

COMBINAÇÃO DE DADOS SENTINEL NO MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO DA REBIO NASCENTES DA SERRA DO CACHIMBO

Philippe Souza Simões¹, Isadora Haddad¹, Gabriel Máximo da Silva¹, Sidnei João Siqueira Sant'Anna¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 12.227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil, {philipe.simoes; isadora.ruiz; gabriel.maximo; sidnei.santanna}@inpe.br

RESUMO

Esta pesquisa objetivou experimentar a combinação de dados Sentinel-1 (S1) e Sentinel-2 (S2) no mapeamento do uso e cobertura do solo da Unidade de Conservação Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo no estado do Pará a partir do método *Random Forest*. Para avaliar a acurácia da classificação, utilizaram-se imagens de alta resolução do sensor WPM a bordo da plataforma CBERS-4A. A acurácia global da classificação a partir da combinação entre dados S1 e S2 foi de 75.44%, e o índice Kappa igual a 0.655. A partir da imagem S2, obteve-se acurácia global de 64.34% e Kappa de 0.522. Por fim, a partir somente dos dados de radar, obteve-se acurácia global de 35.5% e Kappa igual a 0.166.

Palavras-chave — Sentinel-1, Sentinel-2, Uso e Cobertura do Solo, CBERS-4A.

ABSTRACT

This study purposes to test the combination of Sentinel-1 (S1) and Sentinel-2 (S2) datasets for land use and land cover (LULC) mapping of Nascentes da Serra do Cachimbo Biological Reserve using the Random Forest classifier. The assessment of classification was done using high-resolution imagery of CBERS 4A WPM sensor. The overall accuracy of classification using the combination of S1 and S2 data was 75.44% and Kappa index equals to 0.655. Using the S2 imagery, the overall accuracy was 64.34% and Kappa index equals to 0.522. Lastly, using only radar imagery, the overall accuracy was 35.5% and Kappa index equals to 0.166.

Key words — Sentinel-1, Sentinel-2, LULC, CBERS-4A.

1. INTRODUÇÃO

Sensores remotos que operam com diferentes princípios físicos e registram a radiação eletromagnética (REM) refletida (sensores ópticos), emitida (sensores termais) ou sensores micro-ondas passivos) e retroespalhada (sensores micro-ondas ativos) fornecem uma gama de informações sobre as propriedades e características da cobertura da terra em diferentes resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais [1,2].

Apesar dos progressos nos estudos científicos relacionados às mudanças no uso e cobertura do solo, ainda persistem desafios para mapear este processo dinâmico a partir de dados de Sensoriamento Remoto [1]. Com objetivo de superar as limitações existentes no estudo de uso e cobertura do solo, abordagens que envolvam a combinação de dados ópticos e de *Synthetic Aperture Radar* (SAR) têm sido implementadas.

Podem-se obter benefícios em combinar e fusionar estes dados para estudos de cobertura do solo, uma vez que o espectro óptico da REM interage com as características físico-químicas dos alvos terrestres, ao passo que no espectro das micro-ondas, interage com as propriedades geométricas e dielétricas dos alvos [3].

No escopo do programa Copernicus da Agência Espacial Europeia (ESA), a família de satélites Sentinel tem por objetivo fornecer produtos que subsidiem o aprimoramento da gestão ambiental, entendimento e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e garantir a segurança civil. Para isso, a família de satélites Sentinel possui como alguns de seus requisitos a cobertura global e sistemática de longo prazo e profusão de métodos de sensoriamento remoto [4].

Nesse quesito, destacam-se as plataformas Sentinel-1 (A e B) e Sentinel-2 (A e B), que transportam sensores SAR e óptico, respectivamente. As plataformas Sentinel-1 embarcam um sensor SAR de banda C que opera em polarização simples ou dual, a depender dos modos de imageamento. As plataformas Sentinel-2 embarcam o *MultiSpectral Instrument* (MSI), um sensor multiespectral com 13 bandas espectrais. Em relação à resolução espacial, quatro bandas possuem 10 m, seis bandas possuem 20 m e três bandas possuem 60 m.

