

## Detecção de mudanças em imagens SAR multi-temporais das bandas X e P utilizando informações das coerências entre elas

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

David Fernandes <sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Bradar Indústria S/A

Avenida Shishima Hifumi, 2911 - 12244-000 - São José dos Campos - SP, Brasil

rafael.rosa@bradar.com.br

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA - DCTA

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

joaobosco@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) seems appropriate to detect changes due to its independence of atmospheric and lighting conditions. The SAR change detection is a process that uses SAR images acquired in the same geometric conditions but in different moment (multitemporal) to identify changes in the surface that occurred between two acquisitions. This paper presents a new method of change detection in multitemporal SAR images using X- and P-band SAR images to calculate a change indicator image based in the coherence among images. The novelty of this method is the use of X- and P-band images sequences. Experimental tests were conducted using real SAR data obtained by the airborne sensor OrbiSAR-2 from Bradar in Porto Velho-RO and the results showed very good quality detections.

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

### 1. Introdução

Um tema importante na atualidade é o referente às mudanças climáticas. E um dos possíveis fatores de maior relevância entre os causadores dessas mudanças é o desmatamento das florestas. Como exemplo, a Floresta Equatorial Amazônica teve um desmatamento médio nos últimos anos de 5 mil km<sup>2</sup>/ano (Bragança e Pegurier 2014). Esse panorama faz com que cada vez mais órgãos e instituições busquem medidas de fiscalização para a diminuição e prevenção de desmatamentos. No Brasil, os principais programas com essa finalidade são o PRODES (Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal) – o maior programa de monitoramento de florestas do mundo – e o DETER (Detecção do Desmatamento em Tempo Real), ambos gerenciados pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (O Eco 2013). Apesar de terem demonstrado sua relevância, uma das limitações desses programas é a sua dificuldade em imagear regiões cobertas por nuvens (Mileski 2008). Para superar essa limitação, o SAR (Radar de Abertura Sintética) pode ser empregado para o monitoramento de florestas tropicais e equatoriais, graças a sua independência das condições climáticas sem perder a alta resolução. O objetivo desse trabalho é desenvolver um processo automático e não-supervisionado que seja capaz de detectar mudanças na superfície dentro de um intervalo de tempo a partir de imagens SAR das bandas X e P com aquisições temporalmente espaçadas, entretanto, idênticas quanto à geometria (multi-temporais). Deste modo, pode-se identificar regiões onde houve algum tipo de

alteração, tais como aparecimento de clareiras em áreas de vegetação, trilhas, alterações nas bordas das florestas, cortes seletivos, crescimento de pastos, plantios e demais dinâmicas do uso do solo.

## 2. Métodos de Detecção de Mudanças em Imagens SAR

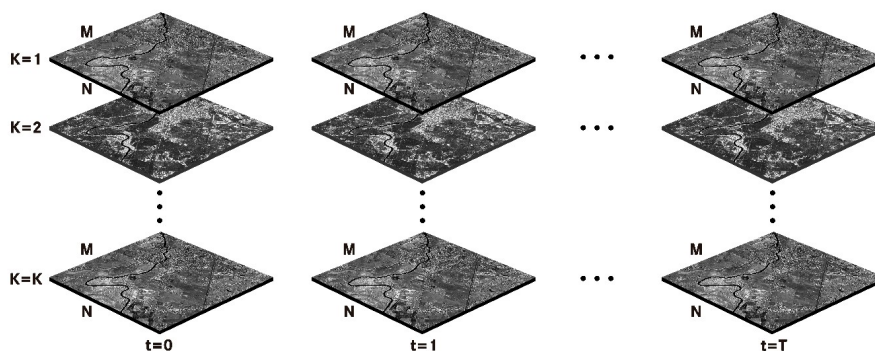
Existem diversas propostas de detecção de mudanças utilizando imagens SAR na literatura (Lombardo et al. 2001, Moser et al. 2007, Ranney e Khatri 2008, Thayalan et al. 2009, Thiele et al. 2012, Gong et al. 2012, Cui e Dactu 2012, Ma et al. 2012, Zheng e You 2013, Wang et al. 2013). Muitos métodos utilizam a razão ou a diferença entre sequências temporais de imagens SAR (Rignot et al. 1993, Grover et al. 1999, Dierking et al. 2002, Bazi et al. 2005, Goodenough et al. 2006, Pantze et al. 2010, Zhang et al. 2013, Wan et al. 2013, Bovolo et al. 2013). Alguns trabalhos utilizaram ainda a segmentação e a classificação supervisionada para a detecção de mudanças a partir das mudanças de classes (Servello et al. 2010, Wan e Jiao 2011). Aiazzi et al. (2013) utilizaram mais de duas imagens simultaneamente, ou seja, imagens de mais do que duas aquisições distintas. Observa-se na literatura que os resultados variam bastante de acordo com a área de teste e que, em muitos casos, um mesmo método apresentou resultados completamente distintos quando aplicado em regiões diferentes. E não se encontrou nenhum trabalho que utilizasse as bandas X e P ao mesmo tempo.

