



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MJSP - POLÍCIA FEDERAL
SERVIÇO DE GEOMÁTICA - SEGEO/DITEC/PF

NOTA TÉCNICA Nº 4/2025-SEGEO/DITEC/PF

PROCESSO Nº 08059.000562/2024-75

INTERESSADO: SERVIÇO DE GEOMÁTICA - SEGEO/DITEC/PF, DIRETORIA TÉCNICO-CIENTÍFICA - DITEC/PF, MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA - MJSP

DESCRIÇÃO E METODOLOGIA DO SISTEMA INTEGRADO DE ALERTAS DE DESMATAMENTO COM RADAR ORBITAL - SipamSAR

1. OBJETIVO

1.1. Analisar tecnicamente o sistema de alertas SipamSAR, do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (Censipam), do Ministério da Defesa, afim de se delimitar sua aplicabilidade, suas potencialidades e limites.

2. MOTIVAÇÃO

2.1. O Programa Brasil M.A.I.S. e Sensoriamento Remoto

O Programa Brasil M.A.I.S. prevê a contratação de diversas soluções de visualização e fornecimento de imagens e dados satelitais para apoio ao monitoramento e à consciência situacional do território nacional por sensoriamento remoto.

2.2. Necessidade de Monitoramento Contínuo e Diário em Alta Resolução

Dentre essas soluções, evidenciam-se as de visualização e fornecimento contínuo e diário de imagens de alta resolução para todo o território nacional com alertas e respectivos relatórios analíticos.

2.3. Complementaridade a Sistemas de Alerta Existentes

O SipamSAR foi concebido como uma solução complementar ao sistema DETER utilizado pelo INPE, que realiza o monitoramento por sensores ópticos, porém prejudicado pela alta incidência de nuvens de outubro a abril na Amazônia. Optou-se pelo imageamento da região por sensores de radar de abertura sintética (SAR), capazes de atravessar a cobertura de nuvens.

3. FUNDAMENTAÇÃO LEGAL

3.1. De acordo com o **artigo 6º, inciso XXIII, da Lei nº 14.133/2021**, o **Projeto Básico** (ou, por equivalência, o **Termo de Referência**) deve ser elaborado com base nas informações obtidas nos **estudos técnicos preliminares**. Esse documento técnico é parte essencial da fase preparatória da contratação, fornecendo à Administração os elementos técnicos necessários para uma tomada de decisão fundamentada e eficiente.

4. DESCRIÇÃO

4.1. O SipamSAR é o sistema integrado de alertas de desmatamento desenvolvido pelo Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (Censipam), órgão de administração central do Ministério da Defesa (SIPAM SAR, 2018). Foi implantado e operacionalizado pelo projeto Amazônia-SAR, que envolve infraestrutura, processo e serviços.

4.2. O objetivo do SipamSAR é a detecção do desmatamento e outros ilícitos na região amazônica por meio de dados de sensores orbitais de Radar de Abertura Sintética (SAR), uma vez que no período compreendido entre outubro e abril os sensores orbitais ópticos são menos eficazes devido à persistente cobertura de nuvens. Essa tecnologia tem como uma das características a capacidade de obter imagens da superfície mesmo com a presença de nuvens, sendo estas, exceto em algumas situações, invisíveis para o sensor [Censipam (5), 2019].

5. HISTÓRICO E DESENVOLVIMENTO

5.1. **Projeto Amazônia-SAR como Origem do SipamSAR**

5.1.1. **Período de Utilização de Sensores SAR Aerotransportados (2013-2015)**

De 2013 a 2015, o sistema utilizou imagens de sensores SAR (do inglês *Synthetic Aperture Radar*) aerotransportados da aeronave R-99, com imageamento anual restrito de outubro a maio (SIPAM SAR, 2018).

5.1.2. **Projeto com Financiamento do BNDES/Fundo Amazônia (2015-2019)**

De julho de 2015 a julho de 2019, o Censipam executou um projeto financiado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) com recursos não-reembolsáveis do Fundo Amazônia. O contrato foi assinado em 20 de julho de 2015 e tinha até julho de 2019 como prazo de conclusão [Censipam (5), 2019]. Durante essa fase, foi consolidado o uso de sensores SAR orbitais. A etapa teve duração ampliada e foi concluída em 2023.

5.1.3. **Aprimoramento e Novo Escopo do SIPAMSAR (2024-2027)**

A segunda fase começou em 2024, com previsão de se estender até 2027. Inicialmente, o foco era o aprimoramento do sistema de detecção de desmatamento. No entanto, após deliberação durante a 16ª reunião ordinária do Conselho Deliberativo do Consipam, o projeto teve seu escopo alterado, passando a priorizar o monitoramento de garimpo ilegal na Amazônia. Em termos de sensores, o sistema conta com a possibilidade de receber imagens captadas por aeronaves P-95 e R-99 da FAB, e imagens satélite (por meio de Plano de Trabalho também com a FAB) do LESSONIA (imagens SAR), e da TELESPIAZIO (missão COSMOS SKYMED).

5.2. **Infraestrutura Estabelecida pelo Projeto Amazônia-SAR**

O **Projeto Amazônia-SAR** tem como objetivo principal a aquisição, implantação, operacionalização e manutenção de uma solução multissatelital de observação da Terra. De forma sumarizada, os dados são recebidos no Centro de Processamento do Centro de Coordenação-Geral (CCG) do Censipam, em Brasília. Nele, os dados são processados e são geradas as imagens com os indicativos de alteração na cobertura da Terra. Essas imagens são, então, disponibilizadas aos Centros Regionais de Belém, Manaus e Porto Velho, nos quais são realizadas as análises, interpretações e gerações dos alertas de desmatamento. A partir daí, no dia seguinte à identificação de um novo desmatamento, o alerta fica disponível ao IBAMA e ao ICMBio por meio de um geoserviço do Censipam. Esse fluxo de trabalho se

repete **mensalmente** para cada cena das áreas monitoradas **durante os meses de outubro a abril** [Censipam (3), 2019]. A execução dessa rotina de processamento exigiu o estabelecimento de uma infraestrutura que inclui:

- O fornecimento de duas antenas de recepção e transmissão de dados por satélites em Brasília (bandas X, K e S) e Manaus (bandas X e S), com capacidade de operação autônoma e remota (Subsistema Antena - ANT);
- A construção da Estação de Recepção e Gravação de Dados Orbitais (Subsistema de Ingestão e Gravação de Dados – IGD);
- O Centro de Tratamento e Visualização de Dados (Subsistema de Coleta, Tratamento e Visualização de Dados – TVD);
- O sistema de catalogação (Subsistema Catálogo – CAT);
- Serviços de Sinais Analógicos, Dados Digitais e Imagens de Satélite de Radar Orbital – SDI;
- As estações de trabalho para visualização e análise dos dados orbitais de satélites (Centros de Análise e Interpretação de Imagens e Geração de Produtos Avançados – CEN);
- Os Serviços Técnicos Especializados – STE, assim entendidos o desenvolvimento e implantação de solução de processamento e detecção automática de mudanças e o serviço complementar de análise e interpretação de imagens;
- O subsistema de Telecomunicações – COM;
- O subsistema de Logística – LOG;
- Os subsistemas Complementares – CMP;
- Os treinamentos técnicos voltados para as operações da antena, da Estação de Recepção e Gravação de Dados e do Centro de Tratamento e Visualização de Dados, e para análise e interpretação das imagens orbitais (Serviços de Treinamento e Capacitação – T&C);

A solução multisatelital, encerra diversos treinamentos, com diferentes finalidades, desde o treinamento operacional até o treinamento eminentemente técnico, passando pelos seminários:

- Antena: treinamento para configuração, operação e manutenção da antena, incluindo a programação de aquisição do sinal analógico satelital;
- Subsistema Antena: treinamento para configuração, instalação, operação e manutenção do subsistema;
- Subsistema de Ingestão e Gravação de Dados: treinamento para configuração, instalação, operação e manutenção do subsistema;
- Subsistema de Coleta, Tratamento e Visualização de Dados: treinamento para configuração, instalação, operação e manutenção do subsistema;
- Centros de Análise, Interpretação de Imagens e Geração de Produtos Avançados: treinamento técnico em análise e interpretação de imagens radar orbital e treinamento para configuração, instalação, operação e manutenção dos aplicativos ofertados pelos Serviços Técnicos Especializados;
- Subsistema de Telecomunicações: treinamento para configuração, instalação, operação e manutenção do subsistema;
- Subsistema de Logística: não há treinamento específico;
- Subsistemas Complementares: não há treinamento específico.

Além destes treinamentos, ocorreram três seminários internos de avaliação, com participação de convidados de organizações públicas relacionadas ao projeto, para discussão dos resultados alcançados pelo projeto, bem como um programa de pesquisa integrando a CONTRATADA, o Censipam, a Universidade de Brasília (UNB), a Universidade Federal do Amazonas (UFAM), a Universidade Federal do Pará (UFPA), a Universidade Federal de Rondônia (UNIR) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), entre outras entidades acadêmicas e de pesquisa participantes.

5.3. Valores contratados no Projeto Amazônia-SAR (fase 1)

5.3.1. Financiamento do BNDES/Fundo Amazônia e Orçamento da União

O BNDES liberou R\$ 63,9 milhões do Fundo da Amazônia, com outros R\$ 16,6 milhões do Orçamento da União, totalizando R\$ 80,5 milhões para o projeto de 4 anos, equivalendo a R\$ 20,125 milhões por ano [Censipam (5), 2019].

5.3.2. Contratos para Fornecimento de Imagens SAR (Contratos nº 10/2016 e nº 18/2016)

O Censipam celebrou contratos para fornecimento de imagens SAR, incluindo o Contrato Nº10/2016 (R\$ 799.240,00 para 1.537.000 km²) e o Contrato Nº18/2016 (inicialmente R\$ 1.998.759,36, posteriormente retificado para R\$ 2.451.875,36 para uma área total de 1.360.466,57 km²). O custo por km² foi de R\$ 0,52.

5.3.3. Cronograma e Valores dos Desembolsos

O valor total desembolsado até 26/12/2019 foi de R\$ 47.958.727,94, representando 75% do valor total do apoio do Fundo Amazônia até 26/12/2020.

