

DETECÇÃO ESPACIAL DE VIVEIROS ESCAVADOS PARA AQUICULTURA ATRAVÉS DO SWI – SENTINEL-1 WATER INDEX

José Galdino de Oliveira Júnior¹, Daniela Pereira da Silva Carvalho², Nívia Cristina Vieira Rocha³, Bruna Henrique Sacramento⁴ & Hilton Luís Ferraz da Silveira⁵

^{1,2,3,4,5} Embrapa Territorial, Av. Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão, CEP 13070-115 - Campinas/SP, ¹ dinojr95@gmail.com; ² daniela.carvalho@colaborador.embrapa.br; ³ nivia.rocha@colaborador.embrapa.br; ⁴ bruna.sacramento@colaborador.embrapa.br; ⁵ hilton.ferraz@embrapa.br

RESUMO

O mapeamento de viveiros escavados para aquicultura é de vital importância nos dias atuais, justamente devido ao crescimento acelerado da produção aquícola em escala mundial nas últimas décadas. Neste âmbito, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de detecção deste tipo de produção aquícola, baseando-se no uso do SWI (*Sentinel-1 Water Index*) em comparação a outros índices de água obtidos por dados orbitais multiespectrais. A metodologia foi composta principalmente pela classificação por limiares espectrais e comparação de área estimada de produção. Os resultados demonstraram que o SWI alcançou uma moderada correlação com os índices MNDWI, NDPI e OSWI (0,5398, -0,5398 e 0,5199, respectivamente), contudo, este identificou o maior quantitativo de áreas de produção aquícola através de viveiros escavados (19,54 km²) entre os demais índices espectrais, mesmo apresentando o maior quantitativo de ruídos (4.274 km²).

Palavras-chave — Aquicultura, sensoriamento remoto, SAR, Sentinel, Google Earth Engine.

ABSTRACT

Mapping of aquaculture ponds is of vital importance nowadays, precisely due to the accelerated growth of aquaculture production on a global scale in recent decades. In this context, this paper aimed to evaluate the detection capacity of aquaculture ponds, based on the use of SWI (Sentinel-1 Water Index) in comparison to other water indices obtained through multispectral orbital data. The methodology was mainly composed of classification by Thresholds and comparison of estimated production area. The results demonstrated that the SWI achieved a moderate correlation with the MNDWI, NDPI and OSWI indexes (0.5398, -0.5398 and 0.5199, respectively), however, this index identified the highest quantity of aquaculture production areas by excavated pond (19.54 km²) among the other spectral indices, even presenting the highest amount of noise (4,274 km²).

Keywords — Aquaculture, remote sensing, SAR, Sentinel, Google Earth Engine.

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura pode desempenhar um papel significativo no suporte à segurança alimentar, no desenvolvimento econômico, na conservação de recursos naturais e no equilíbrio ecossistêmico do planeta. No entanto, a rápida expansão das áreas de aquicultura tem gerado diversos impactos ambientais como, a destruição de habitats naturais, a eutrofização dos corpos d'água e a proliferação de algas, além de outros problemas ecológicos [1,2]. Atualmente, a aquicultura mundial representa 48% da produção global de pescados, com previsão de alcançar 53% até 2030, sendo a Ásia o continente que mais se destaca, superando os demais quanto à quantidade de produção aquícola [3].

Atualmente, considera-se que existem dois métodos principais para identificar os tanques de aquicultura. A primeira abordagem envolve os tradicionais levantamentos de campo, que, embora forneçam informações locais extremamente precisas e detalhadas, estes são caros, demorados e exaustivos [4]. Tal método também exige muita mão de obra e carece de atualização frequente, especialmente em grandes áreas [5]. A segunda opção é o uso de técnicas de sensoriamento remoto, ferramenta bastante útil para o monitoramento e identificação de corpos d'água relacionados à aquicultura a curto e longo prazo. Este segundo método, mais recente, apresenta muitas vantagens, como o baixo custo e ampla área de cobertura, mas também possui algumas limitações, como a menor precisão espacial a depender do sensor óptico utilizado [5,6].

Além disso, em regiões nubladas, especialmente em zonas tropicais e costeiras, torna-se difícil a obtenção de imagens com alta frequência temporal e em larga escala espacial para a detecção de corpos d'água de aquicultura, devido, principalmente, à limitação das imagens ópticas em penetrar através de nuvens e nevoeiros [7].

