



APLICAÇÃO DE ÍNDICES ESPECTRAIS E INTEGRAÇÃO DE DADOS ESPACIAIS PARA PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS NO MAPEAMENTO DA AQUICULTURA

Victória de Freitas **Oliveira**¹; André Rodrigo **Farias**²; Lucíola Alves **Magalhães**³;

Nº 24508

RESUMO – A aquicultura está em rápida expansão no Brasil e no mundo, e representa uma alternativa de proteína animal benéfica à saúde humana e que contribui para o combate à insegurança alimentar global. Apesar das estimativas nacionais e estatísticas internacionais disponíveis na literatura sobre aquicultura, há uma lacuna significativa no conhecimento sobre a localização da produção em nível regional. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a utilização de índices espectrais derivados de imagens de satélite Sentinel-2 e combinados com dados estatísticos oficiais da aquicultura, para priorizar áreas de mapeamento dos viveiros escavados no estado do Ceará. A metodologia baseou-se no cálculo de um indicador de concentração espacial para as variáveis de produção aquícola e área de lâmina d'água declarada no Censo Agropecuário, combinado com a extração dos índices espectrais de água NDWI e MNDWI em imagens de satélite Sentinel-2 na plataforma Google Earth Engine (GEE). A aplicação dos índices espectrais é eficaz para reconhecer corpos d'água e identificar alvos potenciais para o mapeamento da aquicultura, e o NDWI oferece vantagens decorrentes da maior resolução espacial das bandas do Sentinel-2 em que se baseia. A associação entre os resultados derivados do processamento digital de imagens de satélite e os dados secundários oficiais da aquicultura permite avaliar o grau de convergência entre eles, o que pode subsidiar a definição de áreas prioritárias para o mapeamento da aquicultura cearense e otimizar os levantamentos sistemáticos sobre essa atividade econômica.

Palavras-chave: geoprocessamento, sensoriamento remoto, Sentinel-2, viveiros escavados.

1 Autora, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Geografia, Unicamp, Campinas-SP; victoria.oliveira@colaborador.embrapa.br.

2 Orientador: Analista da Embrapa Territorial, Campinas-SP; andre.farias@embrapa.br.

3 Colaboradora: Analista da Embrapa Territorial, Campinas-SP.



ABSTRACT – *Aquaculture is rapidly expanding in Brazil and worldwide, and is an alternative source of animal protein beneficial to human health and which contributes to fight global food insecurity. Despite national estimates and international statistics available in the literature on aquaculture, there is a significant gap in knowledge regarding the location of regional production. In this context, this study aims to evaluate the use of spectral indices derived from Sentinel-2 satellite images and combined with official aquaculture statistical data, to prioritize mapping areas of excavated ponds in the state of Ceará. The methodology was based on the calculation of a spatial concentration indicator for aquaculture production variables and the area of water bodies declared in the Agricultural Census, combined with the extraction of water spectral indices NDWI and MNDWI from Sentinel-2 satellite images on the Google Earth Engine (GEE) platform. The application of spectral indices proved to be effective for recognizing water bodies and identifying potential targets for aquaculture mapping, and NDWI offers advantages due to the higher spatial resolution of the Sentinel-2 bands it is based on. Associating the results derived from digital satellite image processing and the official secondary aquaculture data enables evaluating the degree of convergence between them, which can support the definition of priority areas for mapping aquaculture in Ceará and optimize systematic surveys of this economic activity.*

Keywords: geoprocessing, remote sensing, Sentinel-2, excavated ponds.

1. INTRODUÇÃO

A atividade econômica da aquicultura está em rápida expansão no Brasil e no mundo, e representa uma alternativa de proteína animal com efeitos benéficos à saúde humana e uma importante contribuição para o combate à insegurança alimentar global. Além disso, constitui-se como relevante fonte de renda para diferentes regiões e perfis de agricultores, desde aqueles que apresentam disponibilidade de grandes áreas, capacidade de investimento e volumes significativos de produção até aquicultores de base familiar que desenvolvem sua atividade em pequenas propriedades.

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), o consumo de pescados cresce a uma taxa média anual de 3,0% desde 1961. A produção total de animais aquáticos no mundo é estimada em 202 milhões de toneladas para 2030, principalmente em consequência do crescimento da produção aquícola em comparação com a pesca de captura (FAO, 2022). A importância desse setor demonstra-se nos números, já que, com produção de 54,4 milhões de toneladas em 2020, a aquicultura continental mundial corresponde a 34% do pescado direcionado ao consumo humano (Ummus et al., 2023).

No cenário nacional, a previsão é que o Brasil registre crescimento de 104% na produção da pesca e aquicultura em 2025 (FAO, 2016). Um dos maiores diferenciais do país é a enorme



disponibilidade hídrica nas águas públicas continentais e costeiras, sejam de domínio da União ou das unidades federativas (Brasil, 2022). Além disso, há os atributos naturais favoráveis ao fomento da piscicultura, já que sua dimensão territorial dispõe de aproximadamente 13% da água doce renovável do planeta (Rocha et al., 2013). Em relação às águas continentais, fazem parte desse volume as áreas alagadas artificialmente pela construção de barragens, contidas em reservatórios de usinas hidrelétricas, bem como áreas particulares para produção em viveiros de terra escavados (Rocha et.al., 2013).

