

Palmas, TO / Outubro, 2025

Caracterização Espacial da Aquicultura e Mapeamento de Viveiros Escavados com *Machine Learning* no Estado do Paraná

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

2

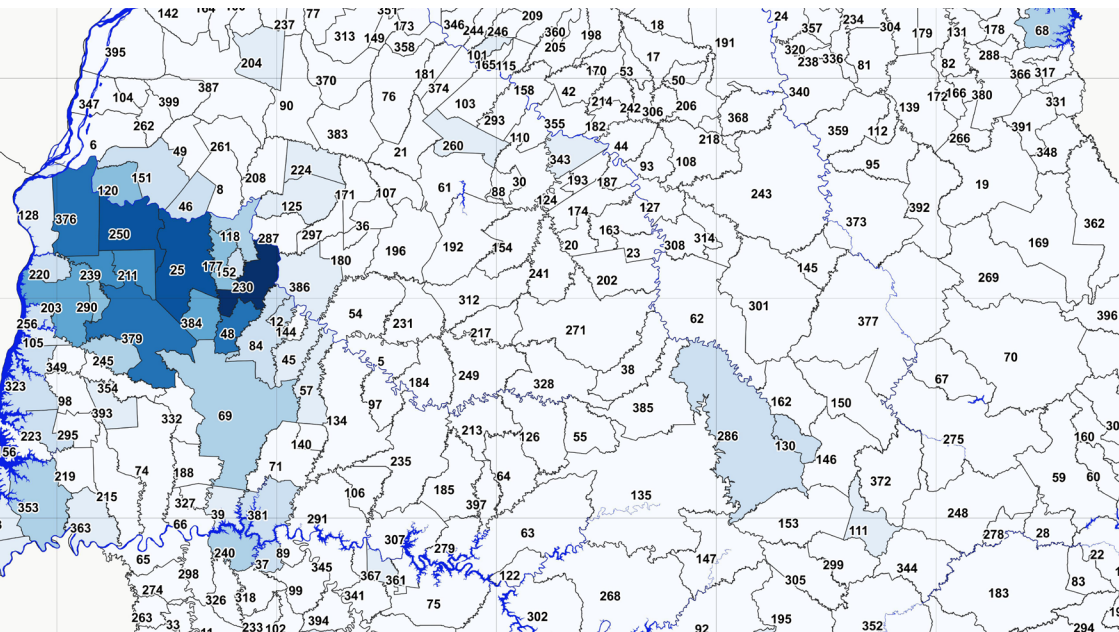
FOME ZERO
E AGRICULTURA
SUSTENTÁVEL



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

14

VIDA NA
ÁGUA



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Pesca e Aquicultura
Ministério da Agricultura e Pecuária***

ISSN 2318-1400

Documentos 57

Outubro 2025

Caracterização Espacial da Aquicultura e Mapeamento de Viveiros Escavados com *Machine Learning* no Estado do Paraná

*Marta Eichemberger Ummus
Bruno Aparecido da Silva
Ericson Hideky Hayakawa
Carolina Balera Trombini
Altair Bennert
Kennedy Leocadio Vasco
Alecsander Gomes Brito*

***Embrapa Pesca e Aquicultura
Palmas, TO
2025***

Embrapa Pesca e Aquicultura
Avenida NS 10, sentido Norte,
Loteamento Água Fria,
77008-900 Palmas, TO
Caixa Postal nº 90
www.embrapa.br/pesca-e-aquicultura
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Marcela Mataveli

Secretária-executiva

Márcia Mascarenhas Grise

Membros

Andrea Elena Pizarro Muñoz,

Clenio Araujo,

Diego Neves de Sousa,

Fabrcio Pereira Rezende,

Jefferson Cristiano Christofoletti,

Marcelo Konngen Cunha e

Patricia Oliveira Maciel

Edição executiva

Andrea Elena Pizarro Muñoz

Revisão de texto

Clenio Araujo

Normalização bibliográfica

Andréa Liliane Pereira da Silva

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Jefferson Cristiano Christofoletti

Foto da capa

Marta Eichemberger Ummus

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Pesca e Aquicultura

Caracterização espacial da aquicultura e mapeamento de viveiros escavados com machine learning no estado do Paraná / Marta Eichemberger Ummus... [et al.] – Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2025.

35 p.: il. color. (Documentos / Embrapa Pesca e Aquicultura, ISSN 2318-1400; 57).

1. Aquicultura. 2. Unidade espacial. 3. Viveiro. 4. Mapa. 5. Geoprocessamento. I. Ummus, Marta Eichemberger. II. Silva, Bruno Aparecido da. III. Hayakawa, Ericson Hideky. IV. Trombini, Carolina Balera. V. Bennert, Altair. VI. Vasco, Kennedy Leocadio. VII. Brito, Alecsander Gomes. VIII. Série.

CDD (21. ed.) 621.3678

Autores

Marta Eichemberger Ummus

Geógrafa, mestre em Sensoriamento Remoto, analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Bruno Aparecido da Silva

Geógrafo, doutor em Geografia, pesquisador pela Unidade Mista de Pesquisa e Inovação do Oeste Paranaense Biopark Educação, Toledo, PR.

Ericson Hideky Hayakawa

Geógrafo, doutor em Sensoriamento Remoto, docente na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR.

Carolina Balera Trombini

Farmacêutica, mestre em Biociências, gerente de Desenvolvimento Pesquisa e Inovação (PD&I) pelo Biopark Educação, Toledo, PR.

Altair Bennert

Geógrafo, mestre em Geografia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR.

Kennedy Leocadio Vasco

Geógrafo, bolsista na Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO.

Alecsander Gomes Brito

Engenheiro ambiental, consultor de projetos, Palmas, TO.

Agradecemos ao Biopark Educação e Fundação Araucária, pela concessão da bolsa de estudos e pelo financiamento da pesquisa “Ordenamento Territorial da Aquicultura no Paraná” e à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pelo apoio ao desenvolvimento do projeto. Agradecemos ainda, de modo especial, à Unidade Mista de Pesquisa e Inovação – UMIPI Oeste Paranaense, que representa uma colaboração estratégica entre Embrapa, Biopark e Biopark Educação, assumindo posição essencial para a inovação e o desenvolvimento sustentável no Oeste paranaense e nas demais regiões do estado.

