

CLASSIFICAÇÃO INSAR DA VEGETAÇÃO NATIVA NO USO E COBERTURA DO SOLO EM ÁREAS DE TRANSIÇÃO CERRADO/MATA ATLÂNTICA

Allita Rezende dos Santos¹, Talysson Borille², Rhayane Carvalho Roque³, Frederico Fábio Mauad⁴

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais, Av. Trabalhador São Carlense, 400, Parque Arnold Schimidt, São Carlos – SP, [1allita@usp.br](mailto:allita@usp.br), [2bolleli@usp.br](mailto:bolleli@usp.br), [3rhayaneroque@usp.br](mailto:rhayaneroque@usp.br), [4mauadffm@sc.usp.br](mailto:mauadffm@sc.usp.br)

RESUMO

Os sensores de micro-ondas, entre eles os Radars de Abertura Sintética (SAR) podem observar a superfície da terra independentemente de nuvens, escuridão e precipitação. O objetivo desse trabalho é avaliar o potencial das imagens de coerência interferométrica para discriminar a classe da vegetação nativa em áreas de transição Cerrado/Mata Atlântica. Para avaliar o potencial InSAR na classificação do uso e cobertura do solo nessas áreas foram realizadas as classificações C1, C2 e C3. O modelo utilizado neste trabalho pode ser empregado para estudos de gestão de território e sustentabilidade de bacias hidrográficas.

Palavras-chave — Interferometria, Sensoriamento Remoto, Uso e Cobertura da terra, Coerência Interferométrica, Cerrado.

ABSTRACT

Microwave sensors, among them Synthetic Aperture Radars (SAR) can observe the earth's surface regardless of clouds, darkness, and precipitation. The objective of this work is to evaluate the potential of interferometric coherence imagery to discriminate native vegetation class in Cerrado/Atlantic Forest transition areas. To evaluate the InSAR potential in the classification of land use and land cover in these areas, C1, C2 and C3 classifications were performed. The model used in this work can be employed for land management and watershed sustainability studies.

Key words — Interferometry, Remote Sensing, land use and land cover, interferometric coherence, Cerrado.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro e a maior área de savana da América do Sul [5]. Parte de sua vegetação nativa vem sendo substituída por áreas ocupadas com agricultura e pastagens, 45% do território. Na Mata Atlântica, a área de agropecuária é ainda maior, ocupando dois terços (66,7%) do bioma [6].

Para entender toda essa dinâmica de substituição da vegetação nativa, os mapas de uso e ocupação do Solo são

ferramentas essenciais. Utiliza-se com frequência para confecção desses mapas, as imagens de sensores remotos.

Os sensores remotos mais utilizados nesses mapas são os sensores ópticos, por serem mais fáceis de serem interpretados, no entanto, eles têm grandes limitações em algumas épocas do ano devido as coberturas por nuvens, por isso os sensores de micro-ondas, entre eles os Radars de Abertura Sintética (SAR) podem observar a superfície da terra independentemente de nuvens, escuridão e precipitação.

A interferometria SAR (InSAR) está baseada na associação de duas imagens SAR, adquiridas sobre a mesma área, com uma geometria de aquisição levemente dissemelhante uma da outra, para consequência de interferometria, ou diferença de fase [4].

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é avaliar o potencial das imagens de coerência interferométrica para discriminar a classe da vegetação nativa em áreas de transição Cerrado/Mata Atlântica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é compreendida pela Bacia Hidrográfica do Reservatório do Lobo (BHRL), que possui área de aproximadamente 230 km². Está localizada (Figura 1) na região centro-oeste do Estado de São Paulo, entre as cidades de Brotas e Itirapina, sob as coordenadas geográficas 22°15'S e 47°49'O.

O Reservatório do Lobo (1936) foi construído para geração de energia elétrica, e atualmente, também é utilizado para fins de irrigação, turismo e pesquisa [1]. O represamento do Lobo é formado pela contribuição dos córregos Perdizes, da Água Branca, do Limoeiro, do Geraldo e principal contribuição do rio Itaqueri e do ribeirão Lobo. A região está inserida na bacia hidrográfica do rio Tietê e consequentemente nas bacias hidrográficas do rio Paraná e do rio da Prata.



Figura 1. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Reservatório do Lobo.