É imperativo entender os padrões de uso e cobertura do solo, tendo em vista estudos de biodiversidade, mudanças climáticas e implementação de políticas públicas [5]. Nesse contexto, uma forma de implementação de políticas públicas que visem à redução das perdas de biodiversidade diante da degradação ambiental da fauna e da flora diz respeito às Unidades de Conservação (UCs) [6].

Apesar dos esforços para conservação da natureza, a região amazônica acumula elevadas taxas de desflorestamento [5]. De acordo com os dados do PRODES, o estado do Pará possui a maior taxa de desmatamento acumulada da Amazônia Legal, acumulando um total de 152.475,00 km² de área desmatada entre 1968 e 2019 [7].

Nesse contexto, ocorre a conversão da cobertura natural do solo para outros tipos de paisagens, com características físicas (cobertura) e propósitos (uso) de interesse do homem.

Desse modo, esta pesquisa objetiva experimentar a combinação de dados Sentinel-1 (S1) e Sentinel-2 (S2) no mapeamento do uso e cobertura do solo da UC Reserva Biológica (Rebio) Nascentes da Serra do Cachimbo (RBNSC), no estado do Pará, utilizando o classificador *Random Forest* (RF), bem como avaliar a acurácia do mapeamento a partir de imagens de alta resolução do sensor WPM a bordo da plataforma CBERS 4A.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A UC RBNSC foi criada por Decreto Federal em 20 de maio de 2005 e localiza-se ao sul do estado no Pará, abrangendo os municípios de Altamira e Novo Progresso. A RBNSC compreende uma área de 342.477 ha no Bioma Amazônia. O ecossistema é de ambientes submontanos de Floresta Ombrófila Densa e Aberta, Floresta Estacional e Floresta Aluvionar e extensas áreas abertas com Campinarana e manchas de Vegetação Rupestre e Buritizais [8].

As unidades de relevo da presentes na RBNSC podem ser caracterizadas como Serra do Cachimbo, Chapada do Cachimbo e Depressão Periférica do Sul do Pará, com altimetria que pode chegar à 743 m [8]. A RBNSC está presente no grupo das UCs de proteção integral, na categoria de Rebio, que tem como principal objetivo a preservação integral da UC [9].

Contudo, cerca de 200 famílias ainda habitam o interior da UC e desenvolvem atividades de agricultura e pecuária, atividades estas relacionadas aos processos de desflorestamento que ocorrem na UC. Estas atividades fogem do escopo das ações legalmente apropriadas à unidade, que dizem respeito à fiscalização, pesquisa e reuniões comunitárias [8,9]. A Figura 1 apresenta o mapa de localização da RBNSC.

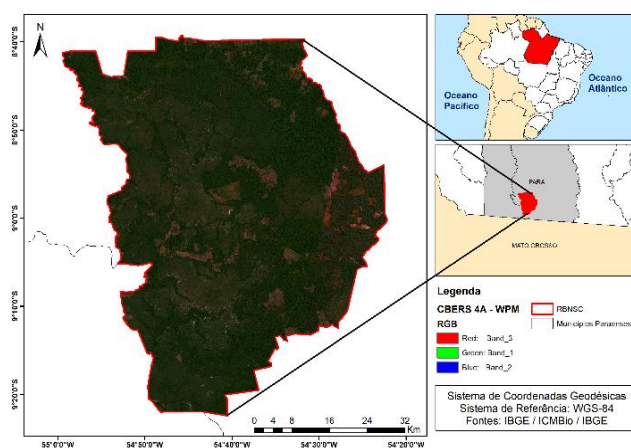


Figura 1. Localização da RBNSC. À esquerda, mosaico de imagens do sensor WPM fusionado com a banda pancromática com tamanho do pixel de 2 m.

2.2. Conjunto de dados

O conjunto de dados desta pesquisa é composto por dois produtos Level-1 *Single Look Complex* (SLC) do sensor SAR-C a bordo da plataforma Sentinel-1A, dois produtos Level-2A obtidos pelo sensor MSI a bordo da plataforma Sentinel-2A. Os produtos Level-2A correspondem a imagens de reflectância de superfície em geometria cartográfica.