Apresentação

Até recentemente, o levantamento de áreas aquícolas em diversos países e no Brasil ocorreu por meio de exaustivos trabalhos de campo e longas etapas de vetorização manual dos viveiros e empreendimentos aquícolas, utilizando fotografias aéreas ou imagens de satélite de baixa resolução espacial e temporal. No entanto, estudos recentes realizados pela Unidade Mista de Pesquisa e Inovação Oeste Paranaense evidenciaram que tais técnicas de mapeamento não se mostram mais eficazes para o acompanhamento da evolução e a caracterização do quadro aquícola no país, considerando que a aquicultura brasileira tem passado, nas últimas décadas, por uma rápida expansão.

Nos últimos anos, com o aperfeiçoamento das geotecnologias e o advento de plataformas de processamento big data, os mapeamentos aquícolas se tornaram automatizados, rápidos e eficientes, indicando uma mudança paradigmática no levantamento aquícola, ainda que essas transformações recentes focassem principalmente em áreas costeiras de países asiáticos. De modo que, no Brasil, a falta de metodologias automatizadas torna-se um entrave importante para o mapeamento da aquicultura em grande escala.

Diante desse cenário desafiador para o desenvolvimento e a expansão da aquicultura no Brasil, por conta da falta de uma base cartográfica atualizada das áreas aquícolas, apresentamos uma metodologia automatizada para extração de viveiros escavados em áreas continentais interiores. Para tanto, foi escolhido o estado do Paraná como área piloto. Considerando a importância desse estado no cenário agropecuário nacional/internacional e, também, a sua liderança na produção de tilápias no Brasil.

A partir da metodologia desenvolvida, foi possível realizar o levantamento do quadro aquícola em todo o estado do Paraná, destacando a distribuição e a concentração, assim como o grau de tecnificação das áreas destinadas à produção aquícola no estado. Acreditamos que nossa metodologia poderá ser utilizada por vários atores da cadeia produtiva com o intuito de conhecer mais a fundo o quadro aquícola de cada região

e, com isso, traçar políticas públicas que possam contribuir para o desenvolvimento e a expansão sustentáveis da aquicultura no Brasil. E, assim, manter o Brasil como país estratégico para suprir a demanda global por alimentos aquícolas.

Observa-se ainda que o desenvolvimento da aquicultura está alinhado a diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Agenda 2030 da ONU. Dentre eles, destacam-se: o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), por sua contribuição à segurança alimentar global; o ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), diante da geração de emprego e renda nas regiões produtoras; o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao demandar tecnologias inovadoras para o monitoramento e a expansão da atividade; o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao estimular práticas produtivas sustentáveis; e o ODS 14 (Vida na Água), por promover o uso responsável dos recursos hídricos e o fortalecimento da aquicultura como alternativa à pesca extrativa.

Danielle de Bem Luiz

Chefe-Geral da Embrapa Pesca e Aquicultura

Sumário

Introdução	12
Desenvolvimento	17
Considerações finais	30
Referências	31

Introdução

A atividade aquícola tem aumentado significativamente em todo o mundo (Ottinger et al., 2018; Zeng et al., 2021; Ai et al., 2023), tornando-se responsável por uma proporção crescente da oferta global de alimentos (Beveridge et al., 2013). Estudos mostram que a aquicultura contribui para a segurança alimentar de mais de 10% da população mundial, principalmente em países emergentes (Béné et al., 2015). Dados divulgados pela Fao (2024) confirmam esse crescimento, considerando que a aquicultura mundial expandiu 609% e o consumo global de alimentos aquáticos aumentou a uma taxa média anual de 6,7% entre 1961 e 2019 (Li et al., 2023).

A aquicultura no Brasil alcançou status profissional na década de 1970 (Valenti et al., 2021). Diante das características naturais, do empreendedorismo dos produtores do campo brasileiro e de um grande mercado consumidor, o país é um território potencial para o desenvolvimento da aquicultura (Francisco et al., 2019; Valenti et al., 2021). Esse cenário torna o Brasil estratégico para suprir a demanda global de alimentos aquícolas, considerando ainda a diversidade do setor aquícola nacional que é definida pela tradição e pelo tipo de organismo cultivado: peixes de água doce, camarões marinhos, moluscos, camarões de água doce e rãs (Valenti et al., 2021). Conforme dados disponibilizados pela Fao (2024), o país ocupa a 8ª posição no ranking mundial de maior produtor de peixes de águas continentais e a 13ª posição na produção aquícola global. Desde 2014, registrou-se um significativo aumento na produção de peixes no país, alcançando 48,6%, acréscimo de 281.555 t (Anuário peixe BR, 2023).

No entanto, segundo destacam Valenti et al. (2021), o setor aquícola brasileiro enfrenta alguns desafios que demandam novas tecnologias e inovações diante do significativo aumento dessa atividade no país. A ciência adquire papel central nesse contexto, tendo em vista que pode propor meios para uma expansão do setor apoiada na sustentabilidade (Naylor et al., 2000, 2021). Nesse sentido, a escassez de informações geoespaciais relevantes para a caracterização territorial da aquicultura

A área selecionada para este estudo foi o estado do Paraná, localizado na região Sul do Brasil (Figura 1). Com uma população estimada em 11.444.380 habitantes, distribuída numa área de 199.298 de km², o estado ocupa a quinta posição no ranking do Produto Interno Bruto nacional, com R\$ 549.973 mi (IBGE, 2024). Atualmente, o Brasil é o quarto maior produtor mundial de tilápia, espécie que é responsável por 88% das exportações nacionais. Por volta de 63,3% da produção nacional de peixes de cultivo é de tilápia. Cerca de 96% da produção de pescado no Paraná corresponde à produção de tilápia, tendo produzido em 2022 cerca de 194.100 t, aproximadamente 22,5% da produção nacional (550.000 t) (Anuário peixe BR, 2023).

Por conta da sua importância no cenário aquícola, o estado do Paraná atraiu o foco das investigações sobre o panorama da aquicultura brasileira (Francisco et al., 2019; Novo et al., 2022; São José et al., 2022; Dapieve et al., 2023; Silva et al., 2024). Mais especificamente, a produção piscícola paranaense está concentrada em 10 municípios da mesorregião Oeste do Paraná, representada principalmente pelas microrregiões de Toledo e Cascavel (Figura 1), que somaram quase R\$ 1 bi de faturamento em 2022. Os municípios de Nova Aurora, Palotina, Toledo e Assis Chateaubriand representaram metade da produção, seguidos de Maripá, Terra Roxa, Nova Santa Rosa, Cafelândia, Marechal Cândido Rondon e Tupãssi (Figura 2) (Anuário peixe BR, 2023).