Em relação às espécies comerciais criadas na aquicultura brasileira, é importante assinalar a elevada participação da tilápia e do camarão (Amorim e Farias, 2023). Já a produção em cativeiro de peixes redondos, que incluem o tambaqui, o pacu, a pirapitinga e seus híbridos, tem crescido expressivamente no Brasil nos últimos anos, igualando-se à produção de tilápia no biênio 2013/2014 (Pedroza Filho et al., 2016). No panorama geral da produção aquícola brasileira, observa-se que o estado do Paraná ocupa posição de destaque na lista de maiores produtores, especialmente no segmento das tilápias, com produção de aproximadamente 167.339 t de peixes em 2022. Em seguida, o Ceará se destaca como o segundo maior produtor aquícola do país, com produção de 69.141 t de camarão no mesmo período (Ummus et al., 2023).

Nesse contexto, o conhecimento do status e das tendências do setor são condições chave para a formulação de políticas públicas sólidas, bem como para a avaliação de desempenho dos sistemas de gerenciamento da cadeia da aquicultura (FAO, 2021 citado por São José et al., 2022). Apesar da disponibilidade de estimativas nacionais e estatísticas internacionais na literatura sobre aquicultura, há uma lacuna significativa no conhecimento sobre a localização da produção em nível regional, bem como nos dados relacionados à produtividade e eficiência do setor, tanto em nível internacional quanto nacional (São José et al., 2022). Essa lacuna impede a concepção de um cenário mais amplo sobre a atividade e seu desenvolvimento, que inclui questões fundamentais como licenciamento ambiental, certificação e identificação para estatísticas nacionais.

Visando preencher a lacuna de dados espaciais estruturados do setor, iniciativas de mapeamento da aquicultura por meio da utilização de imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto têm sido desenvolvidas nos últimos anos (Carlsen et al., 2019; São José et al., 2022), associando métodos automatizados para reconhecimento de potenciais propriedades aquícolas com análise e interpretação visual de equipe especialistas para identificar estruturas da aquicultura. Entre essas estruturas estão os viveiros escavados utilizados para reprodução e engorda das espécies comerciais.

A utilização massiva de imagens de satélite para mapear os sistemas de produção da aquicultura representa uma alternativa eficiente, ágil e de menor custo para consolidar informações para o setor produtivo em comparação às expedições de campo ou aos registros administrativos. Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo avaliar a utilização de índices espectrais derivados



de imagens de satélite Sentinel-2 e combinados com dados estatísticos oficiais da aquicultura, para priorizar áreas de mapeamento dos viveiros escavados no estado do Ceará.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o limite do estado do Ceará, dada sua posição de destaque na aquicultura brasileira, sobretudo no que se refere à carcinicultura. Em estudo anterior desenvolvido por São José et al. (2022), o mapeamento da aquicultura cearense no sistema de produção de viveiros escavados foi feito em oito municípios do estado, que representam um indicador de concentração espacial denominado “grupo G75” (G75). Segundo Garagorry e Chaib Filho (2008), o G75 indica o conjunto de registros de um determinado recorte territorial que reúne ao menos 75% do total da variável analisada. Nesse caso, os oito municípios cearenses mapeados representavam o conjunto de municípios que era responsável, no ano de 2016, por mais de 75% da produção aquícola do estado do Ceará.

Neste trabalho, o indicador G75 foi utilizado para calcular a concentração espacial de duas variáveis associadas à aquicultura:

- I. Dados de produção aquícola total, por município, disponibilizados na Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) referente ao ano de 2022;
- II. Dados de área de lâmina d’água em sistemas de produção de viveiros escavados declarados pelos produtores rurais no Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2017).

As pesquisas selecionadas representam aquelas mais recentes disponíveis nesta data. É importante ressaltar, ademais, que são dados com naturezas distintas: enquanto a PPM é uma iniciativa sistemática cujo levantamento e inserção das informações é de responsabilidade de pesquisadores e técnicos do IBGE, o Censo Agropecuário é um dado declaratório associado a um estabelecimento agropecuário visitado por um agente recenseador do IBGE.

A natureza e as características diferentes dos dois levantamentos justificam o cálculo do G75 individualmente para cada pesquisa. Como resultado, foi gerado um indicador representativo dos municípios que concentraram pelo menos 75% da produção aquícola do Ceará em 2022 e dos municípios que reuniram ao menos 75% do total de área de lâmina d’água utilizada para aquicultura em 2017. Embora tais informações reservem alguma correlação entre si, os dados não necessariamente devem ser iguais por conta da defasagem temporal entre uma pesquisa e outra e, principalmente, porque diferentes produtividades e graus de intensificação técnica nos sistemas de produção podem fazer com que municípios com menor área de lâmina d’água declarada registrem produção maior que outros com maior área.