Por outro lado, comparado aos sensores ópticos, o Radar de Abertura Sintética (SAR, em inglês) oferece a vantagem de ser resistente à interferência de fatores atmosféricos; além de permitir observações em diversas condições climáticas, tanto durante o dia quanto à noite [8]. Em contrapartida, dependendo do sensor radar, essas tecnologias podem ser caras ou apresentam baixa resolução temporal, o que pode torná-las inadequadas para o mapeamento em larga escala [9]. Todavia, a constelação orbital Sentinel-1 pode preencher

uma lacuna importante no mapeamento de áreas de aquicultura, ao possibilitar a obtenção de imagens com altas resoluções espacial (10 m) e temporal (6 dias) [8]. Além disso, as diferentes respostas de retrodifusão dos componentes dos tanques de aquicultura (como os diques e a superfície de água confinada), juntamente com o formato geométrico característico dessas instalações, permitem a distinção eficaz destas áreas de aquicultura em relação a outros tipos de corpos d'água [9].

Neste âmbito, Tian et al. [10] desenvolveram um novo índice de água, o *Sentinel-1A Water Index* (SWI), que foi construído com base em dados do satélite Sentinel-1A e no *Operational Land Imager – Modified Normalized Difference Water Index* (OLI-MNDWI), com a finalidade de gerar uma classificação por limiar espectral que distinguisse áreas de água e não-água nas imagens SWI. As vantagens da extração de corpos d'água utilizando o SWI são o fato de ser rápida e mais eficiente do que os outros índices espectrais ópticos, por causa das vantagens trazidas pela assinatura espectral das ondas de radar. Entretanto, faz-se necessário checar a acurácia de tal mapeamento de forma mais direta.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade do SWI quanto à detecção de áreas de viveiros escavados para aquicultura, em comparação a outros índices de água obtidos por dados multiespectrais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo analisada neste trabalho compreende a mesorregião do Oeste Paranaense (Figura 1), que apresenta uma extensão territorial de aproximadamente 22.844 km² e está localizada entre as coordenadas geográficas de 23°56'S a 25°37'S e de 52°31'O a 54°36'O.

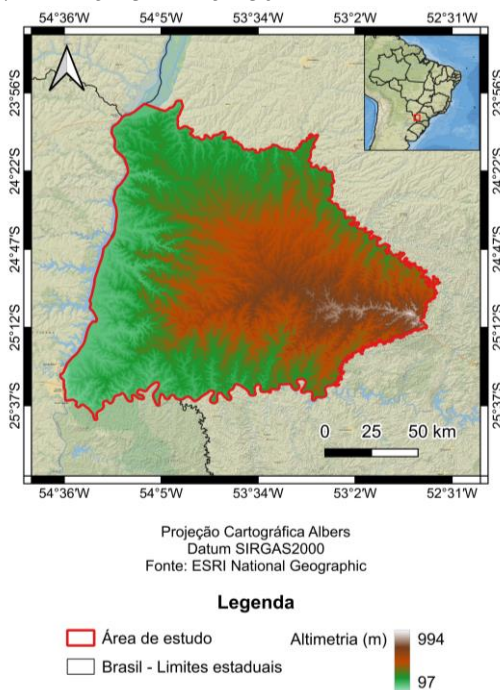


Figura 1. Localização espacial da área de estudo.

Desta maneira, duas séries temporais de imagens de satélite, Sentinel-1 (GRD – *Ground Range Detection*) e Sentinel-2 (Level-2A), especificamente para o ano de 2018, foram elaboradas dentro da plataforma virtual (*Code Editor*) do *Google Earth Engine* (GEE) [11]. Posteriormente, foi aplicada uma máscara para remoção de nuvens na série temporal das imagens Sentinel-2, através do uso do produto *Sentinel-2 Cloud Probability* [12], visando-se a posterior criação de duas imagens-composição (uma radar e outra óptica, neste caso) baseadas no valor da mediana de cada pixel e livres da influência de ruídos causados por efeitos atmosféricos.

Em relação às etapas metodológicas deste trabalho, o primeiro passo foi o cálculo dos índices de água, que foram usados na comparação quanto à capacidade de detecção de áreas de aquicultura, sendo eles: SWI-S1, NDWI, MNDWI, MBWI, WI, NDPI, OSWI, AWEI-sh e AWEI-nsh [10,13,14]. Em seguida, realizou-se a extração dos valores limiares espectrais através da avaliação de gráficos *boxplot* e de medidas de posição e dispersão (mínimo, máximo, média, mediana, desvio-padrão, 1º e 3º quartis – 25% e 75%, respectivamente) [10]. Para tal etapa foram utilizados dados amostrais que foram originados em coletas de campo realizadas na área de estudo no ano de 2018 [15]. Tais valores críticos foram empregados na obtenção das imagens de máscaras d'água de cada índice citado acima, a partir do método de classificação por limiares espectrais [10].