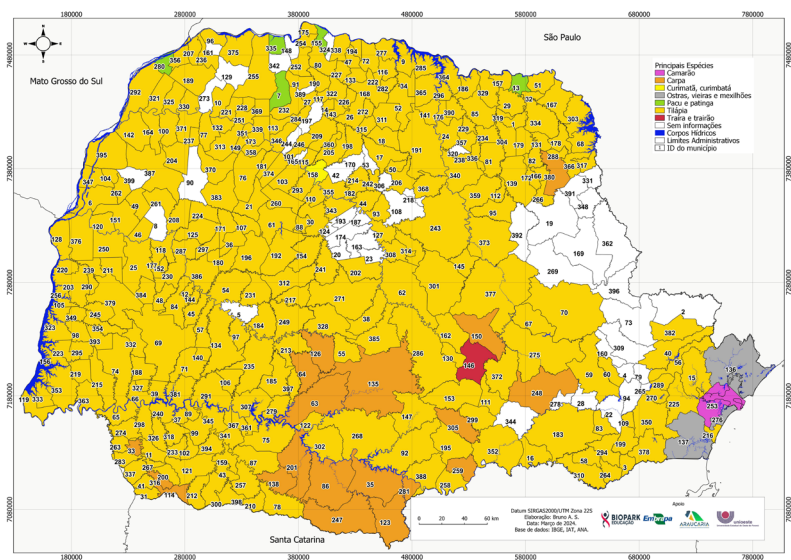


Figura 2. Distribuição espacial da produção aquícola do estado do Paraná.

Fonte: PPM/IBGE (2022).

Considerando os dados de produção aquícola (IBGE, 2022), o estado do Paraná apresenta uma composição com diferentes espécies, cerca de 167.122 toneladas, embora cerca de 80% dos municípios paranaenses possuam como principal espécie produzida a tilápia (Figura 3). De acordo com o Anuário Peixe BR (2023), o estado teria produzido cerca de 182.000 toneladas dessa espécie. Oeste paranaense concentra cerca de 86% da produção total de tilápia no estado. Por outro lado, verifica-se que alguns municípios têm como principal espécie produzida a carpa, restrita principalmente às regiões mais frias do estado, a Sudoeste e a Centro-Sul. O camarão é produzido no município de Paranaguá; já as ostras, as vieiras e os mexilhões se restringem ao litoral do estado. Na região Norte, pacu e patinça se destacam, enquanto a produção de traíras está limitada ao município de Imbituva, na região Central.

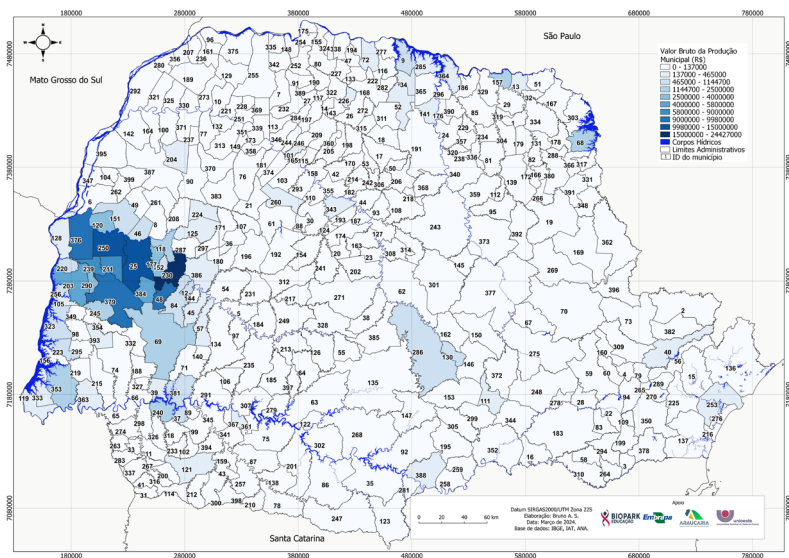


Figura 3. Produção de tilápia no estado do Paraná (2022).

Fonte: IBGE (2022) e ANUÁRIO PEIXE BR (2023).

Com relação à taxa de crescimento da produção entre os anos de 2014 e 2022 (Figura 4), verifica-se que a região Oeste paranaense apresenta, em média, taxas estáveis, variando entre 5 e 10%, mas o Norte paranaense e os municípios no entorno de Alvorada do Sul experimentaram altas taxas de crescimento nos últimos anos (> 100%), o que demonstra a expansão e a prosperidade da aquicultura que transpõe o Oeste paranaense, conhecido como polo aquícola já consolidado. Destacam-se também as taxas de crescimento e produção do município de Campo Largo, na região metropolitana de Curitiba, o qual experimentou uma taxa de crescimento de mais de 400%, tendo produzido cerca de 144 toneladas de peixes em 2022.

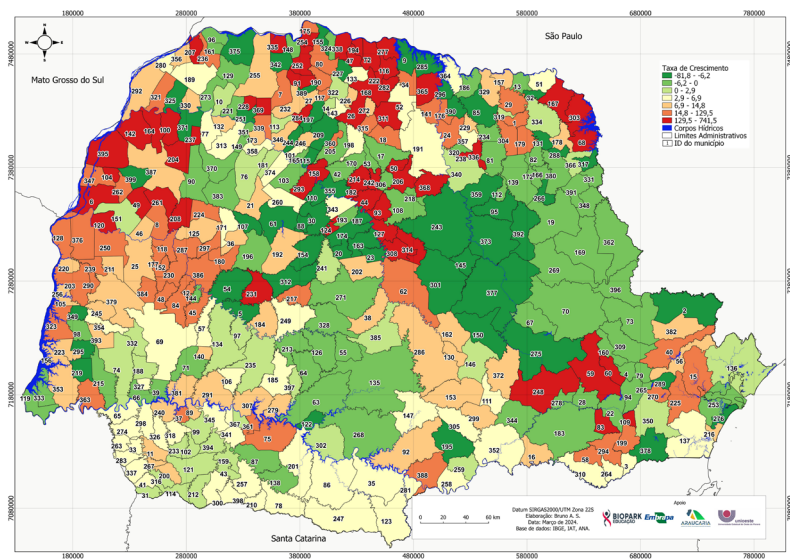


Figura 4. Taxa de crescimento da produção aquícola no estado do Paraná.

Fonte: PPM/IBGE (2022).

Desenvolvimento

O desenvolvimento da metodologia contou com a obtenção e o processamento de imagens de satélite; coleção de amostras de treinamento e validação; classificação de classes “água” e “não-água”; pós-classificação, que contou com a filtragem para extração dos viveiros escavados; e avaliação da acurácia via interpretação visual de imagens.