As duas informações do G75, produção e lâmina d’água, constituem-se em representações da distribuição espacial da aquicultura cearense. Para atender o objetivo de priorização de áreas para o mapeamento de viveiros escavados no Ceará, os conjuntos de dados foram combinados em



um produto único denominado G75 Integrado, cujo objetivo é identificar e destacar os municípios que compuseram essa classificação em uma ou outra pesquisa. Assim, o G75 Integrado apresenta todos aqueles municípios que fazem parte do grupo que reúne ao menos 75% da produção aquícola do estado e/ou 75% da área de lâmina d'água declarada. Todos os resultados foram ilustrados em mapas desenvolvidos na aplicação ArcMap 10.8.2.

A partir deste primeiro cenário de priorização, em que os municípios cearenses com atividade aquícola relevante foram destacados, a metodologia tratou de relacionar essa informação oriunda dos levantamentos sistemáticos oficiais aos dados extraídos de imagens de satélite, visando captar dinâmicas emergentes na aquicultura no estado, como recentes expansões dessa atividade econômica em municípios onde ela não apresentava registros significativos. Além disso, a composição com as imagens de satélite também permite observar possíveis demandas de aperfeiçoamento nos levantamentos sistemáticos, para representar adequadamente a atividade aquícola em um determinado município ou região.

Sob essa perspectiva, foram processadas imagens de satélite da coleção de imagens COPERNICUS/S2 do Sentinel-2, disponíveis na plataforma Google Earth Engine, com 10 m de resolução espacial nas bandas da região do visível e infravermelho próximo e 20 m de resolução nas bandas do infravermelho de ondas curtas. O Google Earth Engine é uma plataforma em nuvem para processamento geoespacial que permite acesso e análise eficientes de vastas quantidades de dados geoespaciais, incluindo imagens de satélites Landsat, MODIS e Sentinel, a partir dos servidores do Google (Gorelick et al., 2017 citados por Mota et al., 2020). A escolha dessa plataforma decorre da possibilidade de processar uma grande quantidade de imagens sem necessidade de cópia nas máquinas físicas e, principalmente, de sua capacidade de coletar dados estatísticos de cenas analisadas em conjunto, por exemplo, o cálculo de um descritivo estatístico, como a mediana ou a média de uma área, considerando um conjunto de imagens de diferentes datas.

Para identificar corpos d'água em imagens de satélite em que um dos tipos destacados são os viveiros escavados utilizados para a produção aquícola, optou-se pelo uso de índices espectrais de água, cuja principal característica é realçar aqueles elementos presentes na superfície terrestre que apresentam comportamento espectral típico de corpos d'água, e diferencia-los matematicamente dos outros materiais. Neste trabalho, foram avaliados os índices espectrais de água *Normalized Difference Water Index* (NDWI), proposto por McFeeters (1996), através da Equação 1, e *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI), proposto por Xu (2006), através da Equação 2. Foram feitas as seguintes operações entre as bandas verde (b3), infravermelho próximo (b8) e infravermelho de ondas curtas (b11):



$$\text{NDWI} = (b3 - b8) / (b3 + b8) \quad (1)$$

$$\text{MNDWI} = (b3 - b11) / (b3 + b11) \quad (2)$$

O NDWI tem a vantagem de delimitar com precisão os corpos d'água, gerando uma imagem em que os pixels variam de valores entre -1 e 1, e os valores maiores que zero são indicativos de comportamento espectral de água. A modificação MNDWI substitui a banda do infravermelho próximo pelo infravermelho de ondas curtas, o que tende a tornar os pixels relacionados à água ainda mais positivos, ao mesmo tempo que atribui valores negativos às áreas de construção que podem ser confundidas com corpos d'água. Além disso, tende a promover maior contraste com o solo, já que este apresenta maior reflectância na banda do infravermelho de ondas curtas (Gil et.al., 2019).

Os índices espectrais NDWI e MNDWI foram aplicados, por meio de linguagem *javascript* na plataforma Google Earth Engine, à coleção de imagens COPERNICUS/S2 do Sentinel-2, disponíveis no período de 1 de janeiro de 2023 a 31 de abril de 2024 para todo o limite do estado do Ceará. As cenas foram selecionadas segundo limiar de cobertura de nuvens da ordem de 10% e a partir da utilização da banda de qualidade QA60 disponível na coleção Sentinel-2. Considerando tais parâmetros, a disponibilidade de cenas para as diferentes regiões do estado apresentou variação de 8 a 76 imagens.