Em subsequente, uma análise de correlação e variância baseada nos coeficientes de correlação de *Pearson* (r) e de determinação (R^2) foi executada neste conjunto de dados espectrais críticos, com o intuito de determinar quais foram os índices que apresentaram maior similaridade quanto ao comportamento espectral do alvo analisado. Tal procedimento garantiu a discriminação dos melhores índices para a detecção de áreas de aquicultura, considerando-se o mínimo de ruídos gerados possível.

Por último, uma comparação espacial com os melhores resultados obtidos pela análise de correlação linear foi feita, levando-se em consideração o quantitativo de áreas de aquicultura mapeadas pelos índices de água escolhidos. Para este cálculo de área, as imagens orbitais foram reprojadas para a projeção cartográfica Albers e Datum SIRGAS 2000.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da avaliação das métricas de posição e dispersão, pôde-se detectar que os índices de água analisados, de modo geral, tiveram faixas de variação similares quanto aos valores mínimos e máximos (variantes entre -1,51 e 1,93, respectivamente), exceto o índice WI que obteve uma variação de assinatura espectral de -42,7 a 19,9, com valor médio de -11,5 e desvio-padrão de $\pm 10,4$ (Tabela 1).

Isto indicou que comparado aos demais, o índice WI tende a gerar mais ruídos devido à chance de ocorrência de confusão do alvo de interesse (viveiros escavados para

aquicultura) com outros tipos de uso e cobertura da terra, como também observado por [13] em seus estudos.

	Parâmetro estatístico						
	min	max	m	med	dp	Q25%	Q75%
SWI-S1	-0,63	1,93	-0,13	-0,26	±0,33	-0,36	-0,04
NDWI	-0,84	0,77	-0,35	-0,39	±0,24	-0,53	-0,21
MNDWI	-0,78	0,78	-0,28	-0,32	±0,2	-0,43	-0,18
MBWI	-0,89	0,13	-0,35	-0,35	±0,17	-0,49	-0,22
WI	-42,7	19,9	-11,5	-11,4	±10,4	-19,4	-3,64
NDPI	-0,78	0,78	0,28	0,32	±0,20	0,18	0,43
OSWI	-0,68	0,82	-0,19	-0,23	±0,20	-0,33	-0,08
AWEI-sh	-0,92	0,36	-0,28	-0,27	±0,21	-0,44	-0,12
AWEI-nsh	-1,51	0,59	-0,60	-0,60	±0,33	-0,82	-0,36

Onde: min – valor mínimo; max – valor máximo; m – valor médio; med – valor da mediana; dp – desvio-padrão; Q25% e Q75% – 1º e 3º quartis respectivamente.

Tabela 1. Comparação em relação às medidas de posição e dispersão avaliadas neste estudo.

Por outro lado, o índice SWI-S1 obteve faixas de valores semelhantes aos índices MNDWI e NDPI. Tal circunstância pode ser explicada pelo fato de que ambos os índices (MNDWI e NDPI) são gerados a partir do cálculo de diferença normalizada entre as mesmas bandas espectrais, neste caso, as bandas do verde (B3) e do SWIR-1 (B11), somente que de forma invertida [10,13]. Outro fato que reforça, especificamente, a proximidade de valores entre os índices SWI-S1 e MNDWI é que o primeiro foi estabilizado e determinado através de uma análise de correlação linear múltipla entre variáveis obtidas por radar (VV, VH, VH² e VV²) e o próprio índice MNDWI, contudo com o intuito de detectar corpos hídricos em geral [10].

Em relação à análise de correlação linear (Figura 2), os índices que alcançaram os melhores resultados com o índice SWI-S1 foram o MNDWI, o NDPI e o OSWI (com valores de 0,5398, -0,5398 e 0,5199, precisamente) e, portanto, estes foram escolhidos para a etapa de classificação.

Ao se avaliar tais gráficos de correlações gerados, notou-se justamente o esperado: as correlações dos índices MNDWI e NDPI com o índice SWI-S1 apresentaram os mesmos valores de coeficiente de determinação ($R^2 = 0,3233$) e equações de aproximação da reta, porém, com inclinações opostas ($y = 0,2815x - 0,2067$ e $y = -0,2815x + 0,2067$, respectivamente), e quanto OSWI, este obteve os valores de $R^2 = 0,3098$ e $y = 0,2696x - 0,1203$, como descrito na Figura 2.

