

A missão SIR-C/X-SAR e a coleta de dados no Brasil

João Viane Soares

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201 São José dos Campos, SP, Brasil
viane@ltd.inpe.br

Abstract. This paper, intended for public information, describes the SIR-C/X-SAR mission and the data taken over the Brazilian territory and available to the scientific community at large. The mission consisted of two flights of the Space Shuttle Endeavour carrying aboard a SAR operating in three bands (L, C and X), four polarizations at L and C bands (HH, HV, VH, VV) and multiple incidence angles (15-55°). The orbit inclination was 57° to the equator and images were acquired in both ascending and descending paths.

Keywords: SIR-C, X-SAR, Mission, SAR

A missão SIR-C/X-SAR

A missão SIR-C/X-SAR é um projeto conjunto da “National Aeronautics and Space Administration”, NASA; da agência espacial alemã, “Deutsche Agentur für Raumfahrtangelegenheiten DARA”, e “Agenzia Spaziale Italiana”, ASI.

Esta missão é parte do programa do programa “Mission to Planet Earth”, MTPE, da, NASA (EUA), dedicado ao avanço do conhecimento sobre o meio ambiente global. O projeto SIR-C/X-SAR possibilitou o monitoramento da superfície terrestre com a realização de dois vôos do ônibus espacial “Endeavour”, com duração de 10 dias aproximadamente, em Abril e Outubro de 1994, a partir de imagens tomadas por um Radar de Abertura Sintética, operando em diversas configurações (ver Tabela 1 adiante). A missão teve como objetivo principal a observação da estrutura da vegetação e as mudanças sazonais que ocorrem em áreas de floresta e de várzeas. O sistema foi também desenhado para medir umidade e rugosidade do solo, inundação de florestas tropicais, distribuição e propriedades sazonais da neve em áreas montanhosas de alta latitude. Em adição, a missão também produziu imagens de correntes oceânicas, turbilhões, e de ressurgência. Para completar o programa também dedica esforço aos estudos de processos geológicos tais como erupções vulcânicas, tectônica, erosão e desertificação. Ao todo, foram selecionadas dezenove áreas geográficas de grande interesse científico que foram identificadas como “supersites”, que são os sítios com prioridade para coleta de imagens durante os vôos da Endeavour. A figura 1 mostra a distribuição geográfica dos “supersites”, que foram selecionados para atender o elenco de disciplinas de aplicação no contexto dos objetivos da missão.

A comunidade científica da missão realizou medidas simultâneas “in situ” de vegetação, umidade do solo, altura da lâmina d’água em regiões alagadas, estado do oceano, neve e condições de tempo em vários dos sítios ao longo da duração dos dois vôos de 1994. Em alguns casos, aeronaves e navios foram usados na aquisição de informação suplementar para assegurar uma interpretação mais precisa dos dados de radar após o vôo. Em adição, os astronautas da Endeavour registraram informações sobre o tempo (nublado, etc.) e sobre as condições do meio ambiente (poluição, fumaça, etc.), de forma coordenada a obtenção das imagens de radar. A tabela 1, a seguir, resume as principais características do sensor SIR-C/X-SAR (JPL Publication 93-29, 1993). A tabela 2, adaptada de Curlander & McDonough, 1991, apresenta os principais sistemas de Radar que estiveram ou estão em operação.

Tabela 1. Características do SIR-C/X-SAR

Fabricação do SIR-C	Para a NASA, JPL & Ball Aerospace Communications Systems Division
Fabricação do X-SAR	Para DARA & ASI, Dornier & Alenia Spazio
Massa	10,5 tons
Frequências Banda L Banda C Banda X	23 cm de comp. onda 6 cm de comp. onda 3 cm de comp. onda
Polarizações SIR-C X-SAR	HH, HV, VH, VV VV
Faixa Imageada	15-90 km, dependendo da orientação do feixe da antena
Resolução	10-200 metros

