

INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA AQUICULTURA

Patrick Gomes Avelino¹; Danielle Ferreira Gomes Avelino²; Mariana Mirelly da Silva Sá³; Emily Gabriele Albuquerque de Oliveira⁴; Milena Cristina Morais dos Santos⁵

Resumo

A produção de organismos aquáticos está em constante melhorias, adquirindo mudanças significativas que estão impulsionando um desenvolvimento mais avançado no setor tecnológico. Inovações para monitorar a qualidade da água buscam otimizar a gestão das variáveis do ambiente na aquicultura, buscando prevenir e mitigar problemas identificados durante a coleta de dados. A pesquisa teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica descritiva e exploratória sobre o uso de novas tecnologias como suporte no monitoramento da qualidade da água em ambientes de aquicultura. A busca ocorreu entre diversas bases científicas, obtendo relatórios técnicos, artigos, livros e quaisquer publicações sobre a temática abordada, realizando uma filtragem para alcançar o conteúdo específico. Uma das problemáticas mais difíceis a serem enfrentadas pelos aquicultores é o controle da qualidade da água e algumas variáveis são consideradas básicas de serem acompanhadas. Novos dispositivos como os sensores estão sendo utilizados no monitoramento devido a sensibilidade das variadas formas de energia promovidas pelo ambiente. Diante das inovações, o monitoramento contínuo e automatizado, sem a necessidade de intervenção humana, já é uma realidade e é uma tendência global impulsionada pela Indústria 4.0 e pela crescente utilização da Internet das Coisas. Sendo assim, a interseção entre a produção aquícola, monitoramento avançado da qualidade da água e inovações tecnológicas destaca-se como uma abordagem integrada e promissora para enfrentar os desafios contemporâneos da aquicultura.

Palavras-chave: Avanço tecnológico, produção, sustentabilidade.

Abstract

Aquatic organism production is constantly improving, undergoing significant changes that are driving more advanced development in the technological sector. Innovations to monitor water quality seek to optimize the management on aquaculture environment variables, seeking to prevent and mitigate problems identified during data collection. The research aimed to conduct a descriptive and exploratory bibliographic review on the use of new technologies to support water quality monitoring in aquaculture environments. The search was carried out among several scientific databases, obtaining technical reports, articles, books and any publications on the topic addressed, performing a filtering to reach the specific content. One of the most difficult problems to be faced by aquaculture farmers is water quality control and some variables are considered basic to be monitored. New devices such as sensors are being used in monitoring due to the sensitivity of the various forms of energy promoted by the environment. Given the innovations, continuous and automated monitoring, without the need for human intervention, is already a reality and is a global trend driven by Industry 4.0 and the growing use of the Internet of Things. Therefore, the intersection between aquaculture production, advanced

¹ Mestrando em Oceanografia (PPGO) pela Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. E-mail: patrick.avelino@ufpe.br.

² Mestranda em Oceanografia (PPGO) pela Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. E-mail: danielle.avelino@ufpe.br.

³ Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) pela Universidade Federal da Paraíba-UFPB. E-mail: marianamirelly2@gmail.com

⁴ Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) pela Universidade Federal de Sergipe-UFS. E-mail: emilyalbuquerque@gmail.com.

⁵ Mestranda em Ciências Marinhas Tropicais pela Universidade Federal do Ceará-UFC. E-mail: mcs.moraesz@gmail.com.

water quality monitoring and technological innovations stands out as an integrated and promising approach to face contemporary aquaculture challenges.

Keywords: Technological advancement, production, sustainability.

1 Introdução

A área da aquicultura conseguiu contribuir para um desenvolvimento mundial com opções sustentáveis, realizando o cultivo de organismos aquáticos em ambientes controlados ou semicontrolados (Siqueira, 2018) e a produção realizada pela prática de cultivo de espécies aquáticas já responde por 57,5 milhões de toneladas, incluindo 49,1 milhões de toneladas da aquicultura continental e 8,3 milhões de toneladas da cultura marinha e da aquicultura costeira (Ximenes e Vidal, 2023).

A aquicultura brasileira está se desenvolvendo cada vez mais, obtendo importantes melhorias que está possibilitando a saída de um baixo nível tecnológico e de pequena produção para uma atividade exercida por médias e grandes empresas (Pedroza Filho *et al.*, 2020) com elevados aportes científico, financeiro e tecnológico para o ramo da produção do pescado.

Durante o cultivo desses organismos, é de extrema importância que as variáveis físicas e químicas da água estejam dentro dos parâmetros indicados para o cultivo, uma vez que um dos principais fatores que colabora com o sucesso da produção é a qualidade da água que os animais estão inseridos.

Em busca de uma melhor produção, deve ser realizado o monitoramento dos parâmetros de temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica, assim com a turbidez, alcalinidade, dureza e compostos nitrogenados, os quais possuem o papel fundamental para o desenvolvimento dos organismos cultivados (Oliveira, 2009).

De acordo com Sampaio *et al.* (2021), o monitoramento da qualidade da água é a principal estratégia para uma gestão sustentável da aquicultura, como também fundamental para um planejamento e desenvolvimento mais adequado da atividade.

Para garantir uma produção ideal na indústria da aquicultura e otimizar as condições de crescimento dos organismos cultivados, o monitoramento da qualidade da água deve ser mantido o mais estreitamente possível, a fim de evitar possíveis problemas na produção (Naughton *et al.*, 2020).

