

## Detecção de mudanças em alvos abaixo da floresta em imagens SAR polarimétricas multi-temporais da banda P usando a Decomposição de Pauli e o Filtro da Difusão Anisotrópica

Rafael Antonio da Silva Rosa<sup>1,2</sup>

David Fernandes<sup>2</sup>

Thiago Luiz Moraes Barreto<sup>1</sup>

Juliano Mota Lázaro<sup>1</sup>

João Bosco Nogueira Júnior<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bradar Indústria S.A.

Av. Shishima Hifumi, 2911 – 12244-000 – São José dos Campos – SP, Brasil  
rafael.rosa, thiago.luiz, juliano.lazaro@bradar.com.br

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – 12228-900 – São José dos Campos - SP, Brasil  
david@ita.br

<sup>3</sup> Santo Antônio Energia S.A.

Rua Dom Pedro II, 634, sala 510 – 76801-910 – Porto Velho - RO, Brasil  
joabosco@santoantonioenergia.com.br

**Abstract.** Forest monitoring is a major concern today due to climate changes, conservation of fauna and flora and to the lack of water. Therefore, several environmental monitoring techniques have been developed and used to detect changes in the scenes. The use of SAR (synthetic aperture radar) is appropriate to detect forest changes due to its independence of atmospheric and lighting conditions. However, currently, also SAR change detection has been faced limitations due to human illegal activities under the forest. In this case, P-band SAR images can be a great tool, because of its capacity to pass through vegetation. This paper will present a new method of change detection by multitemporal full-polarimetric P-band SAR imagery using Pauli Decomposition to separate artificial objects and, therefore, detect targets that appeared and disappeared under the canopy. Experimental tests have been performed using real SAR data acquired by the airborne sensor OrbiSAR-2 from Bradar and hidden targets (cars) in the Brazilian Atlantic Forest (Tropical Rain Forest). The first obtained results were good and show that idea can be useful for a variety of surveillance applications even search and rescue. A short analysis of the relationship between the position of vehicles and their detection was also performed.

**Keywords:** change detection, multitemporal images, synthetic aperture radar, detecção de mudanças, imagens multi-temporais, radar de abertura sintética

### 1. Introdução

Um dos assuntos mais importantes da atualidade trata das mudanças climáticas, e uma das causas mais prováveis é o desmatamento das florestas em todo o mundo. Falando-se apenas da Amazônia, a média de desmatamento dos últimos anos tem sido de aproximadamente 5.000km<sup>2</sup>/ano (Bragança e Pegurier (2013)). Este cenário faz com que aumente cada vez mais o interesse de organizações e instituições em métodos de monitoramento voltados para a redução das taxas de desmatamento. É nesta situação que a detecção de mudanças por imagens de radar, principalmente o SAR (Radar de Abertura Sintética), mostra-se bastante apropriada para o monitoramento de florestas equatoriais e tropicais, devido a sua independência das condições climáticas sem perder sua alta resolução (Rosa et al. (2015)). Entretanto, hoje em dia já há

diversas atividades ilegais ocorrendo abaixo da vegetação dificultando sua detecção mesmo através do sensoriamento remoto SAR.

O objetivo deste estudo foi justamente desenvolver um algoritmo capaz de, automaticamente, detectar mudanças abaixo da floresta em um determinado intervalo de tempo usando imagens SAR da banda P das quatro polarizações (HH, HV, VH e VV) provenientes de aquisições temporalmente espaçadas, todavia adquiridas sob a mesma geometria (multi-temporais). Em outras palavras, a meta era criar uma ferramenta eficiente que fosse capaz de identificar regiões onde houve alguns tipos de mudanças, como por exemplo o aparecimento de veículos, barracas e pequenas construções abaixo da vegetação.

## 2. Metodologia Proposta

Seja um conjunto de imagens SAR multi-temporais da banda P coletadas nas mesmas condições geométricas (ângulo de visada, altitude de voo, etc.):

$$p_t = \{p_{kt} : k = 1, 2, \dots, K; t = 0, 1, \dots, T\} \quad (1)$$

Onde  $p_{k,t}$  é a  $k$ -ésima imagem do tamanho  $M \times N$  adquirida no instante  $t$  (Figura 1). O objetivo é detectar mudanças entre os conjuntos consecutivos  $p_t$  e  $p_{t+1}$ . Tem-se a disponibilidade de imagens SAR da banda P nas quatro polarizações, para cada instante de tempo  $t$ , i.e.,  $K = 4$ .

