

# UTILIZAÇÃO DA COERÊNCIA INTERFEROMÉTRICA SAR PARA MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO DA AMAZÔNIA

Juliana Maria Ferreira de Souza Diniz<sup>1</sup>, Fabio Furlan Gama<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Avenida dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, São José dos Campos - SP, CEP 12227-010

juliana.diniz@inpe.br, fabio.furlan@inpe.br

## 1. INTRODUÇÃO

### RESUMO

A utilização de dados SAR se mostra uma alternativa para o mapeamento de regiões tropicais, principalmente por serem pouco influenciados pela cobertura de nuvens. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial da utilização da imagem de coerência interferométrica ( $\lambda$ ) da banda C para mapeamento do uso e cobertura da terra (LULC), na região de Ariquemes-RO, tendo como parâmetro de comparação as imagens provenientes dos coeficientes de retroespalhamento ( $\sigma^0$ ). Foram processadas imagens SLC do Sentinel-1A obtendo-se os atributos de  $\lambda$  e  $\sigma^0$ . Para avaliar o potencial da imagem coerência, foram realizados três classificações através do *Random Forest*: C1) Apenas as imagens de  $\lambda$ ; C2) Apenas as imagens de  $\sigma^0$  e C3) As imagens de  $\lambda$  agregadas com os  $\sigma^0$ . A utilização da imagem de  $\lambda$  apresentou grande potencial para discriminação das classes temáticas, principalmente quando agregada com outros atributos, o que melhora significativamente o desempenho da classificação.

**Palavras-chave** — Mapeamento, radares, coerência interferométrica, Random Forest, Amazônia.

### ABSTRACT

*The use of SAR data is an alternative for mapping tropical regions, mainly for being little influenced by cloud cover. In this sense, the objective of this work was to evaluate the potential of the use of interferometric coherence ( $\lambda$ ) of C band for mapping land use and land cover (LULC) in Ariquemes – RO region, using the backscatter coefficient ( $\sigma^0$ ) as a comparison parameter. SLC images from Sentinel-1A were processed getting the  $\lambda$  and ( $\sigma^0$ ) attributes. To evaluate the potential of coherence image, three classifications through Random Forest were performed: C1) Only  $\lambda$  image; C2) Only  $\sigma^0$  images; C3)  $\lambda$  image combined with  $\sigma^0$  images. The use of  $\lambda$  image showed a great potential for discrimination of land cover features, mainly when combined with others attributes, which improves significantly the classification accuracy.*

**Key words** — mapping, radar, interferometric coherence, Random Forest, Amazon Forest.

Nas últimas décadas, os impactos do desmatamento e suas causas em regiões tropicais têm sido cada vez mais estudados. A Amazônia vem sofrendo com esses impactos, principalmente com a expansão da fronteira agrícola, que teve início na década de 1960 e ocorre até os dias de hoje [1]. Em 2016, o PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite) estimou 7.893 km<sup>2</sup> de corte raso na Amazônia Legal, indicando um aumento de 29% na área desmatada em relação ao ano anterior [2]. Já em 2017, o projeto observou uma redução de 16% em relação à 2016 [3]. Desse modo, o mapeamento do uso e cobertura da terra representa uma das formas de entender esses processos e encontrar soluções sustentáveis para diminuir sua taxa e melhorar a qualidade de vida nessas regiões [4].

A utilização de dados de radares de abertura sintética (SAR) se mostra uma alternativa para o monitoramento e mapeamento de regiões tropicais, principalmente por serem pouco influenciados pela cobertura de nuvens [5, 6]. Nesse caso, se tornam uma alternativa para a detecção de desflorestamentos em regiões tropicais, onde a probabilidade de obtenção de uma imagem de sensor óptico livre de nuvens é inferior a 10% na região amazônica [7].

Dentre as técnicas utilizadas para o processamento de imagens de radar, a interferometria se baseia na diferença de fase de um par de imagens do mesmo alvo com visadas diferentes, permitindo a geração do modelo de elevação do terreno [8, 9]. Uma maneira de avaliar a qualidade do interferograma é através da coerência interferométrica, medindo a correlação os pixels homólogos das duas imagens complexas [10].

