

USO DE IMAGENS SAR PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO - SP

Eduardo Henrique Geraldi Araújo¹, Weber Pires de Sá Junior¹, Giovani Bino Rodrigues¹ e Karolina Gameiro Cota Dias¹

¹IMAGEM GEOSISTEMAS e COMERCIO Ltda, Rua Itajaí, 80 Centro Empresarial Ed. Alpha, Alto do Esplanada, São José dos Campos, SP egeraldi@img.com.br, weber.junior@img.com.br, grodrigues@img.com.br, e karolina.dias@img.com.br

RESUMO

Imagens SAR são uma excelente opção para monitorar mudanças temporais em regiões tropicais, onde as condições atmosféricas sofrem muita interferência de nuvens dificultando assim o uso de imagens óticas durante grande parte do ano.

Neste trabalho testamos duas cenas adquiridas em anos diferentes pela constelação de Microssatélites SAR da ICEYE para verificar a possibilidade de identificação de mudanças na região urbana da cidade de São Paulo. Alguns dos achados foram surpreendentes em relação a reservatórios de abastecimento urbano, que sofrem com processos de eutrofização antrópica como resultado da densa ocupação urbana de suas bacias hidrográficas. Desta maneira, concluímos que imagens SAR são uma excelente alternativa para o monitoramento de alvos urbanos e reservatórios de usos múltiplos em períodos de menor visibilidade atmosférica em contraponto ao monitoramento pela detecção de imagens de satélites com sensores óticos.

Palavras-chave — Detecção de alterações, SAR de imagem, Áreas Urbanas, Monitoramento do Ambiente, Detecção de Cianofíceas, Qualidade da Água.

ABSTRACT

SAR imagery are an excellent choice for monitoring time changes in tropical regions where atmospheric conditions suffer a lot of cloud interference thus making it difficult to use optical images most of the year.

In this work we tested two scenes acquired in different years by the constellation of Microsatellites SAR from ICEYE to verify the possibility of identifying changes in the urban region of São Paulo City, and some of the findings were surprising in relation to the reservoirs of urban water supply that suffer from anthropic eutrophication processes due to the results of the dense urban occupation of their watershed. Thus, we conclude that SAR images are an excellent alternative for monitoring urban targets and reservoirs of multiple uses in periods of lower atmospheric visibility due to the formation of clouds that prevent monitoring by the satellites with optical sensors detection.

Key words — *Change Detection, Image SAR, Urban Areas, Environment Monitoring, Cyanophycean detection, Water Quality.*

1. INTRODUÇÃO

Imagens obtidas por radar de abertura sintética, conhecidas pela sigla em inglês SAR (*Synthetic Aperture Radars*), são utilizadas há muitos anos especialmente para aplicações militares que necessitam detectar informações as vezes camufladas independentemente do período do dia ou das condições climáticas como a cobertura de nuvens. Atualmente as imagens SAR se tornaram uma opção de grande interesse também para aplicações civis no tocante a dois aspectos principais: permitir o acompanhamento de mudanças urbanas em períodos de alta nebulosidade; e capacidade de discernimento de alvos urbanos em alta resolução. A evolução do imageamento SAR com aquisição temporal de imagens de alta resolução espacial tem demonstrado ótimos resultados por não possuir influência direta da atmosfera e da cobertura de nuvens, o que favorece a análise de mudanças ao longo do tempo. Os dados obtidos por sistemas ativos contribuem para a popularização de estudos utilizados para classificar os usos e cobertura da terra.

[1] Este trabalho foi executado com a intenção de utilizar ferramentas de processamento digital de imagens (PDI) do software ArcGIS. Neste trabalho foram analisadas duas imagens SAR de dois anos diferentes para comparar eventos de mudanças utilizando a aquisição no Módulo Strip Map, com resolução em solo de 3 metros para a região urbana do município de São Paulo. As imagens foram adquiridas pela constelação de satélites SAR da ICEYE em 2020 e outra em 2022. A ICEYE é uma empresa finlandesa fundada em 2015, e líder mundial em miniaturização de satélite SAR.