A metodologia proposta pode ser dividida em duas partes principais: A *Detecção de Alvos Artificiais* e a *Detecção de Mudanças em Alvos Artificiais*.

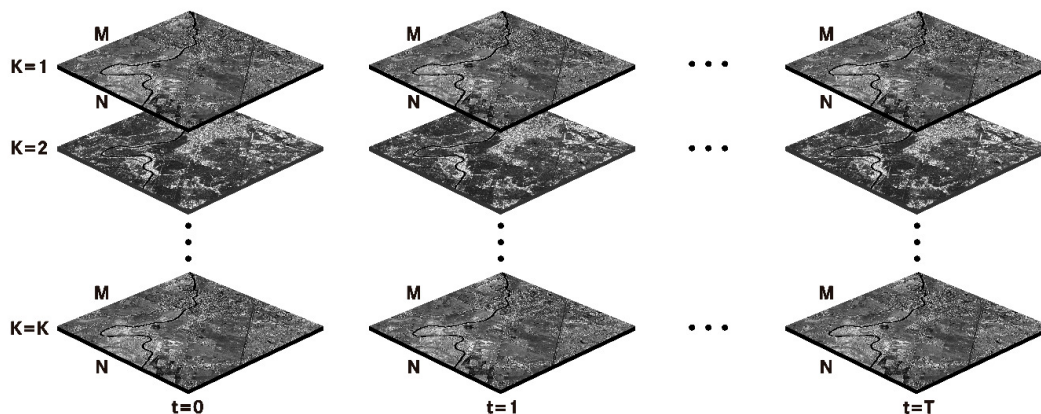


Figura 1: Conjunto de imagens SAR multi-temporais (Rosa et al. (2015)).

### 2.1. Detecção de Alvos Artificiais

Inicialmente, realiza-se a detecção de alvos artificiais no conjunto de imagens SAR polarimétricas da banda P, tanto das adquiridas no instante  $t$  quanto das adquiridas no instante  $t + 1$ , separadamente. O primeiro passo para isso é realizar a *Calibração Polarimétrica* (Kimura et al. (2004)). Em seguida, realiza-se a *Decomposição Polarimétrica de Pauli*. O resultado dessa primeira parte será um conjunto de imagens multi-temporais decompostas polarimetricamente.

### 2.1.1. Decomposição de Pauli

A ideia básica da Decomposição de Pauli é expressar a matriz de espalhamento  $[S]$  como a soma de matrizes de espalhamento elementares que representam certos tipos de espalhadores determinísticos (Cloude e Pottier (1996)). Considerando-se a base linear convencional (h,v) e que  $S_{hv} = S_{vh}$ , a base de Pauli  $[S_a]$ ,  $[S_b]$ ,  $[S_c]$  é dada pelas três seguintes matrizes 2x2:

$$[S_a] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[S_b] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[S_c] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Consequentemente, dada uma matriz de espalhamento  $[S]$ , ela pode ser expressa como:

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{hv} & S_{vv} \end{bmatrix} = \alpha[S_a] + \beta[S_b] + \gamma[S_c] \quad (5)$$

onde:

$$\alpha = \frac{S_{hh} + S_{vv}}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

$$\beta = \frac{S_{hh} - S_{vv}}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

$$\gamma = \sqrt{2}S_{hv} \quad (8)$$

A matriz  $[S_a]$  representa a matriz de espalhamento de uma esfera, um plano ou um triedro. Dessa forma, o coeficiente  $\alpha$  determina a intensidade do espalhamento de alvos caracterizados por uma reflexão simples ou tripla. A segunda matriz,  $[S_b]$  é relacionada ao espalhamento de um diedro orientado a 0 grau, ou seja, perpendicular ao voo, consequentemente  $\beta$  representa a intensidade do espalhamento causado por esse tipo de alvo. Finalmente, a terceira matriz,  $[S_c]$ , refere-se a um diedro orientado a 45°, i.e., o coeficiente  $\gamma$  é associado àqueles alvos que são capazes de refletir uma polarização ortogonal, dentre os quais os melhores exemplos são as copas das árvores. Como o objetivo é identificar apenas as mudanças abaixo da vegetação, ignora-se o coeficiente  $\gamma$ . Dessa forma, a imagem resultante dessa etapa da metodologia será:

$$y_t = \sqrt{|\alpha_t|^2 + |\beta_t|^2} \quad (9)$$

A Figura 2 apresenta um exemplo de uma imagem SAR HH original da banda P (esquerda) e sua respectiva imagem de decomposição polarimétrica (direita).