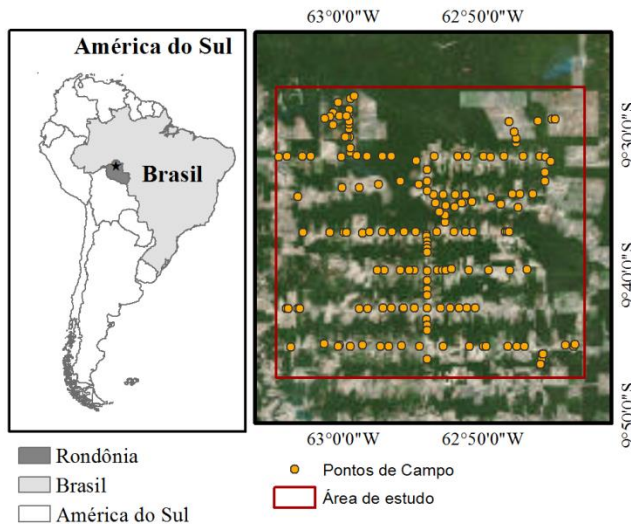
Além disso, a coerência interferométrica pode ser utilizada para mapeamento do uso e cobertura da terra, por possibilitar a separação entre áreas de florestas e não florestas [11]. Na imagem coerência, as áreas escuras estão relacionadas às áreas de floresta, que representam as áreas com baixa correlação, enquanto as áreas claras representam áreas com alta correlação, relacionadas ao solo exposto, ou seja, regiões estáveis.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial da utilização da imagem de coerência interferométrica da banda C para mapeamento do uso e cobertura da terra, na região de Ariquemes-RO, tendo como

parâmetro de comparação as imagens provenientes dos coeficientes de retroespalhamento ( $\sigma^0$ ).

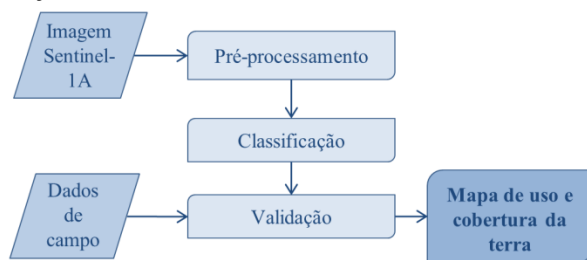
## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está situada na região de Ariquemes - RO, na região Amazônica (Figura 1), com uma área de aproximadamente 1.538 km<sup>2</sup>, sendo caracterizada por um intenso processo de antropização.



**Figura 1. Localização geográfica da área de estudo e pontos coletados em campo.**

Para a realização deste estudo foram realizadas as etapas ilustradas no fluxograma da Figura 2, que são divididas em três principais etapas: Pré-processamento, classificação e validação dos resultados.



**Figura 2. Fluxograma de atividades do trabalho.**

Para o processamento interferométrico foram utilizadas duas imagens do Sentinel-1A, no modo *Single Look Complex* (SLC), adquiridas em Setembro de 2017 (13/09 e 25/09). As etapas de pré-processamento foram realizadas no *Software* SNAP 4.0. A operação *Split* foi empregada para dividir as subfaixas e obter a subfaixa de interesse IW2 que recobria a área de estudo. Em seguida, aplicou-se a operação *Deburst* que permite a obtenção de uma imagem contínua.

Para a geração da imagem de coerência interferométrica foi realizado o corregristo das duas imagens e o cálculo da

coerência interferométrica (Equação 1) foi feito utilizando-se uma janela de 10x3.

$$\gamma = \frac{|\sum S_1(X) \cdot S_2(X)^*|}{\sqrt{\sum |S_1(X)|^2 \cdot \sum |S_2(X)|^2}}$$

Onde  $S_1$  e  $S_2$  representam as duas imagens complexas Sentinel corregristadas.

Em seguida, para o tratamento do ruído *Speckle* foram aplicadas as técnicas *Multilooking* com 4 looks e o filtro Lee com uma janela de 5x5. Por fim, foi realizada a correção das distorções do relevo através da ferramenta *Terrain Correction*, empregando o modelo digital do terreno do Alos-PALSAR.