A empresa possui uma constelação de 26 satélites em órbita, e se diferencia pela diversidade de resoluções espaciais nas imagens ofertadas – 15 m, 3 m e 1 m, com alta frequência de atualização (diária), capacidade de revisita e sensibilidade para detecção de mudanças. As imagens tomadas de um mesmo local e com a mesma geometria são sempre idênticas,

a menos que algo mude no alvo, e desta maneira sendo detectada a mudança a partir da segunda imagem adquirida. Até hoje, o maior desafio era coletar imagens de radar da mesma localização exata, que estivessem próximas o bastante a tempo de detectar realmente (e então prever) mudanças acontecendo na superfície da terra. Com características específicas devido ao tipo de banda utilizado e módulos de polarizações usadas pelos sensores radar, existe uma infinidade de produtos que dependendo da aplicação devem ser considerados.[2] No caso das imagens testadas as imagens são adquiridas na banda X em polarização VV que funcionam muito bem para identificação de alvos urbanos. Para tipos de bandas e frequências usadas por diferentes radares veja Tabela 1.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para os testes de detecção de mudanças foram utilizadas duas imagens SAR adquiridas no módulo Strip Map, que possui uma área de cobertura de 30 km x 50 km, ou 1500 km², operando na banda X, utilizada pelos Satélites Iceye (veja Tabela 1). A primeira imagem foi adquirida em janeiro de 2020 e a segunda imagem em fevereiro de 2022. Foram utilizadas imagens de *Ground Range Detection* (GRD), em formato GeoTiff, com pixel convertido em dados de solo com resolução espacial de 3 x 3 m. Foi aplicado o filtro espacial Speckle, utilizado para redução de ruídos e uniformização das cenas SAR. Este filtro é do tipo matricial e foi parametrizado para operar sobre uma janela móvel de 3 x 3 pixels, ou passa baixa aplicado com reamostragem do vizinho próximo. Após a filtragem foi gerada uma composição em stack das cenas nas bandas RGB, onde a data mais atual foi colocada no canal do Vermelho e a data inicial nos canais do Azul e Verde, de

maneira que as mudanças aditivas fossem visualizadas em vermelho e as subtrativas ficassem em uma coloração ciano. Veja diagrama de pré-processamento na Figura 1.

3. RESULTADOS

Após o processamento das imagens SAR foi executado uma análise das áreas de mudanças comparando-as à imagens óticas das datas mais próximas em relação àquelas utilizadas no teste. Como o objetivo deste trabalho foi verificar as informações apontadas automaticamente pelo processamento das imagens SAR, foram escolhidos locais onde os pixels apresentaram cores vermelhas e azuis de forma mais conspícua e evidente. Os resultados apresentados nas Figuras 2 e 3 apresentam bons exemplos das transformações sofridas pela área dentro do período de um ano, entre as imagens de janeiro de 2020 e fevereiro de 2022.

Pode ser observado na imagem de 2020 que existe claramente duas estruturas lineares com bastante brilho nas imagens SAR e que após 1 ano apresentaram alterações nitidamente observáveis mesmo a olho nu. Com a aplicação de algoritmos e análises de PDI foi possível gerar uma imagem composta onde as mudanças aditivas ocorridas entre 2020 e 2022 aparecem em vermelho e mudanças subtrativas, ou que mantiveram a mesma estrutura urbana, aparecem em ciano. A Figura 2 apresenta indicada por elipse vermelha a área que sofreu alterações sutis em um período posterior a 1 ano. Nota-se que na imagem ótica de uma data bem próxima as tomadas pelo SAR existem estruturas metálicas que são visualizadas e identificadas pela diferença dos brilhos dos pixels das imagens para o período de construção de uma estação de trem metropolitano entre 2020 e 2022.