5.4. Serviços e Desembolsos executados (fase 1)

A abrangência territorial projetada foi de cerca de 950.000 km² por ano (23% do bioma Amazônia), compostos da seguinte forma: 764 mil km² compreendidos em áreas de maior pressão de desmatamento; 144 mil km² do estado do Amapá; e cerca de 5% adicional, por demanda específica, de pontos isolados no bioma Amazônia (Fonte: <http://www.fundoamazonia.gov.br/pt/projeto/Amazonia-SAR/?contrato>). As áreas de abrangência foram aquelas indicadas como prioritárias pelos órgãos de fiscalização – IBAMA e ICMBio (SIPAM SAR, 2018).

O primeiro contrato celebrado pelo Censipam para fornecimento de imagens SAR (do inglês *Synthetic Aperture Radar*) previram o fornecimento de imagens com 3-6 metros de resolução espacial, polarização simples, revisita melhor que 1 mês com entrega via operadora através de FTP/HD externo, entrega da imagem até 3 dias após sua aquisição. Essa contratação foi objeto do Contrato Nº10/2016 celebrado a partir do pregão eletrônico Nº55/2015. A área contratada foi de 1.537.000 km² e o valor contratado foi de R\$ 799.240,00 (R\$ 0,52/km²).

O segundo fornecimento de imagens SAR correspondeu à aquisição de uma área de 323.775,79 km², no valor de R\$ 168.363,41 (R\$ 0,52/km²). O terceiro fornecimento de imagens correspondeu a uma área de 1.036.690,78 km², no valor de : R\$ 539.079,21 (R\$ 0,52/km²). Ambos os fornecimentos foram objeto do contrato Contrato Nº18/2016 (ata de registro de preço 02/2016).

Em 31 de outubro de 2017 foi celebrado entre o Censipam e a empresa Geoambiente Sensoriamento Remoto Ltda, o Primeiro Termo Aditivo ao contrato 18/2016, para prestação de serviços não continuados de fornecimento de imagem de satélite de radar de abertura sintética visando atender o Censipam. O Primeiro Termo Aditivo tem como objeto, retificar o valor total desta contratação, passando de R\$ 1.998.759,36 (Hum milhão, novecentos e noventa e oito mil, setecentos e cinquenta e nove reais e trinta e seis centavos) para R\$ 2.451.875,36 [Censipam (1), 2018].

Efetivamente, a implantação do Sistema Integrado de Alertas de Desmatamento com radar orbital – SipamSAR, através do monitoramento sistemático, teve começo em março de 2017 [Censipam (1), 2018].

Os desembolsos dos projetos foram realizados nas seguintes datas e valores (fonte:), conforme Tabela 01 abaixo:

Tabela 01 - Desembolso das parcelas do projeto Amazônia SAR

Nº desembolso	DATA	VALOR
1º desembolso	14.01.2016	R\$ 4.123.065,07
2º desembolso	17.05.2016	R\$ 50.253,44
3º desembolso	20.07.2016	R\$ 655.439,18
4º desembolso	23.12.2016	R\$ 967.603,41
5º desembolso	27.09.2017	R\$ 785.846,01
6º desembolso	22.12.2017	R\$ 20.004.856,31
Valor total desembolsado		R\$ 47.958.727,94

7º desembolso	27.12.2017	R\$ 12.284.947,31
8º desembolso	11.07.2019	R\$ 8.349.784,35
9º desembolso	26.12.2019	R\$ 736.932,86
Valor total desembolsado		R\$ 47.958.727,94

Até a data de 26/12/2020, 75% do valor total desembolsado em relação ao valor do apoio do Fundo Amazônia, tinham sido executados (Amazonia SAR, 2019).

No Relatório de Atividades de 2021, consta o Projeto Amazônia SAR como 100% executado (http://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/_galleries/documentos/rafa/RAFA_2021_port.pdf, acesso em 15/04/2025).

5.5. Principais Atividades realizadas e Resultados (fase 1)

- Aquisição de 23 licenças do módulo SARscape, do software ENVI, para processamento de imagens de radar orbital;
- Aquisição de 6.287.000 de km² de imagens de radar orbital da Constelação Cosmo-SkyMed;
- Aquisição de duas antenas multissatelitais de observação da Terra para recebimento de dados brutos de satélites óticos e de radar;
- Aquisição de servidores e equipamentos de refrigeração para salas técnicas;
- Estruturação do catálogo de imagens radar orbital;
- Estruturação de quatro salas de treinamento, uma em cada unidade do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (Censipam);
- Emissão de cerca de 23.400 alertas de mudança na cobertura de floresta (sem qualificar se é legal ou ilegal), correspondente a cerca de 750.000 hectares de supressão de vegetação, no período de 2016 a 2019;
- Estabelecimento de parcerias com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agência Nacional de Águas (ANA), Exército Brasileiro (EB) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Também estão em andamento parcerias com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), Força Aérea Brasileira (FAB), Fundação Nacional do Índio (Funai), Secretarias Estaduais de Meio Ambiente e (Seamas), de Segurança Pública (SSPs), Exército Brasileiro (EB), Marinha do Brasil (MB), Agência Nacional de Petróleo (ANP), Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA), Agência Nacional de Geointeligência Espacial (NGA) e Departamento de Ciência e Tecnologia da Aeronáutica (DCTA);
- Realização de três seminários de monitoramento integrado com radar orbital;
- Capacitação básica de 77 servidores em imagens de radar orbital.

(fonte: [Amazonia SAR](#), 2019).

5.6. Infraestrutura para a fase 2 do SipamSAR

5.6.1. Antenas multissatelitais

Em 2021, o Censipam²⁵ e ²⁶ divulgou a atualização do projeto SipamSAR, relativa à instalação de uma antena multissatelital de 11,3 metros de diâmetro², em Formosa/GO (link youtube: [Antena Multissatelital](#); Figura 01). De acordo com as informações divulgadas pelo Ministério da Defesa²⁵, a antena tem o potencial de receber dados em tempo real de sensores orbitais óticos e de radar (bandas K, X e S). Uma outra antena multissatelital estava em processo de instalação em Manaus (AM). A localização estratégica dessas antenas permite o recebimento direto de dados de satélites brasileiros e estrangeiros em todo o território nacional. Ainda de acordo com o Censipam e o Ministério da Defesa, os avanços na tecnologia SAR possibilitam o uso de constelações de satélites às quais o Censipam tem acesso, garantindo maior frequência de revisitas e agilidade na emissão de alertas de desmatamento ao longo de todo o ano. Além disso, o uso de imagens com resolução espacial mais elevada — que pode chegar a um metro — aumenta a precisão dos alertas gerados.



Figura 01 - Antena multissatelital instalada em Formosa/GO.

Dessa forma, as atualizações realizadas em 2021 indicam avanços significativos no sistema SipamSAR, com destaque para a instalação da antena multissatelital, que contribui para a redução no tempo de processamento das imagens de radar e viabiliza a recepção direta de dados de sensores óticos e de radar, ampliando a eficiência do monitoramento ambiental.

5.6.2. Lançamento dos satélites do Projeto Lessonia

Em 2022, a Força Aérea Brasileira divulgou o lançamento dos dois primeiros satélites de sensoriamento remoto radar (SRR) denominados Carcará I e Carcará II, adquiridos através da companhia Filandesa ICEYE. Ambos fazem parte do Projeto Lessonia, que integra o Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE) (<https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/39179>, acesso em 17/04/2025).

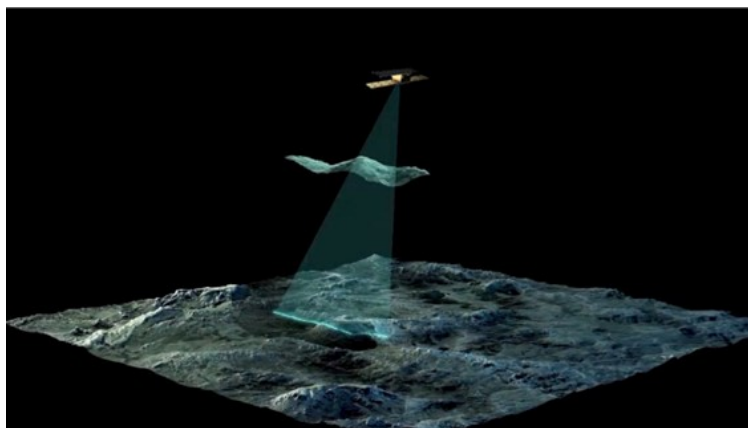


Figura 01 – Satélite Carcará lançado em 25/05/2022 por meio do foguete Falcon 9 da SpaceX no Centro Espacial Kennedy, em Cabo Canaveral (EUA) (<https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/39179>).

De acordo com as informações divulgadas, o sistema de imageamento do Projeto Lessonia utiliza um sensor ativo de detecção capaz de gerar imagens de altíssima resolução, que podem ser obtidas a qualquer hora do dia ou da noite, independentemente das condições meteorológicas, pois o sinal se adapta a qualquer condição temporal. De emprego dual, visam atender às necessidades operacionais das forças armadas, do Centro Gestor e Operacional de Proteção da Amazônia (CENSIPAM), bem como de agências governamentais. Cada satélite tem dimensão de um metro cúbico, pesa cerca de 100 quilos e possui cinco painéis solares.

No site de notícias G1, em uma notícia publicada em 26/05/2022 (<https://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2022/05/26/dois-novos-satelite-do-brasil-sao-lancados-por-foguete-da-spacex.ghtml>, acesso em 17/04/2025), foi informado que a efetiva operacionalização dos satélites só se dará em novembro de 2022, pois os equipamentos necessitam desse tempo para a adequação à órbita. Em outra notícia publicada no site da FAB em 17/08/2022 (<https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/39596/VISITA%20INSTITUCIONAL%20-%20Comandante%20da%20FAB%20recebe%20Vice-presidente%20da%20ICEYE%20para%20a%20Am%C3%A9rica%20Latina>, acesso em 17/04/2025), foi informado que ocorreu a entrega da primeira imagem produzida pelo satélite Carcará II.

Em visita ao SEGeo/INC/DITEC/PF, ocorrida em 03/08/2022, representantes da empresa ICEYE e da Embaixada da Finlândia trouxeram informações sobre a constelação Lessônia do PESE, em especial sobre os satélites Carcará I e II. Foi informado que os satélites estavam em fase final de comissionamento e próximos à sua plena operacionalização, com entrega para o Comando da Aeronáutica. Apesar do fornecimento, para a Aeronáutica, de uma antena táctica para recepção dos dados, esses satélites teriam, como Estações de Recepção de Dados Orbitais (ERDO) primárias e secundárias, os sítios de Formosa/GO e Manaus/AM do Censipam (Sistema SipamSAR implantado pelo Projeto Amazônia-SAR).

