

Características técnicas do sensor SAR multipolarimétrico aerotransportado Brasileiro

Nilo Sergio de Oliveira Andrade ^{1,2}
Antonio Nuno de Castro Santa Rosa ²

¹ Comando da Aeronáutica – Centro de Lançamento de Alcântara – CLA
Av. dos Libaneses, nº 29 – Tirirical – 65056-480 – São Luís – MA, Brasil
dop@cla.aer.mil.br

² Instituto de Geociências – Universidade de Brasília – UNB
Campus Universitário Darcy Ribeiro – CEP 70910-900 - Brasília – DF, Brasil
nunos@unb.br

Abstract. A radical transformation in the panorama of the national Remote Sensing (RS) occurred with the beginning of the operational functioning of the three Remote Sensing aircrafts R-99B. The polarimetric Synthetic Aperture Radar (SAR) installed on these aircrafts is the one whose attributes have bigger relevance for scientific applications and will produce the biggest data quantity and diversity. The Agencies, Universities and Research Institutions that are already using the SAR sensor data have the perception of this true "technological jump" in the Remote Sensing area. However, in order the Brazilian scientific community can have effectual conditions to explore all the potentiality of this new SAR sensor, to support their current research areas and to open new lines of research, it becomes necessary the perfect knowledge of its characteristics, potentialities and limitations. Thus, this work has the goal of supplying this lack of information to the national community of Remote Sensing.

Palavras-chave: imaging systems, remote sensing, polarimetric SAR, sistemas imageadores, sensoriamento remoto, SAR polarimétrico.

1. Descrição do sistema SAR do R-99B

O Sistema de Vigilância da Amazônia - SIVAM dispõe de três aeronaves de Sensoriamento Remoto (SR) a sua disposição. Cada aeronave é equipada com um subsistema Radar de Abertura Sintética (SAR), um subsistema de varredura multiespectral (MSS) e um subsistema óptico e infravermelho (OIS). Vide **Figura 1** a seguir.

O SAR opera em duas frequências: Banda L (1.28 GHz) e Banda X (9.3 GHz). O subsistema da Banda L tem a capacidade de transmitir e receber tanto na polarização vertical quanto na horizontal. O subsistema da Banda X só transmite e recebe na polarização horizontal.

Existem duas antenas para a Banda L e duas para a Banda X. As antenas da Banda L são fixas, sendo uma utilizada para a aquisição no modo "Stripmap" com visada para a esquerda e a outra, para a aquisição neste modo, com visada para a direita. As antenas da Banda X são montadas em um pedestal abaixo da fuselagem da aeronave. Uma das antenas da Banda X (antena monopulso) é utilizada para aquisição de dados nos seguintes modos: "Stripmap" - com visada para a esquerda ou para a direita; "SpotSAR"; "Wide Area Search" (WAS); e "Air-to-Air" (A2A).