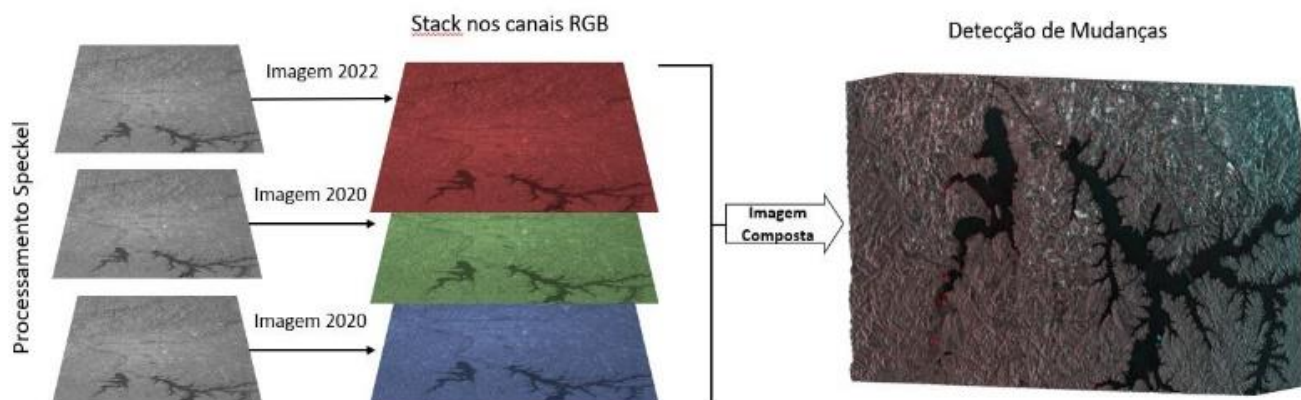


Figura 1. Diagrama de pré-processamento das imagens SAR para geração do produto para detecção de mudanças e composição em 'stack' RGB – imagem final.

A Figura 3 apresenta parte do reservatório de Guarapiranga na região Sul da cidade de São Paulo indicando na imagem

de 2020 áreas com cobertura parcial do espelho d'água com banco de macrófitas aquáticas fixas que tradicionalmente são

encontradas neste reservatório. Na imagem de 2022 aparece nitidamente a dispersão destas manchas flutuantes com uma textura diferente da primeira imagem, e nítido resultado do aparecimento de mancha superficial aquática. Na porção sudoeste do reservatório de Guarapiranga que serve como armazenamento de água para abastecimento público para zona Sul de São Paulo.

Tabela 1 Comprimentos de Ondas e frequências das bandas de sensor radar com destaque para banda X usadas pela ICEYE

Bandas	Comprimento de onda (cm)	Frequência (GHz)
K	0,8 – 1,7	40 – 18,5
X	2,4 – 3,8	12,5 – 8,0
C	3,8 – 7,5	8,0 – 4,0
S	7,5 – 15	4,0 – 2,0
L	15 – 30	2,0 – 1,0
P	30 – 100	1,0 – 0,3

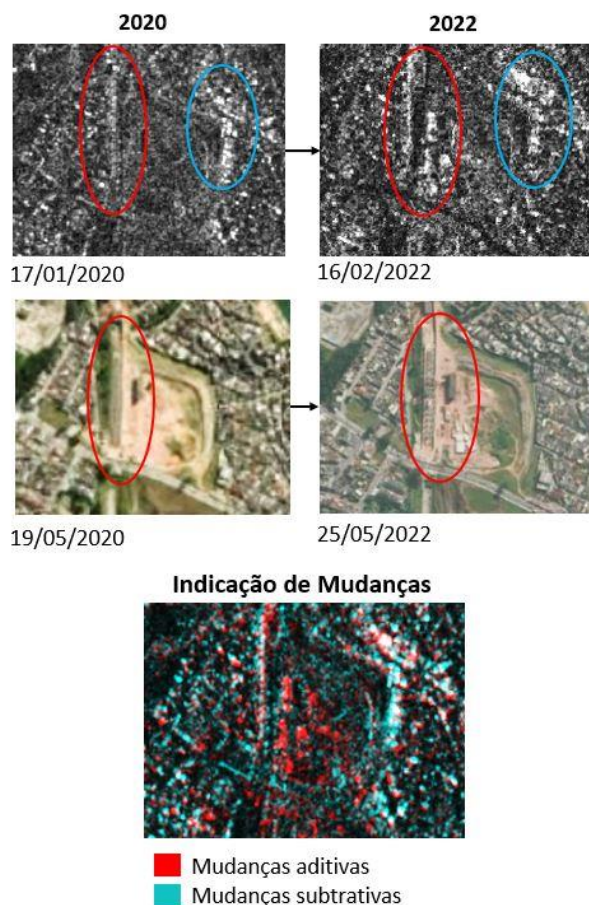


Figura 2. Indicativo das mudanças circuladas em vermelho entre 2020 e 2022 pelas imagens SAR e comparadas a imagens Óticas de alta resolução em datas próximas as identificadas pela imagem SAR.

