



O satélite MAPSAR do programa espacial brasileiro: concepção, estado atual e potencial para aplicações nas Geociências

W.R. Paradella¹, A.R. Santos¹, P. Veneziani¹ (in memorian), M.M.Q. Silva¹, J.C. Mura¹,
T.N. Rabelo¹, S.S.A. Knust¹, R.K. Teruiya², F.P. Miranda³, C.R. Souza Filho⁴, A.P. Crósta⁴,
P.W.M. Souza-Filho⁵ & M.C. Morais⁶

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, (waldir, athos, tiago, knust@ltd.inpe.br; quintino@dss.inpe.br; mura@dpi.inpe.br,)

2 Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM), Manaus, AM, (rosely@atech.br)

3 Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES-PETROBRAS), RJ (fmiranda@cenpes.petrobras.com.br)

4 Instituto de Geociências (IG-UNICAMP), Campinas, SP, (beto, alvaro@ige.unicamp.br)

5 Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, (walfir@ufpa.br)

6 Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, (mcarolina@degeo.ufop.br)

Abstract This paper presents MAPSAR (Multi-Application Purpose SAR): a SAR (Synthetic Aperture Radar) mission for Earth Observation. MAPSAR is the result of a joint study conducted by INPE and German Aerospace Agency (DLR) targeting a mission for assessment, management and monitoring of natural resources, particularly for the Amazon Region. The applicability of this SAR system is being investigated for distinct disciplines: Geosciences (Cartography, Geology, Geomorphology, Hydrology, etc.), Agriculture, Disaster Management, Oceanography, Urban Studies and Defense. An L-band SAR, based on INPE's Multi-Mission Platform (MMP), has been chosen as payload of the satellite. The key component of the SAR instrument is the SAR antenna, which is designed as an elliptical parabolic reflector antenna. L-band (high spatial resolution, quad-pol) has been selected for the SAR sensor as optimum frequency accounting for the majority of Brazilian and German user requirements. At the moment, the phase A is under development, the cost estimate of the whole MAPSAR mission (including launcher) is around MUS\$ 90 with time to deployment of 6 years. The paper also discusses aspects related to the potential of the MAPSAR for applications in the Geosciences.

Palavras-chave: Radar, Satélite MAPSAR, SAR-R99 (SIVAM-CENSIPAM), Geociências

INTRODUÇÃO O radar imageador representa uma das opções do sensoriamento remoto no levantamento de recursos naturais e monitoramento do planeta. Distinto dos sensores ópticos, que dependem do Sol para prover informações físico-químicas dos alvos, um SAR opera nas microondas, fornece informações geométricas e elétricas dos alvos e é o único sensor remoto com penetrabilidade na copa vegetal. Sua capacidade de prover imagens com elevada resolução espacial, independente de condições atmosféricas e iluminação solar, torna-se estratégica para aplicações na Amazônia, onde a presença de chuvas, nuvens e fumaça impõem restrições ao imageamento óptico. O artigo apresenta a concepção e o estado atual da iniciativa MAPSAR e explora aspectos do potencial de aplicações do satélite nas Geociências.

O CONTEXTO DO MAPSAR A análise do cenário de programas espaciais revela uma presença cada vez maior de missões com radares imageadores. O lançamento do ERS-1 em 1991 e dos sucessores JERS-1, ERS-2, RADARSAT-1 marcou o início de disponibilidade ininterrupta de dados SAR orbitais.

Com o lançamento em 2002 do ENVISAT com o sensor ASAR, a capacidade de extrair informação foi ampliada com a disponibilidade de imagens multipolarizadas. Nesse sentido, o advento dos radares polarimétricos do ALOS/PALSAR e RADARSAT-2, naquele ano de 2006, reveste-se de grande expectativa, pela possibilidade de síntese completa dos mecanismos de espalhamento nos alvos, por meio da detecção dos atributos de amplitude, polarização e fase do sinal retroespalhado. O Brasil tem experiência reconhecida em aplicações com radar na Amazônia (Programas RADAMBRASIL, SAREX' 92, INTERA, ProRadar, SIR-C/X-SAR, JERS-1, RADARSAT-1, ADRO, GlobeSAR-2). A Alemanha é referência mundial em tecnologia SAR (MRSE, SIR-C/X-SAR, E-SAR, X-SAR/SRTM, TerraSAR-X, SAR-LUPE). A decisão de se iniciar um estudo de viabilidade de construção de um radar orbital entre o INPE e a DLR foi estabelecida em 2001, consolidando experiências específicas e complementares das duas agências, sendo acordado que o INPE seria responsável pela plataforma e integração do satélite, cabendo à DLR a concepção da