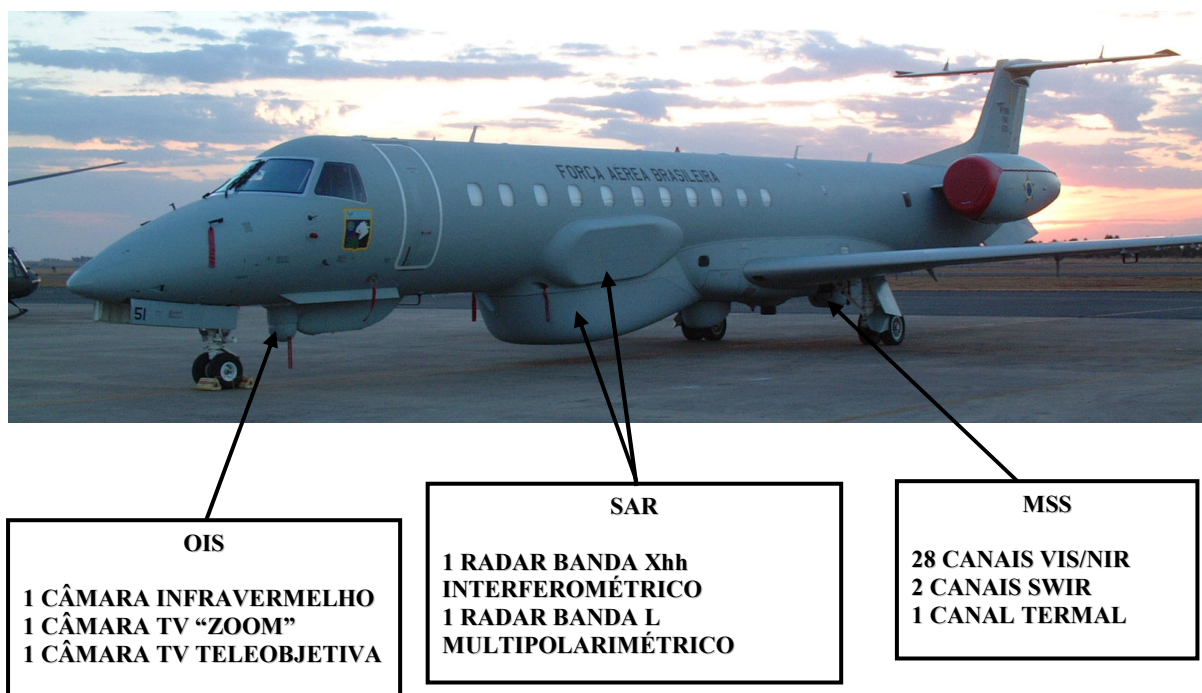


Figura 1. Localização dos sensores na aeronave de Sensoriamento Remoto – R-99B.

A outra antena da banda X (antena interferométrica - INSAR) é utilizada em conjunto com a antena monopulso para adquirir dados interferométricos.

Os dados SAR coletados são armazenados em fitas de alta densidade (fitas DCRsi), sendo um dos canais selecionado para ser apresentado, em tempo real, em um monitor de alta resolução a bordo da aeronave. O canal exibido pode ser capturado para análise detalhada, impressão em uma impressora de alta definição e/ou transmissão.

A **Tabela 1** apresenta um resumo dos tipos de dados SAR por mídia que será recebida pelo órgão responsável pelo processamento dos dados – ASGP (Airborne Sensor Ground Processing).

Um diagrama de bloco do sistema SAR é apresentado na **Figura 2** (com a legenda citada na **Tabela 2**).

2. Modos de operação do sensor SAR

Os 25 modos de operação disponíveis para o SAR (utilizando as bandas X e L) são modos de visada lateral que realizam o mapeamento de faixas do terreno.

Para as faixas obtidas com a Banda L existem quatro polarizações disponíveis: HH, HV, VV e VH. Para a Banda X só existe a polarização horizontal HH.

A primeira letra designa a polarização transmitida e a segunda letra designa a polarização recebida.

O Modo InSAR é um modo especial de imageamento de faixa - interferométrico - na Banda X que permite medidas de altura utilizando informações de diferença de fase de duas antenas receptoras.

O modo WAS utiliza-se da técnica "Doppler Beam Sharpening" para efetuar a varredura de setores específicos do solo, com a sobreposição de alvos móveis– MTI, "Moving Target Indicator", na imagem.

Tabela 1. Tipos de dados do sensor SAR por mídia.

SENSOR	MÍDIA	TIPO DE DADO	DESCRIÇÃO GERAL
SAR	DCRsi	Stripmap	Sinal bruto gravado na fita. Esses dados não são utilizáveis pelos usuários; destinam-se ao processamento a ser realizado pelo ASGP.
		Spot	Sinal bruto gravado na fita. Esses dados não são utilizáveis pelos usuários; destinam-se ao processamento a ser realizado pelo ASGP.
	Mammoth	Stripmap com indicação de alvos móveis (MTI) ou Stripmap sem esta indicação.	Durante a condução de uma missão SAR o operador seleciona um canal para ser processado em tempo real e visualizado na tela da estação de trabalho. Este canal pode ser reproduzido pelo ASGP.
		Spot	Imagens Spot coletadas a bordo da aeronave durante uma missão SAR. Estes dados representam o canal que o operador visualiza na tela.
		WAS + alvos móveis (MTI) + acompanhamento de alvos (MTI tracking)	Os dados de uma missão SAR nesse modo (WAS) são processados e gravados na fita Mammoth.
		A2A + alvos móveis (MTI) + acompanhamento de alvos (MTI tracking)	Os dados de uma missão SAR nesse modo (A2A) são processados e gravados na fita Mammoth.