Já para obtenção dos coeficientes de retroespalhamento ( $\sigma_{VH}^0$  e  $\sigma_{VV}^0$ ) foram aplicados o *Multilooking* e o filtro Lee com os mesmos parâmetros e em seguida foi realizada a calibração radiométrica para valores de retroespalhamento no alcance do terreno ( $\sigma^0$ ). Então, aplicou-se a operação *Terrain Correction*.

Para avaliar o potencial da utilização da imagem coerência interferométrica, foram realizados três classificações: C1) Apenas as imagens de coerência interferométrica; C2) Apenas as imagens de coeficientes de retroespalhamento e C3) As imagens de coerência agregadas com os coeficientes de retroespalhamento.

As classificações pixel-a-pixel foram realizadas através do classificador *Random Forest* [12] no *software* R Studio [13], onde foram definidos os parâmetros *Ntree* igual a 500 e *Mtry* correspondente à raiz quadrada do número de variáveis de entrada [14], buscando-se discriminar as classes: AG: Agricultura; FP: Floresta Primária; PA: Pastagem e SS: Sucessão Secundária.

A validação do desempenho classificatório foi realizada através da matriz de confusão e do índice Kappa, utilizando-se como base pontos coletados em campo em Setembro de 2017 (Figura 1).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nota-se a partir da Tabela 1 que a utilização apenas das imagens provenientes da coerência interferométrica (C1) apresentou resultado muito próximo da classificação realizada com os coeficientes de retroespalhamento (C2), apresentando uma diferença de 2%, com uma acurácia global igual a 48% e um valor de Kappa igual a 0,27.

**Tabela 1. Resultado das classificações.**

Classificações	AG	Kappa
C1	0,48	0,27
C2	0,50	0,30
C3	0,62	0,46

Quando se analisa a combinação das imagens de coerência interferométrica com as do coeficiente de retroespalhamento, nota-se que houve uma melhora de 14% na acurácia global, e em relação às classificações C1 e C2, e



esta acurácia melhorou em 12%, mostrando que a utilização das imagens de coerência interferométrica apresenta uma grande contribuição para o mapeamento.

Analisando-se as acurácias do produtor e usuário das classificações (Figuras 3 e 4), nota-se que a classificação C3 apresentou os melhores resultados para todas as classes temáticas analisadas. Nesse caso, a classe AG apresentou os maiores acertos, com valores de acurácia do produtor e usuário iguais a 77,4% e 79,1%, respectivamente. Enquanto a classe SS apresentou os menores valores com a classificação C3, correspondentes a 21,7% e 47,6% para as acurácias do produtor e usuário, respectivamente.

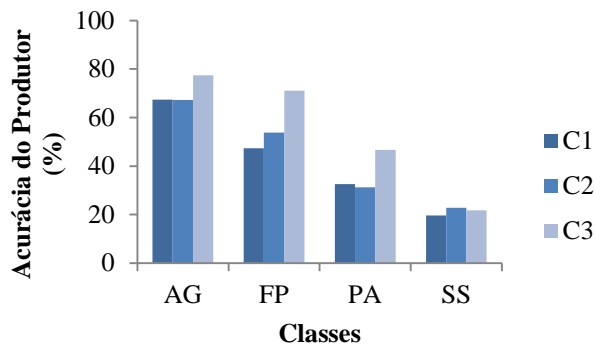


Figura 3. Acurácias do produtor para as classes temáticas analisadas.

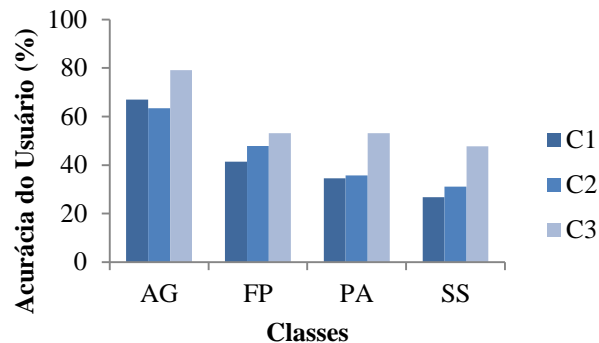


Figura 4. Acurácias do usuário para as classes temáticas analisadas.