Deste modo, foram escolhidos os valores críticos a serem utilizados como limiares espectrais para a criação das imagens de máscara d'água no processo de classificação. Optou-se pelos valores dos índices relacionados à medida de posição "Q75%" para os índices SWI-S1 (-0,04), MNDWI (-0,18) e OSWI (-0,08) (Tabela 1), visto que, o objetivo desta análise espacial foi detectar o máximo possível do comportamento espectral do alvo analisado com o mínimo de ruídos gerados, como fora mencionado anteriormente.

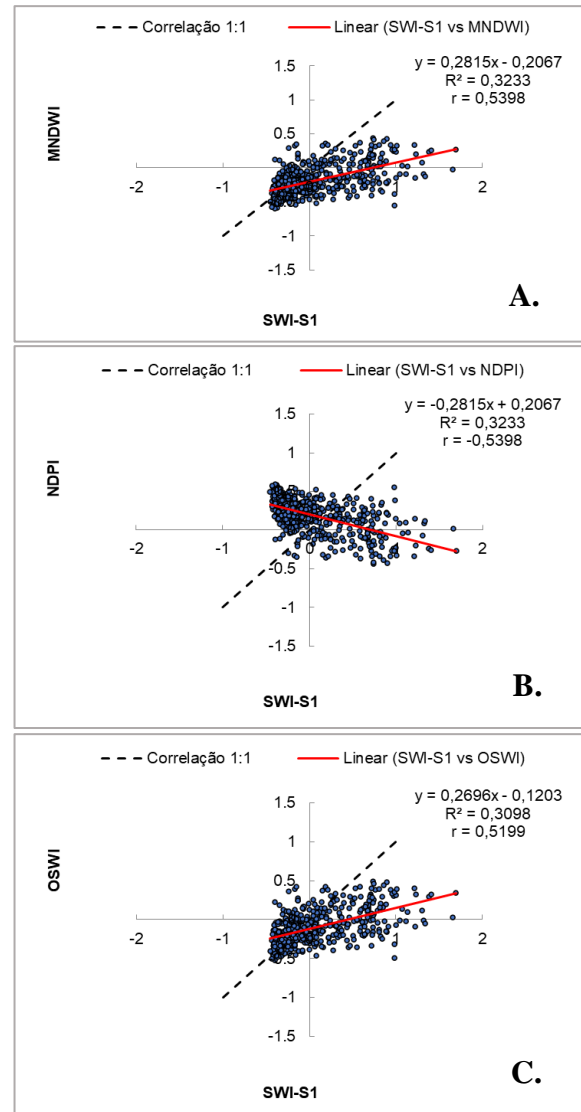


Figura 2. Análise de correlação linear para os índices SWI-S1, MNDWI (A), NDPI (B) e OSWI (C).

Por outro lado, para o NDPI foi escolhido o valor de 0 como limiar crítico como proposto por [13], pois, este índice foi desenvolvido para detectar a diferença existente entre a vegetação dentro e fora de corpos d'água. Estas escolhas são justificadas também pelo fato de que a influência do comportamento espectral dos pixels de borda em áreas de viveiros escavados para aquicultura impacta decisivamente no cálculo de área deste tipo de estrutura superficial, como também enfatizado por [14] em seus estudos.

Todavia, a comparação espacial enfatizou a capacidade superior de detecção de lagoas de aquicultura do índice SWI em relação aos demais índices de água, mesmo obtendo maior quantitativo de ruídos (especificamente sombras, solo exposto, áreas urbanas e demais corpos hídricos extensos) [10], apresentando os valores de 19,54 km² e 4.272 km² nas Figuras 3A e 3B, consecutivamente.

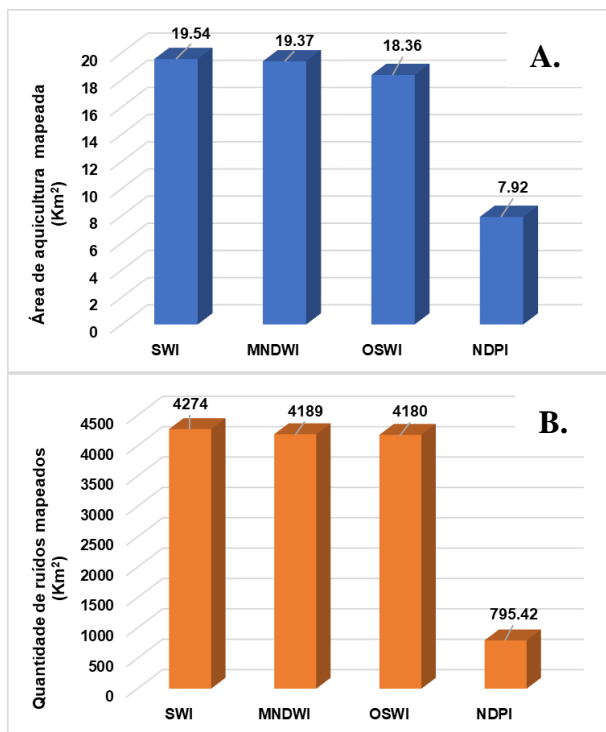


Figura 3. Avaliação quantitativa quanto à capacidade de detecção de áreas de aquicultura (A) e de ruídos (B) dos índices de água (SWI-SI, MNDWI, NDPI e OSWI).