A partir da definição das cenas disponíveis para cada área do estado, foram calculados os índices espectrais NDWI e MNDWI e extraídos os valores estatísticos de mediana para cada pixel. A opção pela utilização da mediana decorre de sua capacidade de representar as tendências centrais para o conjunto de dados, evitando a influência de valores espúrios por conta de variações temporárias do sensor, nuvens residuais ou comportamentos efêmeros na região de estudo. Os valores de mediana, além disso, foram classificados de acordo com a seguinte premissa para a obtenção de duas máscaras binárias derivadas dos índices: os pixels com valor de NDWI ou MNDWI acima de 0, indicativos da presença de água, foram categorizado como valor 1; os demais valores foram categorizados como valor 0.

As máscaras binárias derivadas dos índices espectrais foram integradas no sistema de informações geográficas (SIG) ArcMap 10.8.2, para análise combinada aos dados oficiais da aquicultura. Visando permitir essa análise integrada, os arquivos do tipo *raster* foram convertidos para o formato vetorial do tipo polígonos, permanecendo apenas aquelas feições formadas por polígonos com valor 1, ou seja, apenas os pixels indicativos da presença de água, seja por meio do cálculo do NDWI ou do MNDWI.

Considerando a finalidade do trabalho, de subsidiar o mapeamento das estruturas de produção aquícola representadas pelos viveiros escavados, outras áreas que não são utilizadas

para esta atividade econômica foram retiradas do conjunto. Foram utilizados dois conjuntos de dados espaciais complementares, para excluir polígonos que não são de interesse desta análise:

- a) Dado espacial de mapeamento de massas d'água de 2024, elaborado pela Agência Nacional de Águas Saneamento Básico (ANA), que identifica os polígonos indicativos de açudes, lagos, lagoas e outras estruturas de reservação de água para múltiplas finalidades. Esse dado não contempla o mapeamento de estruturas de viveiros escavados para produção aquícola, porém é fundamental para separar grandes estruturas de reservação de água, como rios, açudes de grande porte e estruturas para abastecimento, do conjunto de potenciais alvos da aquicultura derivados dos índices espectrais. Para essa separação, adotou-se como critério excluir todos os polígonos derivados dos índices NDWI e MNDWI que apresentavam intersecção espacial com polígonos de massas d'água mapeados pela ANA (2024) com área acima de 4 ha. Esse limiar para a área justifica-se por conta do manejo da aquicultura: polígonos desse porte dificilmente são utilizados para a produção aquícola em função das dificuldades de manejo e despesca da produção. Segundo o Senar (2018), para uma piscicultura comercial, viveiros com capacidade entre 1.000 m² e 10.000 m² são adequados para a produção de juvenis e engorda de peixes, enquanto, para a recria de alevinos, são adequados viveiros com capacidade entre 200 m² e 2.000 m², sendo que diferenças nesses padrões podem ser observadas em algumas espécies e regiões. No caso do Ceará e da produção de camarão, viveiros mapeados no trabalho de São José et al. (2022) registraram áreas em torno de 2 a 2,5 ha, o que embasa a adoção do patamar de 4 ha como limite superior para recorte.
- b) Dado espacial de mapeamento das áreas densamente edificadas da Base Vetorial Contínua produzida por IBGE (2023). Essa informação foi utilizada para retirar todos os polígonos das máscaras dos índices espectrais localizadas em áreas urbanizadas, porque não representam locais de interesse para a aquicultura e porque são constituídas, em sua maioria, por ruídos do índice, ou seja, telhados de prédios e/ou áreas de sombra que apresentam comportamento espectral típico de água.

Os polígonos resultantes desse processo representam o resultado final do processamento e foram insumos para a obtenção de um mapa de densidade de ocorrências, em que o valor da área dos polígonos foi considerado como uma das variáveis de determinação, além da sua própria localização geográfica. Os mapas de densidade, associados aos limites do G75 Integrado, indicam as áreas de interesse para o mapeamento da aquicultura no Ceará.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o indicador de concentração espacial G75 calculado para a variável de produção total da aquicultura (1a) e a área total de lâmina d'água declarada em sistema de produção de viveiro escavado (1b). A principal diferença entre os dois mapas refere-se à produção continental ao longo do Rio Jaguaribe, a leste do estado, condição também observada no trabalho de Amorim e Farias (2023), ao analisarem as transformações espaciais da aquicultura no Ceará. Nesse sentido, as razões estão relacionadas a um movimento recente de expansão da carcinicultura continental, que ainda não era uma dinâmica presente no período do Censo Agropecuário de 2017 e, portanto, não foi captada no dado oficial censitário. Nos outros municípios produtores ao longo da costa, no entanto, as informações entre as bases são convergentes.

