

ANÁLISE DO CENÁRIO DE OBSERVAÇÃO DA MISSÃO SENTINEL-1

*José Alberto Silva de Sá¹, Fábio Furlan Gama², José Claudio Mura²,
Gilberto Ribeiro de Queiroz² e Lúbia Vinhas²*

¹Universidade do Estado do Pará (UEPA), Tv. Doutor Enéas Pinheiro, 2626, Belém-PA-Brasil, josealbertosa@uepa.br;

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Av. dos Astronautas, 1758, São José dos Campos-SP-Brasil, fabio.furlan@inpe.br, jose.mura@inpe.br, gilberto.queiroz@inpe.br, lubia.vinhas@inpe.br

RESUMO

A primeira constelação de satélites da série Sentinel da Agência Espacial Europeia (ESA), no Programa *Copernicus*, denominada “Sentinel-1” pretende dar continuidade ao legado das missões ERS e ENVISAT da ESA e da missão RADARSAT da Agência Espacial do Canadá, com observações da superfície terrestre mediante imageamento por radar de abertura sintética. Esta missão apresenta uma quantidade considerável de aplicações para a comunidade científica e a sociedade em geral, como por exemplo, no controle e monitoramento ambiental. Este trabalho tem por objetivo analisar os fundamentos e desdobramentos desta missão, as aplicações dos dados SAR (*Synthetic Aperture Radar*) gerados e discutir as condições para a otimização do cenário da missão a nível global sobre o ambiente terrestre.

Palavras-chave — *Copernicus*, Sentinel-1, Radar de Abertura Sintética, Cenário.

ABSTRACT

The first Sentinel satellite constellation of the European Space Agency (ESA) in the Copernicus Program called Sentinel-1 aims to continue the legacy of the ESA's ERS and ENVISAT missions and RADARSAT mission of the Canadian Space Agency with observations of the terrestrial surface by Synthetic Aperture Radar (SAR) imaging. This mission presents a considerable amount of applications to the scientific community and society in general, such as environmental monitoring and control. The objective of this work is to analyze the fundamentals and developments of this mission, the applications of SAR data generated and to discuss the conditions for the optimization of the scenario of the global mission on the terrestrial environment.

Key words — *Copernicus*, Sentinel-1, Synthetic Aperture Radar, Scenario.

1. INTRODUÇÃO

O Programa de Observação da Terra da União Européia intitulado “*Copernicus*” visa fornecer, a nível global e universalizado, mediante a série de satélites Sentinel, informações do meio ambiente terrestre com o intuito de

monitorar a segurança civil e mitigar os efeitos das mudanças climáticas. A iniciativa é liderada pela Comissão Europeia (CE) em parceria com os Estados-Membros e diversas agências (Agência Espacial Europeia - ESA, Organização Europeia para a Exploração de Satélites Meteorológicos - EUMETSAT, Centro Europeu de Previsão Meteorológica a Médio Prazo - ECMWF, dentre outras) [1]. Atualmente, este programa espacial já possui, em operação, três constelações de satélites denominadas Sentinel-1, Sentinel-2 e Sentinel-3, sendo cada uma formada por dois satélites (S1A, S1B, S2A, S2B, S3A e S3B), e um único satélite adicional denominado Sentinel-5P (Precursor).

A Missão Sentinel-1, formada por dois satélites de órbita polar tem por objetivo coletar e transmitir imagens de radar de abertura sintética (*Synthetic Aperture Radar* - SAR), atuando na banda C. A utilização de imagens SAR, por esta constelação, permite o monitoramento terrestre independentemente do clima e tempo local. Ela pretende dar continuidade as missões ERS, ENVISAT e RADARSAT e produzir, a longo prazo, um banco de dados consistente para aportar aplicações baseadas em séries temporais [2].

A missão foi projetada para fornecer alta resolução espaço-temporal para os serviços operacionais e aplicativos que exigem longas séries de dados terrestres no tempo, esperando-se que cada satélite da constelação Sentinel-1 adquira dados de observação da Terra por pelo menos 7 anos (com recursos de energia para 12 anos).

A missão planeja beneficiar diversos serviços tais como: (a) Monitoramento de extensões de gelo marinho do Ártico; (b) Cartografia de gelo marinho; (c) Vigilância do ambiente marinho; (d) Detecção de navios para segurança marítima; (e) Detecção de derrames de óleo; (f) Monitoramento de movimentos da superfície terrestre; (g) Monitoramento de florestas, água, solo e agricultura; e (h) Cartografia para ajuda humanitária e situações de crise.