carga útil e análise de órbita. O estudo preliminar do MAPSAR foi finalizado em dezembro de 2002, estando em curso à fase de viabilidade detalhada (Fase A), com término previsto para 2006. Se essa viabilidade for confirmada, o MAPSAR passa a ser uma das opções mais consistentes de missão que utilizaria a Plataforma Multi-Missão (PMM), um projeto em desenvolvimento no Programa Espacial do Brasil. Um dos aspectos mais inovadores do MAPSAR foi a grande participação de usuários desde a sua concepção. Em abril de 2002, 83 representantes de 28 instituições públicas e privadas nacionais reuniram-se no INPE em São José dos Campos (SP), para levantar os requisitos de aplicações dos usuários nacionais que justificasse a iniciativa (detalhes: Schröder *et al.* 2005a, b). Das discussões foram considerados prioritários nas aplicações os temas: Geociências (Geologia, Hidrologia, Geomorfologia, Cartografia), Agricultura, Manejo de Desastres, Florestas, Oceanos, Zonas Costeiras, Urbanismo, Defesa e Região Antártica. Os requisitos dos usuários foram estabelecidos em função dos parâmetros do sensor (frequência, polarização, azimuth de visada, incidência, resolução espacial, faixa imageada (*swath*), capacidades estereoscópica e interferométrica), da configuração de órbita (polar, sol-síncrona, inclinação, tempo de revisita, controle) e outras característica de missão (duração, série de satélites, formato de dados etc.). O consenso do encontro foi de apoio à iniciativa do INPE-DLR, com recomendação para um sistema operacional (“*application-oriented*”) e dedicado para mapeamentos temáticos (topografia, geologia, florestas, hidrologia etc.) de recursos naturais (renováveis e não-renováveis) da Amazônia. Além disso, foi recomendada uma integração do MAPSAR com as atividades do SIVAM/SIPAM, devido à

natureza complementar das observações (aeronave/espacial) e similaridade de dados (radares polarimétricos). Uma sistemática similar foi conduzida pela DLR na Alemanha, com a incorporação adicional das inovações da polarimetria e interferometria no mapeamento de biomassa (regiões tropicais e boreais). Devido ao desempenho da PMM (massa, potência, envelope geométrico, taxa de dados) foram impostas limitações que convergiram para especificações de um SAR com frequência única (L), altitudes de órbita entre 600 e 650 km e com a inovação de antena refletora elíptica (Fig. 1). A opção pela antena refletora apresenta vantagens de peso e custo menores, mantendo-se os requisitos de polarimetria e elevada resolução espacial e com limitação de *swath* (máximo de 55 km). A partir dessas especificações, estudos estão sendo conduzidos para compatibilizar opções de altitude de órbita, regiões de acesso, intervalos de incidência, performance do sistema, tempo de revisita, capacidades estereoscópica e interferométrica etc. A Fig. 2 ilustra a geometria de imageamento MAPSAR para uma órbita de 620 km. As especificações gerais do MAPSAR são apresentadas na tabela 1.

Comprimento de onda	Banda L (23 cm)
Polarização	Única, dual e quad-pol
Intervalo de incidência	20° - 45°
Resolução espacial	3 – 20 metros
Faixa de recobrimento	20 – 55 km
Inclinação da órbita	Sol-síncrona
Cobertura	Global
Direção de visada	Ascendente/descendente
Tempo de revisita	semanal
Acesso ao dados	Near real time
Requisitos adicionais	Estereoscopia e Interferometria