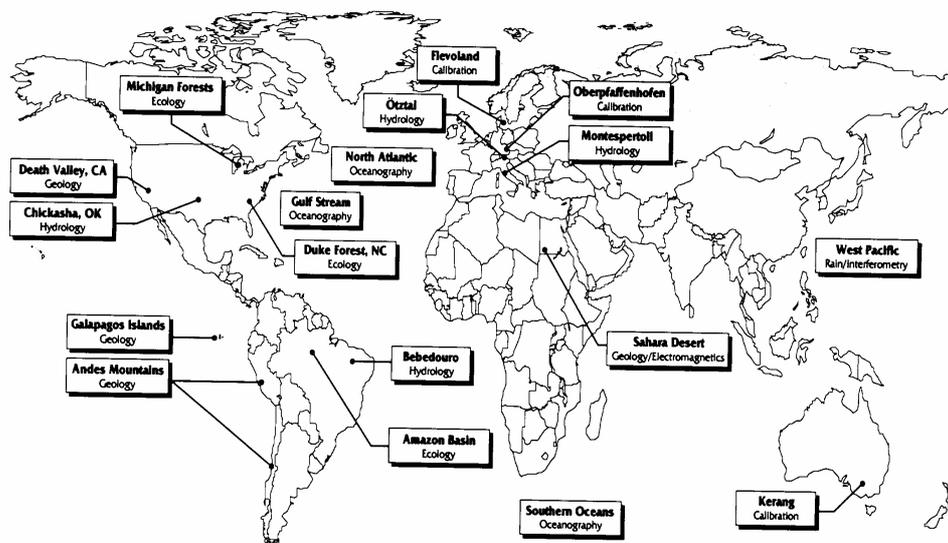


Figura 1. Distribuição geográfica dos “supersites” da missão SIR-C/X-SAR e suas respectivas disciplinas de aplicação.

Tabela 2. Radares mais importantes e dados comparativos entre os diversos sistemas.

Satélite	Seasat	ALMAZ	E-ERS-1	J-ERS-1	Radarsat	SIR-C/X-SAR
Agencia/país	NASA/EUA	Rússia	ESA	NASDA/Japão	Canada	NASA/DLR-RFA/ASI-Italia
Data Lançam.	1978	1991	1991	1992	1995	1994 - 1996
Altitude	800 km	280	785	565	792	225
Banda (f/GHz)	L (1.3)	S (3.0)	C (5.3)	L (1.2)	C (5.3)	L, C e X(9.6)
Polarização	HH	HH	VV	HH	HH	HH, VV, HV
Âng. de incidência	23°	30-60°	23°	35°	20-50°	15-55°
Dim antena (m)	10.7 x 2.2	15 x 2.0	10 x 1.0	12 x 2.2	15 x 1.6	
Larg. da faixa	100 km	25-50 km	100 km	75 km	50-500 km	50-90 km
Res. azimutal	23 m	15 m	25 m	30 m	10-100 m	10-200 m

Comentário:

Comentário:

Nota-se na tabela 2, que o sistema de Radar da missão SIR-C/X-SAR é o único a operar simultaneamente em várias frequências e polarizações, além de propiciar o imageamento em diferentes ângulos de incidência e resolução. Isto se deve ao caráter experimental do programa; as condições de instalação do sistema a bordo do “Space Shuttle” viabiliza a alocação de três antenas (uma para cada banda) e toda a eletrônica que constitui o sistema (fontes de potência, transmissores, receptores, gravadores HDDR, sistema de processamento em tempo real do tipo “quick look”, etc...), o que seria hoje praticamente inviável numa plataforma orbital, por limitações em termos de carga útil, capacidade de potência dos painéis solares, etc. Além disto, o sistema da “Endeavour” era supervisionado pelos astronautas da missão.

Além dos “supersites” apontados na figura 1, uma série de outras áreas-testes foram também incluídas no programa. Tais áreas foram denominadas como sítios secundários funcionando como “backups” dos supersites, em casos de conflito entre sítios localizados muito próximos uns dos outros e na mesma órbita. Por outro lado estas áreas serviram aos propósitos científicos da missão como um todo e todas foram imageadas pelo menos uma vez durante os vôos.