A Figura 2 apresenta o fluxograma contendo as etapas metodológicas que foram utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho. As principais etapas foram o pré-processamento dos atributos, a correção do terreno, a classificação do uso e cobertura do solo e por fim, a validação junto aos dados de campo.

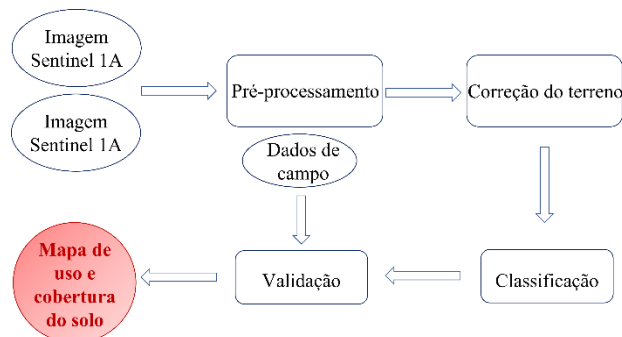


Figura 2. Fluxograma contendo as principais etapas utilizadas na metodologia empregada neste trabalho.

As etapas de pré-processamento e correção do terreno dos atributos foram realizadas no *software* SNAP 4.0. Os dados de entrada do sistema são as duas imagens do satélite Sentinel 1A, sensor de banda C com polarização dual (VV, VH), que foram utilizadas para o processamento interferométrico. As imagens são datadas de abril de 2022 e foram obtidas de forma gratuita no *site* do Copernicus (*Copernicus Open Access Hub, European Space Agency - ESA*), no modo *Single Look Complex* (SLC).

Os atributos obtidos durante o pré-processamento dos dados foram os coeficientes de retroespalhamento (σ_{VH}^0 e σ_{VV}^0), a decomposição polarimétrica (H e α), a coerência interferométrica (γ_{VH} e γ_{VV}) e os índices razão crosspolarizada (RC_2) e *radar vegetation index* (RVI). O *Split* foi utilizado para dividir as subfaixas das imagens e selecionar a subfaixa de interesse que recobre a área de estudo. Em seguida, o *Deburst* foi utilizado para obtenção de uma imagem contínua.

Os atributos foram obtidos por meio das técnicas *Multilooking*, o filtro Lee para coeficientes de retroespalhamento (σ_{VH}^0 e σ_{VV}^0), filtragem polarimétrica e decomposição H-Alpha (H e α). Por fim, o corregristo foi realizado nas duas imagens e o cálculo da coerência interferométrica (Equação 1) foi aplicado utilizando-se uma janela de 10×3 . As distorções do relevo foram corrigidas por meio da técnica *Terrain Correction* com a utilização do modelo digital de elevação do terreno do Alos-PALSAR.

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

Onde S_1 e S_2 representam as duas imagens do satélite Sentinel 1A (SLC).

Para avaliar o potencial InSAR na classificação do uso e cobertura do solo em áreas de transição Cerrado/ Mata Atlântica, foram realizadas as classificações C1: coeficientes de retroespalhamento e decomposição polarimétrica; C2: coerência interferométrica e índices de vegetação; C3: todos os atributos.

O *software R Studio* permitiu o cálculo dos índices RC_2 e RVI e a aplicação do algoritmo *Random Forest* para a classificação e obtenção do mapa de uso e cobertura do solo, onde foram definidos os parâmetros *Ntree* igual a 500 e *Mtry* correspondente a raiz quadrada do número de variáveis de entrada, a fim de discriminar as classes Agricultura, Água, Área Urbana, Cerrado Brasileiro, Vegetação Nativa, Pastagem e Reflorestamento.

A validação do desempenho classificatório foi realizada por meio da matriz de confusão, utilizando-se como os base pontos coletados em campo em setembro de 2022 (Figura 1).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores de acurácia global (AG) e Kappa para cada classificação realizada. Os resultados mostraram que a utilização da imagem de coerência interferométrica junto com os dois índices de vegetação (C2) não foi o suficiente para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo, apresentando os resultados de AG e Kappa muito baixos. A utilização de todos os atributos (C3) apurou melhores resultados para a classificação do uso e cobertura do solo em áreas de vegetação nativa em transição Cerrado/Mata Atlântica. As classificações C2 e C3 obtiveram diferenças de 21,18 % e 27,44 % de valores de AG e Kappa, respectivamente. Já a classificação C1 e C3 obtiveram diferenças de 12,28 % e 14,69 % de AG e Kappa, respectivamente.