Tabela 1. Especificações gerais do MAPSAR

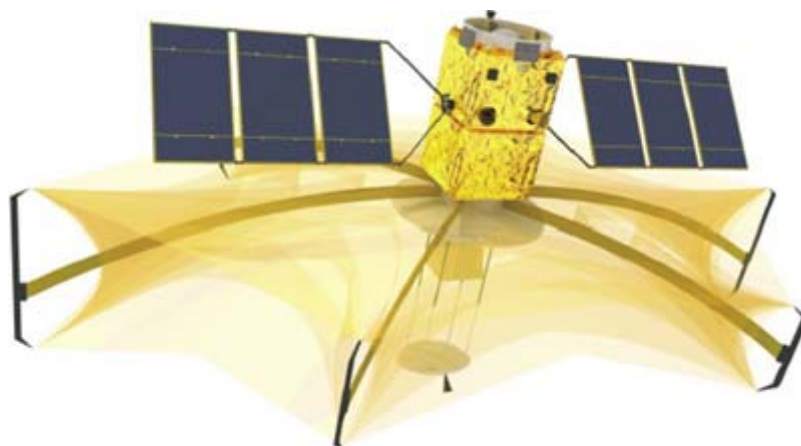


Figura 1. Concepção artística do satélite MAPSAR com a inovação da antena refletora elíptica

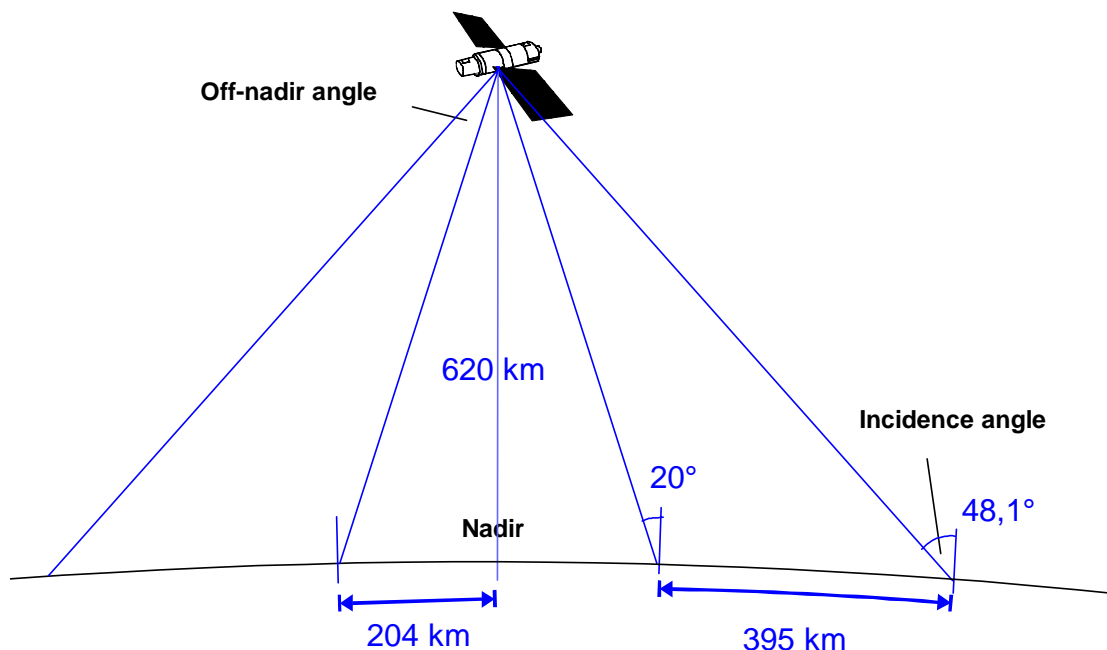


Figura 2. Geometria de imageamento MAPSAR para uma órbita de 620 km. A variação de incidência ocorreria por meio de rotação do satélite para a posição desejada e visada à direita e esquerda da trajetória, com revisita de 37 dias. Nessa configuração são possíveis dez feixes com distintos modos de resolução espacial (3m, 10m e 20m), polarizações (única, dual e quad-pol) e faixas de recobrimentos (swaths) variáveis (31,6 a 54,8 km)

A PLATAFORMA MULTIMISSION (PMM) A PMM foi concebida para operar como módulo de serviço para satélites na classe de 500 kg, provendo meios/recursos à operação de carga útil pesando até 280 kg em órbitas quasi-equatoriais e polares e altitudes entre 600 e 1200 km. Seu sistema de navegação é capaz de prover apontamento fino compatível com os requisitos de missões SAR. Atualmente, o desenvolvimento da PMM está contratado à indústria nacional, com final de fabricação previsto para 2006 e custo estimado de US\$ 25 milhões. No momento está em execução um estudo aprofundado (Fase A de projeto de engenharia) para demonstrar, em termos de carga útil, plataforma e atendimento dos requisitos de usuários, a viabilidade completa do sistema. O custo do MAPSAR é estimado em, aproximadamente US\$ 90 milhões, em princípio repartido entre os participantes, com seis anos até o lançamento.

