

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 25/07/2025.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**SISTEMA INTELIGENTE PARA PREDIÇÃO DE
SAFRA E VENDA DO PESCADO
PRODUZIDO EM FAZENDA COMERCIAL DE
TILÁPIA SOB DIFERENTES CONDIÇÕES
CLIMÁTICAS**

Maicon da Rocha Brande

Jaboticabal, São Paulo

2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP**

**SISTEMA INTELIGENTE PARA PREDIÇÃO DE
SAFRA E VENDA DO PESCADO
PRODUZIDO EM FAZENDA COMERCIAL DE
TILÁPIA SOB DIFERENTES CONDIÇÕES
CLIMÁTICAS**

Maicon da Rocha Brande

Orientador: Dr. Guilherme Wolff Bueno

Tese apresentada ao Programa
de Pós-graduação em Aquicultura
do Centro de Aquicultura da
UNESP – CAUNESP, como parte
dos requisitos para obtenção do
título de DOUTOR.

Jaboticabal, São Paulo

2023

BRANDE, Maicon da Rocha. **Sistema inteligente para predição de safra e venda do pescado produzido em fazenda comercial de tilápia sob diferentes condições climáticas**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Centro de Aquicultura – CAUNESP, 2023.

FICHA CATALOGRÁFICA

B817s Brande, Maicon da Rocha
Sistema inteligente para predição de safra e venda do pescado
produzido em fazenda comercial de tilápia sob diferentes condições
climáticas / Maicon da Rocha Brande. – – Jaboticabal, 2023
x, 195 p. : il. ; 29 cm

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de
Aquicultura, 2023
Orientador: Guilherme Wolff Bueno
Banca examinadora: Érico Tadao Teramoto, Thiago Dias Trombeta,
Rodrigo Roubach, Danilo Cintra Proença
Bibliografia

1. Aquicultura. 2. Tilápia. 3. Processos. 4. Internet of things.
5. Software. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 636.3.043

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Jaboticabal/SP - Karina Gimenes Fernandes - CRB 8/7418

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Unidade Complementar - Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: SISTEMA INTELIGENTE PARA PREDIÇÃO DE SAFRA E VENDA DO PESCADO
PRODUZIDO EM FAZENDA COMERCIAL DE TILÁPIA SOB DIFERENTES
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

AUTOR: MAICON DA ROCHA BRANDE

ORIENTADOR: GUILHERME WOLFF BUENO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Aquicultura, pela
Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GUILHERME WOLFF BUENO (Participação Presencial)
Departamento de Recursos Pesqueiros e Aquicultura / Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira –
FCAVR/Unesp, Registro-SP

Prof. Dr. ÉRICO TADAO TERAMOTO (Participação Presencial)
Departamento de Recursos Pesqueiros e Aquicultura / Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira –
FCAVR/Unesp, Registro-SP

Prof. Dr. THIAGO DIAS TROMBETA (Participação Virtual)
Departamento de Agronegócios / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília –
UnB

Dr. RODRIGO ROUBACH (Participação Virtual)
Fisheries Department / Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO/ONU, Roma, Itália

Prof. Dr. DANILO CINTRA PROENÇA (Participação Virtual)
Departamento de Biologia / Faculdade São Luiz, Jaboticabal-SP

Jaboticabal, 25 de julho de 2023

AGRADECIMENTO INSTITUCIONAL

O presente trabalho foi realizado com apoio do **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq)**, por meio do **Programa de Doutorado Acadêmico para Inovação (DAI)** de *“Formação empreendedora de doutorandos para aumento da competitividade de empresas por meio da inovação científica empresarial”*, processo nº **142382/2019-1**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha imensa gratidão a todas as pessoas que estiveram ao meu lado ao longo desses quatro anos de dedicação à pesquisa atual. Agradeço especialmente aos meus pais, *Marta e Elias*, à minha querida irmã *Pâmela* e à minha adorável companheira *Ana Claudia*, por sua tolerância, incentivo, paciência e apoio. Mesmo nos momentos em que estive ausente, eles sempre me compreenderam e proporcionaram um ambiente inspirador que me impulsionou até aqui. Envio a todos um caloroso abraço e uma profunda sensação de gratidão por estarem presentes nesta etapa importante da minha vida.