Obtenção e processamento das imagens planet

A etapa inicial contou com a seleção e a aquisição de imagens de satélite com alta resolução espacial (4,77 m). As imagens são disponibilizadas pelo programa Norway's International Climate and Forest Initiative (NICFI), adquiridas pela Kongsberg Satellite Services (KSAT), Airbus e Planet (Planet team, 2017). A coleção de imagens do NICFI Planet foi acessada via Google Earth Engine (GEE). Foram adquiridas imagens compreendendo o período de janeiro de 2020 a dezembro de 2023 e a área de recorte foi definida como o limite do estado do Paraná.

A etapa de processamento das imagens englobou a extração de índices espectrais da água e da vegetação na plataforma GEE, conforme sugerido por (Goffi et al., 2020), e foram selecionados os seguintes índices: Nominalized Difference Water Index (NDWI); Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI); Nominalized Difference Vegetation Index (NDVI); e o Enhanced Vegetation Index (EVI). O NDWI, comumente utilizado no mapeamento aquícola, é eficaz na extração da superfície da água (Ren et al., 2019; Xia et al., 2020) e apresenta melhor desempenho em mapeamentos aquícolas quando comparado a outros índices espectrais (Xia et al., 2020). Já o SAVI, o NDVI e o EVI são índices de vegetação que fornecem informações consistentes sobre a vegetação na medida em que contribuem para a discretização de corpos hídricos (Matsushita et al., 2007; Montero et al., 2023).

Coleção de amostras para treinamento e validação

Para realizar a extração de viveiros aquícolas automaticamente, foi necessário treinar o algoritmo e obter os pixels correspondentes às classes preditas (“água” e “não-água”). Diante disso, foram construídos dois conjuntos de dados amostrais no GEE (Matarira et al., 2022). Para tanto, foram coletadas 1.200 amostras manualmente nas imagens,

sendo 800 amostras de alvo de água, coletadas nos viveiros escavados, e 400 amostras de alvo de não-água, representadas por pixels de áreas urbanas, agrícolas, florestadas, solo exposto, entre outros. O segundo conjunto de dados amostrais representou polígonos destinados à validação do mapeamento e incluiu a separação de 30% de amostras aleatórias para verificar a precisão do mapeamento (Sun et al., 2024).

Extração das classes aquicultura e não-aquicultura

A partir da execução das etapas anteriores, foi realizada a classificação supervisionada orientada a pixel, por meio da combinação de amostras de treinamento, bandas espectrais (B, G, R e N), índices espectrais e algoritmo Random Forest (RF) (Liao; Wen, 2020; Yu et al., 2022). O RF é um algoritmo de *machine learning* mais usado em mapeamentos aquícolas (Sun et al., 2024) e é uma combinação de preditores em forma de árvore, de modo que cada árvore depende dos valores de um vetor aleatório amostrado de forma independente e com a mesma distribuição para todas as árvores de decisão (Breiman, 2001). No Brasil, pesquisadores têm usado esse algoritmo e tido êxito no mapeamento da paisagem em grande escala (Souza et al., 2020).

Posterior à classificação, obteve-se a máscara com duas classes (água e não-água). Assim, seguiu-se com a remoção de pixels que não representariam viveiros escavados (lagos, lagoas de decantação, reservatórios, rios etc.) a partir de filtros empregados por funções removedoras de pixels no GEE, considerando as diferenças morfológicas entre os tanques e demais corpos hídricos (Sun et al., 2024), tais como o tamanho e a forma dos tanques e da máscara de corpos d'água superficiais disponibilizados por (Geofabrik, 2024).

A máscara resultante desse processo conteve duas classes: “aquicultura”; e “não-aquicultura”. E a sua finalização contou com a exportação da camada matricial para edição em *software* (QGIS 3.28.2, 2024), onde foi gerada uma camada vetorial complementar que agrupou os viveiros escavados individualizados, mapeados automaticamente, em

empreendimentos aquícolas. Os empreendimentos, com dimensões inferiores a 0,05 ha, foram removidos da camada vetorial, pois não representam áreas de desenvolvimento aquícola na área do estudo. Adicionalmente, os empreendimentos aquícolas, que se referem à soma de viveiros mapeados dentro de uma propriedade com base no Cadastro Ambiental Rural (Brasil, 2024), foram classificados em pequenos (< 5 ha), médios (5 a 50 ha) e grandes (> 50 ha), de acordo com os critérios de porte preconizados pela Resolução Conama 413, de 26 de junho de 2009 (Brasil, 2009).

Avaliação da acurácia

Na etapa final da metodologia, foi avaliada a precisão do mapeamento aquícola, considerando a separação aleatória de 360 amostras, conforme descrito anteriormente. A acurácia da classificação foi avaliada a partir da construção de uma matriz de erros com classes de predição (aquicultura e não-aquicultura) e classes de referência (aquicultura e não-aquicultura). A obtenção de métricas de acurácia do usuário (AU), acurácia do produtor (AP) e acurácia global (AG) (Figura 5), conforme sugerido na literatura (Hou et al., 2022; Tian et al., 2022), possibilitou medir a precisão da classificação com algoritmo de *machine learning* para extrair viveiros escavados. Para a edição final do arquivo vetorial obtido, procedeu-se com a verificação visual de cada polígono mapeado. Para tanto, foram utilizadas como chaves de interpretação as feições apresentadas na Tabela 1 e 2.

Tabela 1. Chaves de interpretação de imagens de satélite utilizadas na validação do mapeamento aquícola no estado do Paraná.

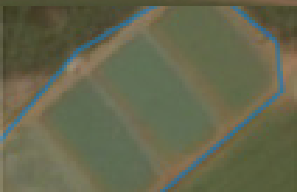
Chave	Descrição	Feição na imagem Planet Scope
Cor	Em composição colorida normalmente a água dos viveiros pode apresentar diferentes tons de verde, marrom e cinza. Dificilmente apresentam cores muito escuras.	
Textura	Normalmente lisa, eventualmente rugosa em virtude da ação dos ventos ou aeradores ligados.	
Forma	Normalmente retangular para facilitar a despesca. Eventualmente de apresentam em formatos quadrados, circulares e triangulares.	
Padrões	Arranjos de elementos retangulares (mais de um viveiro).	
Contexto geográfico	Regiões planas, próximas a cursos d'água ou açudes, com estradas de acesso aos viveiros.	
Espectro eletromagnético	Comportamento espectral de águas turvas ou com sedimentos em suspensão.	

Tabela 2. Chaves de interpretação de imagens de satélite dos elementos intrínsecos à aquicultura.