## 3. Método Proposto

Seja um conjunto de imagens SAR multi-temporais observadas sob as mesmas condições geométricas (ângulo de visada, altitude, etc.):

$$x_t = \{x_{k,t} : k = 0, 1, \dots, K\}; t = 0, 1, \dots, T \quad (1)$$

onde  $x_{k,t}$  representa a  $k$ -ésima imagem de dimensões  $M \times N$  no instante  $t$  (Figura 1). O conjunto de  $K$  imagens no instante  $t$  pode, por exemplo, representar um conjunto de imagens polarimétricas, imagens em bandas diferentes, imagens multi-visadas, entre outras. Um pixel dessa imagem  $x_{k,t}$  será representado por  $x_{k,t}(m,n)$ .



**Figura 1.** Conjunto de imagens multi-temporais SAR observadas sob as mesmas condições geométricas.

Deseja-se detectar mudanças entre um conjunto de imagens  $x_t$  e outro consecutivo  $x_{t+1}$ . Nota-se que, sendo detectadas mudanças em instantes consecutivos, pode-se determiná-las entre quaisquer  $x_t$  e  $x_{t+\Delta t}$ , onde  $t+\Delta t < T-1$ .

O conjunto de imagens de coerência entre duas imagens em tempos consecutivos é definido como:

$$c_t = \{c_{k,r,t,t+1}: k = 0,1,\dots,K-1, r = 0,1,\dots,K-1, t = 1,\dots,T-1\} \quad (2)$$

onde a coerência entre quaisquer duas das imagens é definida como:

$$c_{k,r,t,t+1} = \frac{\langle x_{k,t}, x_{r,t+1} \rangle}{\sqrt{\langle x_{k,t}, x_{k,t} \rangle \langle x_{r,t+1}, x_{r,t+1} \rangle}}, \quad |c_{k,r,t,t+1}| \leq 1 \quad (3)$$

sendo que o operador  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  representa a média amostral de cada elemento da imagem calculada em uma vizinhança arbitrária centrada nesse elemento. Para uma vizinhança de dimensões  $(W_M, W_N)$ , tem-se que:

$$\langle x_{k,t}, x_{r,t+1} \rangle(m, n) = \sum_{u=m-W_M/2}^{m+W_M/2} \sum_{v=n-W_N/2}^{n+W_N/2} x_{k,t}(u, v) x_{r,t+1}(u, v) \quad (4)$$

Considerando-se que há a disponibilidade de duas imagens, uma na banda P e outra na banda X, para cada instante de tempo  $t$ , ou seja,  $K=2$ , pode-se escrever que, por simplicidade de notação,  $x_{0,t}=x_{P,t}$  representa a imagem da banda P no instante  $t$  e  $x_{1,t}=x_{X,t}$  representa a imagem da banda X no instante  $t$ .