### 2.2. Detecção de Mudanças em Alvos Artificiais

Esta parte da metodologia tem a finalidade de detectar mudanças nos alvos artificiais detectados em  $y_t$  e  $y_{t+1}$ . Propõe-se a realização de um *Filtro de Speckle*, do *Cálculo da Diferença*, da *Aplicação de um Limiar* e da *Operação Morfológica de Fechamento* (Rosa, Fernandes e Nogueira (2015)). A diferença em relação ao trabalho citado é o uso do *Filtro da Difusão Anisotrópica* explicado a seguir. O produto final é uma máscara binária que indica mudanças nos alvos artificiais (Figura 3).

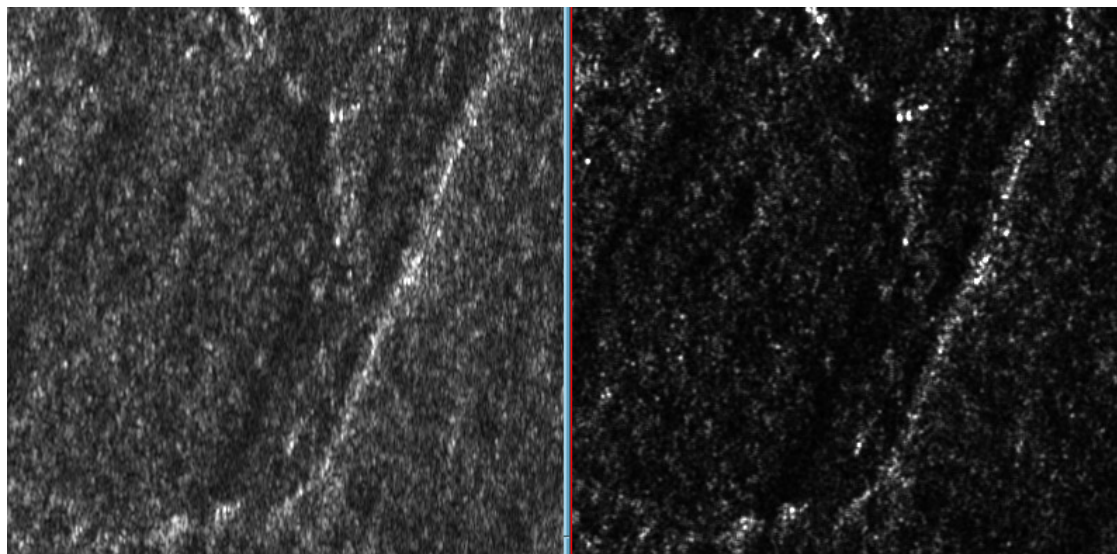


Figura 2: Exemplo de imagem HH da banda P (esquerda) e de sua decomposição polarimétrica (direita).

### 2.2.1. Filtro da Difusão Anisotrópica

Um efeito intrínseco dos sistemas radar é o ruído *speckle*, um ruído multiplicativo que pode ser observado em todas as imagens SAR. Por isso, diversas técnicas tem sido estudadas com o objetivo de reduzir esse efeito indesejável mas mantendo-se as características originais importantes, como as bordas, as estruturas e as formas (Lee et al. (2009), Frost et al. (1982)). Originalmente proposto como um filtro de imagens genéricas (Palma et al. (2014)), o Filtro da Difusão Anisotrópica (ADF) (Perona e Malik (1990)) realiza a redução de ruído de forma iterativa (até a  $i$ -ésima iteração) tentando preservar as características importantes da imagem, sendo controlado por um parâmetro tensor  $F$  estimado empiricamente. Diversos estudos foram realizados para estimar este parâmetro, de acordo com a finalidade de emprego das imagens, como por exemplo para ressonância magnética, visão computacional e aplicações para sensoriamento remoto SAR com imagens simples (Yu e Acton (2002)) e com imagens polarimétricas (Ma et al. (2015)). Todos esses métodos são baseados em diferentes formas de especificar uma função de preservação de bordas  $g(\cdot)$ , originalmente proposta por Perona e Malik (1990), com respeito aos gradientes locais  $\Delta I$  de uma dada imagem  $I$ :