Os dados da missão SIR-C/X-SAR foram gravados a bordo do ônibus espacial em fitas digitais de alta densidade. Parte dos dados foram enviados a antenas na terra em tempo real, mediante uso do sistema “Tracking and Data Relay Satellite System”, TDRSS. A missão produziu 32 terabits (32 x 10¹² bits) de

dados, o que equivale a 20.000 volumes de uma enciclopédia. Os dados brutos do SIR-C são processados digitalmente para geração das imagens pelo processador SAR do Laboratório de Propulsão a Jato (NASA/JPL), enquanto os dados do X-SAR são processados por um processador SAR desenvolvido pela DLR e ASI (Alemanha e Itália, na ordem).

A coleta de dados sobre o Brasil

A figura 1 mostra dois supersites selecionados sobre o território brasileiro: “*Bebedouro*” na disciplina de Hidrologia (Soares et al., 1988) e “*Amazon Basin*” na disciplina de Ecologia. O primeiro deles refere-se ao Perímetro Irrigado de Bebedouro (Lat/Long no centro: 10° 5.0' S 39° 42.1' W), no vale do Rio São Francisco, localizado a aproximadamente 40 km a nordeste de Petrolina, Pe. O segundo concentra-se nas áreas de várzea do Rio Solimões na região de Cabaliana, a sudoeste de Manaus (Lat/Long no centro: 4° 46.9' S 61° 49.2' W); no Parque Nacional de Anavilhanas (Lat/Long Centro: 3° 38.4' S 61° 18.9' W), e nos projetos de colonização agrícola a norte de Manaus (Lat/Long Centro: 2° 5.4' S 59° 46.4' W), ao longo da BR para Boa Vista. Além destes sítios, áreas extensas e homogêneas (não perturbadas) da Amazônia foram imageadas para calibração do padrão de antena do sistema, “Amazon Calibration”. Entre os sítios secundários na disciplina de ecologia encontram-se o Pantanal Matogrossense (Lat/Long Centro: 18° 22.8' S 57° 15.6' W), as áreas de ocupação intensiva de Rondonia (Lat/Long Centro: 10° 36.3' S 62° 0.6' W), Sena Madureira, Acre (Lat/Long Centro: 8° 26.7' S 68° 43.5' W), a região em torno da Floresta Nacional do Tapajós, Pa, (Lat/Long Centro: 3° 30.4' S 55° 14.7' W), e as áreas remanescentes de mata atlântica da Reserva Florestal do Una no Sul da Bahia (Lat/Long Centro: 15° 27.4' S 38° 58.5' W). O radar da Endeavour tomou imagens durante um tempo que variava entre 2 e 7 min, tendo a área teste normalmente no centro da área de coleta. Assim, foram imageadas áreas entre 1000 e 3000 km em cada tomada de dados. A largura da faixa imageada variava de 30 a 90 km dependendo do ângulo de incidência no centro da faixa. Desta forma, foram tomadas cenas cuja área varia de 30 000 a 270 000 km², o que equivale a algo entre 1 e 8 cenas do LANDSAT TM, de 180 x 180 km (32400 km²). No voo de abril/94 foram tomadas imagens em 23 oportunidades sobre os vários sítios brasileiros, enquanto que no voo de outubro/94 este número foi ampliado para 34.

São dois os tipos de dados produzidos pelos processadores do SIR-C/X-SAR: qualidade “survey” e resolução plena.

As imagens do primeiro tipo são distribuídas em CD-ROM; foram produzidos aproximadamente 70 CD-ROMs para cada um dos voos. No caso do SIR-C as imagens “survey” são em banda L, na polarização HH, com resolução espacial de aproximadamente 100 m, com representação geométrica “ground range”. Para produzir as imagens “survey”, foram processados os dados brutos gravados durante todo o tempo de aquisição pelo radar da “Endeavour”, que foram individualizados em segmentos contínuos da ordem de 100 km, para facilidade de manuseio e de visualização na tela de uma estação de trabalho. O uso deste tipo de informação é principalmente no controle do dado obtido sobre os sítios de interesse; não tem qualidade para análise científica. No caso do X-SAR também foram produzidos CD-ROMs em banda X, na única polarização disponível. O usuário, após análise da imagem survey, requisita as agências responsáveis, o processamento em resolução plena das cenas de seu interesse, correspondendo a um ou mais segmentos da faixa imageada, gravados em CD-ROM.