Também considerando-se as coerências  $\{c_{k,r,t,t+1}: k = X, P; r = X, P; t = 1,\dots,T-1\}$ , e analisando-se o caso particular em que não ocorreram mudanças entre as imagens  $x_{P,t}$  e  $x_{P,t+1}$  nem entre as imagens  $x_{X,t}$  e  $x_{X,t+1}$ , tem-se que:

$$\begin{cases} c_{P,P,t,t+1} = 1 & \text{(máximo)} \\ c_{X,X,t,t+1} = 1 & \text{(máximo)} \\ c_{P,X,t,t} = c_{P,X,t+1,t+1} = c_{P,X,t,t+1} = c_{X,P,t,t+1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} |c_{P,P,t,t+1} + c_{X,X,t,t+1}| = 2 & \text{(máximo)} \\ |c_{P,P,t,t+1} - c_{X,X,t,t+1}| = 0 & \text{(mínimo)} \\ |c_{P,X,t,t} - c_{P,X,t+1,t+1}| = 0 & \text{(mínimo)} \\ |c_{P,X,t,t+1} - c_{X,P,t,t+1}| = 0 & \text{(mínimo)} \end{cases} \quad (5)$$

Com base nas características dessas coerências quando não ocorrem mudanças define-se, como proposta deste trabalho, uma imagem indicadora de mudanças entre os conjuntos de imagens  $\{x_{P,t}, x_{X,t}\}$  e  $\{x_{P,t+1}, x_{X,t+1}\}$ , de modo que esse indicador tenda a zero caso haja apenas mudanças pouco significativas e que aumente à medida que as mudanças se tornem mais significativas. A imagem indicadora de mudanças escolhida é representada por:

$$R_{t,t+1} = \frac{|c_{P,P,t,t+1} - c_{X,X,t,t+1}| + |c_{P,X,t,t} - c_{P,X,t+1,t+1}| + |c_{P,X,t,t+1} - c_{X,P,t,t+1}|}{|c_{P,P,t,t+1} + c_{X,X,t,t+1}|} \quad (6)$$

No caso hipotético de não ocorrerem mudanças em uma determinada região, a imagem indicadora nessa região é tal que  $R_{t,t+1} \rightarrow 0$ . Assim,  $R_{t,t+1}$  pode ser utilizada como um indicador local de alterações entre os instantes  $t$  e  $t+1$ .

#### 4. Resultados

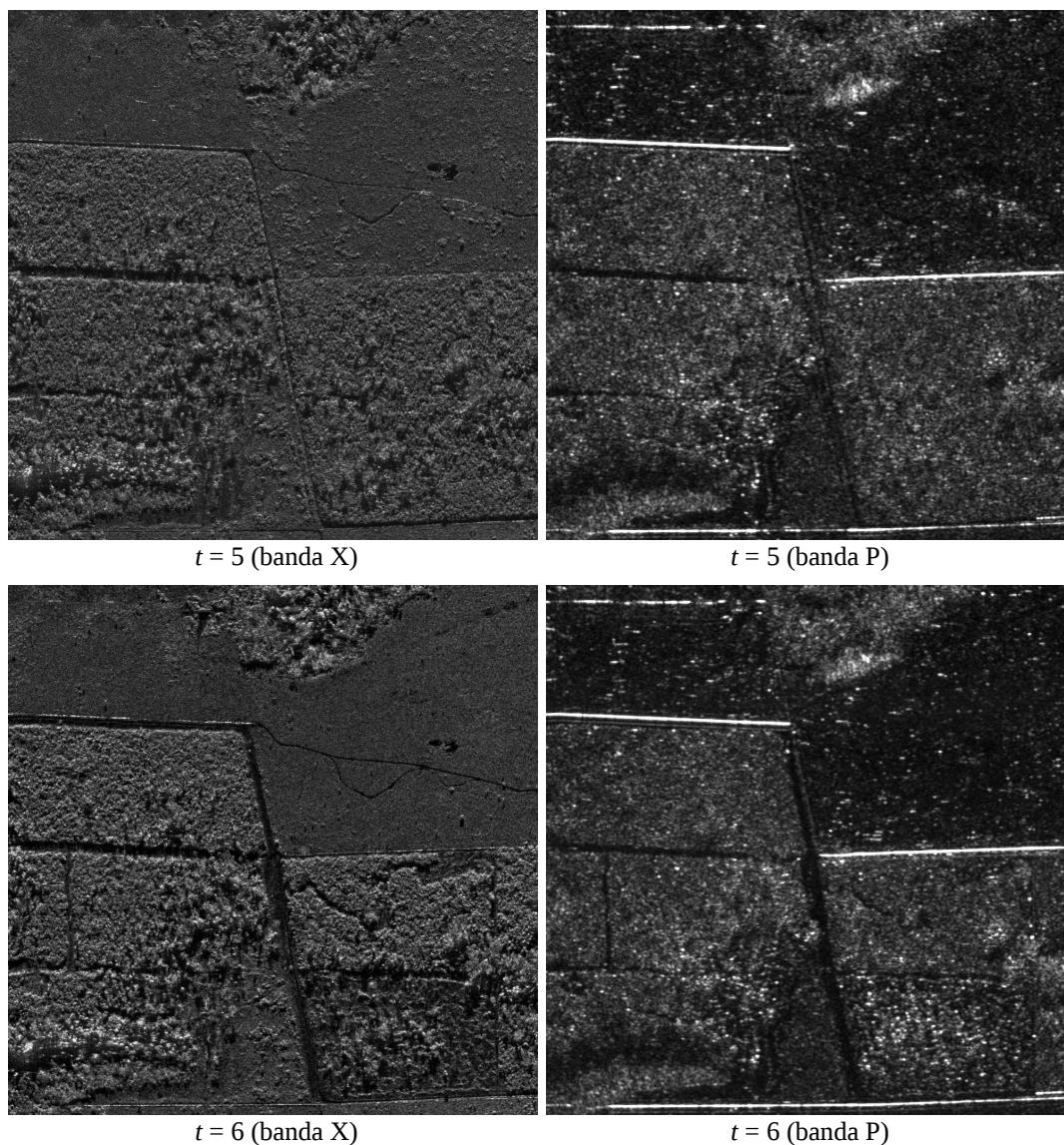
Implementou-se o método proposto em linguagem IDL (*Interactive Data Language*) e usou-se as orto-imagens SAR multi-temporais adquiridas pelo sensor SAR aerotransportado OrbiSAR-2 da Bradar cedidas pela empresa Santo Antônio Energia. Essas imagens multi-