Também gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos à nossa incrível equipe de execução dos trabalhos, que foram parceiros excepcionais em todos os momentos de dedicação e exclusividade nos levantamentos de dados, coletas de campo, tabulação dos dados e construção da ferramenta Aquability®. Em particular, gostaria de mencionar meu orientador neste trabalho, o *Prof. Dr. Guilherme Wolff Bueno*, e meu parceiro de trabalho, *Paulo Nunes Rocha* (Programador). Sem eles, nada disso teria sido possível em termos de execução e aplicação do sistema no campo. Também expresso meus agradecimentos pelo apoio e dedicação no desenvolvimento de *hardwares* e validações no campo ao Engenheiro de Pesca *Roberto Kazuyoshi Naoe*.

Por fim, gostaria de expressar minha sincera gratidão à Empresa *Piscicultura Cristalina LTDA* e à startup *AQUI9 Serviços e Tecnologia LTDA* pela parceria valiosa e pelo apoio essencial em termos de infraestrutura, logística, fornecimento de dados históricos e uma equipe dedicada para a organização, processamento e mineração de dados. Ao *Centro de Aquicultura da Unesp (CAUNESP)*, meu profundo agradecimento pelo apoio institucional ao longo do desenvolvimento desta tese. E não posso deixar de mencionar o "*Aquário de Ideias*", *Incubadora de Empresa de Base Científica e Tecnológica da UNESP* no Vale do Ribeira, e o *Laboratório Bioeconomia da UNESP Registro*, pelos seus inestimáveis apoios operacional e orientação durante todo o desenvolvimento deste trabalho científico e tecnológico.

Agradeço de coração a todas essas entidades e pessoas envolvidas. A colaboração, o apoio e as mentorias que recebi foram de imenso valor e tiveram um impacto significativo em cada etapa deste trabalho. Sou verdadeiramente grato por ter tido o privilégio de contar com essas parcerias e apoios ao longo dessa jornada.

DEDICATÓRIA

Dedico com amor e carinho aos meus pais, Marta e Elias, pelo incentivo de nunca desistir de meus estudos e das minhas buscas incessantes do conhecimento, pois nunca acreditei em sorte e sim que “*o conhecimento nos transforma e proporciona excelentes oportunidades*”.

“Todo o nosso conhecimento tem sua origem em nossas percepções”

Leonardo Da Vinci

APOIO FINANCEIRO E INSTITUCIONAL

Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) pelo fornecimento da bolsa de DOUTORADO no período de 01/08/2019 a 01/08/2023, por meio da chamada pública CNPq nº 23/2018 Programa Doutorado Acadêmico para Inovação – DAI (AUIN/UNESP).

Agradecimentos pelo apoio no desenvolvimento, capacitação e mentorias ao longo do desenvolvimento deste projeto de pesquisa aos Programas de incentivo a inovação e de transformação de projetos acadêmicos em produtos e serviços para o mercado: CATALISA ICT/SEBRAE – Planos de Inovação de 2022; CENTELHA/SP – MCTI/Finep/FAPESP Chamada de Propostas 27/2021 e do Programa-piloto de Mentoria em PI (Propriedade Intelectual) pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) Módulo UPITEC22CATALISAT1.

Ao projeto “BRS Aqua – Ações estruturantes e inovação para o fortalecimento das cadeias produtivas de Aquicultura no Brasil”, uma colaboração entre o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) pelo apoio com as estruturas flutuantes e dados históricos das plataformas limnológicas de Fartura, São Paulo.

Agradecemos também a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do avanço deste trabalho de pesquisa que é parte integrante de dois projetos de pesquisa referentes aos Programa de Mudanças Climáticas e Programa Nova Geração de Pesquisadores – PI, processos nº 2019/07948-6 e 2022/02756-4.