O dado de resolução plena é normalmente produzido em dois formatos: “Single Look Complex”, SLC, e “Multilook Complex”, MLC. O primeiro tipo refere-se a uma imagem complexa (amplitude e fase) de 1 look, com resolução espacial da ordem de 6 m x 25 m; o segundo refere-se a um processamento no qual o ruído speckle é reduzido pela técnica dos “multilooks”, com tamanho do pixel da ordem de 25 x 25 m, e ainda guarda a informação de fase. Os dados são distribuídos em fitas de 8 mm (exabyte) com capacidade de armazenamento de 5 GBytes, e são compactados de forma que cada pixel é composto por 10 bytes que podem ser descompactados para valores em ponto flutuante mediante uso da matriz de Stokes. Um software especial, produzido pelo JPL/NASA e disponível no INPE, realiza a descompactação, produzindo uma imagem amplitude discretizada em 256 níveis de cinza (8 bits). As polarizações lineares (HH, HV, VH e VV) são também obtidas considerando-se apenas 4 elementos da matriz de Stokes. Para o caso da banda X, a distribuição também se faz em fitas 8 mm de 5 GBytes, e o mesmo software é usado para descompactação, mas neste caso não se trabalha a nível de polarização, visto que apenas a polarização VV é disponível.

A tabela 3 abaixo, sintetiza a tomada de dados sobre as áreas testes no território brasileiro por ocasião do voo de abril de 1994.

A tabela 4, por sua vez, sintetiza a tomada de dados ocorrida em outubro de 1994, no segundo voo da missão.

Tabela 3. Imagens obtidas na missão SIR-C/X-SAR sobre o Brasil em Abril de 1994. CD-ROMs para consulta estão disponíveis no INPE, São José dos Campos.