Diante do exposto, o presente trabalho buscou realizar uma análise do cenário das aplicações e desdobramentos evolutivos desta missão do Programa *Copernicus* no intuito de descrever as potencialidades das informações geradas sobre a Terra.

2. ESTRATÉGIA DE OPERAÇÃO SENTINEL

Ao contrário das missões anteriores da ESA, onde o planejamento de aquisições de dados tinha como base as solicitações e prioridade do usuário (missão de fundo), as

missões Sentinel ocorrerão com um planejamento predefinido e alinhadas com a Estratégia de Operações Sentinels (*Sentinels Operations Strategy*), com o objetivo de satisfazer os requisitos dos Serviços *Copernicus*, como estipulado na Declaração do Programa de Componentes Espaciais ESA GMES (*ESA GMES Space Component Programme Declaration*) [3, 4].

O objetivo do planejamento predefinido é fornecer, para todo o globo terrestre, coleções de dados geográficos e temporais consistentes, sendo que a implementação desta estratégia requer uma análise cuidadosa dos requisitos do usuário em relação aos recursos disponíveis no espaço e no solo durante os períodos das operações da missão Sentinel-1 [3]. Este processo precisa levar em consideração as múltiplas restrições e imposições da missão como, por exemplo, as elevadas taxas e volumes de dados gerados, pois na era *Copernicus*, a quantidade de dados crescem a uma taxa elevada, já tendo sido adquiridos pelos satélites Sentinel mais de 25 PB de dados, ou seja, o conceito *Copernicus* demanda por aplicações e algoritmos rápidos, capazes de realizar o compartilhamento de dados para todo o globo [5].

Além das limitações exposta anteriormente, o ciclo de trabalho dos instrumentos, a limitação no número de comutadores de banda, a disponibilidade da rede principal de estações terrestres para o *downlink* de dados e os requisitos em termos de oportunidade entre a detecção e a ligação descendente (em tempo real) são exemplos de limitações para o atingimento dos objetivos do missão Sentinel-1 da ESA no Programa *Copernicus*.

2.1 Principais Características da Missão Sentinel-1

Os satélites Sentinel-1A e Sentinel-1B estão posicionados em uma mesma órbita plana sincronizada com o Sol, com uma diferença de fase de 180°, e aproximadamente 693 km de altitude. Cada satélite tem um ciclo de 12 dias, porém operando conjuntamente o tempo de revisita pode ser de 6 dias, o que não ocorre para todas as áreas do globo terrestre. Os satélites da missão Sentinel-1 possuem um radar imageador de abertura sintética que opera na banda C com uma frequência de 5.405 GHz. O sistema imageador pode operar com dupla polarização (HH/HV ou VV/VH) e polarização única (HH ou VV), possuindo quatro modos de aquisição: SM (*Stripmap Mode*), IW (*Interferometric Wide Swath Mode*), EW (*Extra-Wide Swath Mode*) e WV (*Wave Mode*). A Figura 1 expõe o cenário de observação da constelação Sentinel-1 por regiões da Terra [6].

O modo SM (*Stripmap Mode*) é destinado para casos excepcionais como o apoio as ações de gestão de risco e emergência. Neste modo de aquisição o sistema imageador pode obter dados com uma faixa de 80 km e uma resolução espacial de 5 m (*Range*) x 5 m (*Azimuth*).

O modo IW (*Interferometric Wide Swath Mode*) é considerado o modo principal de aquisição de dados terrestres devido atender a maior parte dos serviços demandados [7]. A modalidade de aquisição obtém as imagens em três sub-faixas pela Técnica *Scanning SAR*, sendo os dados adquiridos com uma resolução espacial de 5 m (*Range*) x 20 m (*Azimuth*) em uma faixa imageada de aproximadamente 250 km.