As atualizações ocorridas entre 2022 e 2024 indicam avanços significativos no Sistema SipamSAR, especialmente com o lançamento e a entrada em operação dos satélites Carcará I e II. A natureza radar desses satélites permite a aquisição de imagens independentemente da iluminação solar e da presença de nuvens, o que representa uma importante vantagem sobre sensores ópticos. A cooperação entre a FAB e o Censipam para a aplicação pontual de imagens SAR em regiões com alta densidade de nuvens poderia ser uma estratégia eficaz para complementar os alertas de desmatamento gerados pelo Programa Brasil M.A.I.S., que utiliza sensores ópticos.

5.6.3. Plano de Trabalho CENSIPAM (Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia) e FAB (Força Aérea Brasileira)

Em notícia publicada em 18/03/2025 na página do CENSIPAM, <https://www.gov.br/censipam/pt-br/central-de-conteudos/noticias/diretor-geral-do-censipam-prestigia-cerimonia-de-transmissao-de-cargo-de-comandante-de-operacoes-aeroespaciais>, acesso em 17/04/2025, foi possível se obter mais informações sobre o Plano de Trabalho firmado entre o CENSIPAM e a FAB, por meio do Comando de Operações Aeroespaciais (COMAE). O Plano estabelece uma colaboração estratégica para o monitoramento ambiental e a segurança nacional, com foco especial na Amazônia Legal. Essa parceria é fundamental para o funcionamento do sistema SipamSAR, que, desde 2024, passou a priorizar a detecção de atividades de garimpo ilegal.

Nesse sentido, o CENSIPAM:

- É responsável pela coordenação e uso das imagens SAR (Radar de Abertura Sintética) no âmbito do projeto SipamSAR, voltado à detecção de desmatamento e garimpo ilegal na Amazônia.
- Utiliza as imagens fornecidas pela FAB para produzir alertas geoespaciais que subsidiam ações de fiscalização de órgãos ambientais, como IBAMA e ICMBio.
- Compartilha infraestrutura física, como as antenas multissatélite localizadas em Formosa (GO) e Manaus (AM), para recepção de dados orbitais.
- Executa o processamento e análise das imagens, transformando os dados brutos em produtos de monitoramento.

A FAB:

- É responsável pela obtenção das imagens orbitais e aéreas, repassadas ao Censipam por meio de acordos formais de cooperação técnica (Plano de Trabalho).
- Opera e mantém satélites e contratos com fornecedores comerciais de imagens SAR, como ICEYE e Telespazio.
- Realiza missões de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (IVR) com aeronaves como R-99 e P-95, que também fornecem imagens úteis ao Censipam.
- Conduz o Projeto LESSONIA, missão brasileira que compreende uma constelação de satélites SAR.

No âmbito do plano de trabalho, a tabela 2 detalha as imagens utilizadas e suas características.

Tabela 2 - Fontes das imagens, descrição, operadores e principais características - SIPAMSAR fase 2.

Fonte de Imagem	Descrição	Operador / Acesso	Características Principais
Missão LESSONIA (CARCARÁ-1 e 2)	Conjunto de satélites SAR operados pela FAB e fabricados pela empresa finlandesa ICEYE.	FAB (Força Aérea Brasileira)	- Imagens em alta resolução (banda X)

Missão COSMO-SkyMed	Constelação de satélites SAR da Agência Espacial Italiana e Ministério da Defesa da Itália.	Acesso por contrato da FAB com a Telespazio. Repasse ao CENSIPAM via Plano de Trabalho	- Alta resolução
Imagens Aéreas (R-99 e P-95)	Aeronaves da FAB equipadas com sensores SAR utilizados em missões pontuais.	FAB (operações específicas)	- Suporte a operações de campo - Úteis em regiões remotas e ações emergenciais

5.7. Informações técnicas referentes à constelação de satélites Cosmo-Skymed

A Constelação de Pequenos Satélites para Observação da Bacia do Mediterrâneo - Cosmo Skymed, é composta de 4 satélites, cada um dos quatro satélites está equipado com um instrumento SAR (Synthetic Aperture Radar). Por utilizar sensor ativo, é capaz de operar em todas as condições de visibilidade em alta resolução e em tempo real (fonte: Esa).

Os produtos gerados pela COSMO-SkyMed são vistos nos seguintes campos (Fonte: Esa)

- Aplicativos de defesa e segurança: Vigilância, inteligência, mapeamento, avaliação de danos, avaliação de vulnerabilidade, detecção / localização de alvos;
- Aplicações de gerenciamento de risco: inundações, secas, deslizamentos de terra, vulcânica / sísmica, incêndio florestal, riscos industriais, poluição da água;
- Outras aplicações: ambientes marinhos e costeiros, agricultura, silvicultura, cartografia, meio ambiente, geologia e exploração, telecomunicações, serviços públicos e planejamento.

A arquitetura geral do sistema é composta por um segmento espacial, uma constelação de satélites SAR e um segmento terrestre incluindo serviços de usuário completos. Os requisitos exigem as seguintes características gerais de desempenho [Caltagirone *et. al.*, 2003; Di Lazzaro *et. al.*, 2008; COSMO-SkyMed (2)], tais como:

- Cobertura de observação global completa com todas as condições meteorológicas, capacidade de aquisição dia / noite;
- Capacidade de coleta de grandes áreas em uma única passagem, com imagem estéreo ao longo da trilha durante uma única passagem;
- Alta qualidade de imagem, para permitir uma interpretabilidade de imagem robusta na escala de análise solicitada (os conjuntos de dados são caracterizados por uma resolução espacial e espectral adequada para realizar análises em diferentes escalas de detalhe);
- Repetibilidade da pista de solo: os satélites da constelação SAR devem ter uma repetibilidade de pista de solo melhor que 1 km;
- Tempos de resposta rápidos (desde a solicitação de dados / serviço do usuário até a entrega de dados / serviço ao usuário solicitante).

Lançamento e vida útil

O lançamento da primeira espaçonave COSMO na constelação ocorreu em 8 de junho de 2007 (UTC), e o último, ocorreu em 6 de novembro de 2010 (UTC). A vida útil operacional do sistema é de 15 anos, com uma vida útil do satélite de 5 anos [(Battagliere *et. al.*, 2011); (Figura 02)].

Abaixo, na Tabela 02 são apresentados a data de lançamento de cada um dos satélites da citada constelação. A constelação COSMO-SkyMed está operando nominalmente desde 2014 (COSMO-SkyMed (2); Giampaolo, 2013) .

Tabela 02 - Visão geral do cronograma de lançamento da constelação COSMO-SkyMed*

Missão	Data de lançamento
COSMO-SkyMed-1	8 de junho de 2007 em um veículo de lançamento Delta-2 de VAFB, CA; Provedor de lançamento: ULA
COSMO-SkyMed-2	9 de dezembro de 2007 em um veículo de lançamento Delta-2 da ULA de VAFB, CA, EUA
COSMO-SkyMed-3	25 de outubro de 2008 em um veículo de lançamento Delta-2 da ULA de VAFB, CA, EUA
COSMO-SkyMed-4	6 de novembro de 2010 em um veículo de lançamento Delta-2 da ULA de VAFB, CA, EUA

*fonte: Boeing Launches 4th Earth-Observation Satellite for Italy,” Nov. 6, 2010, URL: <http://www.boeing.com/defense-space/space/bls/missions/cosmo-4/>; Fourth satellite of the COSMO-SkyMed constellation launched successfully,” Finmeccanica, Nov. 6, 2010, URL: http://www.finmeccanica.it/.../ComFin_4CosmoSkyMed_06_11_10_ING.pdf

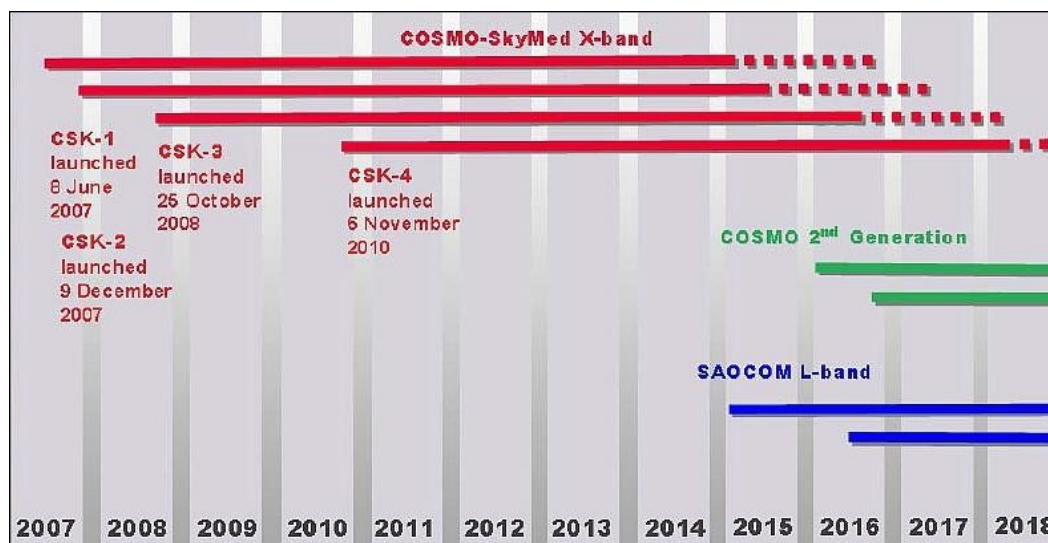


Figura 02 - Confiabilidade e continuidade da constelação COSMO-SkyMed em 2012 (Angelucci & Giampaolo, 2012)

Órbita da constelação

A constelação é composta por 4 satélites de médio porte, cada um equipado com um radar de abertura sintética (SAR) de alta resolução por micro-ondas operando em banda X, tendo aproximadamente 600 km de área de acesso no solo.