Além disso, obtiveram-se 4 cenas do sensor WPM, a bordo da plataforma CBERS 4A. As bandas multiespectrais possuem 8 m de resolução espacial, e a banda pancromática, 2 m, permitindo assim a fusão entre as bandas multiespectrais e pancromática, com o objetivo de aumentar o nível de detalhes da imagem. Características sobre os dados utilizados são apresentados na Tabela 1.

Sensor/Plataforma	Tipo do Produto	Órbita	Modo	Polarização	Cenas	Data
SAR-C/S1A	SLC	Descendente	IW	VH/VV	2	8/8/20
MSI/S2A	Level-2A	Descendente	-	-	2	9/8/20
WPM/CBERS 4A	L4	-	-	-	2	21/7/20
		-	-	-	2	26/7/20

Tabela 1. Características das imagens utilizadas.

2.3. Processamento

Nesta pesquisa, realizou-se uma cadeia de processamento SAR em amplitude básica, baseada em estudos que já executaram procedimentos para combinação de dados Sentinel-1 e Sentinel-2 a partir produtos SLC [10,11]. Para as imagens MSI, realizou-se a reamostragem do tamanho dos pixels de todas as bandas espectrais para 10 m, seguido do mosaico entre as imagens.

Em relação às imagens WPM, realizou-se o mosaico entre as quatro cenas e posteriormente a fusão com a banda pancromática. O propósito de utilização desta imagem consiste na interpretação visual e obtenção das feições a serem utilizadas como feições de validação, para avaliar a acurácia do mapeamento. A Figura 2 apresenta a cadeia de processamento aplicada às imagens.

As imagens Sentinel-1 foram associadas a partir da técnica *Slice Assembly*. Na sequência, realizou-se a separação do *subswath* e *bursts* pela técnica *Split*, tendo em vista diminuir o tamanho da cena e melhorar o tempo de processamento. Ademais, foi executada uma metodologia consolidada [10], onde se aplicaram órbitas precisas, realizou-se o *Deburst*, *Multilooking*, remoção do ruído termal, filtragem *speckle*, calibração radiométrica, conversão da unidade para decibel e correção do terreno.

Para a correção do terreno, utilizou-se o método *Range-Doppler Terrain Correction*, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) SRTM de 1 arco de segundo (30 m), onde se definiu o tamanho do *pixel* de 10x10 m. Ao final, criou-se uma banda adicional pela subtração entre as bandas VV e VH. Nesta pesquisa, optou-se por não utilizar índices espectrais, tendo em vista a avaliação dos dados diretamente oferecidos pelos sensores.

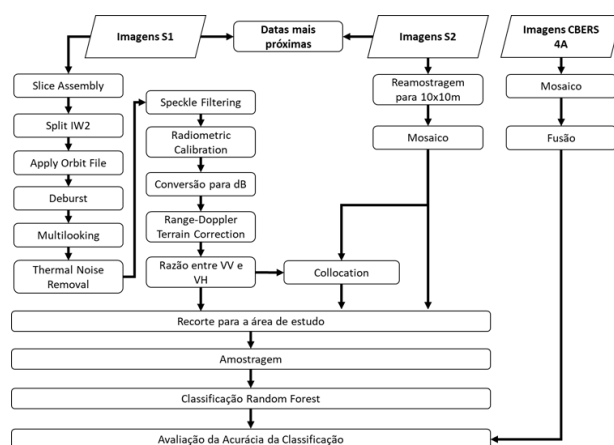


Figura 2. Cadeia de processamento para classificação do uso e cobertura do solo pelo método *Random Forest* (RF) utilizando dados Sentinel-1 e Sentinel-2, com validação a partir de dados CBERS 4A (WPM).

De posse das imagens Sentinel 1 e 2 processadas, executou-se o *Collocation*. Este procedimento cria um empilhamento entre as bandas de entrada, onde os valores dos *pixels* de um produto (*Slave*) são reamostrados para o raster geográfico do segundo produto (*Master*). Neste estudo, a imagem escolhida como *Master* foi a Sentinel-1. Os dados Sentinel foram processados na plataforma *Sentinels Application Platform* (SNAP).