A sobreposição da indicação de alvos móveis também está disponível no modo de imageamento de faixas "Stripmap mode" na Banda X e no modo SpotSAR.

O modo A2A realiza a varredura em busca de alvos aéreos móveis ao longo de um setor de 3000 (PPI – “Plan Position Indicator”), utilizando as antenas da Banda X. O acompanhamento de alvos móveis “MTI tracking” é fornecido nos modos WAS e A2A.

O modo Spot tem a mais alta resolução disponível (1,8 metros) por intermédio de uma antena que ilumina continuamente uma área no solo, à medida que a aeronave passa.

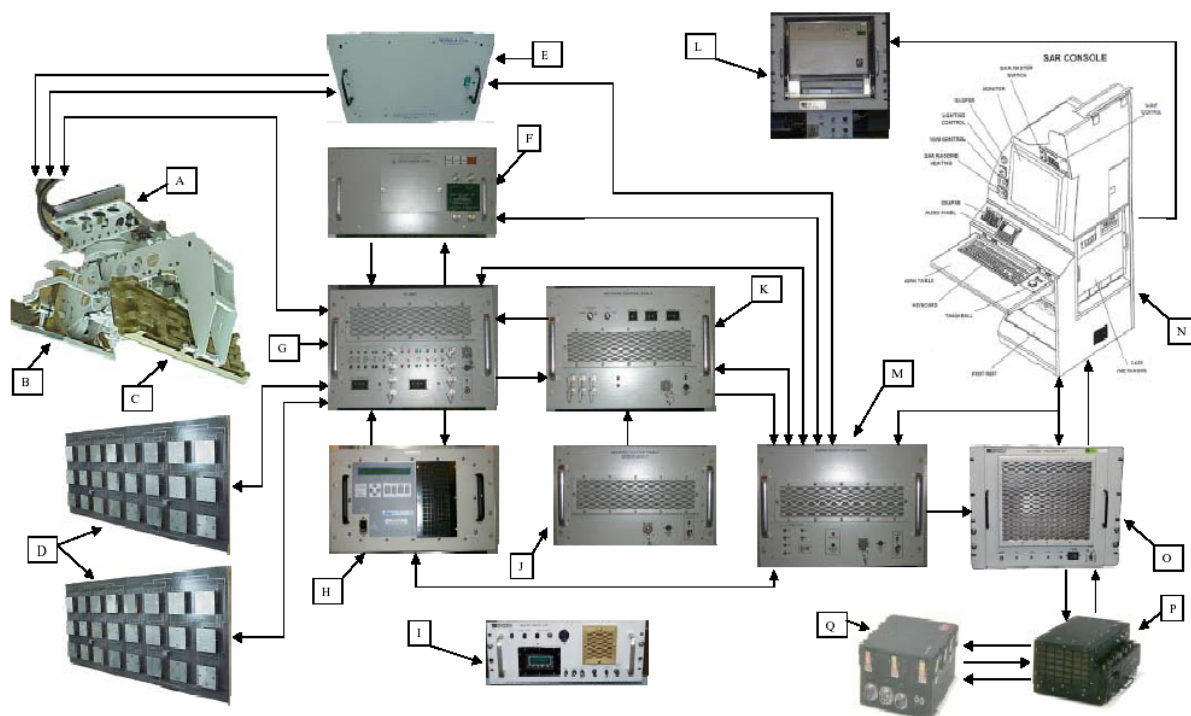


Figura 2. Diagrama de Bloco do Sistema SAR Aerotransportado.
Fonte: adaptada de Macdonald Dettwiler Associated (2001).

Tabela 2. Legenda da Figura 2.