RESUMO GERAL

O Brasil é o quarto maior produtor do mundo de tilápia e 70% da produção é realizada por pequenos produtores, em áreas menores que cinco hectares de lâmina de água. Estes empreendimentos apresentam pouco acesso as tecnologias e serviços especializados para monitoramento e gestão da produção do pescado no ambiente aquático. Isto reflete em empreendimentos com maior risco de investimento, menores níveis de produtividade e lucratividade, além de elevados custos para a comercialização. Assim, o desenvolvimento de tecnologias de baixo custo, fácil acesso e uso para a aquicultura brasileira é uma necessidade para esta cadeia de valor. Este estudo teve como objetivo desenvolver um protótipo de produto baseado em ferramentas da Indústria 4.0 para auxiliar a predição de safras, consumo de ração e no ponto de equilíbrio produtivo e operacional (PE) da produção de peixes. Foi criado, testado e validado uma série de processos tecnológicos com algoritmos e sensores de parâmetros limnológicos utilizando inteligência de dados e *cloud computing* para a previsão de safras, consumo de rações e PE da criação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em sistemas de tanques-rede no reservatório neotropical de Chavantes, São Paulo. O protótipo do produto, sistema Aquability®, apresenta o nível 7 em relação ao *Technology Readiness Level* (TRL). Durante dois anos, ele foi testado, validado e demonstrado em um ambiente funcional, onde atingiu um ajuste ~92% em relação a previsão de crescimento corporal, consumo de ração e PE da produção por safra da *O. niloticus* produzidas sob diferentes condições climáticas. Esta tecnologia desenvolvida auxiliará produtores, gestores de negócios e empreendimentos aquícolas para melhoria de processos, monitoramento e tomada de decisão com eficiência, do início da produção até a comercialização do pescado.

PALAVRAS-CHAVE: aquicultura de precisão, *bigdata*, *inovação*, *internet of things*, tecnologias agrárias.

GENERAL ABSTRACT

Brazil is the fourth largest producer of tilapia in the world and 70% of production is carried out by small producers, areas smaller than five hectares of water. These enterprises have little access to technologies and specialized services for monitoring and managing fish production in the aquatic environment. This is reflected in undertakings with higher investment risk, lower levels of productivity and profitability, in addition to high marketing costs. Thus, the development of low-cost, easy-to-access and use technologies for Brazilian aquaculture is a necessity for this value chain. This study aimed to develop a product prototype based on Industry 4.0 tools to predict a feed consumption, a productive and operational break-even point (PE) and crop of fish production. A series of technological processes was created, tested and validated with algorithms and limnologic sensors using data intelligence and cloud computing for crop forecasting the feed consumption and PE in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) rearing in net cage systems in the Neotropical reservoir of the Chavantes, São Paulo. The prototype of the product, the Aquability® system, has a seven Technology Readiness Level (TRL) level. Thus, it was tested, validated and demonstrated in a functional environment where it achieved ~92% adjustment in predicting body growth, feed intake and production cost per crop of *O. niloticus* produced under different climatic conditions. This developed technology will help producers and business managers and aquaculture enterprises to improve processes, monitoring and decision making efficiently, from the beginning of production to the fish commercialization.

KEY WORDS: precision aquaculture, bigdata, innovation, internet of things, agricultural technologies.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o quarto maior exportador de produtos agropecuários no mundo, um mercado de mais de US\$ 100 bilhões segundo dados da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2023). Em termos de Produto Interno Bruto (PIB), este setor representa mais de 25% de tudo que se produz no país (CEPEA, 2023). Dentre os segmentos do agronegócio, a agricultura corresponde por 70% da produção no país, gerando um volume monetário acima de R\$ 1,35 trilhão e a pecuária com 30% do mercado representando pouco mais que R\$ 600 bilhões (CNA, 2023).

Neste contexto, juntamente com o setor do agronegócio, a aquicultura é um dos setores de produção de alimentos que mais cresce, principalmente pelo aumento na demanda de proteína de elevado teor biológico (FAO, 2023). Segundo dados do “Estado Mundial da Pesca e Aquicultura” (SOFIA) da FAO (2023), a produção global de pescado em 2022 apresentou um crescimento marginal de 3% em relação ao ano anterior, representando mais de 214 milhões de toneladas, em valores monetários mais de US\$ 424 bilhões.