temporais foram coletadas, nas bandas X e P, mensalmente de outubro de 2012 até dezembro de 2013 na região de Porto Velho-RO e processadas em São José dos Campos-SP pela Bradar, com a configuração apresentada na Tabela 1, abrangendo um total de 2.938,59km<sup>2</sup>.

**Tabela 1.** Configuração do sensor OrbiSAR-2.

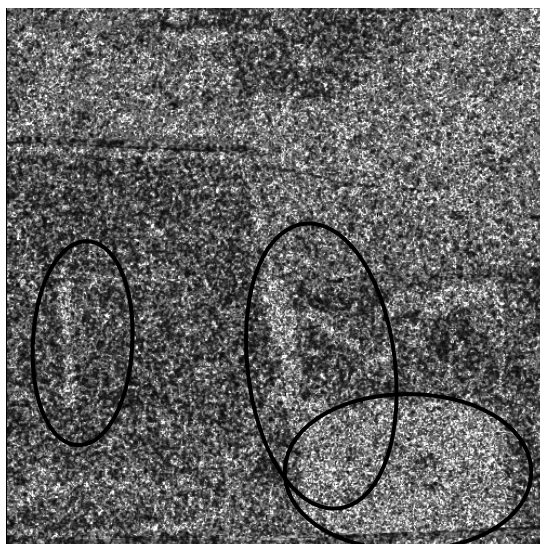
	Banda X	Banda P
Aeronave	Turbo-commander	Turbo-commander
Altitude	6086.62 m	6086.62 m
Comprimento de onda	3,125 cm	74,94 cm
<i>Off-nadir</i>	20°	10°
<i>Swath</i>	14 km	7 km
Resolução Espacial	1.0 m	1.0 m

Em especial, escolheu-se uma área de 1km<sup>2</sup> (1000 x 1000 pixels) dessa área total para se aplicar o método proposto, utilizando-se todas as 15 aquisições. A Figura 2 apresenta a 6<sup>a</sup> e a 7<sup>a</sup> aquisições dessa área nas bandas X e P.