2.4. Definição das classes e amostragem

Conforme discutido na caracterização da área de estudo (Seção 2.2.), a RBNSC possui diversos tipos de cobertura vegetal e classes de uso e cobertura do solo. Desse modo, buscou-se experimentar a combinação dos dados a partir da definição de classes de forma minimalista, com base nas legendas da Coleção 4 do projeto MapBiomias.

Para o recorte da RBNSC, o mapa de uso e cobertura da Coleção 4 do MapBiomias apresentou em maior expressão as legendas Floresta Primária, Formação Natural Não Florestal, Agropecuária e Corpo D'água [12]. Desse modo, para esta pesquisa, foram consideradas as classes Floresta, Formação Natural Não Florestal, Solo Exposto / Agropecuária e Corpo D'água.

As amostras de treinamento foram obtidas sobre a imagem Sentinel-2 e foram utilizadas em todas as classificações realizadas, dada a melhor capacidade de

distinção entre as classes. Realizada a amostragem, executou-se a classificação *Random Forest*. A Figura 3 denota as classes selecionadas nas imagens Sentinel. Ao total, foram utilizados 39 polígonos, sendo 8 referentes à Floresta, 11 à Formação Natural Não Florestal, 12 à Solo Exposto/Agropecuária e 8 à Corpos D'água, compreendendo 2552 *pixels*.

Classe	S1 (R: VV; G: VH; B: VV-VH)	S2 (R: B4; G: B3; B: B2)	S2 (R: B12; G: B8; B: B4)
Floresta			
Formação Natural Não Florestal			
Solo Exposto / Agropecuária			
Corpo D'água			

Figura 3. Caracterização das classes definidas para classificação.

3. RESULTADOS

Os mapas de uso e cobertura da RBNSC resultantes das classificações RF são apresentados na Figura 4. Visualmente, as classificações com menor incidência de ruídos são dadas pelos mapas A e C, oriundos da classificação das imagens Sentinel-2 e Sentinel-1 + Sentinel-2, respectivamente.

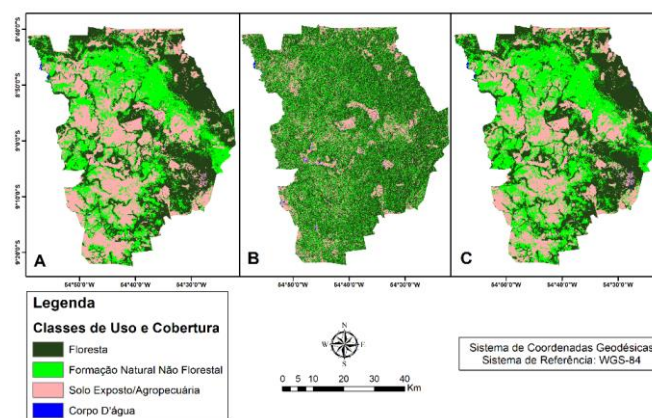


Figura 4. Mapas resultantes da classificação RF. (A) corresponde à classificação realizada sobre a imagem Sentinel-

2, (B) corresponde à classificação realizada sobre a imagem Sentinel-1 e (C), à combinação entre elas.

A conformidade observada entre os resultados (A) e (C) é comprovada pelo resultado das acurácias globais e índices Kappa calculados, apresentados na Tabela 2.

	Acurácia Global	Kappa	Rank
S-1 + S-2	75.44%	0.655	1
S-2	64.34%	0.522	2
S-1	35.20%	0.166	3

Tabela 2. Valores dos estimadores da acurácia da classificação.

A combinação entre os dados Sentinel-1 e Sentinel-2 resultou na classificação com acurácia global igual a 75.44% e índice Kappa igual a 0.655, o maior índice em relações aos demais. A segunda melhor classificação foi obtida com a utilização da imagem Sentinel-2, com acurácia global de 64.34% e Kappa de 0.522. Por fim, a partir unicamente da imagem S1, obteve-se acurácia global de 35.5% e Kappa igual a 0.166.