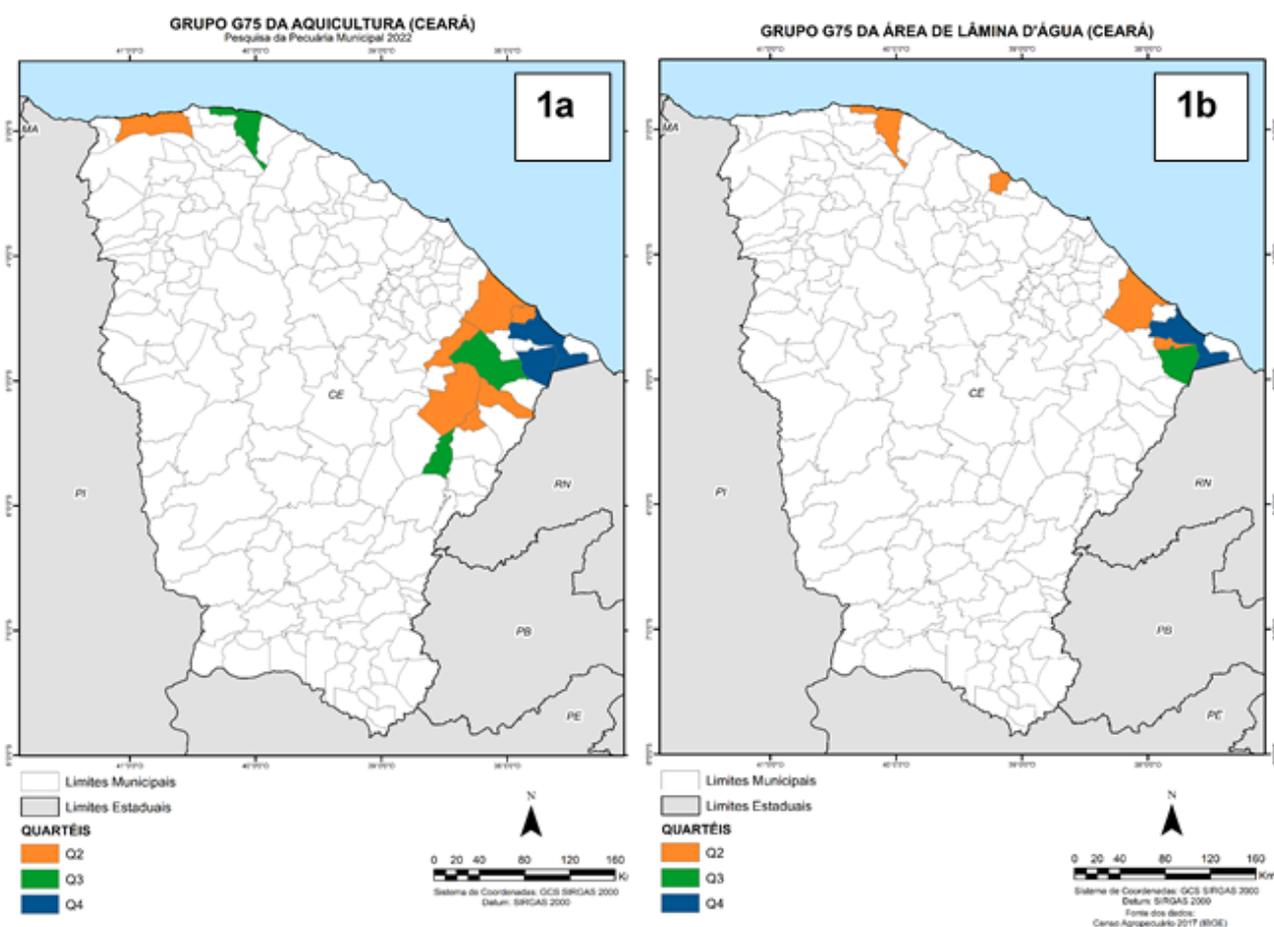


Figura 1. Grupo G75 da produção aquícola municipal em 2022 a partir da PPM (IBGE, 2022) (1a) e grupo G75 da área de lâmina d'água (1b) no Ceará a partir do Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2017).

A Figura 2 destaca os resultados do processamento digital das imagens Sentinel-2 no Google Earth Engine, com a representação de quatro principais produtos em uma área de produção de camarão no estado do Ceará: A – valores absolutos do índice NDWI, em que os maiores valores estão representados por tonalidades de azul e os menores valores, por

tonalidades de vermelho; B – máscara binária derivada do NDWI, na qual os valores em azul representam os pixels com valores positivos do índice e, portanto, representativos de corpos d'água; C – valores absolutos do índice MNDWI, com os maiores valores em tonalidades de azul e os menores valores em tonalidades de vermelho; e D – máscara binária do MNDWI, na qual os pixels representados em verde são os valores positivos do índice e indicativos de corpos d'água. Na comparação entre os diferentes produtos, observa-se que a resolução espacial distinta entre os índices – 10 m para o NDWI e 20 m para o MDNWI – altera de maneira significativa a qualidade na representação do fenômeno, neste caso os viveiros escavados para produção de camarão. Embora ambos os índices tenham destacado os viveiros, o MNDWI apresenta dificuldades na representação dos tanques individualmente, uma vez que a resolução espacial não é suficiente, em algumas situações, para delinear adequadamente as faixas de terra que separam os viveiros. Usando o índice NDWI, a identificação de cada viveiro é feita com maior assertividade.