A CAMPANHA DE SIMULAÇÃO DO MAPSAR (SAR-R99B do SIVAM-CENSIPAM) Com o apoio da FAB, do CENSIPAM, uma campanha de aquisição de dados com o sensor SAR- R99B foi conduzida em oito áreas-teste na Amazônia e no semi-árido. Os sobrevôos seguiram especificações do imageamento orbital, envolvendo frequência (L), polarização (HH, VV, HV), resolução espacial (10 m), azimute de

visada (órbita descendente), incidência e recobrimento (swath).

As áreas-teste englobaram um conjunto diversificado de aplicações temáticas e foram propostas pelos usuários potenciais da iniciativa: (1) Geologia/Pesquisa Mineral: Província Mineral de Carajás (PA) - INPE, UNICAMP, UFOP, CVRD; CPRM; (2) Geologia: Vale do Curaçá (BA) - INPE, CPRM; (3) Manejo de Desastre (Óleo): Poliduto Rio Urucu-Coari-Terminal Solimões (AM) - PETROBRAS, COPPE, UFRJ, INPA; (4) Floresta Tropical: Tapajós (PA) - INPE, DSG; (5) Zona Costeira/Geomorfologia: Bragança (PA) - UFPA, Museu Goeldi, PETROBRAS, INPE; (6) Hidrologia/Floresta Tropical: Igarapé Açu (AM) - INPE, INPA, JPL (EUA); (7) Agricultura/Cerrado: Barreiras (BA) - EMBRAPA, INPE, UnB, CPRM; (8) Hidrologia/Planície de Inundação: Lago Grande (PA) - INPE, UVIC (Canadá). Aproximadamente 160 horas de sobrevôos foram despendidas no período março-outubro de 2005 para o recobrimento das áreas-teste. Esse acervo inédito de imagens em banda L (multipolarizadas e polarimétricas) será analisado pelos pesquisadores, e fornecerá uma estimativa do potencial do MAPSAR para propósitos de levantamento e monitoramento de recursos naturais renováveis e não-renováveis de ambientes sensíveis, particularmente da Amazônia brasileira. Detalhes sobre os objetivos de cada área-teste e as equipes

envolvidas podem ser vistos na homepage do MAPSAR (www.obt.inpe/mapsar). Nas Figs. 3, 4 e 5 são mostrados alguns resultados da simulação.

A elevada resolução espacial do MAPSAR (4 metros) e versatilidade de incidência favorecerão abordagens estereoscópicas na escala de 1: 50.000 ou maior. A interferometria *repeat-pass* para mapeamento altimétrico tende a fornecer dados de maior detalhe, porém persistem incertezas ligadas à decorrelação temporal em banda L de ambientes tropicais úmidos. No caso de aplicações geológicas (mapeamento, pesquisa mineral) e geoambientais (estudos de sensibilidade de atividades da indústria petrolífera e mineração), o potencial será muito ampliado pelas inovações da melhor resolução espacial, versatilidade em incidência (visualização 3D) e possibilidades de quatro azimute de visada (esquerda e direita da trajetória de órbitas descendentes e ascendentes). Além disso, resultados da simulação em Carajás indicam que a polarização cruzada (L-HV) é a que tem fornecido melhor realce de estruturas geológicas. Da mesma forma como na

cartografia, o potencial da interferometria para caracterização de deslocamentos na superfície (*Differential InSAR*) apresenta limitações, com maior probabilidade de sucesso em ambiente semi-árido (p.ex: exploração de óleo e gás). Finalmente, em relação à polarimetria, as perspectivas são também muito promissoras em discriminação litológica. A tendência é que com a maior disponibilidade de dados como os do MAPSAR (multipolarizados e polarimétricos), se expanda o uso dessa moderna tecnologia espacial, com abordagens cada vez mais quantitativas.

POTENCIAL DE APLICAÇÕES DO MAPSAR NAS GEOCIÊNCIAS O uso de dados SAR orbitais na produção de cartas topográficas para regiões desprovidas de informações planialtimétricas, como a Amazônia, deverá ser muito ampliado com o advento de imageamentos como os do MAPSAR, quer por meio de abordagens radargramétricas (estereoscopia SAR) ou interferométricas.