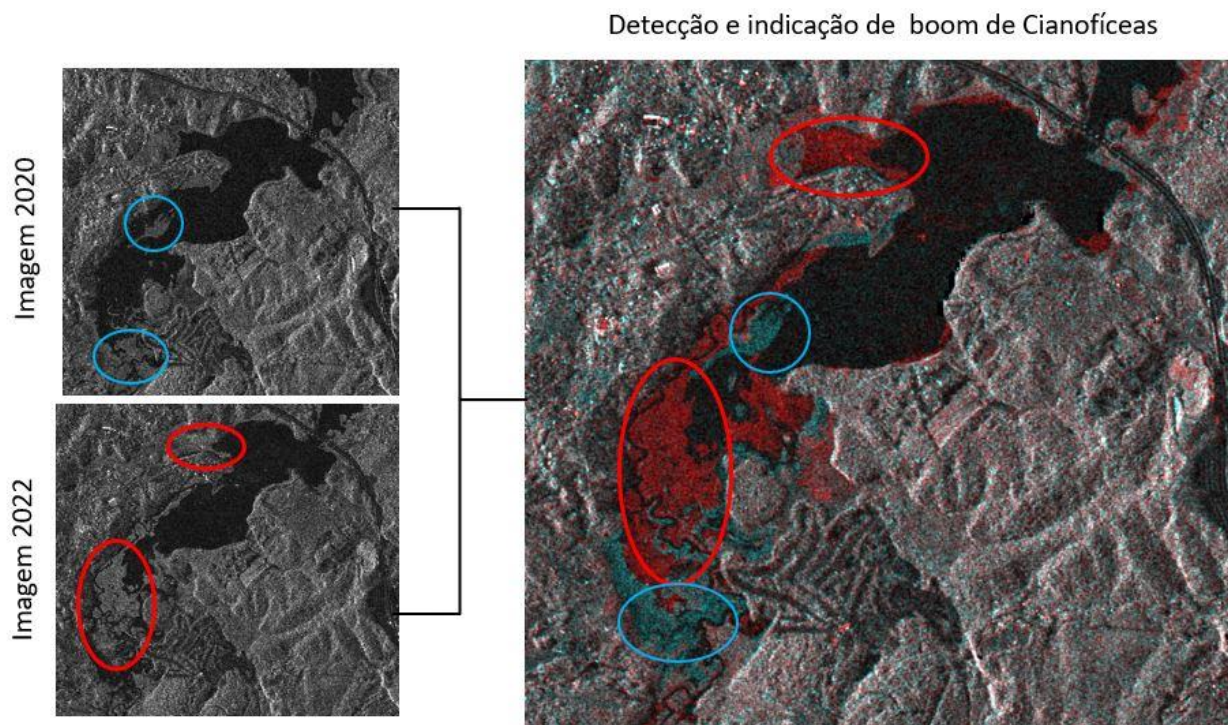


Figura 3. Comparativo entre as manchas de bancos de macrófitas flutuante existentes na superfície do lago em 2020 e *bloom* de algas cianofíceas marcadas em vermelho na imagem de 2022. Fica nítida o crescimento exagerado entre o período de 1 ano ocupando grande parte de um dos braços do reservatório em sua porção a sudoeste.

4. DISCUSSÃO

4.1. Detecção de Mudanças com uso de imagens SAR

A facilidade de identificação de mudanças utilizando duas datas de períodos diferentes de imagens SAR notadamente apresentou um resultado interessante, pois é capaz de indicar classes de mudanças positivas e negativas e apresentar de forma direta e visual a localização e o tamanho de tais mudanças em áreas urbanas densamente ocupadas. Um ponto surpreendente que identificamos durante os testes com estas cenas e que aqui estão subdivididos em construções nas áreas urbanas e mudanças nas superfícies de reservatórios de abastecimento público a seguir:

4.1.1. Identificação de mudanças em imóveis e construções de estruturas Urbanas

O uso de imagens SAR para monitoramento e detecção de mudanças é fundamental para os períodos de maior nebulosidade, em geral no verão, para o acompanhamento sistemático do crescimento urbano e da qualidade da água respectivamente para a cidade de São Paulo. Identificação de mudanças as vezes sutis na área urbana podem ser fundamentais para que as autoridades municipais

possam implementar um programa sistemático de monitoramento de construções e reformas de imóveis, que devido à amplitude como em uma grande metrópole se mostra quase impossível uma fiscalização em campo pelos desafios de falta de recursos humanos ou mesmo acesso logístico às inúmeras alterações de uma grande cidade como São Paulo. [3]

4.1.2. Identificação de Algas Cianofíceas e Macrófitas Aquáticas flutuantes em reservatórios de abastecimento público

Um ponto fundamental e mesmo surpreendente foram os resultados obtidos nas imagens SAR dos reservatórios periurbanos fundamentais para o abastecimento público de água potável, e a dificuldade de manter a qualidade da água armazenada pelo incremento de nutrientes à água por fontes dispersas de poluição ou mesmo por esgotos clandestinos ligados à rede pública de drenagem pluvial. O crescimento desequilibrado de colônias de cianofíceas (algas azuis) que no período de verão são comuns em reservatórios urbanos que passam por processos de eutrofização cultural (antrópica) devido ao excesso de nutrientes disponíveis na coluna d'água. Quando utilizado de maneira efetiva o monitoramento da qualidade da água envolve uma logística cara e pontual, já

que é quase impossível cobrir todos os braços e superfície dos grandes reservatórios com amostras de água para análises laboratoriais. Na imagem de 2022 é nítido o avanço desta mancha de algas sobre a superfície do lago com indicação de sua localização e da área de cobertura a ser monitorada sistematicamente em programas de controle das empresas de abastecimento público.

5. CONCLUSÕES

Os principais pontos identificados que podem ser considerados de grande vantagem em utilizar imagens SAR neste teste foram a facilidade de se obter imagens com datas que puderam ser previstas com bastante antecedência e a garantia da coleta das imagens independente do período do ano, como o verão, época de chuvas intensas na cidade de São Paulo. Com vistas a identificação de detecção de mudanças em construções e estruturas urbanas, os sensores SAR se prestam de forma direta a identificar de maneira conspícua áreas sutis que sofreram algum tipo de intervenção urbana nas estruturas de imóveis modificados e dispersos em áreas de alta densidade como a região da metrópole de São Paulo. Outro ponto que chama a atenção foi em relação as mudanças nítidas da superfície dos reservatórios de uso múltiplo e abastecimento de grande importância para a cidade de São Paulo como é o caso do Reservatório de Guarapiranga na zona Sul da cidade.

Desta maneira o uso de imagens de satélites SAR que estão disponíveis nos períodos de maior cobertura de nuvens facilitam sobremaneira o trabalho de equipes de controle da qualidade da água, reduzindo custos desnecessários para identificação de manchas de macrófitas ou algas cianofíceas logo quando estas iniciam seu crescimento na superfície dos lagos. É sabido que dependendo do crescimento estas manchas podem inviabilizar o tratamento da água devido à dificuldade em se eliminar substâncias sintetizadas por estas algas em períodos de crescimento descontrolado, que conferem odor e sabor a água potável, sendo muito custoso o tratamento para sua total eliminação.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Felipe Lima Ramos Barbosa, Renato Fontes Guimarães, Osmar Abílio de Carvalho Júnior e Roberto Arnaldo Trancoso Gomes. Título do Artigo, Classificação do uso e cobertura da terra utilizando imagens SAR/Sentinel 1 no Distrito Federal, Brasi. Sociedade e Natureza, v.32 | e59954 | ISSN 1982-4513, fevereiro de 2021.
- [2] Gustavo de Oliveira Lopes e Camila Aparecida Lima. Características e aplicações das imagens SAR na identificação de alvos na Região Amazônica. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7323-7330
- [3] Maria do Carmo Carvalho, Livia Fernanda Agujaro, Denise Amazonas Pires, Claudia Picoli – Manual de Cianobactérias Planctônicas: Legislação, Orientações para o Monitoramento e Aspectos Ambientais – 2ª Edição – CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2013:47 p. - (Série Manuais, ISSN 0103-2623)