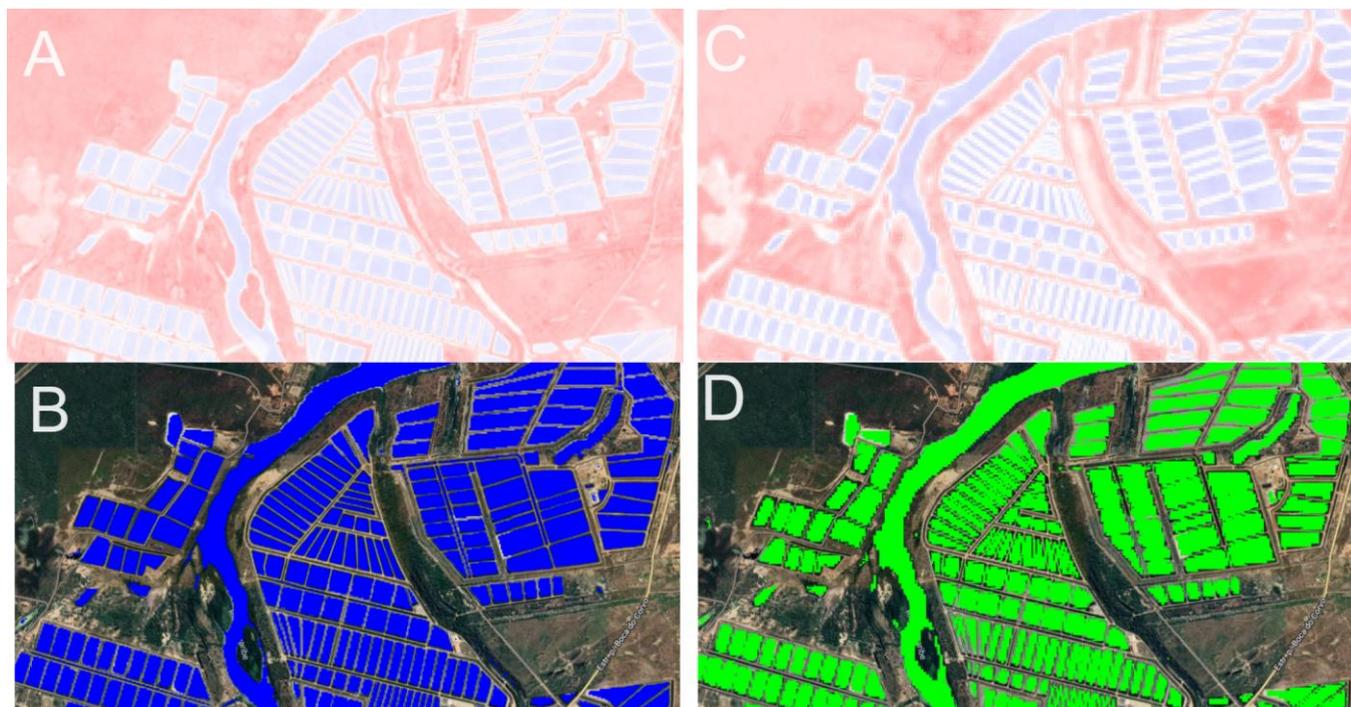


Figura 2. A – Índice NDWI em uma área de concentração de viveiros escavados no Ceará; B – Máscara binária do índice NDWI com valores positivos em azul; C – Índice MNDWI em uma área de concentração de viveiros escavados no Ceará; D – Máscara binária do índice MNDWI com valores positivos em verde.

A Figura 3 apresenta o cálculo e a espacialização da densidade dos alvos de corpo d'água identificados pelos índices NDWI (mapa à esquerda) e MNDWI (mapa à direita), associados aos limites dos municípios identificados no G75 Integrado, ou seja, o conjunto de municípios que respondem por mais de 75% da produção aquícola total do Ceará em 2022, e/ou representam pelo menos 75% da área de lâmina d'água declarada no Censo Agropecuário. Nesta representação, as áreas em tons de vermelho indicam regiões de concentração de corpos d'água, tanto em função do

número de feições quanto da área que ocupam. As áreas em azul, em contraposição, são regiões de baixa presença de corpos d'água.

Os resultados demonstram que as maiores densidades de corpos d'água, mapeadas a partir do processamento de imagens de satélite, convergem com os dados secundários de produção e área de lâmina d'água, ou seja, os municípios que concentram a maior parte da produção aquícola segundo essas informações também apresentam altas densidades de acordo com a aplicação dos índices espectrais. É importante ressaltar, no entanto, que essa comparação deve considerar a natureza distinta dos conjuntos de dados: enquanto a densidade é atribuída conforme a distribuição e área dos polígonos indicativos de corpos d'água, o G75 Integrado é resultado da agregação das informações no nível municipal. Assim, mesmo a densidade alta presente apenas em uma área restrita de um determinado município é suficiente para colocá-lo em uma posição de destaque nos volumes de produção registrados.