A produção de pescado no Brasil em 2022 foi em torno de 1,2 Milhões de toneladas (FAO, 2023), o segmento de produção de peixes com pouco mais de 860 mil toneladas, representando mais de 70% da produção total de pescado no país. Destaque para a produção de tilápia que representa mais de 61% da produção total de peixes no país (Valenti et al., 2021). Em 2022, apresentou um volume acima de 550 mil toneladas o qual movimentou aproximadamente US\$ 1,2 bilhões para a economia do país (PeixeBR, 2023).

O crescimento e a representatividade destes setores no Brasil, principalmente se tratando do agronegócio, se deu pelo termo denominado de “Revolução Verde”, devido ao acelerado emprego de tecnologias no campo, como o desenvolvimento de pacotes tecnológicos, aplicações de biotecnologias e a chegada de sementes geneticamente modificadas na agricultura brasileira no final dos anos 1970 (OCTAVIANO, 2010). No início séc. XXI, com a implementação de maquinários inteligentes, sistemas de monitoramento, tecnologias preditivas e uso de sensores no campo (DE CLERCQ et al., 2018), proporcionaram a criação de *bigdata* e aplicação de ferramentas de inteligência de dados para otimização dos processos, rastreabilidade e controle da logística operacional, desde a chegada

de insumos e da matéria-prima na fazenda até a comercialização da produção (LISBINSKI et al., 2020).

Na aquicultura não tem sido diferente, mesmo iniciando este movimento de adoção de tecnologias 4.0 mais tardiamente, têm apresentado uma adoção significativa, principalmente no caso de médios e de grandes produtores aquícolas (BUENO et al., 2021). Como mais de 70% da produção de tilápia no país é originada de pequenos produtores, estes apresentam pouco acesso a tecnologias e serviços especializados (IBGE, 2023). Fazendo com que suas atividades fiquem à mercê de menores níveis de produtividade e lucratividade, consequentemente elevados custos de produção, principalmente custos com a ração que representa mais de 75% dos custos operacionais para a atividade (TROMBETA et al., 2022).

Mesmo a tilápia, espécie amplamente produzida no país, que apresenta pacotes tecnológicos bem definidos e estruturados, está sujeita as variações bruscas de temperatura da água e da chegada de frente fria, que pode ocasionar elevadas perdas de produtividade ou até mesmo da safra por incidência de doenças e mortalidades (SAMPAIO et al., 2021). Ferramentas que auxiliam o monitoramento das variáveis climáticas, controle dos processos e registro de dados são essenciais para facilitar os processos de tomada de decisão, planejamento e gestão da atividade.

Com isto, o desenvolvimento do sistema proposto na presente tese (no **Capítulo 2**), denominado de Aquability®, consistiu na aplicação de uma sequência de processos tecnológicos com algoritmos e sensores de parâmetros limnológicos que permitirá o monitoramento dos parâmetros de qualidade de água em tempo real (temperatura da água neste presente estudo), a aquisição, armazenamento e compartilhamento de dados, desde a chegada de insumos na fazenda até a comercialização do pescado. Esta abordagem irá facilitar a criação de *bigdata* para fazendas produtoras de pescado e a geração de informações para aplicações de metodologias de *business intelligence*, *benchmarking* e análises e projeções de cenários, com base na realidade de cada fazenda, ciclo de produção ou região demográfica, atendendo a demanda por soluções que propiciam alavancagem no crescimento da atividade no Brasil e no mundo com sustentabilidade, eficiência e lucratividade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram ajustes significativos para o uso da tecnologia desenvolvida para previsão de abate e safras comerciais de tilápias em sistemas de tanques-rede. Esses resultados, integrados com os dados capturados usando o sistema Aquability®, têm impulsionado a aquisição de novos dados, automatizando o processo e facilitando as tarefas diárias dos gestores e colaboradores da fazenda. Para a defesa desta tese, esperamos apresentar novos resultados que reflitam todo o processo descrito nos fluxogramas atuais, uma vez que o sistema está em constante validação no campo e no laboratório, buscando corrigir erros, falhas e aprimorar as funcionalidades de acordo com as demandas do gestor e proprietários do setor aquícola.