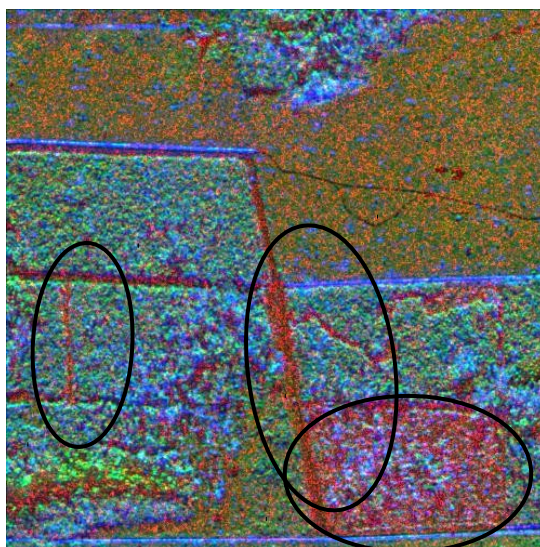


**Figura 2.** Dados multi-temporais das bandas X e P da 6<sup>a</sup> e da 7<sup>a</sup> aquisições.

A Figura 3 apresenta o resultado obtido pelo método utilizando-se as aquisições da Figura 2, ou seja, a imagem indicadora de mudanças  $R_{5,6}$  calculada pela Equação 6, com  $W_M=W_N=5$ . E a Figura 4 apresenta uma composição RGB com  $R_{5,6}$  no canal R e as imagens  $x_{P,6}$  e  $x_{X,6}$  nos canais G e B respectivamente. Na Figura 3, as regiões em que houve mudanças são as mais claras e, na Figura 4, essas mesmas regiões são as mais avermelhadas.



**Figura 3.** Imagem indicadora de mudanças  $R_{5,6}$  com indicações de mudanças na cena.



**Figura 4.** Composição RGB com a imagem  $R_{5,6}$  no canal R, imagem  $x_{P,6}$  no canal G e imagem  $x_{X,6}$  no canal B, com indicações de mudanças na cena.

Aplicou-se o método proposto em todos os 14 pares de conjuntos de imagens das bandas X e P disponíveis, realizou-se a análise dos resultados e se comparou com as informações de mudanças verificadas por analistas de imagens da Bradar que utilizaram, de modo independente, as mesmas imagens iniciais das bandas X e P. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 2 e mostram que todos os eventos de mudanças significativas foram detectados e que não ocorreram falsas detecções.

**Tabela 2.** Ocorrências na cena e mudanças detectadas.

<i>T</i>	<i>t+1</i>	Ocorrências na cena	Mudanças detectadas
0	1	Nada relevante	Não
1	2	Pequeno aumento em caminho	Sim
2	3	Nada relevante	Não
3	4	Grande desmatamento	Sim
4	5	Surgimento de caminho	Sim
5	6	Grande desmatamento, surgimento de caminho e alargamento de estrada	Sim
6	7	Nada relevante	Não
7	8	Nada relevante	Não
8	9	Nada relevante	Não
9	10	Nada relevante	Não
10	11	Desmatamento	Sim
11	12	Nada relevante	Não
12	13	Grande desmatamento	Sim
13	14	Manejo do desmatamento	Sim

## 5. Conclusões

A metodologia para a detecção de mudanças utilizando-se imagens SAR multi-temporais ainda é um problema aberto na literatura, quer pela complexidade do problema, quer pela grande variabilidade das situações encontradas na natureza.

Foi proposta neste trabalho uma metodologia que utiliza sequências temporais de imagens SAR das bandas X e P para o cálculo de uma imagem indicadora de mudanças em regiões da cena. Essa imagem é calculada por meio de uma função que leva em conta as características da coerência entre as quatro imagens utilizadas para se observar a cena em dois instantes sucessivos.

E os testes realizados com o método proposto utilizando-se uma sequência de 15 conjuntos de imagens das bandas X e P mostraram-se qualitativamente satisfatórios para o processo de detecção automática de mudanças conforme os resultados mostrados na Tabela 2.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Santo Antônio Energia S/A pela cessão das imagens de dados multi-temporais adquiridas pelo sensor OrbiSAR-2 na região de Porto Velho.

## Referências Bibliográficas

Aiazzi, B; Alparone, L.; Baronti, S.; Garzelli, A.; Zoppetti, C. Nonparametric change detection in multitemporal SAR images based on mean-shift clustering. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 51, n. 4, p. 2022-2031, 2013.