Chave	Descrição	Feição na imagem Planet Scope
Elementos da aquicultura	Alimentadores automáticos ou comedouros flutuantes. Apresentam-se nas imagens como pequenos pontos na beirada dos viveiros.	
	Aeradores - sistemas de aeração da água que se apresentam nas imagens como pequenos pontos claros em regiões centrais dos viveiros.	
	Presença de galpões, barracas ou containeres próximos à área dos viveiros para armazenamento da ração.	

Ainda como chaves de interpretação, foram utilizados elementos intrínsecos à atividade aquícola, tais como os apresentados na Figura 6. Também foram quantificados e analisados os tanques mapeados e os empreendimentos aquícolas em relação à sua concentração espacial, à área, ao perímetro e à circularidade por bacias hidrográficas do estado do Paraná.

Caracterização Espacial da Aquicultura no Paraná

Mapeamento Automatizado dos Viveiros Escavados

A avaliação do mapeamento de viveiros aquícolas mostrou acurácia global de 0,90 (90% das classes classificadas corretamente). Esse resultado reflete a elevada taxa de acurácia do produtor para as classes aquicultura (0,95) e não aquicultura (0,80), conforme verificado na Figura 5h. A acurácia do usuário também obteve acertos acima de 0,80 (Figura 5a).

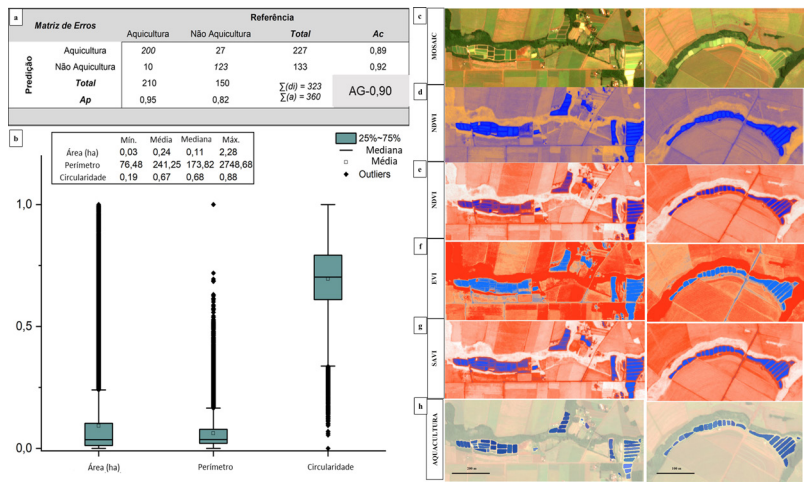


Figura 5. Validação dos viveiros escavados e correspondência espacial com os índices espectrais no estado do Paraná.

A partir da classificação automatizada, foram identificados 42.369 polígonos associados a viveiros escavados no território do estado do Paraná (Figura 6). A área de lâmina d'água total ocupada por esses

viveiros correspondeu a 11.515 ha. Os valores mín. e máx. de área e perímetro variaram entre 0,05-2,28 ha e 113,52-2748,68 m, respectivamente, conforme é possível verificar na Figura 5b. Os valores médios foram de 0,27 ha (área) e 260,92 m (perímetro) para os viveiros mapeados. Predominam viveiros aquícolas com área inferior a 0,7 ha e perímetro menor que 600 m e viveiros predominantemente próximos à circularidade, considerando que o valor médio de compacidade (circularidade) foi de 0,70, pois os valores de compacidade variaram entre 0,55 e 0,88, de modo que 25% a 75% dos viveiros mapeados apresentaram índice de compacidade entre 0,65 e 0,72.

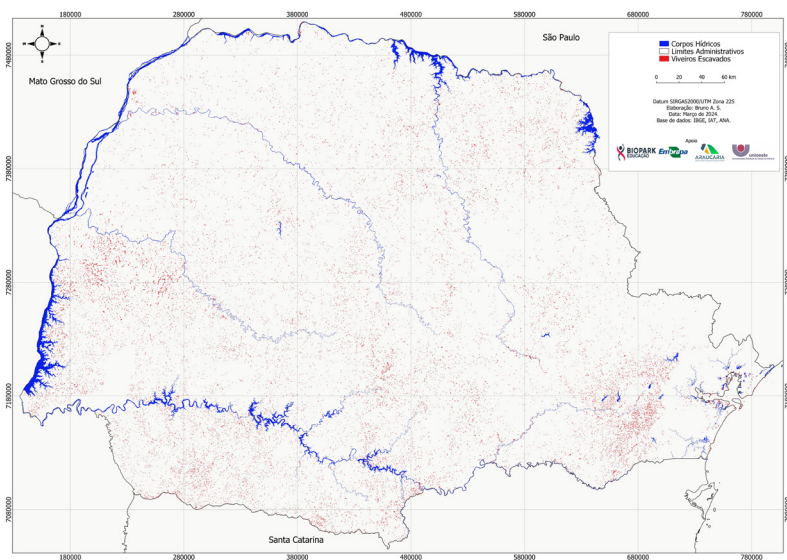


Figura 6. Mapeamento automatizado dos viveiros escavados no estado do Paraná.

Empreendimentos Aquícolas no Estado do Paraná

A partir do arquivo gerado pela extração automatizada de viveiros aquícolas (individualizados) para o estado do Paraná, foi possível quantificar os empreendimentos aquícolas por bacia hidrográfica. Também foi possível separá-los e classificá-los em classes de tamanho pequeno, médio e grande. O levantamento indicou que atualmente o estado possui 13.514 empreendimentos aquícolas. Isso representa uma área de lâmina d'água de 10.596,7 ha (Figura 7). A distribuição desses empreendimentos por bacia é predominantemente desigual e concentrada em três bacias hidrográficas (Piquiri, Iguaçu e Paraná III) das 16 que o estado do Paraná apresenta (Figuras 7 e 8).

