento de imagens que visem eliminar nuvens através do uso de múltiplas imagens obtidas em dias consecutivos. Deste modo, a composição das imagens seria uniforme com relação à geometria de iluminação da cena. Todavia, a composição de imagens adquiridas em diferentes horários também seria possível e atenderia diversas aplicações onde a geometria de iluminação não fosse relevante e poderia agilizar a obtenção de cenas livres de nuvens. Portanto, considera-se relevante que a resolução temporal do SSR seja ajustada de tal forma que as cenas obtidas em dias consecutivos sejam coincidentes em termos do horário local. Isto implica que o SSR deverá ter uma resolução temporal de 110,7 ou 102,8 minutos que corresponde a 13 ou 14 órbitas diárias, respectivamente.

4.2. Resolução espectral

Considera-se fundamental que o sensor do SSR disponha de uma banda espectral na faixa de comprimento de onda de 0,630 a 0,690 μm (largura de 60 nm; vermelho - TM-3) que corresponde ao pico de absorção da energia solar pela vegetação e que é utilizada no processo da fotossíntese, em que a energia solar é convertida em energia química. Outra banda espectral imprescindível está na faixa de comprimento de onda de 0,760 a 0,900 μm (largura de 140 nm; infravermelho próximo - TM-4) onde as folhas da vegetação espalham grande parte da energia solar incidente fazendo com que a energia refletida seja elevada nesta faixa espectral. O uso conjunto dessas duas bandas espectrais (vermelho e infravermelho próximo) é amplamente utilizado no estudo de vegetação via sensoriamento remoto. Adicionalmente, o sensor do SSR deverá dispor de uma banda na faixa de comprimento de onda de 0,459 a 0,479 μm (largura de 20 nm; azul - MODIS) para estudos oceanográficos e qualidade da água. Esta banda espectral também é fundamental nos processos de correção atmosférica das imagens do SSR. Outra banda altamente relevante para uma grande gama de aplicações no monitoramento ambiental da Amazônia é a banda correspondente à faixa espectral de comprimento de onda de 1,55 a 1,75 μm (largura de 200 nm; infravermelho médio - TM-5) devido à boa

separabilidade entre solo e vegetação neste comprimento de onda, além de ser pouco influenciada pela atenuação atmosférica. Os trabalhos de avaliação da áreas desmatadas na região Amazônica têm utilizado composições coloridas formadas pelas bandas TM-3, TM-4, e TM-5 do Landsat de mesma resolução espacial. Desta, forma considera-se que as bandas espectrais inicialmente propostas para o SSR sejam revistas em termos de seu posicionamento, de sua largura e da compatibilização da resolução espacial de 100 a 200 m para todas as bandas.

4.3. Resolução espacial

Seria desejável que a resolução espacial do SSR, que varia de 100 a 200 m, fosse melhorada para atender melhor certas aplicações. Porém, acredita-se que ela é adequada para a maioria das aplicações relativas ao monitoramento ambiental das regiões Amazônica e Nordeste. Certamente, áreas ou alvos de tamanho pequeno (<10 ha) serão difíceis de serem avaliados com o SSR. Todavia, o SSR poderá servir como detetor de alterações que posteriormente poderão ser avaliados com sensores de melhor resolução espacial (p. ex. SPOT e Landsat). Contudo, sabe-se que uma melhoria na resolução espacial implica no aumento da taxa de dados a serem transmitidos. A atual resolução espacial de 100 a 200 m viabiliza estações de recepção diretas de baixo custo, o que é fundamental para a transmissão em tempo real das imagens SSR para o usuário local. Outro ponto a ser ressaltado é a necessidade de que todas as bandas possuam a mesma resolução espacial afim de que elas possam ser utilizadas na composição de imagens multiespectrais.

4.4. Resolução radiométrica

A resolução radiométrica em 256 níveis é adequada para as aplicações previstas com base em experiências anteriores realizadas com sensores de igual resolução radiométrica.