Outros autores observaram esse potencial de utilização da Coerência Interferométrica para o mapeamento do uso e cobertura do solo. [15] avaliou o potencial de utilização das imagens de coerência interferométrica da banda C, presentes nos satélites ERS-1/2 para separação de floresta/não floresta e para o mapeamento do uso e cobertura da terra em áreas de florestas tropicais e observou que a imagem coerência apresentou bons resultados em todas as classificações, tanto isoladamente quanto em conjunto com outras imagens.

Outras pesquisas [16] empregando imagens coerência e coeficientes de retroespalhamento a partir do Sentinel-1A discriminaram 4 classes de uso e cobertura da terra e observaram que a combinação da imagem coerência com os atributos provenientes do coeficiente de retroespalhamento apresentaram maior efetividade para o mapeamento de diferentes classes de uso e cobertura da terra.

Como observado, a classificação C3 apresentou os

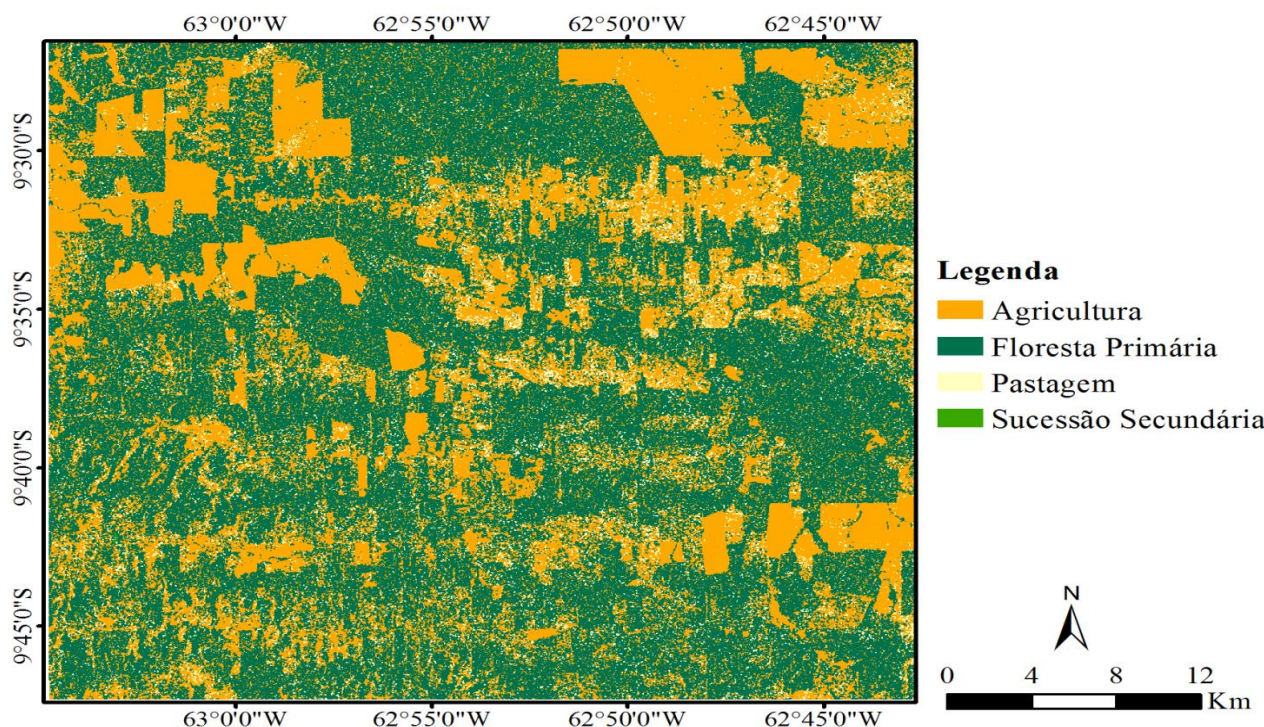


Figura 5. Mapa de uso e cobertura da terra com a classificação C3.

melhores resultados para o mapeamento. Quando se analisa o mapa de uso e cobertura da terra resultante (Figura 5), percebe-se uma melhor acurácia para as áreas agrícolas e a uma maior confusão com a classe de Sucessão Secundária, que praticamente não é observada no mapa, ou seja, apenas alguns pixels foram classificados como SS.