A utilização de metodologias de *business intelligence* na aquicultura possibilita a análise de grandes volumes de dados, fornecendo conceitos e definições valiosas para tomadas de decisão estratégicas e otimização da produção do pescado. Ao utilizar o sistema Aquability®, acredita-se na integração de dados provenientes de maquinários, equipamentos operacionais e estações meteorológicas locais, empregando a internet das coisas para permitir a comunicação e transferência de dados em tempo real do campo para a nuvem. Além disso, a implementação de sistemas de alerta baseados em inteligência de dados, como *machine learning* e *deep learning*, tornará a tomada de decisão na fazenda cada vez mais autônoma e precisa, necessitando da intervenção humana apenas para o controle de processos e aplicação do senso crítico analítico para aprimoramento das tecnologias no campo.

No entanto, é importante ressaltar que ainda são necessários novos estudos na área da aquicultura, considerando que se trata da produção de organismos aquáticos em um ambiente desafiador, sujeitos diversas condições climáticas. Essa particularidade demanda soluções de fácil adaptabilidade, operacionalidade e manuseio diário, pois, diferentemente da agricultura, não se tem o solo como suporte. Qualquer descuido ou intempérie natural pode colocar todo o sistema de produção em risco, reforçando a necessidade contínua de desenvolver soluções que sejam eficientes e resilientes às condições adversas.

Com o avanço e aprimoramento do sistema Aquability® e o contínuo investimento em pesquisas e inovações na aquicultura, acreditamos que seja possível impulsionar o crescimento sustentável, eficiente e lucrativo desse setor, tanto no Brasil quanto no mundo. A transformação digital representa uma oportunidade de superar os desafios impostos pelas transformações sociais e tecnológicas, fornecendo ferramentas e insights valiosos para impulsionar a eficiência e a sustentabilidade da produção aquícola.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, C. A. S.; SAMPAIO, F. G.; ALCÂNTARA, E.; CURTARELLI, M.P.; OGASHAWARA, I.; STECH, J.L. (2017) Effects of atmospheric cold fronts on stratification and water quality of a tropical reservoir: Implications for aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*. v. 9, p. 385-403. <https://doi.org/10.3354/AEI00240>.
- BOYD, C. E., MCNEVIN, A. A., & TUCKER, C. S. (2019) *Resource use and the environment*. In J. Lucas, P. Southgate, & C. Tucker (Eds.), *Aquaculture: Farming aquatic animals and plants* (3rd ed., pp. 93–112). Chichester, England: Wiley.
- BOYD, CLAUDE E.; D'ABRAMO, LOUIS R.; GLENCROSS, BRENT D.; HUYBEN, DAVID C.; JUAREZ, LORENZO M.; LOCKWOOD, GEORGE S.; MCNEVIN, AARON A.; TACON, ALBERT G. J.; TELETCHEA, FABRICE; TOMASSO JR., JOSEPH R.; TUCKER, CRAIG S.; VALENTI, WAGNER C. (2020) Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. Review Article, *Journal World Aquaculture Society*, 51:578–633. DOI: 10.1111/jwas.12714.
- BRANDE, M.R.; SANTOS, D.F.L., FIALHO, N.S., PROENÇA, D.C., OJEDA, P.G., GODÓI, F.C.M., ROUBACH, R., BUENO, G.W. (2023) Economic and financial risks of commercial tilapia cage culture in a Neotropical reservoir. *Heliyon*, 9, e16366. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16336>.
- BUENO, G.W., BERNAL, F.E.M., ROUBACH, R., SKIPPER-HORTON, J.O., SAMPAIO, F.G., FIALHO, N.S., BUREAU, D.P. (2023) Mathematical modeling of waste outputs in the aquatic environment from commercial cage farm under neotropical climate conditions. *Aquaculture Environmental Interactions*, 2023 (no prelo). 30p.
- BUENO, G.W., CAMARGO, T.R., SAMPAIO, F.G., MACHADO, L.P., ROUBACH, R. (2021) Challenges to advance aquaculture 4.0 in Brazil. *World Aquaculture*, June-2021, p.37-42.