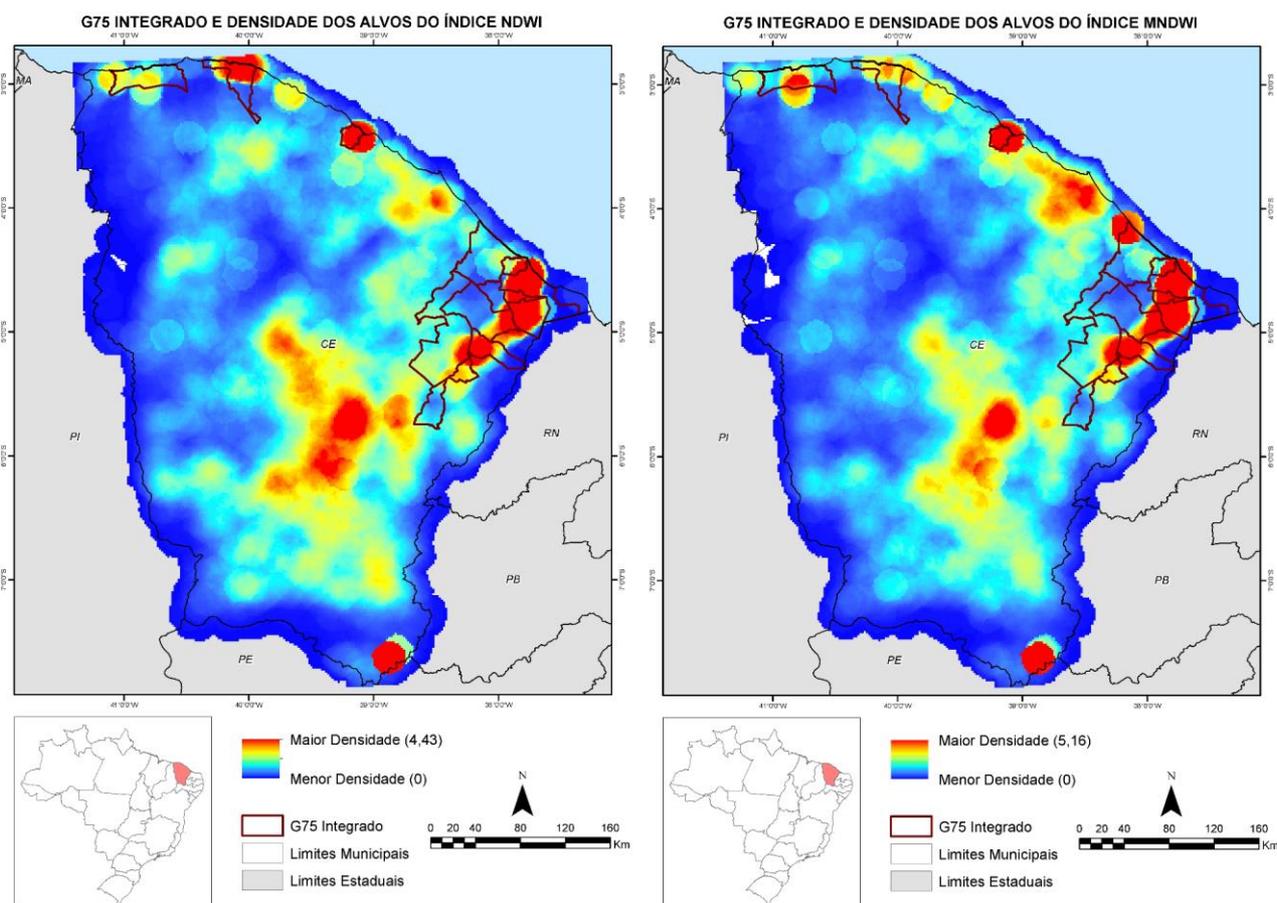


Figura 3. Densidade dos alvos indicativos de corpos d'água dos índices espectrais NDWI (mapa à esquerda) e MNDWI (mapa à direita) e distribuição espacial dos municípios que compõem o G75 Integrado.

Outro destaque importante é o registro de altas densidades de corpos d'água na região central do estado do Ceará, ao longo das microrregiões Sertão de Senador Pompeu/CE, Sertão de Quixeramobim/CE e Médio Jaguaribe/CE. Nesses casos, dada a forma e distribuição dos corpos



d'água, há forte indicação de que são açudes convencionais para reservação de água na região semiárida e com diferentes finalidades, como o abastecimento humano, a dessedentação animal ou pequenas irrigações. Por um lado, ainda que a tendência indique que somente uma pequena parte dos corpos d'água identificados nessas regiões seja destinada à aquicultura, é fundamental a avaliação detalhada dessas áreas para confirmar estas análises preliminares e descartar outras hipóteses importantes, como uma possível expansão recente da aquicultura ainda não registrada pelas estatísticas oficiais. Por outro lado, mesmo que não sejam efetivamente áreas de produção aquícola, sua identificação permanece relevante, na medida em que são estruturas importantes para estratégias de acesso à água no sertão nordestino e que eventualmente podem ser objeto de políticas de fomento à aquicultura local.