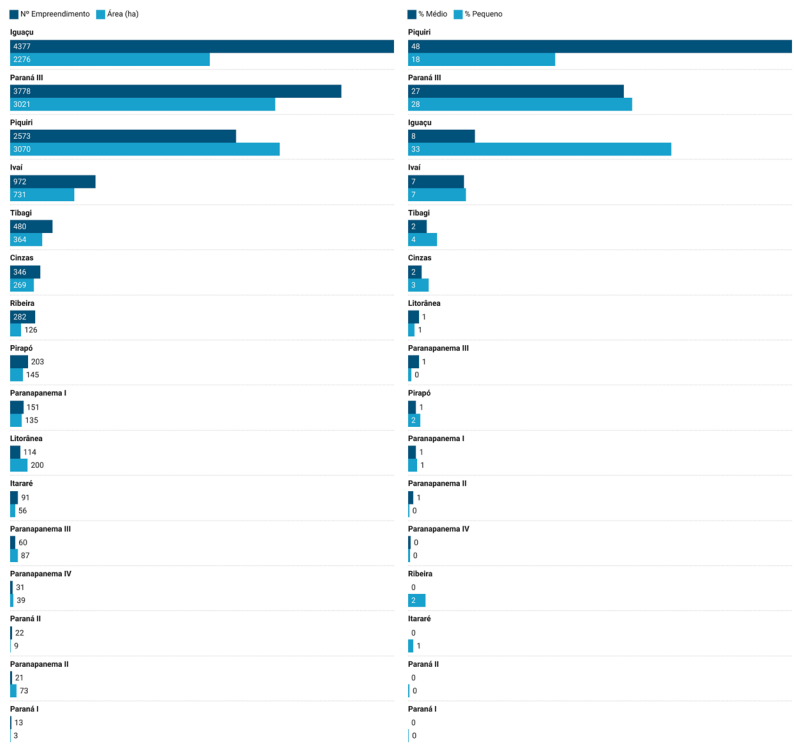


Figura 7. Mapeamento automatizado dos viveiros escavados no estado do Paraná.

As bacias dos rios Piquiri, Iguaçu e Paraná III concentram a maioria dos empreendimentos do estado, 79,4% do total (Figura 10), enquanto as bacias dos rios Paranapanema I, Pirapó, Ribeira, Cinzas, Tibagi e Ivaí somam apenas 18,0% dos empreendimentos. As sete bacias restantes representam 2,6% do total de empreendimentos aquícolas no estado, sendo as sub-bacias do Paranapanema (II, III e IV) e do Paraná (I e II) e as bacias Litorânea e Itararé. A lâmina d'água ocupada pelos empreendimentos também segue a tendência do número de empreendimentos. As bacias Piquiri, Paraná III e Iguaçu concentram 78,9% da lâmina d'água total, seguidas pelas bacias do Ivaí, Tibagi, Cinzas, Litorânea, Pirapó, Paranapanema I e Ribeira (18,6%). As outras bacias somam somente 2,5% de lâmina d'água (Tabela 1).

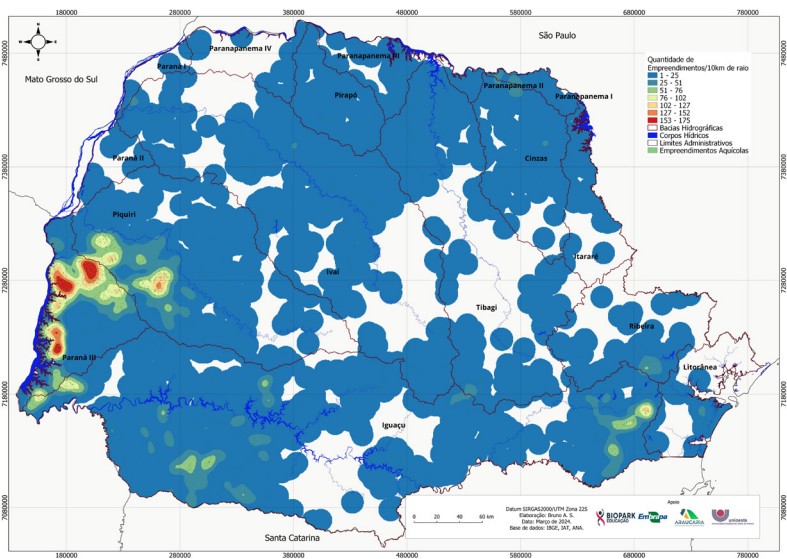


Figura 8. Distribuição espacial dos empreendimentos aquícolas no ano de 2024 - estado do Paraná.

Tabela 3. Quantificação dos empreendimentos aquícolas por bacias hidrográficas, por tamanho e por presença de sistemas de aeração de acordo com o tamanho do empreendimento no estado do Paraná.

Empreendimentos			Por Tamanho		Presença sistema de aeração	
Bacia	Quantidade	ha	0-5 ha	5-50 ha	0-5 ha	5-50 h
Cinzas	346 (2,6%)	268,80 (2,5%)	339	5	16 (0,1%)	2 (0,7%)
Iguaçu	4377 (32,4%)	2275,7 (21,5%)	4345	25	169 (1,3%)	2 (0,7%)
Itararé	91 (0,7%)	55,8 (0,5%)	89	0	5 (0,0%)	0 (0,0%)
Ivaí	972 (7,2%)	730,7 (6,9%)	951	21	82 (0,6%)	11 (3,7%)
Litorânea	114 (0,8%)	199,5 (1,9%)	110	4	11 (0,1%)	1 (0,3%)
Paraná I	13 (0,1%)	3,4 (0,0%)	13	0	2 (0,0%)	0 (0,0%)
Paraná II	22 (0,2%)	9,0 (0,1%)	19	0	2 (0,0%)	0 (0,0%)
Paraná III	3778 (28%)	3020,9 (28,5%)	3697	81	596 (4,5%)	73 (24,3%)
Paranapanema I	151 (1,1%)	134,6 (1,6%)	148	3	12 (0,1%)	0 (0,0%)
Paranapanema II	21 (0,2%)	72,6 (0,7%)	19	2	1 (0,0%)	0 (0,0%)
Paranapanema III	60 (0,4%)	86,6 (0,8%)	56	4	12 (0,1%)	3 (1,0%)
Paranapanema IV	31 (0,2%)	38,9 (0,4%)	30	1	6 (0,0%)	0 (0,0%)
Piquiri	2573 (19%)	3070,4 (29,0%)	2428	144	890 (6,7%)	131 (43,7%)
Pirapó	203 (1,5%)	144,7 (1,4%)	200	3	26 (0,2%)	1 (0,3%)
Ribeira	282 (2,1%)	126,3 (1,2%)	282	0	10 (0,1%)	0 (0,0%)
Tibagi	480 (3,6%)	363,7 (3,4%)	472	7	21 (0,2%)	4 (1,3%)
Total	13.514 (100%)	10.602,1 (100%)	13.198	300	1.861 (14,1%)	228 (76,0%)

Os empreendimentos aquícolas com menos de 5 ha de área são os mais representativos na aquicultura estadual - 13.212 no total (97,7%) - e apresentam lâmina d'água de 7.988,6 ha (75,4% do total). Empreendimentos médios somam menos de 2,2% do total, ocupando 24,6% de lâmina d'água (2.608,1 ha) destinada à aquicultura no Paraná. Não foram identificados empreendimentos grandes no estado.