- CAI, J., LEUNG, P.S., LUO, Y., YAN, X., & YAN, Y. (2018) *Improving the performance of tilapia farming under climate variation: Perspective from bioeconomic modeling*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- DUMAS, A., FRANCE, J., & BUREAU, D. (2010) Modelling growth and body composition in fish nutrition: Where have we been and where are we going. *Aquaculture Research*, 41(2), 161-181.
- EL-SAYED, A. F. M.; KAWANNA, M. (2008) Optimum water temperature boosts the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared in a recycling system. *Aquaculture Research*, v. 39, n. 6, p. 670–672. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01915.x>.
- ENGELHARD, G. H; HOWES, E. L.; PINNEGAR, J. K.; LE QUESNE, W. J. F. (2022) Assessing the risk of climate change to aquaculture: a national-scale case study for the Sultanate of Oman. *Climate Risk Management*, v. 35. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100416>.
- GARCIA, F., ROMERA, D. M. & GOZI, K. S. (2014) Enfermidades de tilápias do Nilo em tanques-rede. *Pesquisa & Tecnologia*, 1(1), 1-11.
- HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, C., MATEOS, J., ROSAS-FLORES, W., HERNÁNDEZ-MONTOYA, V., & GARCÍA-ORTEGA, A. (2021) Real-time control and monitoring systems in aquaculture for environmental impact reduction: A review. *Aquacultural Engineering*, 96, 102310.
- JOBLING, M. (2011) *Bioenergetics in aquaculture settings*. In: Farrell, A.P. (Ed.), *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment*. Elsevier, Oxford, 1664–1674.
- KOKO, I. K., YIGIT, M., IBRAHIM, D. M., & QAMAR, M. U. (2019) Automated feeding systems in aquaculture: A review. *Aquacultural Engineering*, 86, 102003.
- MA, T., LIU, M., MA, Z., JIANG, Y., LI, L., & XIE, S. (2019) Automation and control of water temperature in aquaculture: A review. *Aquacultural Engineering*, 86, 102011.
- MAKORI, A. J.; ABUOM, P. O.; KAPIYO, R.; ANYONA, D. N.; DIDA, G. O. (2017) Effects of water physico-chemical parameters on tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth in earthen ponds in Teso North Sub-County, Busia

- County. *Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 20, n. 1, p. 1–10. <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0075-7>.
- MULEMA, S. A.; GARCÍA, A. C. (2019) Monitoring of an aquatic environment in aquaculture using a MEWMA chart. *Aquaculture*, v. 504, p. 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.019>.
- MUNGUÍA-FRAGOZO, P., ARREOLA-LIZÁRRAGA, J. A., OLIVERA-CASTILLO, L., CAMPA-CÓRDOVA, Á. I., HERNÁNDEZ-LLAMAS, A., & MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L. R. (2021) Internet of Things and real-time analytics for smart aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 13(3), 1057-1077.
- PEIXE-BR. *Anuário Peixe BR da Piscicultura*. Associação Brasileira da Piscicultura., 79p., 2022.
- RAHMAN, M.O.; KASHEM, M.A.; NAYAN, A.; AKTER, M.F.; RABBI, F.; AHMED, M.; ASADUZZAMAN, M. (2021) Internet of Things (IoT) based ECG System for Rural Health Care. (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 12, No. 6, 2021.
- RASHID, M.M.; RAHMAN, A.N.M.O.; SIMI, S.A.; SAHA, J.; KIBRIA, M.G. (2021) IoT based Smart Water Quality Prediction for Biofloc Aquaculture. (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 12, No. 6, 2021.
- RIGOS, G., MILIOU, H., KARAOUZAS, I., & PAPADAKIS, I. (2020). Smart aquaculture: An IoT approach for sustainable water management. *Aquacultural Engineering*, 89, 102003.
- SAMPAIO, F. G.; ARAÚJO, C. A. S.; DALLAGO, B. S. L.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A.; ALCÂNTARA, E.; LOSEKANN, M. E.; MARIN, D. B.; LEÃO, J. A. D.; BUENO, G. W. (2021) Unveiling low-to-high-frequency data sampling caveats for aquaculture environmental monitoring and management. *Aquaculture Reports*, v. 20. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100764>.
- SARKER, I. H. (2022) AI-based modeling: techniques, applications and research issues towards automation, intelligent and smart systems. *SN Computer Science*, (2022) 3:158. p.1-20. <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01043-X>.
- SCHWAB, K. (2016) *A Quarta Revolução Industrial*. Tradução Daniel Moreira Miranda. Edipro, São Paulo, Brasil.