As características da órbita estão resumidas na Tabela 03 [COSMO-SkyMed , 2007 (1)], a seguir:

Tabela 03 - Características da órbita	
Tipo de órbita	Heliocêntrica
Inclinação	97,86°
Revoluções por dia	14,8125
Ciclo orbital	16 dias
Ecentricidade	0,00118
Argumento de perigeu	90°
Semi-eixo maior	7003,52 km
Altura nominal	619,6 km
LTAN	6:00 a.m.
Nº de satélites	4
Faseamento	90°
Desenvolvimento	Progressivo

Em condições nominais, os quatro satélites são equifásicos no mesmo plano orbital, conforme representado na Figura 03, apresentada a seguir:

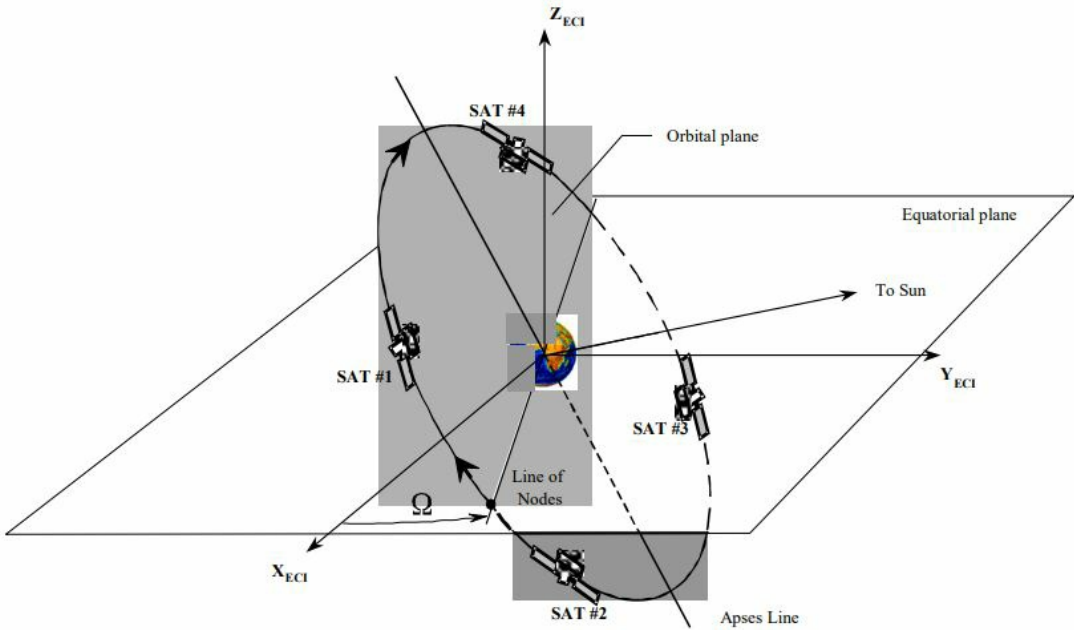


Figura 03 - Configuração nominal da constelação COSMO [COSMO-SkyMed, 2007 (1)].

Para fins de interferometria a configuração orbital da constelação visa produzir imagens tridimensionais de SAR combinando duas medições de radar do mesmo ponto do solo, em condições interferométricas. A configuração interferométrica suportada é do tipo Tandem, na qual dois satélites voam próximos para atingir as condições de aquisição de interferometria em tempo real.

A Figura 04, a seguir, mostra a configuração interferométrica Tandem, com os dois satélites funcionando juntos colocados em planos de órbita diferentes e com 20" de separação correspondendo a uma linha ao longo separação de 151 km e uma separação plana de 0,08 graus.

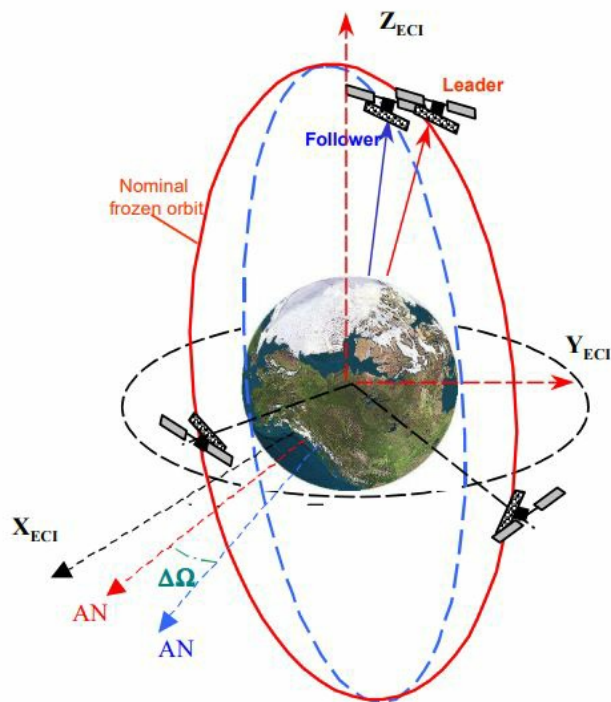


Figura 04 - Configuração de interferometria tandem com diferentes planos orbitais [COSMO-SkyMed, 2007 (1)].

Modos de Aquisição

Os seguintes modos de aquisição operacional são suportados: *Stripmap*, *ScanSAR* e *Spotlight*. A seguir, na Tabela 04, são mostrados detalhes da resolução espacial e largura da faixa de imageamento de cada modo de aquisição. As Figuras 05 e 06 ilustram as informações contidas na Tabela 04.

Tabela 04 - Modos de aquisição da carga útil SAR-2000 [COSMO-SkyMed (2)].

Modos operacionais com uma polarização selecionável entre HH, VV, HV ou VH	
<i>Spotlight</i> (também conhecido como "Quadro")	Resolução espacial: ≤ 1 m Área de observação do local: 10 km x 10 km
HIMAGE (<i>Stripmap</i>)	Resolução espacial: 3-15 m Largura de faixa: 40 km x 40 km
Wide Region (<i>ScanSAR</i>)	Resolução espacial: 30 m Largura de faixa: 100 km x 100 km
Huge Region (<i>ScanSAR</i>)	Resolução espacial: 100 m Largura de faixa: 200 km x 200 km
Modos operacionais com duas polarizações selecionáveis entre HH, VV, HV ou VH	
Ping Pong (<i>Stripmap</i>)	Resolução espacial: 15 m Largura de faixa: 30 km x 30 km

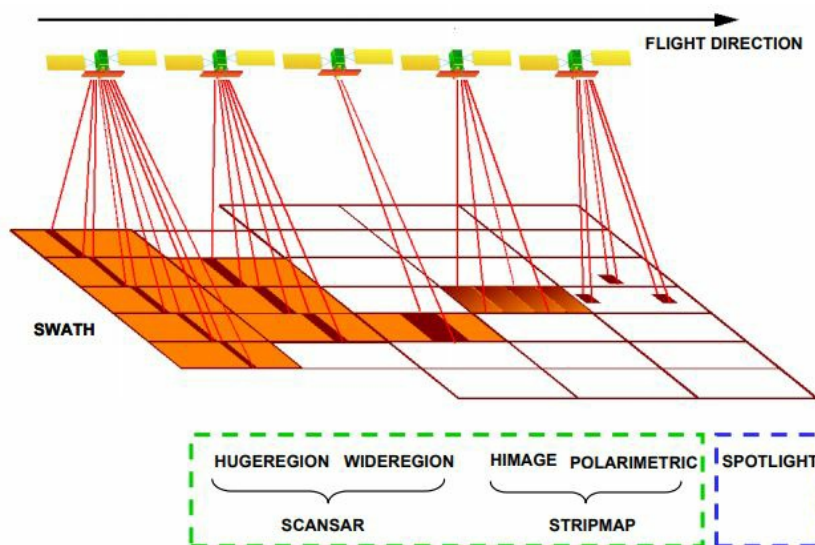


Figura 05 - Três modos de aquisição do sensor COSMO - SkyMed [COSMO-SkyMed, 2007 (1)]

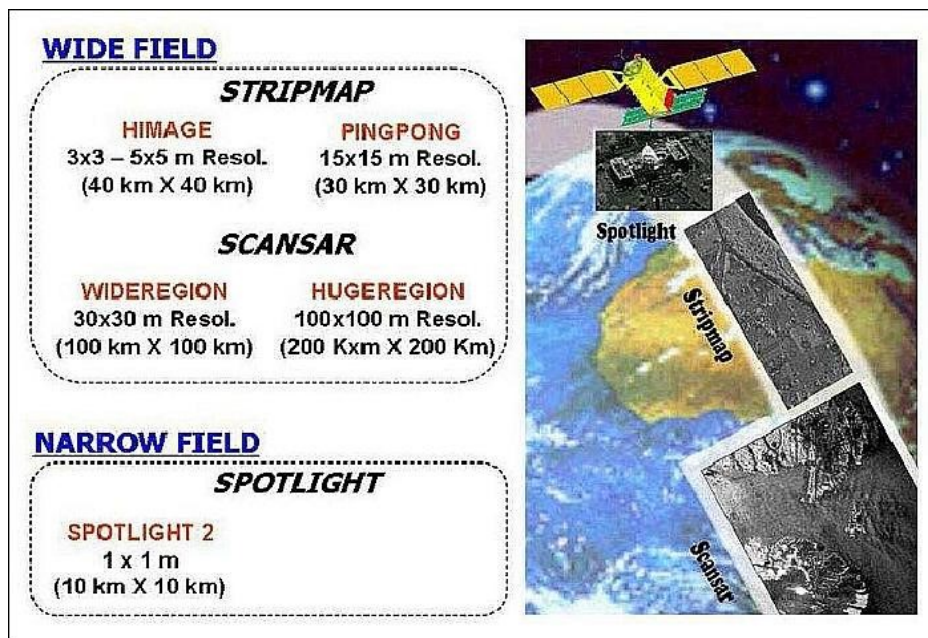


Figura 06 - Ilustração da capacidade de aquisição multimodo [Fonte: Agenzia Spaziale Italiana, citado por COSMO-SkyMed (2)].

Modos operacionais e performance do sistema

Três modos operacionais diferentes do sistema foram definidos, chamados de rotina, crise e muito urgente. Estes diferentes modos permitem responder a diferentes necessidades em termos de latência de programação necessária. No primeiro modo (rotina), são planejadas e enviadas as solicitações dos usuários referentes às aquisições de imagens para a constelação uma vez por dia. No segundo modo (crise) esta operação é feita duas vezes ao dia. O terceiro modo (muito urgente) é assíncrono, permitindo o atendimento de uma solicitação de aquisição de imagem com a latência mínima possível [COSMO-SkyMed, 2007 (1)].

O sistema é capaz de satisfazer uma solicitação do usuário (capacidade de entregar o produto de imagem exigido por um usuário em tempo hábil) que, no caso do primeiro nível de produtos padrão SAR (não derivados de aquisições no modo spotlight) está dentro de 72 horas para o sistema funcionando no modo de rotina (plano de aquisição carregado uma vez por dia), 36 horas para o modo de crise (plano de aquisição carregado duas vezes por dia) e 18 horas para o modo muito urgente [(plano de aquisição carregado de forma assíncrona); (COSMO-SkyMed, 2007 (1))].