As bacias que apresentam a maior quantidade de empreendimentos aquícolas pequenos, menores que 5 ha, são as bacias Iguaçu (4.345), Paraná III (3.697), Piquiri (2.428) e Ivaí (951). Essas bacias representam 85% do total de empreendimentos aquícolas identificados no ano de 2024 no estado do Paraná (Tabela 3). As bacias Tibagi, Cinzas, Ribeira, Pirapó, Paranapanema I e Litorânea contêm 1.551 empreendimentos aquícolas pequenos. As outras seis bacias possuem 229 empreendimentos dessa categoria (Tabela 3). Com menor incidência, os empreendimentos com área de 5 a 50 ha se concentram nas bacias Piquiri (144), Paraná III (81), Iguaçu (25) e Ivaí (21). As demais bacias totalizam 29 médios empreendimentos.

Tecnificação dos empreendimentos aquícolas no estado e por bacia hidrográfica

Em relação ao quadro geral dos empreendimentos aquícolas, com base na resolução das imagens, foi possível verificar que 19% dos empreendimentos do estado do Paraná possuem algum grau de tecnificação, quando avaliada a presença de sistema de aeração para cultivo de peixes em viveiros. É possível verificar que os empreendimentos aquícolas tecnificados estão alocados, predominantemente, nas bacias Piquiri, Paraná III, Iguaçu e Ivaí (Figura 9). Essas duas (não seriam quatro?) bacias somam 14,5% dos empreendimentos que possuem sistema de aeração instalado nos viveiros escavados do estado. As demais bacias somam 133 empreendimentos que possuem sistema de aeração instalados, representando menos de 1% dos empreendimentos com aeradores.

Considerações finais

A produção aquícola no Paraná é espacialmente concentrada na região Oeste do estado e tem como principais municípios Nova Aurora, Palotina, Toledo e Assis Chateaubriand, que representam metade da produção estadual; seguidos de Maripá, Terra Roxa, Nova Santa Rosa, Cafelândia, Marechal Cândido Rondon e Tupãssi. Ao Norte do estado, verifica-se significativa produção nos municípios de Alvorada do Sul, Itambaracá e Carlópolis, situação que tem alavancado a produção em municípios vizinhos na medida em que, de modo geral, tais municípios têm experimentado taxas de crescimento positivas nos últimos anos. Os municípios de Francisco Alves, Rolândia, Borrazópolis, Cruzmaltina, Campo Largo, Contenda e Sertanópolis também estão se destacando com relação às altas taxas de crescimento na produção, quando comparados à média estadual.

A partir do mapeamento realizado, constatou-se que a produção estadual de peixes em viveiros escavados se concentra em poucas bacias hidrográficas, sendo mais recorrentes nas bacias Piquiri, Paraná III e Iguaçu. Os tipos de empreendimentos aquícolas que predominam são aqueles de pequeno e médio portes, sendo que os empreendimentos pequenos correspondem a mais de 90% de lâmina d'água destinada à aquicultura estadual e é justamente essa classe de empreendimentos que possui o maior grau de tecnificação.

Os resultados apresentados neste documento, ao apontarem áreas de maior concentração de empreendimentos, podem subsidiar a elaboração de projetos, planos e programas pelos diferentes integrantes da cadeia produtiva, bem como balizar tomadas de decisões por gestores governamentais no gerenciamento, monitoramento e zoneamentos da capacidade de produção de peixes em viveiros aquícolas no estado do Paraná, tendo em vista a demanda de água necessária para a produção, a destinação de recursos e a criação de políticas públicas e investimento privado. Ademais, ficou evidenciado que a maior parte dos empreendimentos aquícolas não possui algum grau de tecnificação, exceto aqueles localizados nas bacias Paraná III e

Piquiri. Situação que reforça a necessidade de uma maior atenção e assistência técnica direcionada aos empreendimentos cujo objetivo é atender à demanda comercial.

Referências

- AI, B.; XIAO, H.; XU, H.; YUAN, F.; LING, M. Coastal aquaculture area extraction based on self-attention mechanism and auxiliary loss. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 16, p. 2250-2261, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. **Anuário Brasileiro da Piscicultura - PEIXE BR 2023**. [S. l.]: Associação Brasileira da Piscicultura, 2023.
- BÉNÉ, C.; BARANGE, M.; SUBASINGHE, R.; PINSTRUP-ANDERSEN, P.; MERINO, G.; HEMRE, G.-I.; WILLIAMS, M. Feeding 9 billion by 2050 – Putting fish back on the menu. **Food Security**, v. 7, n. 2, p. 261-274, 2015.
- BEVERIDGE, M. C. M.; THILSTED, S. H.; PHILLIPS, M. J.; METIAN, M.; TROELL, M.; HALL, S. J. Meeting the food and nutrition needs of the poor: The role of fish and the opportunities and challenges emerging from the rise of aquaculture. **Journal of Fish Biology**, v. 83, n. 4, p. 1067-1084, 2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Cadastro Ambiental Rural – CAR**. [Brasília, DF], 2024. Disponível em: <https://www.car.gov.br/>.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 413, de 26 de junho de 2009. Dispõe sobre a definição de áreas úmidas no Brasil e sobre a inclusão dessas áreas na Lista de Zonas Úmidas de Importância Internacional conforme a Convenção de Ramsar. **Diário Oficial da União**: n. 122, p. 126-129, 30 jun. 2009.
- BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, v. 45, p. 5-32, 2001.

DAPIEVE, D. R.; MAGGI, M. F.; MERCANTE, E.; FRANCISCO, H. R.; OLIVEIRA, D. De D.; LUIZ JUNIOR, O. J. Use of geotechnologies for aquaculture site selection: suitability factors and constraints for production in ground-excavated ponds. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 51, n. 2, p. 160-194, 2023.

FAO. **The state of world fisheries and aquaculture 2024 – blue transformation in action**. [Rome], 2024.

FRANCISCO, H. R.; CORRÊIA, A. F.; FEIDEN, A. Classification of areas suitable for fish farming using geotechnology and multi-criteria analysis. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 394, p. 1-19, 2019.

GEOFABRIK. **GEOFABRIK - Maps & Data**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.geofabrik.de/geofabrik/index.html>. Acesso em: 15 jan. 2024.

GOFFI, A.; STROPPIANA, D.; BRIVIO, P. A.; BORDOGNA, G.; BOSCHETTI, M. Towards an automated approach to map flooded areas from Sentinel-2 MSI data and soft integration of water spectral features. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 84, article 101951, 2020.