ITEM	NOME	QUANT.	ACRÔNIMO
A	Unidade do Pedestal da Antena da Banda X	1	XAPU
B	Unidade da Antena Monopulso da Banda X	1	XMAU
C	Unidade da Antena Interferométrica da Banda X	1	XIAU
D	Unidade da Antena da Banda L	2	LAU
E	Unidade de Controle do Pedestal	1	PCU
F	Unidade Transmissora da Banda X	1	XTU
G	Unidade de Rádio Frequência	1	RPU
H	Unidade Transmissora da Banda L	1	LTU
I	Unidade de Monitoramento e Controle	1	MCU
J	Unidade de Suprimento de Energia - RES	1	RPSU
K	Unidade Excitadora do Receptor - STALO	1	RESU
L	Unidade Impressora de Imagens	1	IPU
M	Unidade de Controle do Sistema Radar	1	RSCU
N	Estação de Trabalho do Subsistema SAR Aerotransportado	1	
O	Unidade Processadora Multimodo	1	MPU
P	Módulo Eletrônico de Gravação	1	REM
Q	Módulo de Transporte de Fita	1	TTM

3. Visão Geral de um Mapeamento SAR em faixas (Strip Map mode)

Os modos de imageamento SAR em faixas utilizam-se da Banda L com quatro polarizações e da Banda X. O modo interferométrico, incluso no modo de imageamento da Banda X, utiliza duas antenas: uma monopulso e uma interferométrica para a geração do Modelo de Elevação.

As características comuns desses modos de mapeamento em faixas são as seguintes: são de visada lateral, produzindo uma imagem do solo, localizada ao lado do eixo de vôo da aeronave e a área mapeada é determinada pela geometria da altitude da aeronave, modo de aquisição, resolução selecionada e distância máxima.

4. Visão Geral de uma Missão de Vigilância SAR

Os modos de vigilância SAR disponíveis são o mapeamento em faixa com a Banda X, incluindo a detecção de alvos móveis; WAS; A2A e SpotSAR.

No modo de imageamento em faixas com a Banda X a detecção de alvos móveis (MTI) está disponível. Os alvos detectados são apresentados como círculos vermelhos sobrepostos sobre a imagem. Neste modo, os alvos móveis não podem ser rastreados como nos modos WAS e A2A.

No modo WAS a antena da Banda X "varre" um setor de 60^o ou 120^o de abertura com a possibilidade de se selecionar o ângulo central para este setor (para onde a antena irá apontar). A imagem é processada utilizando-se a técnica "Doppler Beam Sharpening", sendo apresentada na forma de setores. É fornecida, ainda, a sobreposição de alvos móveis na imagem para a detecção dos mesmos no solo. Estes alvos podem ser selecionados e rastreados no modo WAS.

No modo A2A, a antena da Banda X é movimentada de um lado para outro entre 300^o e 360^o, centrados ao redor do "nariz" da aeronave. A antena é inclinada em direção ao horizonte para um máximo de cobertura. A exibição resultante é feita no formato MTI - PPI. Alvos móveis podem ser selecionados e rastreados como no modo WAS.

No modo SpotSAR a antena da Banda X ilumina continuamente uma área alvo selecionada, a medida que a aeronave passa pela mesma. O resultado é um quadro de imagem de altíssima resolução (1,8 metros) atualizado a cada 10 a 20 segundos. Estes quadros de imagem do modo SpotSAR são atualizados até que a aeronave esteja fora do alcance ou fora do campo de visão do alvo.

5. Ambiente de Operação para o Sistema SAR

O ambiente operacional para a aeronave, de acordo com as Especificações Ambientais do sistema SAR, e o envelope de vôo aprovado para a mesma são apresentados nas **Tabelas 3 e 4**, respectivamente.

Tabela 3. Ambiente de vôo para a aeronave SAR.

CATEGORIA	EQUIPAMENTO DA AERONAVE - AMBIENTE CONTROLADO	EQUIPAMENTO DA AERONAVE - AMBIENTE NÃO CONTROLADO
Temperatura	15 ° a 35°C	-54 ° a 42°C
Altitude	10000 pés ou 3050 mts acima do nível médio do mar	Do nível médio do mar até 37.000 pés ou 11.278 mts
Umidade	60 +/- 10%	5 a 100% RH e de 42° a 0°C
Pressão do Guia de Onda	2.5 PSIG	2.5 PSIG
Vibração	RTCA/DO-160C Seção 8.5	RTCA/DO-160C Seção 8.5

Tabela 4. Envelope de vôo da aeronave SAR.