O ciclo de repetição nominal é de 16 dias para cada satélite e de 4 dias quando considerada toda a constelação (chamado de rotina). A constelação nominal completa atinge um tempo de revisita de até horas em uma escala global, no modo muito urgente COSMO-SkyMed, 2007 (1).

A Tabela 05 resume as capacidades de desempenho de observação alcançáveis dos satélites SAR dentro da cobertura latitudinal de $\pm 20^\circ$ a -60° . Na Tabela 05, constam os termos “Tempo médio de revisita” e “Máximo tempo de revisita. Neste contexto, “revisitar” refere-se à capacidade de voar novamente sobre um determinado local geográfico e de obter imagens do local em diferentes condições, como por exemplo, com um ângulo de incidência variável [COSMO-SkyMed (2)].

Tabela 05 - Parâmetros de acessibilidade para as várias configurações de constelação [COSMO-SkyMed (2)].

constelação	Visada direita		Visada direita e esquerda		Observação
	Nominal	Estendido	Nominal	Estendido	
1 satélite	37 a 64 h	25 a 44 h	18 a 35 h	12 a 23 h	Tempo médio de revisita
	<252 h	<120 h	<156 h	<60 h	Máx. tempo de revisita
	38% (24 h)	55% (24 h)	67% (24 h)	85% (24 h)	Acesso% vs tempo
2 satélites	19 a 35 h	13 a 24 h	9 a 18 h	6 a 12 h	Tempo médio de revisita
	<108 h	<60 h	<60 H	<36 h	Máx. tempo de revisita
	41% (12 h)	62% (12 h)	60% (12 h)	77% (12 h)	Acesso% vs tempo
3 satélites	64% (24 h)	84% (24 h)	81% (24 h)	92% (24 h)	Acesso% vs tempo
	13 a 24 h	9 a 16 h	6 a 12 h	4 a 8 h	Tempo médio de revisita
	<60 h	<36 h	<36 h	<36 h	Máx. tempo de revisita
4 satélites	62% (12 h)	88% (12 h)	84% (12 h)	98% (12 h)	Acesso% vs tempo
	84% (24 h)	98% (24 h)	96% (24 h)	99,97% (24 h)	Acesso% vs tempo
	10 a 18 h	6 a 12 h	5 a 9 h	3 a 6 h	Tempo médio de revisita
	<60 h	<24 h	<24 h	<12 h	Máx. tempo de revisita
	80% (12 h)	99% (12 h)	97% (12 h)	100% (12)	Acesso% vs tempo
	95% (24 h)	100% (24 h)	100% (24 h)		

Os valores mostrados na Tabela 05 se referem ao status operacional de rotina (nominal), e que eles são médios valores previstos médio, enquanto os valores reais dependem das coordenadas do local, segmento de solo ativo, configuração de constelação, modo operacional etc.

A capacidade média de aquisição diária da constelação é de 1.800 imagens adquiridas em uma janela de 24 horas, sendo 75 Spotlights mais 375 Stripmap ou 150 ScanSAR, para cada satélite [COSMO-SkyMed (2)]. A capacidade de aquisição diária de pico da constelação é de 10 minutos de operação contínua nos modos Stripmap ou ScanSAR ou, alternativamente, 20 imagens do modo Spotlight. Estas e outras informações constam da Tabela 06.

Tabela 06 - Visão geral dos modos de suporte operacional [COSMO-SkyMed (2)].

Modo de Suporte	Configuração	Comentários
Lado de observação SAR em relação à trilha do fundo do nadir	Olhando para o lado direito (nominal) Olhando para o lado esquerdo por períodos limitados	Fornecendo melhor desempenho da cobertura do hemisfério norte. Uso destinado a atender às solicitações de prioridade ASAP
Ciclo de trabalho (estimado em uma base diária)	75 min de operação em imagens Stripmap ou ScanSAR 150 imagens no modo Spotlight	Um ciclo de trabalho é necessário para superar as limitações de energia S / C

Máx. ciclo de trabalho de imagem (em órbita)	10 min de operações contínuas em Stripmap ou ScanSAR 20 imagens consecutivas no modo Spotlight	
Gestão de aquisição de imagens	24 horas por dia	Capacidade de comandos com marcação de tempo para SAR-2000
Ciclo de trabalho máximo PDHT*	20% por órbita	
Capacidade de armazenamento PDHT Estratégia de armazenamento PDHT	Memória onboard de 300 Gbit a) Excluir após a saída (nominal) b) Manter após a saída	
Modos de suporte PDHT	- Armazenar apenas - Downlink apenas - Armazenar e downlink - Passagem (quase em tempo real)	Tanto na visão direita quanto na esquerda Somente na visada direita Somente na visada direita Somente na visada direita
Taxas de downlink PDHT	- Downlink apenas - Armazenamento e downlink - Passagem (quase em tempo real)	2 links separados a 150 Mbit / s 1 link a 150 Mbit / s 1 link a 150 Mbit / s

*PDHT - (Payload Data Handling and Transmission): gerencia todo o manuseio e transmissão de dados científicos gerados pela carga SAR. Inclui todas as interfaces necessárias para adquirir telecomandos e dados auxiliares do ICS e para armazenamento, formatação, criptografia e downlink de solo dos dados científicos do instrumento SAR [COSMO-SkyMed (2)].

O valor de sensibilidade (NESZ – Noise Equivalent Sigma Zero) especificado é de -22 dB para todos os modos de operação, bem como a ambigüidade das relações do sinal. Quanto à radiometria, características de calibração, precisão do apontamento, correção e normalização do padrão operacional, resultam em produtos com uma precisão radiométrica melhor que 1 dB [COSMO-SkyMed (2)].

Performances das configurações de Interferometria.

A constelação COSMO-SkyMed pode ser operada em duas configurações básicas, ou seja, na " **configuração orbital nominal** " ou na " **configuração orbital interferométrica** ".

A constelação completa foi implantada tendo apenas um único par de satélites em uma configuração interferométrica de um dia através do segundo e do terceiro satélite (COSMO-2 e COSMO-3), enquanto o primeiro e o quarto satélite da constelação (COSMO-1 e COSMO-4) são colocados com um deslocamento de 90° em anomalia verdadeira para otimizar o desempenho temporal de toda a constelação. Outras configurações são possíveis para explorar as capacidades interferométricas da constelação.

O principal desempenho da configuração interferométrica do ponto de vista do usuário, está associado com a precisão dos produtos que são gerados em tal modalidade de aquisição, ou seja, o Modelo Digital de Elevação (do inglês *Digital Elevation Model* - DEM). As precisões do MDE (mostradas na Tabela 07) são:

- Precisão relativas: erros na ausência de qualquer calibração, altura real desconhecida;
- Precisão absolutas: erros verdadeiros dentro da linha de base especificada, ângulo de incidência, declive do terreno, disponibilidade de 2.500 pontos de controle de solo com precisão de 100 m para cada subchama em Stripmap, Modos de varredura ou pontos de controle de solo com precisão de 30m e espaçamento de 300m para o modo Spotlight (realçado).

Tabela 07 – Performances para interferometria visando a obtenção de MDE [COSMO-SkyMed,2007 (1)].

Relative accuracies	Spot	Strip	ScanSAR Wideregion	ScanSAR Hugeregion
	B.L = 100 ÷ 3500 (extimed with an accuracy better of 20%) Coherence ≥ 0.8			
Relative height accuracy[m]	≤ 5	≤ 12	≤ 24	≤ 53
Relative horizontal accuracy [m]	≤ 5	≤ 12	≤ 22	≤ 45

Absolute accuracies	Spotlight	Stripmap	ScanSAR Wideregion	ScanSAR Hugeregion
Normal Baseline Incidence angle Terrain slope @95% points	B.L = 300 ÷ 600 40° < θ < 50° $\alpha \leq 30^\circ$	B.L = 150 ÷ 250 45° < θ < 50° $\alpha \leq 25^\circ$	B.L = 80 ÷ 130 39° < θ < 46° $\alpha \leq 20^\circ$	B.L = 80 ÷ 130 37° < θ < 46° $\alpha \leq 15^\circ$
Absolute height accuracy[m]	8	17	28	58
Absolute horizontal accuracy [m]	18	22	30	52
Posting [m x m]	3x3	10x10	30x30	100x100

Política de Dados e Acesso a dados.

Devido ao recurso de dupla utilização do sistema, o acesso aos dados do COSMOS SkyMed é regulado por meio de uma política de dados adequada e bem definida. Os usuários são classificados principalmente em dois domínios separados: domínio civil e domínio de defesa (Figura 07). No domínio Civil, os usuários podem ser (Covello *et. al.*, 2012):

- usuários institucionais;
- usuários comerciais.

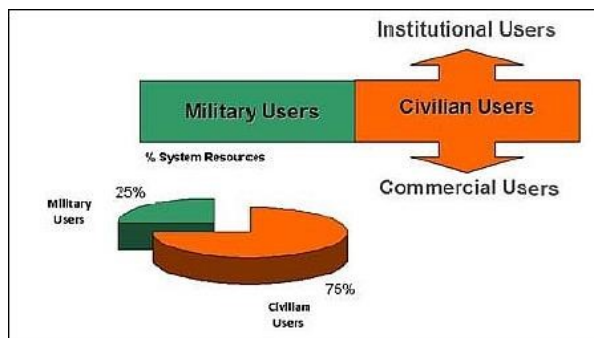


Figura 07: Distribuição de recursos do sistema COSMO-SkyMed [Fonte: Agenzia Spaziale Italiana citado por COSMO-SkyMed (2)].

Os utilizadores institucionais são parceiros internacionais, Administrações, Agências, Ministérios, Universidades, Centros de Investigação, nacionais e internacionais, etc. A ASI (Agenzia Spaziale Italiana) gere e coordena os utilizadores institucionais e científicos permitindo a utilização do serviço para aquisições e encomendas de produtos através do site COSMO-SkyMED. Já os usuários comerciais podem acessar o sistema por meio do provedor comercial e-GEOS, empresa ASI-Telespazio. No primeiro caso, acordos específicos são firmados e compartilhados entre os parceiros; da mesma forma, os usuários comerciais regulam sua relação com o provedor comercial por meio de contratos comerciais.

Sob a abordagem temporal, considerando as informações contidas neste documento e considerando-se ainda que a capacidade de aquisição diária da constelação COSMO SkyMed seria de 375 imagens por satélite no modo Stripmap (Himage), em uma janela de 24 horas, o total de imagens diárias seria de 1500 imagens COSMO-SkyMed (2). Considerando-se uma área de 1600 km² por imagem (40 x 40 km), a capacidade de imageamento diária seria de 2.400.000 km² e resolução espacial do modo Stripmap de 3 metros.