GREENSTREET, L.; FAN, J.; PACHECO, F. S.; BAI, Y.; UMMUS, M. E.; DORIA, C.; BARROS, N. O.; FORSBERG, B. R.; XU, X.; FLECKER, A.; GOMES, C. Detecting aquaculture with deep learning in a low-data setting. In: SIGKDD FRAGILE EARTH WORKSHOP, 2023, Long Beach, CA. **[Proceedings]**. Long Beach - CA: Association for Computing Machinery, 2023. p. 6-10.

HOU, Y.; ZHAO, G.; CHEN, X.; YU, X. Improving Satellite Retrieval of Coastal Aquaculture Pond by Adding Water Quality Parameters. **Remote Sensing**, v. 14, n. 14, article 3306, 2022.

IBGE. **Cidades e estados: Paraná. Brasília**, DF, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr.html>. Acesso em: 16 jan. 2024.

IBGE. **Produção Agropecuária Brasileira. Brasília**, DF, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em: 03 ago. 2023.

LI, B.; GONG, A.; CHEN, Z.; PAN, X.; LI, L.; LI, J.; BAO, W. An object-oriented method for extracting single-object aquaculture ponds from 10 m resolution sentinel-2 images on google earth engine. **Remote Sensing**, v. 15, n. 3, article 856, 2023.

LIAO, H. Y.; WEN, T. H. Extracting urban water bodies from high-resolution radar images: measuring the urban surface morphology to control for radar's double-bounce effect. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 85, 2020.

MATARIRA, D.; MUTANGA, O.; NAIDU, M. Google earth engine for informal settlement mapping: a random forest classification using spectral and textural information. **Remote Sensing**, v. 14, n. 20, article 5130, 2022.

MATSUSHITA, B.; YANG, W.; CHEN, J.; ONDA, Y.; QIU, G. Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. **Sensors**, v. 7, n. 11, p. 2636-2651, 2007.

MONTERO, D.; AYBAR, C.; MAHECHA, M. D.; MARTINUZZI, F.; SÖCHTING, M.; WIENEKE, S. A standardized catalogue of spectral indices to advance the use of remote sensing in Earth system research. **Scientific Data**, v. 10, n. 197, p. 1-20, 2023.

NAYLOR, R. L.; HARDY, R. W.; BUSCHMANN, A. H.; BUSH, S. R.; CAO, L.; KLINGER, D. H.; LITTLE, D. C.; LUBCHENCO, J.; SHUMWAY, S. E.; TROELL, M. A 20-year retrospective review of global aquaculture. **Nature**, v. 591, n. 7851, p. 551-563, 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>.

NAYLOR, R. L.; GOLDBURG, R. J.; PRIMAVERA, J. H.; KAUTSKY, N.; BEVERIDGE, M. C. M.; CLAY, J.; FOLKE, C.; LUBCHENCO, J.; MOONEY, H.; TROELL, M. Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature**, v. 405, n. 6790, p. 1017-1024, 2000.

NOVO, Y. C. C.; FARIAS, A. R.; FONSECA, M. F.; MAGALHÃES, L. A. Mapeamento de unidades de produção aquícola no estado do Paraná por meio de processamento e interpretação de imagens de satélite Sentinel. **RA'E GA: O Espaço Geográfico em Análise**, v. 54, p. 103-108, 2022.

OTTINGER, M.; CLAUSS, K.; KUENZER, C. Opportunities and challenges for the estimation of aquaculture production based on earth observation data. **Remote Sensing**, v. 10, n. 7, p. 1-24, 2018.

PLANET TEAM. **Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth**. San Francisco, 2017. Disponível em: <https://api.planet.com>. Acesso em: 02 fev. 2024.

QGIS 3.28.2. **QGIS.org Geographic Information System**. Versão 3.28.2. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: www.qgis.org. Acesso em: 07 jan. 2024.

REN, C.; WANG, Z.; ZHANG, Y.; ZHANG, B.; CHEN, L.; XI, Y.; XIAO, X.; DOUGHTY, R. B.; LIU, M.; JIA, M.; MAO, D.; SONG, K. Rapid expansion of coastal aquaculture ponds in China from Landsat observations during 1984–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 82, article 101902, 2019.

SÃO JOSÉ, F. F. de; NOVO, Y. C. de C.; FARIAS, A. R.; MAGALHÃES, L. A.; FONSECA, M. F. **Mapeamento de viveiros escavados para aquicultura no Brasil por sensoriamento remoto**. Campinas: Embrapa Territorial, 2022. 28 p. (Embrapa Territorial. Documentos, 144).

SILVA, B. A.; UMMUS, M. E.; HAYAKAWA, E. H.; BENNERT, A.; ADAMI, M.; TROMBINI, C. B.; FEIDEN, A.; VASCO, K. L.; BRITO, A. G. Mapping aquaculture in inland continental areas of Brazil using machine learning on the Google Earth Engine. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 36, p. 101391, 2024.

SOUZA JUNIOR, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W. De; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTINS, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERSNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIEIRA, J. L.; FERREIRA NETO, L. C.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO,

M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, 2020.

SUN, W.; HOU, T.; CHEN, C.; YANG, G.; CHEN, B.; MENG, X.; REN, M. Mapping China's coastal aquaculture ponds expansion with sentinel-2 images during 2017–2021. **International Journal of Digital Earth**, v. 17, n. 1, 2024.

TIAN, P.; LIU, Y.; LI, J.; PU, R.; CAO, L.; ZHANG, H.; AI, S.; YANG, Y. Mapping coastal aquaculture ponds of China using sentinel SAR images in 2020 and Google Earth engine. **Remote Sensing**, v. 14, n. 21, article 5372, 2022.

VALENTI, W. C.; BARROS, H. P.; MORAES-VALENTI, P.; BUENO, G. W.; CAVALLI, R. O. Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Aquaculture Reports**, v. 19, p. 1-18, 2021.

XIA, Z.; GUO, X.; CHEN, R. Automatic extraction of aquaculture ponds based on Google Earth Engine. **Ocean and Coastal Management**, v. 198, article, 105348, 2020.

YU, Z.; AN, Q.; LIU, W.; WANG, Y. Analysis and evaluation of surface water changes in the lower reaches of the Yangtze River using Sentinel-1 imagery. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 41, article 101074, 2022.

ZENG, Z.; WNAG, D.; TAN, W.; YU, G.; YOU, J.; LV, B.; WU, Z. RCSANet: a full convolutional network for extracting inland aquaculture ponds from high-spatial-resolution images. **Remote Sensing**, v. 13, n. 1, p. 1-21, 2021.