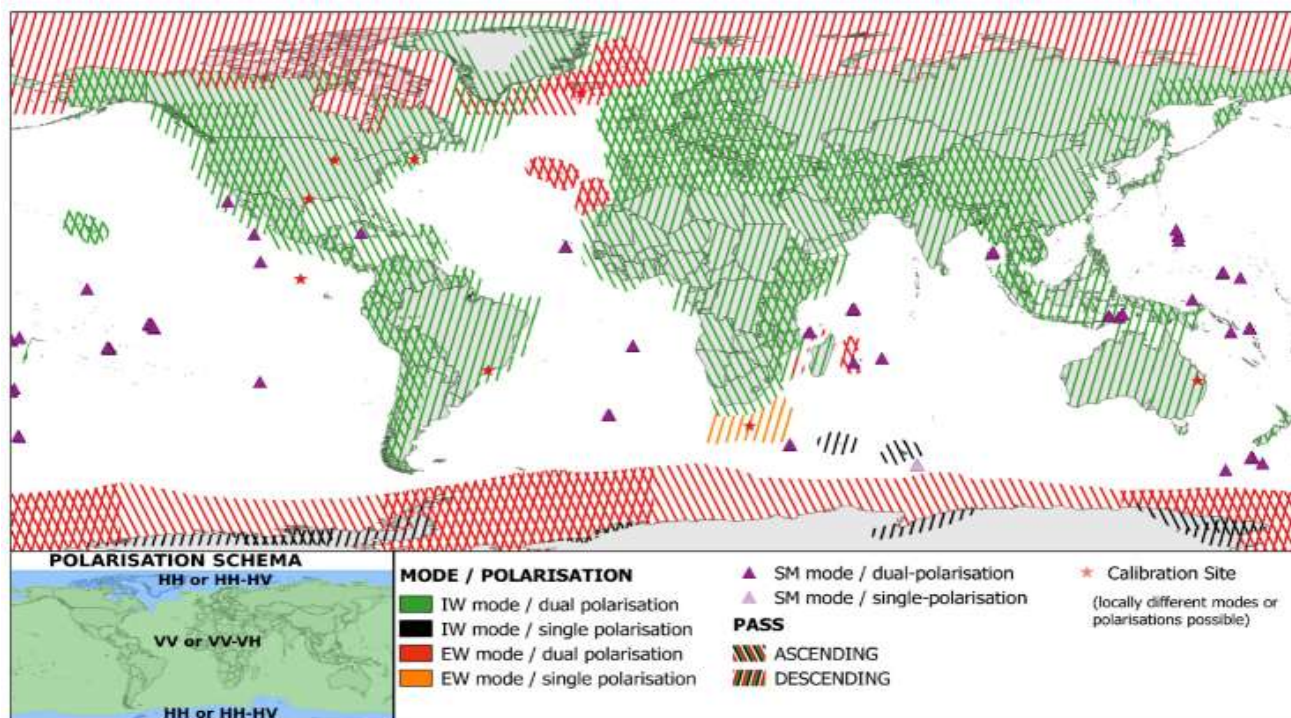


Figura 1 - Cenário de observação da constelação Sentinel-1 [6].

De maneira semelhante ao modo IW, o modo EW (*Extra-Wide Swath Mode*) utiliza a mesma técnica, porém com cinco sub-faixas, para adquirir dados de uma faixa mais ampla (400 km), com uma resolução espacial de 20 m (*Range*) x 40 m (*Azimuth*), sendo este modo de aquisição destinado principalmente para as aplicações relacionadas ao monitoramento de gelo, derramamento de óleo e segurança civil.

O modo WV (*Wave Mode*) adquire dados em áreas de 20 km x 20 km, com uma resolução espacial de 5 m (*Range*) x 5 m (*Azimuth*), somente em modo de polarização única (VV ou HH), atuando de forma semelhante aos modos do tipo wave das missões ERS e ENVISAT, entretanto com melhor resolução espacial e maior dimensão das áreas de imageamento.

Na Tabela 1 pode ser observado um resumo das características dos modos em tela. Os modos de aquisição desta missão foram planejados para satisfazer demandas em diversas aplicações, sendo que cada um se adequa melhor (eficiência e eficácia) dependendo das características do problema proposto (demanda do serviço), conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 1 - Resumo das características dos modos de aquisição da Missão Sentinel-1 [7].

Modo	Ângulo Incidente	Resolução Espacial	Largura de Faixa	Polarização
SM	20° - 45°	5 x 5 m	80 km	HH/HV, VV/VH, HH, VV
IW	29° - 46°	5 x 20 m	250 km	HH/HV, VV/VH, HH, VV
EW	19° - 47°	20 x 40 m	400 km	HH/HV, VV/VH, HH, VV
WV	22° - 35° 35° - 38°	5 x 5 m	20 x 20 km	HH, VV

Tabela 2 – Aplicações atendidas pelos modos de aquisição da Missão Sentinel-1 [7].