$$g(\Delta I) = e^{-(|\Delta I|/F)^2} \quad (10)$$

## 3. Resultados Experimentais

Implementou-se o algoritmo proposto em IDL (*Interactive Data Language*) e se realizou os experimentos em imagens SAR polarimétricas da banda P fornecidas pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA) adquiridas pelo sensor aerotransportado OrbiSAR-2 da Bradar. Utilizou-se dois conjuntos dessas imagens, coletadas nos dias 13 e 18 de agosto de 2015 na Mata Atlântica do litoral do estado de São Paulo, na cidade de Cubatão, e processadas pela Bradar em São José dos Campos-SP. Essas imagens cobrem uma área de 32,90km<sup>2</sup> com 1,0m de tamanho de pixel. A Polícia Militar Ambiental do Estado de São Paulo (PMA-SP) e a SMA esconderam quatro carros debaixo da floresta no dia 17 de agosto de 2015 (Figura 4).

Aplicou-se a metodologia proposta com  $\Delta = 45$  e  $F = 20$ . O algoritmo detectou 186 mudanças. A Tabela 1 apresenta as coordenadas medidas em campo e as detectadas pelo algoritmo para cada um dos carros escondidos, e sua respectiva diferença. As coordenadas

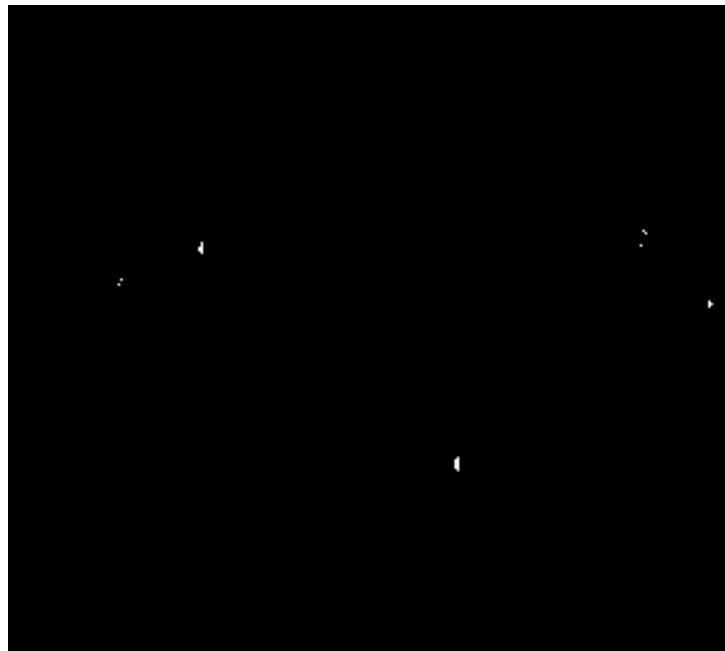


Figura 3: Exemplo de máscara binária final.

detectadas presentes na Tabela 1 referem-se ao ponto detectado mais próximo à coordenada medida em campo de cada um dos veículos.

Tabela 1: Coordenadas medidas e coordenadas detectadas dos carros escondidos sob a vegetação.

Veículo	E(m)	N(m)	$E_{det}(m)$	$N_{det}(m)$	D(m)
1	348121	7355321	348128	7355336	16.6
2	348204	7355358	348234	7355365	30.8
3	348823	7355506	348823	7355502	4.0
4	348622	7357020	348622	7357023	3.0

Para esse trabalho de detecção, foram realizados voos de aquisição em duas direções, ambas com ida e volta, ou seja, em quatro sentidos: leste-oeste, oeste-leste, norte-sul e sul-norte. As detecções da Tabela 1 foram observadas em um mosaico das imagens dos voos leste-oeste e oeste-leste.

Conhecendo-se o fato de que o radar OrbiSAR-2 possui visada lateral esquerda e que, três dos carros escondidos tiveram suas respectivas orientações relatadas pela equipe responsável por sua instalação, pode-se fazer uma análise de cada detecção em cada um dos quatro voos de forma separada. A Tabela 2 apresenta a detecção de todos os carros em cada um dos quatro sentidos de voo de forma separada.

Tabela 2: Detecções dos carros sob a vegetação em cada um dos quatro voos de aquisição.

Veículo	Orientação	Voo L-O	Voo O-L	Voo N-S	Voo S-N
1	330°	Não	Sim	Sim	Sim
2	86°	Sim	Sim	Não	Não
3	115°	Sim	Sim	Não	Não
4	-	Sim	Sim	Não	Não



Figura 4: Um dos quatro carros escondidos sob a vegetação.