Esse resultado está relacionado a vários fatores como à característica das imagens de radar, ao método de classificação pixel-a-pixel, e principalmente à característica da área de estudo, que apresenta um alto grau de antropização e degradação.

#### 4. CONCLUSÕES

A utilização da imagem de coerência interferométrica se mostrou um atributo com grande potencial para discriminação das classes temáticas, principalmente quando agregado com outros, o que melhora significativamente o desempenho da classificação. Estudos futuros serão desenvolvidos utilizando-se outros atributos provenientes das imagens de radar, buscando-se melhor a acurácia dos mapeamentos.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao projeto “Monitoramento Ambiental por Satélite no Bioma Amazônia” pelo apoio durante a coleta de dados em campo.

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] Nascimento, T.V.D.; Fernandes, L.L. “Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia.” *Ciência e Natura*, v.39, n.1, pp. 170-178, 2017.
- [2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). “PRODES estima 7989km<sup>2</sup> de desmatamento por corte raso na Amazônia em 2016.” 2016. Disponível em: [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=4344](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4344). Acessado em: 23 de janeiro de 2018.
- [3] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). “**Projeto PRODES**: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite.” 2017. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>. Acesso em: 20 de janeiro de 2018.
- [4] Lorena, R.B. “*Linking spatial patterns of land-use to agents of deforestation in the Brazilian Amazon.*” 176 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Católica de Louvain, Louvain-la-Neuve, 2008.
- [5] Henderson, F.M.; Lewis, A.J. “Principles & Applications of Imaging Radar, Manual of Remote Sensing”. John Wiley & Sons 3. ed., New York, pp.866, 1998.
- [6] Engelbrecht, J.; Theron, A.; Vhengani, L.; Kemp, J. “A Simple Normalized Difference Approach to Burnt Area Mapping Using Multi-Polarisation C-Band SAR.” *Remote Sensing*, v.9, pp.764, 2017.
- [7] Asner, G.P. “Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon”. *International Journal of Remote Sensing*, v. (22), n. (18), pp. 3855-3862, 2001
- [8] Graham, L.C. “Synthetic Interferometer Radar for Topographic Mapping.” *Proceedings of the IEEE*, v.62, n.6, pp.763-768, 1974.
- [9] Gama, F.F.; Paradella, W.R.; Mura, J.C.; Santos, A.R. “Técnicas de interferometria radar na detecção de deformação superficial utilizando dados orbitais.” In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu. *Anais...* São José dos Campos: INPE, pp. 8405-8412, 2013.
- [10] Zebker, H.A.; Villasenor, J. “Decorrelation in interferometric radar echoes.” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. (30), n. (5), pp.950-959, 1992.
- [11] Askne, J.; Smith, G. “Forest INSAR decorrelation and classification properties.” In: ESA Workshop on applications of ERS SAR interferometry, Fringe/96, 1996.
- [12] Liaw, A. Wiener, M. “Classification and Regression by random Forest.” *R News*, v.2, n.3, pp.18-22, 2002.
- [13] R Core Team. R: “A language and environment for statistical computing”. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018.
- [14] Gislason, P.O.; Benediktsson, J.A.; Sveinsson, J.R. et al. “Random Forests for land cover classification.” *Pattern Recognition Letters*, v.27, n.4, pp.294-300, 2006.
- [15] Gaboardi, C. “Utilização de imagem de coerência SAR para classificação do uso da terra: Floresta Nacional do Tapajós.” Dissertação – Mestrado em Sensoriamento Remoto, INPE, pp.139, 2003.
- [16] Khalil, R.Z.; Saad-ul-Hanque. “InSAR coherence-based cover classification of Okara, Pakistan.” *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, v.21, pp.S23-S28, 2018.