4. CONCLUSÕES

O SWI (*Sentinel-1 Water Index*) foi capaz de detectar as áreas de produção aquícola em viveiros escavados com desempenho superior, em comparação aos índices MNDWI OSWI e NDPI, porém, ainda com alta presença de ruídos. Portanto, salienta-se que as contribuições científicas deste trabalho são principalmente viáveis para a execução deste tipo de mapeamento em áreas que apresentam alta cobertura de nuvens durante o ano. Além do mais, sugere-se também que próximos trabalhos foquem na investigação de outras abordagens ligadas ao uso de variáveis obtidas por radar, visando à diminuição dos ruídos gerados durante tal processo.

5. AGRADECIMENTOS

Os Autores agradecem à unidade da Embrapa Territorial (Projeto N° 1224 - FAPED/CNPM/TED TRANSFEREGOV - 952040/2023), à FAPED – Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento, ao CENSIPAM – Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia e ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelos recursos técnico-científicos que tornaram a realização deste trabalho possível.

6. REFERÊNCIAS

[1] C. Liu *et al.* Mapping large-scale aquaculture ponds in Jiangsu Province, China: An automatic extraction framework based on

Sentinel-1 time-series imagery, *Aquaculture* 581 (v.): 740441 (pp.), 2024.

[2] L. Cui *et al.* Analyzing coastal wetland degradation and its key restoration technologies in the coastal area of Jiangsu, China, *Wetland* 38 (v.): 525–537 (pp.), 2018.

[3] Food and Agriculture Organization (FAO). *Fishery and Aquaculture Statistics 2019*. FAO, Roman, Italy, 2021.

[4] C. J. Rhodes *et al.* The relative value of field survey and remote sensing for biodiversity assessment, *Methods in Ecology and Evolution*, 6 (v.): 772-781 (pp.), 2015.

[5] T. K. Alexandridis *et al.* The performance of satellite images in mapping aquacultures, *Ocean & Coastal Management*, 51 (v.): 638-644 (pp.), 2008.

[6] J. S. Hernandez-Suarez *et al.* Performance of Sentinel-1 and 2 imagery in detecting aquaculture waterbodies in Bangladesh, *Environmental Modelling and Software* 157 (v.): 105534 (pp.), 2022.

[7] Y. Zhang, *et al.* Shape-constrained method of remote sensing monitoring of marine raft aquaculture areas on multitemporal synthetic sentinel-1 imagery, *Remote Sensing*, 5 (v.): 1249 (pp.), 2022.

[8] K. A. Prasad *et al.* Leinenkugel. Assessment of Coastal Aquaculture for India from Sentinel-1 SAR Time Series, *Remote Sensing*, 3 (v.): 357 (pp.), 2019.

[9] M. Ottinger, K. Clauss, and C. Kuenzer. Aquaculture: Relevance, distribution, impacts and spatial assessments – A review, *Ocean & Coastal Management*, 119 (v.): 244-266 (pp.), 2016.

[10] H. Tian *et al.* Dynamic Monitoring of the Largest Freshwater Lake in China Using a New Water Index Derived from High Spatiotemporal Resolution Sentinel-1A Data, *Remote Sensing*, 9 (v.): 521 (pp.), 2017.

[11] N. Gorelick *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, *Remote Sensing of Environment*, 202 (v.): 18-27 (pp.), 2017.

[12] Catálogo de dados – Google Earth Engine. Sentinel-2: Cloud Probability. Disponível em: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_CLOUD_PROBABILITY.

[13] V. K. Mishra and T. Pant. Open surface water index: a novel approach for surface water mapping and extraction using multispectral and multisensory data, *Remote Sensing Letters*, 11 (v.): 973-982 (pp.), 2020.

[14] X. Wang *et al.* A robust multiband water index (MBWI) for automated extraction of surface water from landsat 8 OLI imagery, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 68 (v.), 73-91 (pp.), 2018.

[15] F. F. São José *et al.* Mapeamento de viveiros escavados para aquicultura no Brasil por sensoriamento remoto. Campinas: Embrapa Territorial, 2022.