Aplicação	Modo			
	SM	IW	EW	WV
Ártico e gelo marinho		x	x	
Vigilância de navios em mar aberto		x	x	
Monitorização de poluição de óleo		x	x	
Ventos marítimos				x
Florestas		x		
Agricultura		x		
Cartografia de deformação urbana		x		
Monitorização de inundações	x	x		
Análise de sismos	x	x		
Monitorização de deslizamento de terras e vulcões	x	x		

2.2 Exemplos de Aplicações Baseadas em Dados da Missão Sentinel-1

A Missão Sentinel-1 apresenta uma quantidade considerável de aplicações. De acordo com o site oficial do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE), esta missão poderá ser utilizada nos estudos sobre detecção e monitoramento de objetos no contexto do Plano de Contingência Nacional [8].

O reconhecimento da importância da utilização de dados gerados por sistemas imageadores do tipo radar vem crescendo ao longo do tempo. Em termos de trabalhos pioneiros na utilização de dados SAR da Missão Sentinel-1, [9] preocupam-se com as questões relacionadas à complexidade da abordagem de calibração interna dos instrumentos SAR; enquanto relatado em [10] buscou-se mediante os dados SAR obter informações de validação de modelos sobre a camada limite atmosférica e fenômenos oceânicos, conforme exposto pelo autor: “Os dados SAR da Missão Sentinel-1 contêm informações ricas sobre a camada limite atmosférica e os fenômenos oceânicos. Essas observações podem ajudar os cientistas a entender a dinâmica desses fenômenos e também fornecer resultados de validação para que possamos ajustar os parâmetros do modelo WRF”[10].

Pode-se, também, citar trabalhos como [11] que concentram-se no estado atual do “Estudo da Constelação Sentinel-1 INSARAP”, que investiga o desempenho interferométrico das unidades Sentinel-1A e Sentinel-1B, quanto aos aspectos gerais de compatibilidade em termos de faixa comum e largura de banda *Doppler*.

Em termos de realizações da missão, [12] relatam que desde o início das operações da Missão Sentinel-1, esta contribuiu de forma significativa em grande parte para o atendimento do Serviços *Copernicus*, eventos relacionados a emergências e pesquisas científicas. Citam como exemplos de resultados: (a) inundações na Bósnia-Herzegovina, Eslovênia, Malawi, Grécia, Espanha, Sri Lanka, Filipinas (tufão Hagupit), Mianmar, Argentina, Turquia, Guatemala, Croácia, Irlanda, Reino Unido, Argentina, Estados Unidos, Irlanda do Norte, Ilhas Fiji, Argentina, Irã, Bangladesh, Sri Lanka, França, Estados Unidos (Louisiana), Austrália, Indonésia (Java); (b) erupções vulcânicas na ilha do Fogo (Cabo Verde) e no Chile (Villarrica); (c) terremotos nos Estados Unidos (Califórnia), Nepal, Chile, Equador, Japão, Itália, Estados Unidos (Oklahoma), Tanzânia, Itália. Os autores explicam que em alguns casos, não foi necessária a atribuição de satélites dedicados, graças ao plano de observação predefinido que garantiu o mapeamento sistemático em larga escala (por exemplo, Europa e áreas tectônicas globais), com a faixa de 250 km do modo *Interferometric Wide Swath*.

2.3 O Futuro da Missão Sentinel-1

Conforme exposto por [13], após o lançamento bem sucedido do satélite Sentinel-1A, em 2014, e do satélite Sentinel-1B, em 2016, a ESA está atualmente desenvolvendo os modelos Sentinel-1C e Sentinel-1D, que trarão melhorias na robustez e desempenho do sistema. Os autores discutem as principais características do instrumento *Automatic Identification System* (AIS) para aumentar os dados de carga útil de sistema SAR para aplicações de tráfego marítimo de navios e o *Optical Communication Payload* (OCP) para *downlink* de dados de carga útil através de ligação laser inter-satélite com

o sistema europeu de transmissão de dados (EDRS). Além disso, expõem sobre o design do Sentinel-1C e do Sentinel-1D quanto a incorporação de soluções inovadoras que farão com que ambos os satélites apresentem conformidade com o código de conduta dos detritos espaciais e riscos de acidentes durante a reentrada.