Os valores divulgados no sítio eletrônico do Fundo Amazônia, projeto Amazônia SAR totalizaram uma área imageada de 6.287.000 de km² (de 2016 a 2019) e o valor desembolsado foi de R\$ 47.958.727,94. Desta forma, chega-se a um custo de R\$ 7,62/km², que pode ser entendido como sendo o custo de imageamento necessário à produção de alertas mensais de desmatamento, até o momento.

Considerando as características da constelação COSMO-SkyMed e, hipoteticamente, considerando a necessidade de imageamento de todo o território nacional, que é de aproximadamente 8.460.414,563 km² (área continental), para a estimativa do custo de imageamento em R\$/km²/ano, teríamos os seguintes valores:

- tempo necessário à cobertura total do território nacional (continental): $8.460.414,563 \text{ km}^2 \div 2.400.000 \text{ km}^2 = 3,52 \text{ dias}$
- número de dias do ano: 365,25;
- número de períodos de imageamento do território nacional ao longo de um ano: $365,25 \div 3,52 = 103,76 \text{ períodos};$
- custo de imageamento Amazônia SAR: R\$ 0,52/ km² ;
- custo de um evento de imageamento do território nacional (continental): $8.460.414,563 \text{ km}^2 \times \text{R\$ } 0,52/ \text{ km}^2 = \text{R\$ } 4.399.415,57;$
- custo anual estimado de imageamento do território nacional: $103,76 \times \text{R\$ } 4.399.415,57 = \text{R\$ } 456.501.857,08; \text{ e}$
- custo do km² imageado/ano = $\text{R\$ } 456.501.857,08 \div 8.460.414,563 \text{ km}^2 = \text{R\$ } 53,95/ \text{ km}^2/\text{ano}.$

Deve-se considerar que os valores nominais de resolução temporal dependem das coordenadas do local, segmento de solo ativo, configuração de constelação, modo operacional etc..., e a concorrência de uso com outros usuários comerciais e militares podem afetar essa cobertura nominal de imageamento quando considerada a necessidade de imageamento sistemático (4 dias, por exemplo), de todo o território nacional [COSMO-SkyMed (2)].

Também não estão sendo contabilizados os custos com recepção, processamento e toda a infraestrutura necessária (instalações, equipamentos, aplicativos computacionais), e pessoal treinado e envolvido no processamento, interpretação e geração dos alertas de desmatamento. Logo, se tais custos fossem considerados, o custo de obtenção de uma imagem processada, apta para ser analisada ao ponto de servir para a produção de um alerta de desmatamento, deve-se considerar o valor total desembolsado, e a área efetivamente imageada. Ressalta-se que pela necessidade de processamento, inerente ao imageamento por radar, não se tem conhecimento de sistemas de geração de alertas diários de desmatamento a partir de imagens de radar adquiridas no mesmo dia. Nesse sentido, a periodicidade de entrega de alertas do Sipam SAR, para os órgãos de gestão e controle ambiental, era apenas mensal (durante o período de recebimento de imagens COSMO SkyMED). Se considerada a necessidade de geração de alertas diários, necessárias em ações efetivas de combate a delitos ambientais, o imageamento por radar pode não ser a única solução para os órgãos de gestão e controle ambientais, que necessitam, para a efetividade das ações, agir com tempestividade.

5.8. Informações técnicas referentes à constelação de satélites ICEYE

Após o final do projeto que consumiu imagens da plataforma COSMO Skymed, o Censipam divulgou que estava avaliando utilizar imagens da constelação de microsatélites da empresa finlandesa ICEYE (<http://www.sipam.gov.br/materias-publicadas-2019/censipam-apresenta-projetos-para-modernizacao-de-produtos-e-infraestrutura>). Tal anúncio fundamentou-se na licitação realizada pela Aeronáutica em sua Comissão Aeronáutica Brasileira na Europa (BACE) que resultou na contratação da empresa ICEYE para "Fornecimento de serviços de controle para produção de imagens incluindo direito de uso e distribuição dentro do governo brasileiro, conforme especificações técnicas e quantidades estabelecidas no Projeto Básico 01/SAR/COMAE/2018" (https://www.bace.org.uk/announcements_bid001_BACE_19.html).

Segundo o Edital (https://www.bace.org.uk/edital/bid_001_2019/Bidding_Process_001_2019_Por.pdf) e resultado da licitação (https://www.bace.org.uk/edital/bid_001_2019/DISCLOSURE_ACT_%20JUDGMENT_OF_PRICE_PROPOSALS_BID01_assinado.pdf), a empresa ICEYE sagrou-se vencedora com uma proposta total de USD 3,254,070.00 (https://www.bace.org.uk/edital/bid_001_2019/MEETING_MINUTES_06_BID_001_2019.pdf) que resulta nos seguintes preços detalhados:

Tabela 08 - Detalhamento da proposta vencedora da ICEYE

	Unidade	Quantidade	Unitário US\$	Total US\$
Serviço de controle de sensoriamento remoto anual	US\$/min	1.238	755.00	934,690.00
Vigência do contrato	3 anos			
Total Serviço de controle de sensoriamento remoto		3.714		2,804,070.00
Curso de planejamento de aquisição de imagens		1	200,000.00	200,000.00
Curso de Manutenção nível 1 do segmento terrestre do sistema espacial SAR		1	250,000.00	250,000.00
TOTAL				3,254,070.00

A constelação ICEYE, (informações disponibilizadas no início de 2020) consiste em três 85 kg (microssatélites) Sensores SAR orbitando em uma órbita baixa da Terra (LEO). Cada satélite carrega uma carga útil que consiste em um sensor de radar de abertura sintética e antena. As características desses instrumentos e os detalhes da órbita podem ser observados na Tabela 09, a seguir:

Tabela 09 - Parâmetros orbitais da constelação ICEYE.

Parâmetro	X2	X4	X5
Altitude nominal	570 KM	570 KM	570 KM
Inclinação	97,69°	97,68°	97,68°
Órbitas /Dia	15		
Repetição de pista de terreno	18 DIAS	22 DIAS	22 DIAS
Revisita na linha do equador	20 Horas		
Cruzamento nodal	Nominal value: 10:30 LTDN*	Nominal value: 15:05 LTAN**	Nominal value: 15:05 LTAN

*LTDN- Local Time of Descending Mode; **LADN- Local Time of Ascending Mode.

Cada satélite ICEYE opera na parte da banda X do espectro eletromagnético e usa uma antena de phased array ativa que pode fornecer direção do feixe. Isso é usado além da agilidade mecânica do satélite para apontar um feixe de radar precisamente para a superfície da Terra. Essa agilidade também permite o feixe deve ser direcionado para o lado direito ou esquerdo da trilha do satélite. A flexibilidade dos satélites permite que os modos de imagem sejam constantemente desenvolvidos. Atualmente, os satélites operam em dois modos primários chamados 'Modo Spotlight' e 'Modo Stripmap' com cada modo fornecendo imagens de saída diferentes recursos, dependendo dos requisitos de atribuição e exploração [ICEYE (1)].

Os satélites ICEYE podem coletar imagens SAR em vários modos de imagem. o os produtos disponíveis atualmente consistem em modos chamados 'STRIPMAP' e 'SPOTLIGHT'. Todos os modos de feixe de imagem estão disponíveis tanto para configurações para a direita quanto para a esquerda[ICEYE (1)].

No modo *Stripmap*, a faixa de solo é iluminada com uma sequência de pulsos enquanto o feixe da antena é fixado em elevação e azimute. Isso resulta em uma faixa de imagem com uma qualidade de imagem contínua na direção do voo. A fim de alcançar uma resolução de alcance de solo consistente que corresponde à resolução de azimute, a largura de banda de pulso transmitida é sintonizada especificamente para cada coleção e depende do ângulo de incidência. A resolução do azimute no modo *Stripmap* é amplamente dependente do comprimento da antena SAR. Os produtos *Stripmap* padrão ICEYE têm uma resolução de solo de 3 m de alcance e azimute e cobrem uma área de 30 km de alcance por 50 km de azimute (Figura 08) . O comprimento do *Stripmap* (azimute) pode ser adaptado às necessidades do usuário a 300 km, em incrementos de 50 km[ICEYE (1)]. De acordo com informações comerciais [ICEYE (2)], cada cena de 50km x 100km (5000 km²) pode ser coberta em 30 segundos.

O modo *Stripmap* padrão ajusta a largura de banda do pulso transmitido para sempre alcance uma resolução de alcance do solo de 3m. Em alguns casos, um usuário pode requerer uma resolução de alcance mais precisa. No modo *Stripmap* alto a largura de banda do pulso transmitido é definida para ser o máximo de 300 MHz. Isso fornece uma resolução de faixa inclinada de 0,5 m e uma resolução de azimute de 2,5 a 3 m dependendo do ângulo de incidência. O produto está disponível como uma imagem complexa de plano inclinado, para análise precisa do alvo e também no plano de solo. Por conveniência, o produto de alcance terrestre é multi observável em alcance e azimute para fornecer um padrão de 3m x 3m com melhoria na redução de ruído [ICEYE (1)]. Alguns parâmetros orbitais da constelação de satélites podem ser visualizados na Tabela 10, a seguir:

Tabela 10 - Sumário dos modos de imageamento.