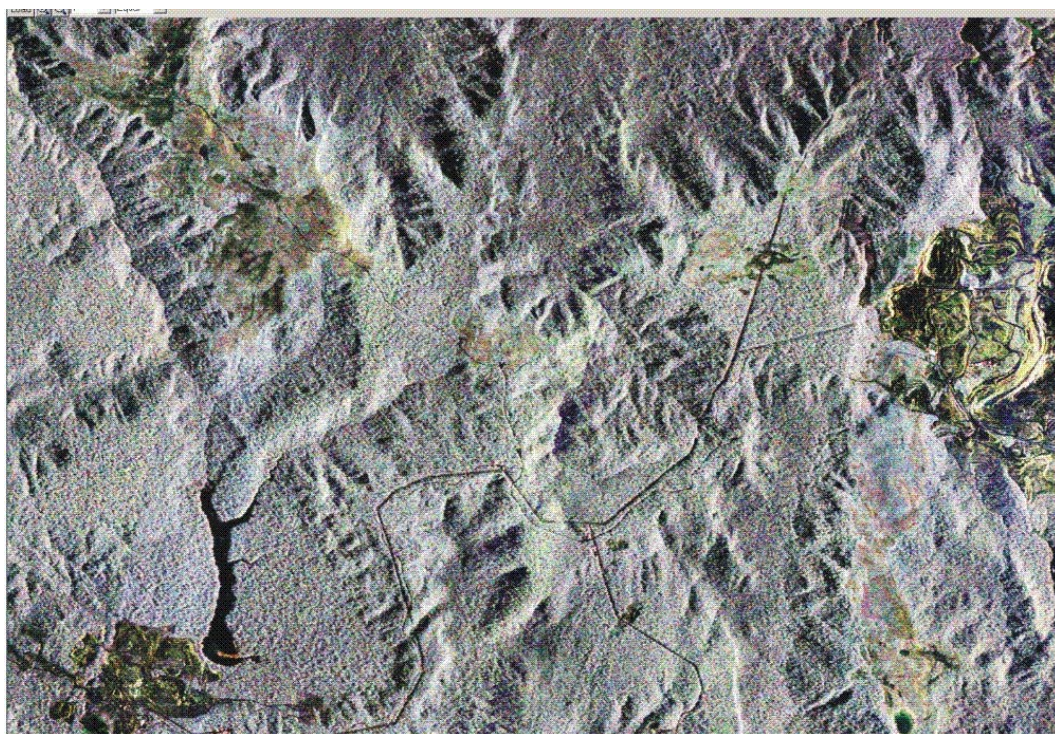


Figura 3. Simulação (modo de média resolução) do MAPSAR (LHH-R, LVV-G, LHV-B) da região das minas de manganês do Igarapé Azul e de ferro de N4E (Província Mineral de Carajás)