Bazi, Y.; Bruzzone, L.; Melgani, F. An unsupervised approach based on the generalized gaussian model to automatic change detection in multitemporal SAR images. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, n. 4, p. 874-887, 2005.

Bovolo, F.; Marin, C.; Bruzzone, L. A hierarchical approach to change detection in very high resolution SAR images for surveillance applications. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 51, n. 4, p. 2042-2054, 2013.

Bragança, D.; Pegurier, E. **Especialistas comentam o aumento do desmatamento na Amazônia**. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/noticias/27784-especialistas-comentam-o-aumento-do-desmatamento-na-amazonia>>. Acesso em: 03.abr.2014.

Dierking, W.; Skriver, H. Change detection for thematic mapping by means of airborne multitemporal polarimetric SAR imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 40, n. 3, p. 618-636, 2002.

Gong, M.; Zhou, Z.; Ma, J. Change detection in synthetic aperture radar images based on image fusion and fuzzy clustering. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 21, n. 4, p. 2141-2151, 2012.

Lombardo, P.; Oliver, C. J. Maximum likelihood approach to the detection of changes between multitemporal SAR images. **IEE Proceedings – Radar, Sonar Navigation**, v. 148, n. 4, p. 200-210, 2001.

Ma, J.; Gong, M.; Zhou, Z. Wavelet fusion on ratio images for change detection in SAR images. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 9, n. 6, p. 1122-1126, 2012.

Mileski, A. **DETER, PRODES e o desmatamento na Amazônia**. Disponível em: <<http://panoramaespacial.blogspot.com.br/2008/08/deter-prodes-e-o-desmatamento-na.html>>. Acesso em: 03.abr.2014.

Moser, G.; Serpico, S.; Vernazza, G. Unsupervised change detection from multichannel SAR images. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 4, n. 2, p. 278-282, 2007.

O Eco INPE comemora aniversário e celebra 25 anos do PRODES. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/noticias/27506-inpe-comemora-52-anos-de-existencia>>. Acesso em: 03.abr.2014.

Pantze, A.; Fransson, J. E. S. Forest change detection from L-band satellite images using iterative histogram matching and thresholding together with data fusion. **Proc. of IGARSS 2010**, p. 1226-1229, Honolulu, 2010.

Ranney, K. I.; Khatri, H. C. Modified difference change detector for small targets in SAR imagery. **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, v. 44, n. 1, p. 57-76, 2008.

Rignot, E. J. M.; Zyl, J. J. Change detection techniques for ERS-1 SAR data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 31, n. 4, p. 896-906, 1993.

Servello, E. L.; Kuplich, T. M.; Shimabukuro, Y. E. Tropical land cover change detection with polarimetric SAR data. **Proceedings of IGARSS 2010**, p. 1477-1480, Honolulu, 2010.

Thayalan, A.; Abas, F. S.; Koo, V. C. Automatic change detection of Belum-Temengor forested area using multitemporal SAR images. **IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications**, p. 318-321, 2009.

Thiele, A.; Boldt, M.; Hinz, S. Automated detection of storm damage in forest areas by analyzing TERRASAR-X data. **Proceedings of IGARSS 2012**, p. 1672-1675, Munich, 2012.

Wan, H. L.; Jiao, L. C. Change detection in SAR images by means of grouping connected regions using clone selection algorithm. **Electronics Letters**, v. 47, n. 5, 2011.

Wan, H. L.; Jung, C.; Hou, B.; Wang, G. T.; Tang, Q. X. Novel change detection in SAR imagery using local connectivity. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 10, n. 1, p. 174-178, 2013.

Wang, F.; Wu, Y.; Zhang, Q.; Zhang, P.; Li, M.; Lu, Y. Unsupervised change detection on SAR images using triplet markov field model. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 10, n. 4, p. 697-701, 2013.

Zhang, X.; Chen, J.; Meng, H. A novel SAR image change detection based on graph-cut and generalized gaussian model. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 10, n. 1, p. 14-18, 2013.

Zheng, J.; You, H. A new model-independent method for change detection in multitemporal SAR images based on radon transform and Jeffrey divergence. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 10, n. 1, p. 91-95, 2013.