O ângulo de orientação relatado possui o crescimento no sentido horário, sendo que o  $0^\circ$  está na direção norte, portanto o  $90^\circ$  está na direção leste e assim por diante. Como o OrbiSAR-2 possui visada lateral esquerda, o voo L-O por exemplo corresponde a uma visada N-S ( $180^\circ$ ).

#### 4. Conclusões

Pode-se afirmar que o algoritmo implementado encontrou dois dos veículos. Uma possível fonte de erro da posição detectada dos outros dois carros é o modelo digital de elevação utilizado para a realização da geocodificação, que possuía uma resolução planimétrica de 15,0m.

O fato de ter-se encontrado um grande número de mudanças (cerca de 6 mudanças por  $\text{km}^2$ ) deve-se, provavelmente, à detecção de mudanças na própria vegetação, como por exemplo galhos quebrados. Também observou-se que muitos pontos foram detectados em cidades e estradas, ou seja, possivelmente são veículos que estavam em movimento ou mudaram de posição entre as duas aquisições.

Pela análise da relação entre as detecções dos veículos em cada sentido de voo e suas respectivas orientações, observa-se que, em geral, estes são melhor vistos em sua lateral, o que se mostra bastante aceitável, já que é na lateral que se encontra a maior superfície e, conseqüentemente o maior diedro.

A conclusão principal do trabalho é que a metodologia de detecção de mudanças em si funciona e possui resultados muito coerentes. Os pontos que devem ser bastante melhorados para uma redução significativa dos "falsos alarmes" são, além da utilização de um modelo de elevação mais preciso, um aprimoramento da calibração polarimétrica e do método de decomposição polarimétrica. Todos esses itens não foram tema desse trabalho, cujo cerne era a detecção de mudanças propriamente dita. Tanto que durante sua execução, não houve uma validação nem da calibração nem da decomposição polarimétricas. Justamente por causa disso, sugere-se como trabalhos futuros a utilização de outros métodos de calibração e de decomposição polarimétricas mais avançados, principalmente de decomposição.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA) e à Polícia Militar dos Estado de São Paulo (PMA-SP) por fornecer as imagens SAR multi-

temporais e por instalar os carros sob a vegetação e fornecer suas respectivas posições medidas em campo.

### Referências

- BRAGANÇA, D.; PEGURIER, E. *Especialistas comentam o aumento do desmatamento na Amazônia*. 2013. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/noticias/27784-especialistas-comentam-o-aumento-do-desmatamento-na-amazonia>>. Acesso em: 3 abr. 2014.
- CLOUDE, S. R.; POTTIER, E. A review of target decomposition theorems in radar polarimetry. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 34, n. 2, p. 498–518, 1996.
- FROST, V. S. et al. A model for radar images and its application to adaptive digital filtering of multiplicative noise. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, IEEE, n. 2, p. 157–166, 1982.
- KIMURA, H. et al. Improvement of polarimetric sar calibration based on the quegan algorithm. In: IEEE. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2004 IEEE International*. [S.l.], 2004. v. 1.
- LEE, J.-S. et al. Improved sigma filter for speckle filtering of sar imagery. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 47, n. 1, p. 202–213, 2009.
- MA, X. et al. Adaptive anisotropic diffusion method for polarimetric sar speckle filtering. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, IEEE, v. 8, n. 3, p. 1041–1050, 2015.
- PALMA, C. A. et al. Anisotropic diffusion filtering operation and limitations-magnetic resonance imaging evaluation. In: *World Congress*. [S.l.: s.n.], 2014. v. 19, n. 1, p. 3887–3892.
- PERONA, P.; MALIK, J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 12, n. 7, p. 629–639, 1990.
- ROSA, R. A. S. et al. Automatic change detection in multitemporal x-and p-band sar images using gram-schmidt process. In: IEEE. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International*. [S.l.], 2015. p. 2797–2800.
- ROSA, R. A. S.; FERNANDES, D.; NOGUEIRA, J. B. Automatic change detection in multitemporal sar orthoimages. In: *27th International Cartographic Conference (ICC), 2015, ISBN 978-85-88783-11-9*. [S.l.: s.n.], 2015.
- YU, Y.; ACTON, S. T. Speckle reducing anisotropic diffusion. *Image Processing, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 11, n. 11, p. 1260–1270, 2002.