Parâmetro	<i>Stripmap</i>	<i>Stripmap High</i>	<i>Spotlight</i>	<i>Spotlight High</i>
Largura de faixa nominal	30 km	30 km	5 km	5 km
Comprimento nominal do produto	50 km	50 km	5 km	5 km
Ângulo de incidência [centro da sena]	15-30°	15-30°	20-35°	20-35°
NESZ [dBm ² /m ²]	<- 19	<- 17	<-17	<-17
AASR & RASR	<- 19	<- 19	<-21	<-21
Resolução da faixa inclinada [m]	0,5 -1,5	0,5	0,5	0,5
Azimute de faixa inclinada [m]	2,5 - 3,0	2,5 - 3,0	0,5	0,25
Espaçamento inclinado [m]	0,4-1,3	0,4	0,4	0,4
Azimute do espaçamento inclinado [m]	1,4 - 1,7	1,4 - 1,7	0,3	0,15
Resolução do alcance do terreno	3	3	1	1
Resolução do azimute do terreno	3	3	1	1
Intervalo de espaçamento do terreno	2,5	2,5	0,5	0,5
Espaçamento do azimute do terreno	2,5	2,5	0,5	0,5
Visadas	1-3(ra),1-4(az)	1-3(ra),1-4(az)	2(az)	4(az)
Contribuição ESA Copernicus	VHR-2	VHR-2	VHR-1	VHR-1
Classe de resolução de missão (CCM)				
Polarização	VV	VV	VV	VV

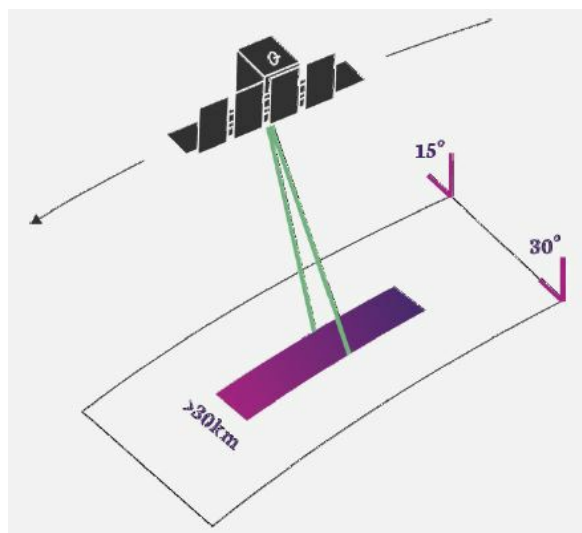


Figura 08 – Esquema do modo de imagem SAR Stripmap [Fonte: ICEYE (1)].

Em resumo, as características da constelação ICEYE são[(ICEYE-(2))]:

- a aquisição de um único frame ICEYE de 50 km x 100 km, leva 30 segundos, o que nos leva a concluir que em um minuto, um satélite da constelação ICEYE imageia uma área de 10.000 km²;
- a partir dessa informação e do preço unitário do minuto de sensoriamento remoto, conforme Tabela 08, pode-se chegar em um valor US\$/km² das imagens brutas ICEYE que seria de US\$ 0,08389/km²;
- como se trata de imagens brutas que devem ser baixadas e processadas pelo Censipam, para um imageamento com recobrimento diário, teríamos que multiplicar esse valor por 365,25, onde teríamos um valor projetado de US\$ 30.64/km²/ano;
- caso convertamos em Reais, utilizando a cotação do dólar comercial do dia 14/08/2020 (R\$ 5,42), teríamos R\$ 166,07/km² para imagens diárias, ao longo de um ano;
- logo, para a área de recobrimento do território nacional (continental), ao longo de um ano, o custo seria de R\$ 1.405.021.046,47;
- esse valor é apenas referente às imagens, sendo que no custo interno da solução deve ser incluída toda infraestrutura de recepção espacial e processamento e geração de alertas, o que não é escopo desse estudo; e
- quanto a capacidade de cobertura do território, de acordo com informações prestadas pela ICEYE [(ICEYE-(3))], o tempo típico de revisita é de 12 a 36 horas.

Sob a abordagem espacial, a alta resolução espacial considerada sensores com resoluções melhores que quatro metros (4 m), que seriam adequados, por exemplo, para detectar em um ambiente urbano, feições como unidades habitacionais, prédios, pequenas ruas e veículos (NOVO, 2010). Neste aspecto, tanto a solução COSMO SkyMed, quanto a solução ICEYE, atende a esse requisito, ambas apresentando, no modo *Stripmap*, resoluções espaciais de 3 metros.

Tabela 11 - Características básicas dos sistemas orbitais utilizados pelo projeto Sipam SAR.

Satélite/modo de aquisição	Resolução temporal	Resolução espacial	Custo estimado da imagem (R\$/ km ² /ano)
Cosmo SkyMed / Stripmap	~ 4 dias	3 m	53,95
ICEYE / Stripmap	12 - 36 h	3 m	166,07

Tabela 12 - Parâmetros do Sistema Sipam SAR (Cosmo SkyMed).

Característica	Valor
Período de observação do sistema	De outubro a abril
Periodicidade de entrega dos alertas	Mensal
Entrega da imagem	Até 3 dias após a aquisição

5.9. Comparações entre imagens óticas e de radar

As soluções de imageamento por radar, analisadas nesta nota técnica, apresentam-se eficazes nos quesitos de resoluções temporais e espaciais, sendo possível a obtenção de imagens de 3 metros de resolução espacial, com revisitas do território nacional que variam de 12 horas a aproximadamente 4 dias. Também apresentam as vantagens de um sensor SAR, com possibilidades de imageamento, mesmo com cobertura de nuvens e em período noturno. Entretanto, a geração de alertas de desmatamento a partir de soluções de radar, ainda se torna mais onerosa em tempo e custos, quando comparada às soluções baseadas em sensores ópticos, dadas as necessidade de processamentos e correções de erros inerentes ao instrumento e ao processo de imageamento por radar (ruído - speckle, perda de potência do pulso, encurtamento de rampa (*foreshortening*), inversão (*layover*) e sombra. Apesar dos erros serem passíveis de correção, ainda persiste um erro residual, inerente ao processo (INPE). Há que se pesar ainda, que a interpretação de imagens de radar, já processadas, para a geração de alertas de desmatamento, não se trata de um processo trivial, necessitando-se aplicativos computacionais específicos e de pessoal capacitado para tanto. Outras diferenças e aspectos das imagens, em uma mesma área, podem ser visualizadas na Figura 09 e na Tabela 13.

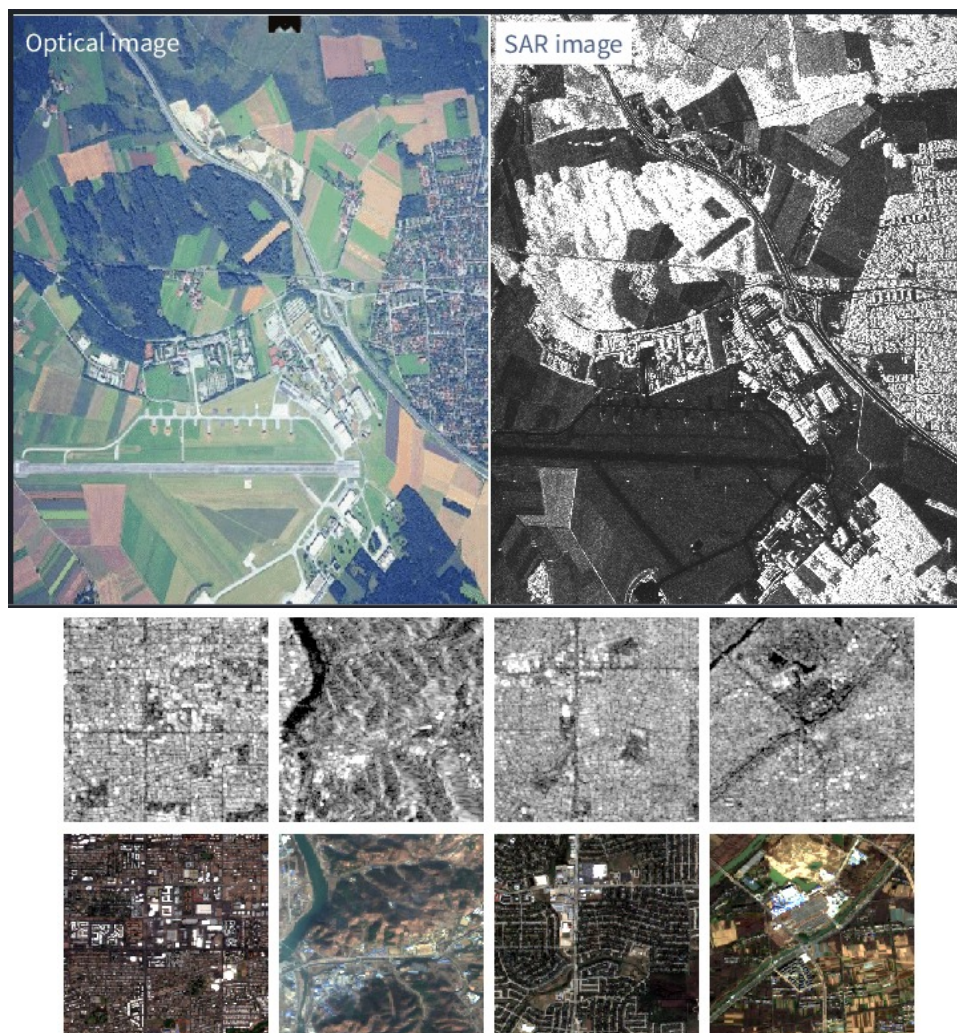


Figura 09 - Diferenças na interpretação de alvos entre imagens de radars e de sensores ópticos.

Tabela 13 – Diferenças comparativas entre radar e sensor óptico.

Alvo / Característica	Radar	Sensor óptico
Vegetação	Distingue rugosidade e altura. Não distingue fitofisionomia, grau de fitossanidade. Dependendo das características do local do desmatamento ou da visada do sensor, fica difícil detectá-lo. Na banda X é possível mapear a cobertura do dossel florestal e rugosidade de copas de árvores. A banda P penetra até o solo e permite estimativa da biomassa conjuntamente à banda X. (obs.: o Cosmo Skymed só dispõe da banda X).	Distingue rugosidade, altura, fitofisionomia, fitossanidade. Fácil detecção de desmatamentos por diferenças radiométricas com a vegetação circundante. Nos sensores de resolução espacial alta, boa distinção de rugosidade do dossel e possibilidade de detecção individual de copas de árvores. Alta resposta na faixa espectral do infravermelho próximo
Culturas agrícolas	Imprecisão na detecção de culturas e ciclos.	Possibilidade de detecção de culturas e ciclos.
Pecuária	Imprecisão de detecção de animais	Possibilidade de detecção visual e até individual de animais (depende da resolução espacial).
Rocha	Imprecisão na detecção da natureza das rochas	Possibilidade de distinção da natureza das rochas
Solo	Imprecisão na detecção da natureza do solo. Distingue nível de saturação de água	Possibilidade de distinção de classes de solos. Distingue nível de saturação da água, porém com menor precisão que o radar.
Água	Muito sensível. Possibilidade de levantamento preciso de redes de drenagem, de inundações e conteúdo de água na vegetação.	Permite distinguir redes de drenagem, desde que não encobertas pela vegetação. Possibilidade de detecção e mensuração de concentrações de descargas orgânicas e de carga mineral nas águas.