4. DISCUSSÃO

Com base nos indicadores de acurácia calculados, não há razões para se discordar que a combinação de dados SAR e ópticos pode oferecer um mapeamento mais acurado quando comparados aos resultados obtidos pela utilização dos dados isolados.

Contudo, para se obter classificações mais acuradas, deve-se realizar a melhor amostragem possível, sobretudo em áreas de cobertura do solo complexa. Além disso, proceder à segmentação das imagens, bem como processamentos SAR avançados, a exemplo de correção *speckle* multitemporal, cálculo de índices espectrais e de atributos de textura, podem melhorar a acurácia da classificação [13].

5. CONCLUSÕES

Este estudo de caso atestou a eficiência da combinação entre dados SAR e ópticos para mapeamento do uso e cobertura do solo. Além disso, denota a facilidade entre combinação de dados da família Sentinel. Sugere-se que novos estudos executem amostragem de campo, sobretudo em áreas de cobertura diversa, e experimentem diferentes metodologias de processamento e combinação destes dados.

6. REFERÊNCIAS

[1] N. Joshi, M. Baumann, A. Ehammer, R. Fensholt, K. Grogan, P. Hostert, M. R. Jepsen, P. M. Kuemmerle, E. T. A. Mitchard, J. Reiche, C. Ryan, and B. Waske. A review of the application of optical and radar remote sensing data fusion to land use mapping and monitoring, *Remote Sensing*, v.8, 70, 2016.

[2] L. D. O. Pereira, C. D. C. Freitas, S. J. S. Sant'Anna, D. Lu, and E. F. Moran. Optical and radar data integration for land use and land cover mapping in the Brazilian Amazon. *GIScience & remote sensing*, v.50, 301-321, 2013.

[3] S. Huang, C. Potter, R. L. Crabtree, S. Hager, and P. Gross. Fusing optical and radar data to estimate sagebrush, herbaceous, and bare ground cover in Yellowstone. *Remote Sensing of Environment*, v.114, 251-264, 2010.

[4] Z. Malenovsky, H. Rott, J. Cihlar, M. E. Schaepman, G. García-Santos, R. Fernandes, and M. Berger. Sentinels for science: Potential of Sentinel-1,-2, and-3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land. *Remote Sensing of environment*, v.120, 91-101, 2012.

[5] C. A. D. Almeida, A. C. Coutinho, J. C. D. M. Esquerdo, M. Adami, A. Venturieri, C. G. Diniz, and A. R. Gomes. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica*, v.46, 291-302, 2016.

[6] L. R. Vallejo. Unidade de conservação: uma discussão teórica à luz dos conceitos de território e políticas públicas. *Geographia*, v.4, 57-78, 2002.

[7] Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite - PRODES. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes>>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

[8] Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio. Plano de manejo da reserva biológica nascentes da Serra do Cachimbo. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/rebio_nascentes_da_serra_do_cachimbo.pdf>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

[9] T. Zamadei, J. D. P. Heimann, and P. D. T. D. L. Pires. Recategorização de unidades de conservação: estudo de caso Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo-PA, Brasil. *Ciência Florestal*, v. 29, 1796-1808, 2020.

[10] P. A. Tavares, N. E. S. Beltrão, U. S. Guimarães, and A. C. Teodoro. Integration of sentinel-1 and sentinel-2 for classification and LULC mapping in the urban area of Belém, eastern Brazilian Amazon. *Sensors*, v.19, 1140, 2019.

[11] N. Clerici, C. A. Valbuena Calderón, and J. M. Posada. Fusion of Sentinel-1A and Sentinel-2A data for land cover mapping: a case study in the lower Magdalena region, Colombia. *Journal of Maps*, v.13, 718-726, 2017.

[12] MapBiomias. Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Coleção 4, 2019. Disponível em: <<https://plataforma.mapbiomas.org/map>>. Acesso em: 19 de agosto de 2020.

[13] U. S. Guimarães, M. L. B. T. Galo, I. S. Narvaes, A. Q. Silva. Cosmo-SkyMed and TerraSAR-X datasets for geomorphological mapping in the eastern of Marajó Island, Amazon coast. *Geomorphology*, v. 350, pp. 16, 2020.