4.5. Recepção e transmissão de dados

O Sistema de Recepção Distribuída consiste na transmissão das imagens SSR diretamente ao usuário local, em tempo real. A recepção das imagens SSR está limitada a uma das 5 faixas terrestres de transmissão que cobrem a região de imageamento do satélite. A característica de transmissão das imagens SSR diretamente ao usuário é um ponto alto da concepção do satélite, principalmente para o monitoramento de fenômenos de curta duração e atividades de fiscalização. O Sistema de Recepção Centralizado permitirá o recebimento das imagens SSR sobre toda a área coberta pelo satélite e estariam disponíveis para toda a comunidade de usuários.

5 - CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Com base na concepção do Satélite de Sensoriamento Remoto (SSR) descrita e especificada nos documentos “Conceptual study for an Amazon region observation satellite system” e “Proposta de reformulação dos satélites de sensoriamento remoto da MECB” foram avaliadas as características iniciais do SSR para as principais aplicações de monitoramento das regiões Amazônica e Nordeste do Brasil. As conclusões e recomendações no intuito de maximizar a utilidade das imagens de sensoriamento remoto do SSR, com base nos documentos acima mencionados, são descritas a seguir.

1) A órbita equatorial do SSR é inovadora na área de sensoriamento remoto e permite uma alta resolução temporal. Isto é uma característica desejável e fundamental para a obtenção de imagens livres de cobertura de nuvens. Todavia, é imprescindível que as imagens sejam obtidas nos mesmos horários locais, em dias consecutivos. Portanto, a órbita do satélite deve ser alterada para garantir uma resolução temporal de 110,7 ou 102,8 minutos.

2) As quatro bandas espectrais inicialmente propostas devem ser redefinidas em termos de sua posição e largura dentro do espectro eletromagnético abrangido pelo sensor do SSR. Portanto, propõe-se: a) uma banda na faixa de 0,459 a 0,479 μm (azul - proposta no MODIS); b) uma banda na faixa espectral de 0,630 a 0,690 μm (vermelho - TM-3); c) uma banda na faixa espectral de 0,760 a 0,900 μm (infravermelho próximo - TM-4); e d) uma banda na faixa espectral de 1,55 a 1,75 μm (infravermelho médio - TM-5). Contudo é fundamental que todas as bandas tenham a mesma resolução espacial de 100 a 200 m para que se possa compor imagens multiespectrais.

3) Com a resolução espacial de 100 metros no nadir e 200 metros na extremidade de imageamento (15°S), o SSR parece atender às necessidades das principais aplicações propostas e possui uma resolução espacial inovadora em termos dos satélite de sensoriamento remoto hoje disponíveis. A proposta inicial prevê uma resolução espacial de 300 m para a banda espectral de 1,55 a 1,75 μm . Todavia, é fundamental que esta banda tenha uma resolução espacial compatível com a resolução espacial proposta para as demais bandas, conforme ressaltado no item anterior.

4) A opção de recepção das imagens do SSR, em tempo real pelo usuário local é uma característica inovadora e desejável, principalmente para o monitoramento de fenômenos e eventos de curta duração (p. ex.. queimadas, enchentes, inundações) e para atividades de fiscalização (p. ex. desmatamento, queimada e mineração).

5) A recepção centralizada das imagens do SSR sobre toda área de recobrimento do satélite é de fundamental importância e deve ser mantida independentemente da recepção descentralizada, a fim de que toda a comunidade de usuários possa ser atendida.

6) A resolução radiométrica de 256 níveis para as quatro bandas deve ser mantida.

6 - OBSERVAÇÕES FINAIS

a) É desejável que uma quinta banda espectral seja adicionada ao sensor do SSR na faixa espectral de 1,230 a 1,250 μm que será útil para uma melhor correção atmosférica das imagens e também apresenta grande potencial para estudos de vegetação.

b) É desejável também que um terceiro módulo seja incluído no SSR a fim de que o imageamento seja ampliado para toda a região equatorial de 15°N a 15°S. Isto faria com que o SSR tivesse uma maior abrangência e sua relevância passasse para o plano internacional na área de satélites de sensoriamento remoto.

c) Deve ser ressaltado que, tendo em vista as características do satélite, há vários pontos que deverão ser melhor analisados e avaliados tanto científica como tecnologicamente. Por exemplo, precisam ser avaliados os efeitos de borda das imagens provenientes das duas câmaras, o nível de calibração das câmaras e dos detetores, os sistemas de pré-tratamento dos dados nas estações de terra, os efeitos de diferentes ângulos solares sobre as imagens do SSR, etc.