Área-teste	comprim. imagem (km)	nº de seg.	Lat/Long Início	Lat/Long final	Ângulo Incidência	Produtos disponíveis
Bebedouro	1431	15	2° 40.4' S 44° 2.6' W	13° 48.4' S 37° 25.0' W	37.8°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Bebedouro	1543	16	1° 43.8' S 44°30.7' W	13° 46.9' S 37° 26.7' W	30.2°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Bebedouro	2226	23	0° 46.5' N 46°1.6' W	16°29.5' S 35°38.9' W	49.6°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Bebedouro	1664	17	15°32.6' S 44° 9.1' W	2° 31.4' S 36°31.3' W	51.5°	LHH,LHV,CHH,CHV,XVV
Manaus Cabaliana	1800	18	6° 44.6' S 62°56.8' W	7° 20.7' N 54°49.9' W	44.3°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Manaus Cabaliana	3430	35	22°49.2' S 73° 5.9' W	3° 48.5' N 56°55.1' W	27.4°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Manaus Cabaliana	3170	32	21°35.0' S 72°10.3' w	3° 0.6' N 57°15.1' W	27.1°	LHH, CHH, XVV
Manaus CSAP	2835	29	18° 3.6' S 69°33.1' W	3° 56.2' N 56° 19.2' W	49.9°	LHH, LHV, XVV
Manaus CSAP	3171	32	24° 7.1' S 73°30.9' W	0° 25.6' N 58°20.1' W	26.3°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Manaus Anavilhan	1651	17	5° 35.9' S 62°26.4' w	7° 19.3' N 54°59.6' W	46.4°	LHH, LHV, CHH, CHV
Manaus Anavilhan	2016	21	8° 33.0' S 64°8.2' W	7° 13.6' N 55° 2.4' W	35.6°	LHH, LHV, CHH, CHV, XVV
Amazon C	3532	36	5° 23.6' N 73° 3.7' W	22° 7.3' S 56° 35.5' W	44.0°	LHH, LVV, XVV
Amazon C	4133	42	28°28.5' S 75°57.1' W	3° 24.0' N 55°47.4' W	29.8°	LHH, LVV, XVV
Amazon C	3312	34	2° 40.7' S 71°32.4' W	23° 1.4' S 55°52.1' W	26.2°	CHH, CVV, XVV
Pantanal e Rondonia	3441	35	4° 40.2' N 70°48.4' W	22° 9.4' S 54°46.5' w	48.4°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Pantanal e Rondonia	3381	34	1° 8.3' N 68°50.2' W	25° 2.9' S 52°38.9' W	32.7°	LHH, LHV, CHH, CHV,XVV
Sena Madureira	3230	33	2° 34.5' S 72° 7.2' W	27° 26.0' S 56° 11.5' W	28.4°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Sena Madureira	3380	34	2° 35.6' S 72° 5.7' W	28° 39.0' S 55°24.5' W	41.6°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Sena Madureira	3133	32	4° 30.2' S 70°59.2' w	28°48.3' S 55°40.2' W	61.2°	LHH, LHV, CHH, CHV, XVV
Sena Madureira	2664	27	6° 52.9' S 69°38.2' W	27°26.1' S 56°27.6' W	48.8°	LHH, LHV, CHH, CHV, XVV
Sena Madureira	1692	17	0° 30.1' S 73°15.2' W	13°45.3' S 65°34.4' W	55.2°	LHH, LHV, XVV
Tapajós	1638	17	9° 22.7' S 58°38.5' W	3° 27.3' N 51° 15.5' W	39.2°	LHH, LHV, CHH, CHV, XVV

Tabela 4. Imagens obtidas na missão SIR-C/X-SAR sobre o Brasil em Outubro de 1994. CD-ROMs para consulta estão disponíveis no INPE, São José dos Campos. Continua na próxima página...