[2], avaliaram o potencial da coerência interferométrica isoladamente para mapeamento do uso e cobertura da terra na região da Amazônia. Os autores constataram que a coerência interferométrica possui um potencial maior como atributo de classificação do que os coeficientes de retroespalhamento. O presente estudo verificou que o potencial dos coeficientes de retroespalhamento, como atributo de classificação, melhoram quando são processados junto com a decomposição

polarimétrica. Foram identificados valores de AG e Kappa que demonstram acurácia de 58,01 % e 46,23 %, respectivamente para a classificação utilizando como atributos coeficientes de retroespalhamento e decomposição polarimétrica. O que indica que a utilização dos coeficientes de retroespalhamento junto com a decomposição polarimétrica (C1) é mais adequada do que a utilização da coerência interferométrica junto com os índices de vegetação (C2), no entanto, quando todos os atributos são utilizados em conjunto o resultado é ainda mais acurado, com valores de AG e Kappa de 69,29 % e 60,92 %, respectivamente.

Classificações	Acurácia Global (AG)	Kappa
C1	58,01 %	46,23 %
C2	48,11 %	33,48 %
C3	69,29 %	60,92 %

Tabela 1. Resultados das classificações.

A Figura 3 apresenta as acurácias do produtor (AP) para as classes temáticas avaliadas neste estudo. A classificação que obteve resultados mais satisfatórios foi a da Água. Os resultados demonstraram que para as classificações C1 e C3 a classe Água obteve os maiores valores de AP, 99,93 % e 100 %, respectivamente. Em seguida, Cerrado e Reflorestamento que obtiveram melhores AP em todas as classificações. Cerrado com 72,05 % (C1), 75,69 % (C2) e 83,71 % (C3) e Reflorestamento com 57,78 % (C1), 59,37 % (C2) e 78,44 % (C3).

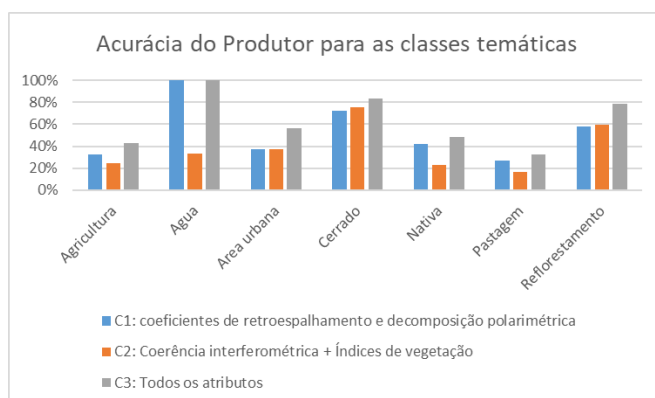


Figura 3. Acurácias do produtor para as classes temáticas avaliadas.

A Figura 4 apresenta as acurácias do usuário (AU) para as classes temáticas avaliadas neste estudo. Nesse caso, as classificações mais satisfatórias foram a da Água e da Área Urbana, por conta de possuírem a interpretação facilitada durante o processo de coleta de amostras de treinamento e pelo resultado final observado. A classe temática Água obteve valores de AU de 100 % para as classificações C1 e C3, com excessão de AU de 37,79 % para a classificação C2.

A classe temática Área Urbana obteve valores de AU de 91,89 % (C1), 72,83 % (C2) e 95,33 % (C3).

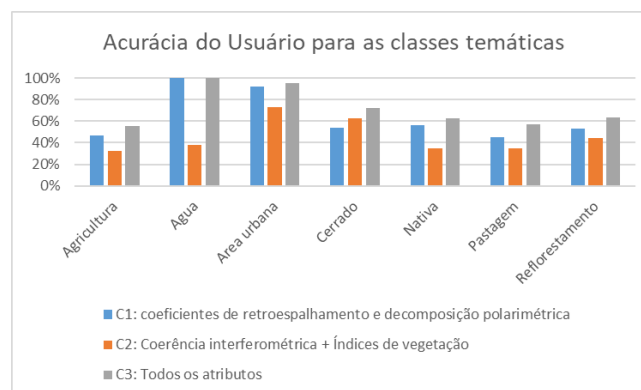


Figura 4. Acurácias do usuário para as classes temáticas avaliadas.