PARÂMETRO	LIMITES
Altitude	30,000 a 37,000 pés. (9140 to 11277 m)
Velocidade no solo	330 a 390 nós ou 610 a 720 km/hr max
Turbulência	Aceleração vertical 0.01 a 0.05g RMS max
Ângulo de cabragem (pitch)	3° +/- 2° max
Ângulo de rolamento (roll)	+/- 2° max
Ângulo de deriva (yaw)	+/- 3° max
Limites de varredura da antena	Capaz de varrer 360°, mas é limitada por software para operar entre 150 e 210°.

6. Características técnicas do sensor SAR

A **Tabela 5** apresenta as características técnicas do sensor SAR desenvolvido pela empresa canadense Macdonald Dettwiler Associated.

Tabela 5. Características técnicas do sensor SAR

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SENSOR SAR	
Frequência central (GHz)	Banda L (GHz) = $1.28 \pm 100\text{MHz}$ Banda X (GHz) = $9.6 \pm 300\text{MHz}$
Comprimento de onda central (cm)	Banda X = 3,12 cm e Banda L = 23,4 cm
Largura de banda “bandwidth” (MHz)	3 metros = 50 MHz, 6 metros = 25 MHz, 18 metros = 8,33 MHz, 1,8 metros = 83,3 MHz
Polarização	Banda X = Xhh e Banda L = Lhh, Lv, Lv, Lvh, Lhv
Duração do pulso transmitido (τ_p)	3 metros = 60 μs , 6 metros = 40 μs e 18 metros = 25 μs
Potência teórica de pico do transmissor (kW)	Banda X = 10 e Banda L = 5
Potência média (W)	Informação não disponível
Intervalo de repetição de pulso - PRI (segundos)	Varia em função do Modo de Operação. Vide Tabela 7 - Modos de Operação, PRI, Ciclo de Trabalho, Potência e Frequência de operação do SAR.
Ângulo de incidência (graus)	Vide Modos de Operação do Sensor SAR – Tabela 5
Modos de aquisição	Vide Modos de Operação do Sensor SAR – Tabela 5
Resolução radiométrica (db)	Informação não disponível
Resolução em alcance (m) - “slant range resolution”	Vide Modos de Operação do Sensor SAR – Tabela 5
Resolução em azimute (m) - “slant range resolution”	Vide Modos de Operação do Sensor SAR – Tabela 5
Número de visadas “looks”	3 metros = 4 looks, 6 metros = 8 looks e 18 metros = 16 looks
Largura da faixa (Km) - “Swath width”	Vide Modos de Operação do Sensor SAR – Tabela 5
Resolução horizontal (m)	Basta utilizar a geometria de coleta para calcular a resolução em “ground range”.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SENSOR SAR	
Altura de vôo (m)	Pode ser escolhida entre 30,000 e 37,000 (9.149 a 11.277 metros) acima do Nível Médio do Mar.
Velocidade da plataforma (m/s)	Pode ser escolhida entre 330 nós (115 m/s) e 390 nós (195 m/s).
Sistema de Posicionamento	INS/GPS (erro esférico provável = 76 metros).

7. Descrição dos arquivos brutos gerados pelo sensor SAR

O objetivo desta seção é descrever a estrutura dos arquivos brutos gerados pelo sensor SAR, com os parâmetros necessários para a geração (síntese) das imagens de radar.

O processamento de imagens SAR requer uma grande quantidade de parâmetros armazenados em diversos arquivos. Na documentação fornecida para o SIVAM não há uma descrição precisa da estrutura destes arquivos e nem a lógica utilizada para sua utilização. Para suprir esta lacuna, a seguir serão descritas as estruturas dos arquivos e a forma de aplicação das informações contidas nos mesmos.