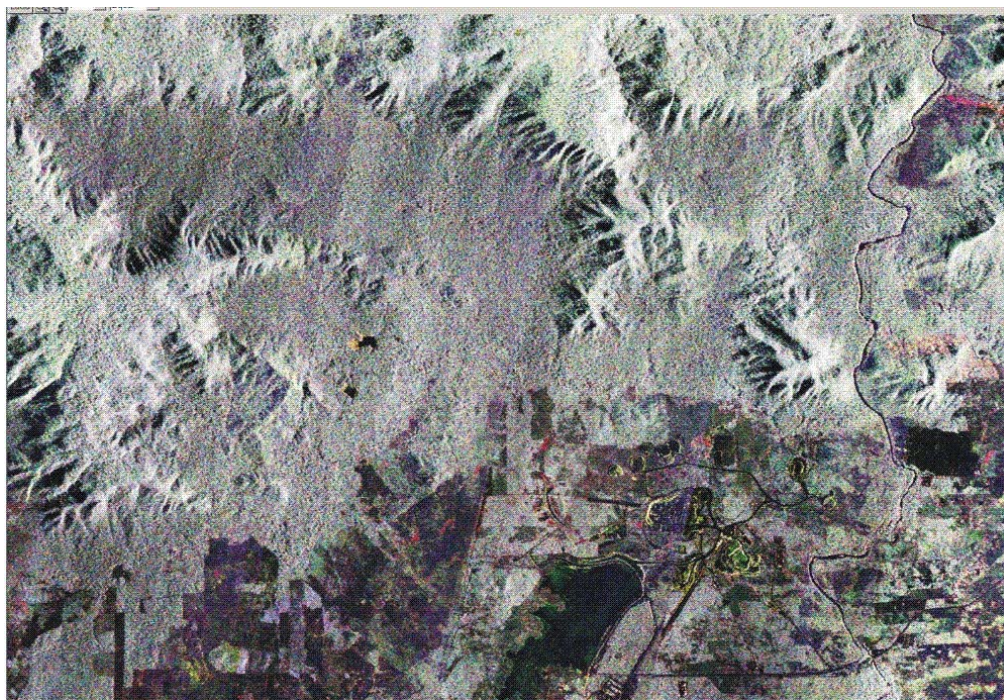


Figura 4. Simulação (modo de média resolução) do MAPSAR (LHH-R, LVV-G, LHV-B) da região da mina de cobre do Sossego (Província Mineral de Carajás)

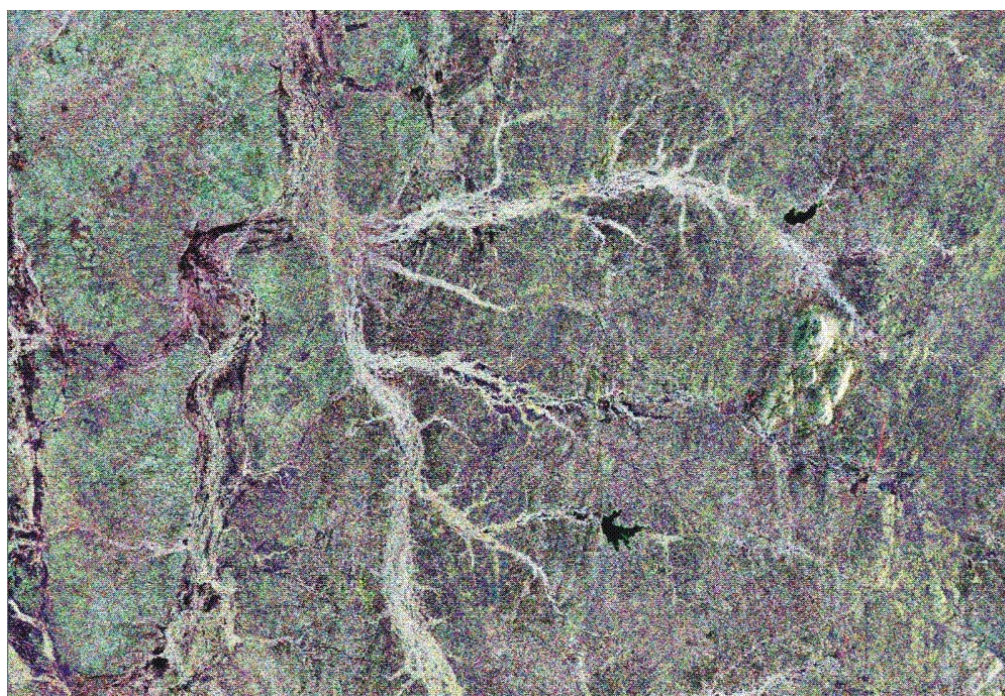


Figura 5. Simulação do MAPSAR (LHH-R, LVV-G, LHV-B) com litologias do Vale do Rio Curaçá (Bahia): mica-xistos e calcários/mármore (verde-ciâneo), gnaisses/ granulitos (vermelho-magenta) e sienitos (brancos)

Referências

- SCHRÖEDER R., PULS J., HAJNSEK I., JOCHIM F., NEFF T., KONO J., PARADELLA W.R., SILVA M.M.Q., VALERIANO D.M., COSTA M.P.F. 2005. MAPSAR: a small L-band SAR Mission for land observation. *Acta Astronautica*, **56** (2005): 35-43.
- SCHRÖEDER R., PULS J., HAJNSEK I., JOCHIM F., SILVA M.M. Q., PARADELLA W.R., CHAMOM M.A. 2005. The MAPSAR Mission: Objectives, Design and Status. In: Simp. Bras. Sens. Remoto, XII, Goiânia, *Anais*, pp: 4481- 4482 (CD-ROM).