A Figura 5 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo obtido a partir de dados InSar para a BHRL. As Figuras 3 e 4, demonstraram que as classes temáticas mais difíceis de classificar foram Pastagem e Agricultura e possuem os menores valores de AP e AU, sendo identificado também por [3]. Dessa forma, os três tipos de classificações processaram com confusão as classes temáticas com valores baixos de AP e AU. Na melhor das classificações (C3), é possível perceber na região sul do mapa final poucas áreas classificadas como Pastagem, o que indica a pouca precisão em distinguir a diferença entre as classes Pastagem e Agricultura.

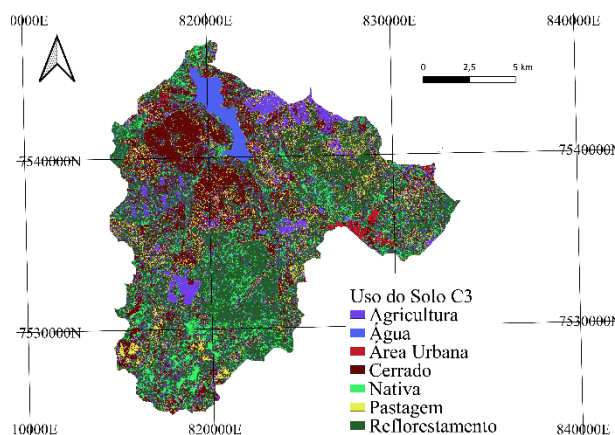


Figura 5. Mapa de uso e ocupação do solo InSar da BHRL.

No entanto, o objetivo desse trabalho consistiu em classificar com maior ênfase a vegetação nativa no uso e cobertura do solo em áreas de transição Cerrado/ Mata Atlântica. Particularmente, o Cerrado obteve valores de acurácia AP e AU melhores do que a Nativa que consiste basicamente em Mata Atlântica, para a classificação C3. O Cerrado e a Nativa obtiveram valores de AP de 83,71 % e

48,27 %, e obtiveram valores de AU 71,83 %, 62,31 %, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho consistiu em avaliar o potencial interferométrico junto de outros atributos de dados de radar para a classificação da vegetação nativa no uso e cobertura do solo em áreas de transição Cerrado/ Mata Atlântica. A classificação utilizando todos os atributos avaliados obteve resultados melhores de acurácia geral verificados. O que torna o objetivo do trabalho cumprido com sucesso. No entanto, identificar a vegetação nativa foi mais trabalhoso a partir dos atributos utilizados, causando algumas confusões que se configuraram em erros de omissão e inclusão. Já no caso do Cerrado, que é uma região campestre compreendendo matas menos densas, a classificação foi satisfatória apresentando valores melhores de acurácia. O que indica que o modelo utilizado neste trabalho pode ser empregado para estudos de gestão de território e sustentabilidade de bacias hidrográficas.

5. REFERÊNCIAS

- [1] R. Campregher and R. C. Martins, “O ‘Modelo Broa’ e a produção de conhecimento científico sobre o meio ambiente,” *Desenvolv. e Meio Ambient.*, vol. 40, no. 3, pp. 141–158, Apr. 2017, doi: 10.5380/dma.v40i0.49243.
- [2] J. M. F. de S. Diniz, F. F. Gama, and M. Adami, “Evaluation of polarimetry and interferometry of sentinel-1A SAR data for land use and land cover of the Brazilian Amazon Region,” *Geocarto Int.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–19, 2020, doi: 10.1080/10106049.2020.1773544.
- [3] B. H. Miguel and E. E. Sano, “UTILIZAÇÃO DE IMAGENS INSAR PARA CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA DO DISTRITO FEDERAL,” *An. do XIX Simpósio Bras. Sensoriamento Remoto2*, pp. 275–278, 2019.
- [4] Temporim, F. A., Gama, F. F., Mura J. C., Paradella, W. R., Silva, G. G., 2017. Application of persistente scatterers interferometry for surface displacements monitoring in N5E open pit iron mine using TerraSAR-X data, in Carajás Province, Amazon region. *Brazilian Journal of Geology* 47, 225-235.
- [5] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado. Projeto TerraClass Cerrado. Brasília: MMA, 2018.
- [6] MAPBIOMAS. Biomas brasileiros. 2020. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/midia/imagem/map-biomas-br>.