4. CONCLUSÃO

A aplicação dos índices espectrais NDWI e MNDWI em coleção de imagens Sentinel-2 por meio do Google Earth Engine é uma estratégia eficaz para reconhecimento dos corpos d'água e alvos potenciais para o mapeamento da aquicultura. Na comparação entre os índices, ambos apresentam capacidade para identificação dos corpos d'água, mas o MNDWI apresenta limitações no delineamento das estruturas individuais dos viveiros escavados, dada sua resolução espacial de 20 m em relação ao tamanho dos polígonos de produção.

A associação entre os resultados derivados de processamento digital de imagens de satélite e os dados secundários oficiais da aquicultura, sejam aqueles oriundos dos levantamentos sistemáticos ou da pesquisa censitária, permite reconhecer diferenças importantes entre os conjuntos de dados, bem como avaliar o grau de convergência que apresentam entre si. Nesse sentido, o método empregado neste trabalho pode subsidiar a definição de áreas prioritárias para o mapeamento da aquicultura cearense e ser um instrumento para otimização dos levantamentos sistemáticos sobre essa atividade econômica.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa, e à Embrapa Territorial, por todo o suporte oferecido ao longo da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

AMORIM, G.; FARIAS, A. Dinâmica espacial da aquicultura nos estados do Ceará e Paraná entre 2013 e 2021. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2023, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Embrapa Territorial, 2023. 12 p.

ANA. **Catálogo de Metadados da ANA (Massas d'água)**. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>. Acesso em: 12 jun. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Plano Nacional de Desenvolvimento da Aquicultura-PNDA**. Brasília: Mapa/AECS; Departamento de Ordenamento e Desenvolvimento da Aquicultura, 2022.



CARLSEN, H.; FARIAS, A. R.; FONSECA, M. F.; MAGALHÃES, L. A. Mapeamento de viveiros escavados no estado de Rondônia por meio de imagens orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019. 1-5 p.

FAO. **Novo relatório da FAO aponta que produção da pesca e aquicultura no Brasil deve crescer mais de 100% até 2025**. 2016. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/423722/>. Acesso em: 26 abr. 2024.

FAO. **Uma produção pesqueira e aquícola sem precedentes contribui decisivamente para a segurança alimentar global**. 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/es/c/1585153/>. Acesso em: 26 abr. 2024.

GARAGORRY, F. L.; CHAIB FILHO, H. **Elementos de agrodinâmica**. Brasília, DF: Embrapa-SGE, 2008.

GIL, A. P.; PADOVANI, C. R.; COELHO, A. L. N. Comparação entre NDWI e MNDWI para o mapeamento de áreas inundadas no Pantanal do Taquari. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019.

IBGE. **Bases Cartográficas Contínuas**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html>. Acesso em: 26 abr. 2024.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>. Acesso em: 26 abr. 2024.

IBGE. **Pesquisa da Pecuária Municipal**. 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2022>. Acesso em: 26 abr. 2024.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

MOTA, F.; MATEUS, M. G.; AGUIAR, S. M.; ADAMATTI, D. F. Google Earth Engine e sua aplicabilidade na gestão de recursos hídricos. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA À GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS, 11., 2020. **Anais...** 2020. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020. p. 161-170.

PEDROZA FILHO, M. X.; RODRIGUES, A. P. O.; REZENDE, F. P. Dinâmica da produção de tambaqui e demais peixes redondos no Brasil. **Boletim Ativos da Aquicultura**, v. 7, p. 1-5, 2016.

ROCHA, C. M. C. da; RESENDE, E. K. de; ROUTLEDGE, E. A. B.; LUNDSTEDT, L. M. Avanços na pesquisa e no desenvolvimento da aquicultura brasileira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.8, p.4-6, ago. 2013.

SÃO JOSÉ, F. D.; NOVO, Y. D. C.; FARIAS, A.; MAGALHÃES, L.; FONSECA, M. F. **Mapeamento de viveiros escavados para aquicultura no Brasil por sensoriamento remoto**. Campinas: Embrapa Territorial, 2022. 28 p.

SENAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Piscicultura: construção de viveiros escavados**. Brasília, DF: Senar, 2018. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/209-VIVEIROS-ESCAVADOS.pdf>.

UMMUS, M. E.; OLIVEIRA, T. J. A. de; PEDROZA FILHO, M. X. Considerações acerca do ordenamento territorial da aquicultura no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA POLÍTICA, GEOPOLÍTICA E GESTÃO DO TERRITÓRIO, 4., 2023, São Paulo. **Agendas, atores e pesquisas: [anais]**. São Paulo: USP, 2023.

XU, H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.