Área-teste	comprim. imagem (km)	nº de seg.	Lat/Long Início	Lat/Long final	Ângulo Incidência	Produtos disponíveis
Bebedouro	3378	34	4° 7.5' N 47°53.2' W	22°12.7' S 32°9.2' W	48.1°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Bebedouro	1636	17	15°35.7' S 44° 7.7' W	2° 47.3' S 36°39.0' W	57.2°	LHH, LHV, CHH, CHV
Bebedouro	2082	21	2° 17.4' S 46°53.1' W	13°53.8' S 37°17.0' W	56.8°	LHH, LHV, CHH, CHV, XVV
Bebedouro	1431	15	2° 37.6' S 44° 3.5' W	13°45.2' W	37.8°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Bebedouro	1527	16	1° 28.6' S 44°38.8' W	13°24.6' S 37°40.6' W	30.1°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Bebedouro	1647	17	17°49.0' S 45°30.7' W	4° 57.0' S 37°52.1' W	53.7°	LHH, LHV, CHH, CHV, XVV
Bebedouro	2518	26	0° 15.8' N 45°44.1' W	19°12.1' S 33°48.8' W	49.1°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Bebedouro	1186	12	13°57.3' S 42°23.6' W	4° 40.3' S 36° 58.8' W	54.0°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Manaus Cabaliana	1102	12	5° 34.1' S 62°14.1' W	3° 4.1' N 57°16.8' W	27.4°	LHH,CHH,XVV
Manaus Cabaliana	3397	34	25°10.7' S 74°44.7' W	1° 7.1' N 58°27.2' W	31.7°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Manaus CSAP	2832	29	18° 7.3' S 69°36.7' W	3° 50.9' N 56°23.9' W	49.9°	LHH, LHV, XVV
Manaus CSAP	1963	20	8° 7.4' S 63°15.3' W	7° 14.4' N 54°23.7' W	34.3°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Manaus CSAP	4297	43	27° 1.0' S 75° 5.4' W	6° 15.5' N 54°30.8' W	36.9°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Manaus Anavilhan	1654	17	9° 13.9' S 64°43.4' W	3° 43.4' N 57° 2.9' W	35.8°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Manaus Anavilhan	1730	18	7° 11.4' S 63°18.8' W	6° 21.3' N 55°31.9' W	36.1°	LHH, LHV, CHH, CHV, XVV
Manaus Anavilhan	1729	18	7° 1.7' S 63°13.5' W	6° 30.7' N 55°26.7' W	36.1°	LHH, LHV, CHH, CHV, XVV
Amazon C	6390	64	17°28.4' N 79°59.3' W	31°25.2' S 79°59.3' W	47.2°	LVV, CVV, XVV
Amazon C	3469	35	5° 17.9' N 72°10.8' W	21°41.3' S 55°57.5' W	31.8°	LHH, LVV, XVV
Amazon C	3314	34	2° 32.7' N 71°33.3' W	23°10.7' S 55°52.8' W	31.3°	CHH, CVV, XVV
Amazon C	4142	42	27°31.7' S 75°11.2' W	4° 28.5' N 55° 9.5' W	31.5°	CHH, CVV, XVV
Amazon C	6396	64	17°22.1' N 79°55.4' W	31°33.4' S 48°10.0' W	47.3°	LHH, CVV, XVV
Amazon C	6526	66	17°10.5' N 79°48.2' W	32°38.6' S 47° 8.7' W	47.2°	LVV, CVV, XVV
Pantanal e Rondonia	1800	19	11°17.2' S 61°39.0' W	24°52.5' S 52°47.2' W	32.5°	LHH, LHV, CHH, CHV, XVV
Pantanal e Rondonia	3383	34	1° 20.3' N 68°56.9' W	25° 2.9' S 52°38.9' W	32.7°	LHH, LHV, CHH, CHV,XVV
Sena Madureira	3127	32	4° 28.9' S 71°2.3' W	28°43.7' S 55°46.7' W	61.1°	LHH, LHV, CHH, CHV, XVV
Sena	2225	23	5° 14.4' S	22°31.1' S	46.4°	LHH, LHV, CHH, CHV, XVV

Madureira			70°34.5' W	59°56.7' W		
Tapajós	1640	17	9°56.6' S 58°56.5' W	2° 54.3' N 51°33.1' W	39.1°	LHH, LHV, CHH, CHV, XVV
Iturralde Crater, Bolivia, Amazon	1648	17	5° 56.6' S 71° 7.1' W	18°47.6' S 63°24.6' W	52.3°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Iturralde Crater, Bolivia, Amazon	1653	17	18°55.9' S 72° 6.0' W	6° 12.2' S 64° 7.0' W	49.4°	LHH, CHH, XVV
South America fix @ 45	3391	34	6° 59.1' N 51°11.7' W	19°20.0' S 35°22.2' W	47.1°	LVV, CVV, XVV
South America fix @ 45	3392	34	7° 5.0' N 51°15.2' W	19°14.4' S 35°26.1' W	47.1°	LVV, CVV, XVV
South America fix @ 45	3383	34	6° 59.9' N 51°12.3' W	19°15.4' S 35°25.7' W	47.1°	LVV, CVV, XVV
Bahia	1410	15	10°23.1' S 42°0.8' W	21°19.8' S 35°13.5' W	51.0°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV
Bahia	1068	11	17° 9.3' S 40°22.1' W	8° 50.3' S 35°20.2' W	44.3°	LHH, LHV, LVH, LVV, CHH, CHV, CVH, CVV, XVV

O processamento das imagens em resolução plena foi programado para estar completo em dezembro de 1995. O INPE será depositário de uma cópia de todos os dados do SIR-C coletados sobre o Brasil, que estarão a disposição da comunidade técnico-científica nacional.

Na figura 2, o leitor tem uma síntese das áreas imageadas no Brasil e no restante da América do Sul, em ambos os vôos da missão.