3. CONCLUSÃO

Muito do sucesso da Missão Sentinel-1 deve-se a gestão inovadora da Agência Espacial Europeia (ESA) em tentar universalizar as informações geradas pelo seu sistema SAR. O caráter de **livre acesso aos dados SAR** permite a nível global a igualdade de direitos ao recebimento de informação precisa, de qualidade e que facilita diversos programas de atendimento às políticas públicas e da segurança das nações. Sua constelação de satélites (Sentinel-1A e Sentinel-1B) operando de forma completa desde setembro de 2016, garantem um mapeamento regular em grande escala com alto rendimento sistemático, em termos de geração e entrega de produtos.

Atualmente, as operações da Missão Sentinel-1 fornecem aproximadamente 6 TB de produtos de dados diariamente, com perspectivas de dobrar esta capacidade no futuro quando atuar em sua capacidade total de operação. Parcerias estratégicas, como as vislumbradas pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE), que atuará como *hub* regional da América Latina para os dados do Programa *Copernicus*, serão fundamentais para a evolução dos propósitos da missão Sentinel-1, que já é vista pela comunidade como um marco divisor de paradigmas nas missões operacionais de sistemas SAR.

4. REFERÊNCIAS

- [1] EUROPEAN SPACE AGENCY. Copernicus: Overview, 2018. Disponível em: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview3. Acesso em: 03 jun. 2018.
- [2] EUROPEAN SPACE AGENCY. Sentinel Missions, 2018. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>. Acesso em: 03 jun. 2018.
- [3] Schmuck, S.; Roeder, J.; Potin, P. "Sentinel-1A Observation Scenario Simulations: Initial Operations Phase", 2014 IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, Quebec City. Proceedings..., pp. 96-99, 2014.
- [4] Potin, P., Bargellini, P., Laur, H., Rosich, B., Schmuck, S. "Sentinel-1 Mission Operations Concept", 2012 IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, Munich. Proceedings..., pp. 1745-1748, 2012.
- [5] Zhu, X. X. et al. "Deep Learning in Remote Sensing: A review", IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING MAGAZINE, 2017.
- [6] EUROPEAN SPACE AGENCY. Sentinel-1 Constellation Observation Scenario, 2018. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/2797009/Sentinel-1-mode-polarisation-pass-map-full>. Acesso em: 03 jun. 2018.
- [7] Saraiva, C. S. A. Avaliação do Potencial das Imagens Sentinel-1 para Identificação de Culturas Agrícolas. 2015. 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica) FACULDADE DE CIÊNCIAS-UNIVERSIDADE DE LISBOA, Lisboa, 2015. Disponível em: http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/20682/1/ulfc115871_tm_C%C3%A1tia_Saraiva.pdf. Acesso em: 28 maio 2018.
- [8] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. INPE será o centro de dados da missão europeia Copernicus na América Latina. 2018. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4720. Acesso em: 04 jun. 2018.
- [9] Ramon, N. T.; Schwerdt, M.; Alfonzo, G. C.; Schmidt, K. "Verification of sentinel-1b internal calibration: first results", 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar - EUSAR 2016, Hamburg. Proceedings..., pp. 1155-1158, 2016.
- [10] Li, X. "Application Sentinel-1 SAR Data for Ocean Research and Operation", 2017 PROGRESS IN ELECTROMAGNETICS RESEARCH SYMPOSIUM, SINGAPORE. Proceedings..., pp. 2098-2101, 2017.
- [11] Prats-Iraola, P.; Nannini, M.; Yague-Martinez, N.; Pinheiro M.; Kim, J. S.; Vecchioli, F.; Minati, F.; Costantini, M.; Borgstrom, S.; De Martino, P.; Siniscalchi, V.; Fomelis, M.; Desnos, Y. L. "Interferometric Investigations with the Sentinel-1 Constellation", 2017 IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, Texas. Proceedings..., pp. 5537-5540, 2017.
- [12] Potin, P.; Rosich, B.; Miranda, N.; Grimont, P.; Bargellini, P.; Monjoux, E.; Martin, J.; Desnos, Y. L.; Roeder, J.; Shurmer, I.; O'connell, A.; Torres, Ramón; Krassenburg, Mike; Gratadour, J. B. "Sentinel-1 Mission Status", 2017 IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, Texas. Proceedings..., pp. 5525-5528, 2017.
- [13] Torres, R.; Lokas, S.; Di Cosimo, G.; Geudtner, D.; Bibby, D. "Sentinel 1 Evolution: Sentinel-1C and -1D Models", 2017 IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, Texas. Proceedings..., pp. 5549-5550, 2017.