6. CONCLUSÃO

O SipamSAR foi originalmente concebido como uma resposta às limitações do monitoramento óptico na Amazônia durante o período chuvoso, funcionando como um sistema complementar ao DETER do INPE. O projeto utilizou inicialmente sensores SAR aerotransportados e, a partir de 2015, passou a empregar sensores orbitais com apoio do Fundo Amazônia, consolidando sua capacidade de gerar alertas de desmatamento com maior regularidade e precisão em condições meteorológicas adversas.

Ao longo dos anos, o sistema passou por importantes evoluções técnicas e operacionais. Destacam-se a instalação de antenas multissatelitais em Formosa (GO) e Manaus (AM), capazes de receber dados em tempo real de sensores ópticos e de radar, e o lançamento dos satélites Carcará I e II, integrantes da constelação Lessonia, em 2022. Esses satélites, equipados com sensores SAR de alta resolução, ampliaram a capacidade de observação da superfície amazônica, inclusive em áreas de difícil acesso e sob cobertura constante de nuvens. Tais aprimoramentos reforçaram o papel estratégico do SipamSAR na produção de dados para ações de monitoramento e fiscalização ambiental.

Contudo, a partir de 2024, com a entrada na segunda fase (2024–2027), o SipamSAR passou por uma reestruturação significativa de escopo. Após decisão do Conselho Deliberativo do Consipam, durante a sua 16ª reunião ordinária, o sistema deixou de focar na detecção sistemática de desmatamento e passou a priorizar o monitoramento de áreas de garimpo ilegal na Amazônia. Essa mudança refletiu uma reorientação tática do uso de sensores SAR – orbitais e aerotransportados – para o atendimento de demandas mais pontuais e operacionais, especialmente no apoio a ações de inteligência e fiscalização.

Com isso, o SipamSAR deixou de atuar como um sistema complementar direto ao DETER, perdendo seu caráter contínuo e territorialmente abrangente. Embora ainda represente uma capacidade estratégica relevante para o Estado brasileiro, seu novo formato está mais alinhado ao enfrentamento de crimes ambientais específicos do que ao monitoramento sistemático da cobertura vegetal.

7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. Amazônia SAR - Projetos. União Federal - Centro Gestor e Operacional do sistema de Proteção da Amazônia (Censipam). Fundo Amazônia. Consultado em 13/08/2020. URL: <http://www.fundoamazonia.gov.br/pt/projeto/Amazonia-SAR/?contrato>. Amorosi, L.; Notarantonio, A.; Calio, E.; Ritorto A.; Galleazzi, C. "COSMO-SkyMed constellation control: hardware and software implications," Proceedings of IAC 2004, Vancouver, Canada, Oct. 4-8, 2004, IAC-04-A.2.04
2. Angelucci, Maria, Giampaolo, Donatella. COSMO-SkyMed e-GEOS Supports Development of Innovative Services," 13th IICWG (International Ice Charting Working Group), Tromsø, Noruega, 15 a 19 de outubro de 2012, URL: http://11/0/nsidc.org/noaa/iicwg/presentations/IICWG-2012/Angelucci_COSMO_SkyMed_e-GEOS.pdf
3. Battagliere, Maria Libera; Covello, Fabio; Coletta, Alessandro. Cosmo-SkyMed constellation fully deployed: overview and exploitation. Proceedings of IAC 2011 (62nd International Astronautical Congress), Cape Town, South Africa, Oct. 3-7, 2011, paper: IAC-11-B1.5.2.
4. Boeing Launches 4th Earth-Observation Satellite for Italy," Nov. 6, 2010, URL: <http://www.boeing.com/defense-space/space/bls/missions/cosmo-4/>. Process Number: 67103.190033/2019-73. URL: https://www.bace.org.uk/edit/bid_001_2019/MEETING_MINUTES_06_BID_001_2019.pdf CABE - Comissão Aeronáutica Brasileira na Europa - Office of the Air Adviser. BID 001/BACE/2019. Object: Provision of Radar-Satellite remote sensing control services for the production of images including right of use and distribution within the Brazilian Government, as per technical specifications and quantities provided in the Basic Project 01/SAR/COMAE/2018. URL: https://www.bace.org.uk/announcements_bid001_BACE_19.html.
5. CABE - Comissão Aeronáutica Brasileira na Europa. Bidding Processas n° 01/BACE/2019. URL: https://www.bace.org.uk/edit/bid_001_2019/Bidding_Process_001_2019_Por.pdf.
6. CABE - Comissão Aeronáutica Brasileira na Europa. Disclosure ACT - Judgment of Price Proposals. Bidding Processas n° 01/BACE/2019. URL: https://www.bace.org.uk/edit/bid_001_2019/DISCLOSURE_ACT_%20JUDGMENT_OF_PRICE_PROPOSALS_BID01_assinado.pdf.
7. CABE - Comissão Aeronáutica Brasileira na Europa. Meeting Minutes Number 06/BID-01/2019. Bidding Processas n° 01/BACE/2019.
8. Censipam - Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (1). Geral: Componentes do Plano de Trabalho. 2018. Acessado em 12/08/2020. URL: <http://www.sipam.gov.br/projeto-amazonia-sar-1/componentes-do-plano-de-trabalho>.
9. Censipam - Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (2). Notícia: Ibama apresenta resultados de alertas emitidos pelo Censipam. Acessados em 11/08/2020. URL: <http://www.sipam.gov.br/materias-publicadas-2019/ibama-apresenta-resultados-de-alertas-emitidos-pelo-censipam>.
10. Censipam - Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (3). Notícia: Sobre o Sistema SipamSAR. 2019. Acessado em 13/08/2020. URL: <http://www.sipam.gov.br/materias-publicadas-2019/sensoriamento-remoto/sobre-o-sipamsar>.
11. Censipam - Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (4). Notícia: Censipam apresenta projetos para modernização de produtos e infraestrutura. Acessado em 12/08/2020. URL: <http://www.sipam.gov.br/materias-publicadas-2019/censipam-apresenta-projetos-para-modernizacao-de-produtos-e-infraestrutura>
12. Censipam - Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (5). Notícia: 2019. Acessado em 10/08/2020. <http://www.sipam.gov.br/materias-publicadas-2019/sensoriamento-remoto/projeto-amazonia-sar-r-80-5-milhoes-contra-o-desmatamento-ilegal>.
13. COSMO-SkyMed (1). System Description & User Guide. Doc. No: ASI-CSM-ENG-RS-093-A, May 4, 2007, URL: <http://www.cosmo-skymed.it/docs/ASI-CSM-ENG-RS-093-A-CSKSysDescriptionAndUserGuide.pdf>.
14. COSMO-SkyMed (2). Satellite Missions. eo Portal Directory. Sharing Earth Observation Resources. Acessado em 12/08/2020. URL: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cosmo-skymed>.
15. Covello, Fabio; Battagliere Maria Libera; Coletta, Alessandro. Overview and exploitation of the fully deployed COSMO-SkyMed constellation. Proceedings of the 63rd IAC (International Astronautical Congress), Naples, Italy, Oct. 1-5, 2012, paper: IAC-12-B1.6.7Donatella Giampaolo, "COSMO-SkyMed & the Arctic - The new frontier of Ice Charting Services," 14th Meeting of the IICWG (International Ice Charting Working Group), Reykjavik, Iceland, October 21-25, 2013. URL: http://nsidc.org/noaa/iicwg/presentations/IICWG-2013/Giampaolo_COSMO_SkyMed_and_the_Arctic.pdf.
16. Di Lazzaro, M.; Angino, G.; Piemontese, M.; Capuzi, A.; Leonardi, R. COSMO-SkyMed: The Dual-Use Component of a Geospatial System for Environment and Security. Proceedings of the 2008 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, EUA, 1 a 8 de março de 2008, artigo: 2.1002.
17. F. Caltagirone, G. Angino, A. Coletta, F. Impagnatiello, A. Gallon, "COSMO-SkyMed Program: Status and Perspectives", Proceedings of Third International Workshop on Satellite Constellations and Formation Flying, Pisa, Itália, fevereiro. 24-26, 2003.
18. Fourth satellite of the COSMO-SkyMed constellation launched successfully," Finmeccanica, Nov. 6, 2010, URL: http://www.finmeccanica.it/.../ComFin_4CosmoSkyMed_06_11_10_ING.pdf.
19. ICEYE (1). SAR PRODUCT GUIDE. Doc. No: iceye.com/hubfs/Downloadables/ICEYE-SAR-Product-Guide.pdf. Version 3.3. Release: 30/06/2020. Acessado em 13/08/2020. URL: <https://www.iceye.com/hubfs/Downloadables/ICEYE-SAR-Product-Guide-2019.pdf>.
20. ICEYE (2). Problem Solving in the Insurance Industry with SAR DATA. Acessado em 13/08/2020. URL: <https://www.iceye.com/hubfs/ICEYE-Problem-Solving-in-the-Insurance-Industry-with-SAR-data-2019.pdf>.
21. ICEYE (3). Constellation Status. Acessado em 13/08/2020. URL: <https://www.iceye.com/status>.
22. INPE . Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Sistema de Radar: Teoria. Acessados em 13/08/2020. URL: <http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/radar/radar.htm>.
23. NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 4. Ed. São Paulo: Blucher, 2010.
24. SIPAM SAR - Sistema Integrado de Alertas de Desmatamento. SIPAM SAR Encarte. Acessado em 12/08/2020. URL: <http://www.sipam.gov.br/projeto-amazonia-sar-1/folder-sipamsar-2018.pdf/view>.
25. Ministério da Defesa. **Monitoramento do desmatamento**. Disponível em: <https://www.gov.br/censipam/pt-br/atuacao/monitoramento-do-desmatamento>, acesso em 17/04/2025.
26. Agência Brasil. **Governo inaugura antena para ampliar fiscalização na Amazônia**. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021->

27. **Fundo Amazônia - Projeto Amazônia SAR.** União Federal - Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (Censipam). Disponível em: <http://www.amazonfund.gov.br/pt/projeto/Amazonia-SAR/#>. Consultado em 08/09/2021, às 19:32h.

Brasília, DF, 12 de maio de 2025.

LUCIANO LAMPER MARTINEZ

Perito Criminal Federal
SEGEO/DITEC/PF

Revisora:

LAURA DIETZSCH

Perita Criminal Federal
SEGEO/DITEC/PF



Documento assinado eletronicamente por **LUCIANO LAMPER MARTINEZ, Perito(a) Criminal Federal**, em 12/05/2025, às 15:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **LAURA DIETZSCH, Perito(a) Criminal Federal**, em 12/05/2025, às 15:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei4.pf.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0&cv=40439875&crc=ABA62B20.
Código verificador: **40439875** e Código CRC: **ABA62B20**.