O sistema de processamento fornecido pela MDA para processamento dos dados brutos no solo possui um componente chamado “ingest”, que é responsável pela extração dos dados das fitas DCRsi e gravação no disco rígido na forma de um “GSP Dataset”, ou seja, um conjunto de dados para o GSP. Este conjunto de arquivos contém todos os dados necessários para o processamento. Tais arquivos compartilham o mesmo nome e se distinguem pelas extensões a seguir listadas:

Os dados brutos são gravados em arquivos com extensão do tipo (*.xst, *.lvv, *.lhh, *.lvh, *.lhv, *.in1 e *.in2). Seu formato é *flat raster* de 8 bits; não possuem cabeçalho e para lê-los basta conhecer o número de linhas e amostras por pulso. Esta informação está disponível no arquivo (*.hdr). Para os dados brutos tem-se:

- *.xst = dado bruto da banda X
- *.lvv = dado bruto da banda L, polarização VV
- *.lhh = dado bruto da banda L, polarização HH
- *.lhv = dado bruto da banda L, polarização HV
- *.lvh = dado bruto da banda L, polarização VH
- *.in1 = dado bruto InSar, canal 1
- *.in2 = dado bruto InSar, canal 2
- *.xsp = dado bruto do SpotSAR

O arquivo de dados auxiliares (*.aux) contém algumas informações sobre os parâmetros de operação do radar durante a coleta de dados. Também são fornecidas informações sobre a direção do pedestal das antenas da banda X, etiquetas de tempo geradas pelo radar, instante do início da amostragem do sinal eco e os valores dos atenuadores da cadeia de recepção. Para os dados auxiliares tem-se:

- *.vts = etiquetas de tempo “Video Time Stamp” (1 por canal ingerido)
- *.amd = dados de trajetória (1 por conjunto de dados)
- *.aux = dados auxiliares do radar (1 por conjunto de dados)
- *.hdr = cabeçalho no formato ASCII que descreve o conteúdo do canal (1 por canal ingerido).

As etiquetas de tempo são gravadas no arquivo (*.vts). Esta é uma base de tempo bruta extraída do IXLRs (radar propriamente dito). Seu único campo de registro é uma etiqueta de tempo para cada pulso amostrado.

Os dados de trajetória gerados pelo INS / GPS (sistema de posicionamento inercial/GPS) são gravados no arquivo com extensão (*.amd). Este arquivo contém as informações necessárias para o cálculo da trajetória real e ideal do centro de fase das antenas. Não há cabeçalho para esse arquivo e cada registro corresponde a um pulso do radar.

O arquivo de cabeçalho (*.hdr) pode ser lido diretamente com um editor de texto e descreve o conjunto de dados ingeridos pelo GSP. Cada canal possui o seu próprio cabeçalho. Para extrair automaticamente os valores necessários ao processamento devem-se utilizar rotinas especiais para seleção de dados de textos. As características deste arquivo são:

- Cada estrutura constante do arquivo é delimitada por um par de chaves { e };
- Cada dado é precedido pelo nome da variável e de um sinal de igual;
- Dados do tipo texto estão delimitados por aspas “ ”;
- Dados do tipo *Boolean* são definidos como TRUE ou FALSE;
- O ponto e vírgula indicam o fim de um dado; e
- As estruturas terminam sem o ponto e vírgula.

Referências

Andrade. N. S. O. **Radar de Abertura Sintética Polarimétrico do SIVAM – Análise e Aplicações**. Tese de Doutorado (em fase de escrita). Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília – D.F. 2006.

Macdonald Dettwiler Associated. **SIVAM Airborne SAR System - Operations Manual**. SDRL A006-1. Ref: VM-MA-51-0900. Edição/Revisão: 2/1. 27 Mar 2001. MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd. 13800 Commerce Parkway Richmond, B.C., Canada

Macdonald Dettwiler Associated. **Software User Manual (SUM) for the Airborne Sensor Ground Processing (AGP) of the System For The Vigilance of The Amazon (SIVAM)**. Document Number: 416-11771/2. CDRL B012/A009. Revision: 1 June 2001. Raytheon Company Garland Operations P.O. Box 660023, Dallas, TX 75266, USA.

Macdonald Dettwiler Associated. **Database Design Document (DBDD) For The SCC Subsystem Of The System For The Vigilance of The Amazon (SIVAM)**. Document Number: 410-02506. CDRL B005/A009. Revision: 30 August 2001. Raytheon Company Garland Operations P.O. Box 660023, Dallas, TX 75266, USA.