Existindo como o principal objetivo evitar que os limites estabelecidos não sejam ultrapassados, os programas e normas de monitoramento da qualidade da água tem a finalidade de garantir que possíveis impactos sejam evitados diante do monitoramento exercido (Sampaio *et al.*, 2021). Sendo assim, o monitoramento da qualidade de água em ambientes de aquicultura deve ser realizado diariamente, existindo formas variadas de acompanhamento da saúde que o

ambiente pode ser encontrado. Na verificação da qualidade da água dos ambientes de cultivo, é muito comum o uso da sonda multiparâmetro, como a Akso K88 ou mesmo a HANNA HI 9828, que conseguem aferir as variáveis físico e químicas da água, tais como: temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e sólidos totais solúveis (Martins, 2016).

O processo de monitoramento é de extrema importância, mas ainda é comumente exercido de forma manual, necessitando de um agente para exercer essa atividade, a qual pode acontecer de forma diária, mensal ou com uma certa periodicidade. O agente ou responsável pelo monitoramento ainda pode ser exposto a riscos na realização das atividades, além disso os dados coletados são armazenados de forma manual, estando passivos de possíveis erros (Lima, 2018).

Com o desenvolvimento tecnológico e desempenho científico, novas ferramentas de monitoramento já estão sendo utilizadas e desenvolvidas, como forma de sanar possíveis problemas de aquisição dos aparelhos necessários para o acompanhamento da saúde e sustentabilidade do ambiente utilizado para o cultivo dos organismos.

Dessa forma, tecnologias inovadoras para o monitoramento das variáveis físicas e químicas da qualidade da água, tendem a se desenvolver cada vez mais, buscando otimizar, precaver e mitigar possíveis situações sinalizadas pelas tecnologias utilizadas na coleta dos dados do ambiente monitorado.

Assim sendo, a presente pesquisa buscou apresentar uma visão sistêmica sobre o uso de novas tecnologias como suporte no monitoramento da qualidade da água através de uma revisão bibliográfica descritiva e exploratória, destacando a importância do monitoramento das variáveis físico-químicas em ambientes de aquicultura.

2 Método

De acordo com Gil (2002), as pesquisas exploratórias possuem o objetivo de proporcionar uma visão geral sobre determinado assunto, e geralmente o mesmo não é muito explorado e necessita uma busca especial para o tema escolhido.

Por tanto, a metodologia adotada foi através de um método exploratório e qualitativo, com a finalidade de uma busca bibliográfica ampla, variando entre diversas bases científicas com relatórios técnicos, artigos, livros e quaisquer publicações sobre a utilização de inovações tecnológicas no monitoramento da qualidade da água voltado a aquicultura. A filtragem dos trabalhos científicos, buscou selecionar conteúdos que contribuíssem com a inovação tecnológica para uma melhor gestão ambiental da água, indicando as melhorias alcançadas com essa mudança e como essas alterações podem auxiliar na sustentabilidade da utilização dos

recursos hídricos para a aquicultura. Por tanto, foram explorados todos os estudos com tecnologias aplicadas nas questões ambientais, monitoramento, gestão hídrica e toda atividade com essas temáticas vinculadas a aquicultura.

3 Referencial teórico

3.1 Aquicultura

O cultivo de organismos aquáticos, também conhecido como aquacultura ou aquicultura, se resume na reprodução ou crescimento de espécies de vida totalmente ou parcialmente aquática, como os peixes, moluscos, crustáceos, anfíbios e répteis, que podem ser cultivados em ambientes controlados ou semicontrolados (Siqueira, 2018).

A aquicultura é realizada com o objetivo de exploração econômica e financeira, além de existir altas expectativas dessa prática pelo setor de produção de alimentos, por se tratar de uma importante fonte de renda e possuir um papel relevante na segurança alimentar (FAO, 2011; Madureira e Bloemer, 2019). Essa atividade de cultivo pode ser realizada em águas continentais, marinhas ou mesmo em água salobra, selecionando os devidos espécimes que se adequam as variáveis fornecidas pelo ambiente.

Diante da realidade limitante das atividades de exploração pesqueira, a aquicultura se caracteriza como uma alternativa de grande importância para suprir a demanda pelo pescado (Sidonio *et al.*, 2012). O pescado por sua vez é oriundo de cultivos distintos, sendo caracterizado na atividade produtiva por diferentes modalidades, tais como: piscicultura (criação de peixes); carcinicultura (criação de camarões); malacocultura (criação de moluscos, ostras e mexilhões); ranicultura (criação de rãs); algicultura (cultivo de algas), e ainda podemos listar o cultivo de jacarés e a quelonicultura (criação de tartarugas e tracajás) que não são popularmente cultivados como os demais organismos, representando um baixo interesse comercial (Schulter e Vieira Filho, 2017).

Diante dessa múltipla variedade de opções de produtos com origem do pescado, a FAO estima que a aquicultura seja responsável pela produção mundial de mais de 60% do pescado para consumo humano no ano de 2030 (THE WORLD BANK, 2013; Guimarães e Lohmann, 2017), evidenciando a importância, evolução e altas expectativas para cadeia produtiva do pescado cultivado.

3.2 Monitoramento da qualidade da água

Uma das problemáticas mais difíceis a serem enfrentadas pelos aquicultores, é o controle da qualidade da água, já que esse conhecimento não é de fácil compreensão, previsão e administração (Leboute *et al.*, 1993).

São nas propriedades físicas e químicas da água que estão contidos os macros e micronutrientes, sais, gases dissolvidos, entre outras propriedades, fazendo necessário uma caracterização e monitoramento das variáveis da água com o objetivo de um melhor desenvolvimento dos animais cultivados ou mesmo modificações no ciclo biológico, refletindo diretamente no ambiente que estão inseridos (Ramos e Castro, 2014).

No Brasil o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão responsável pelo monitoramento da qualidade das águas, que é regimentado e instituído pela Resolução no 357 de 2005, e o mesmo define padrões que determinam limites máximos ou mínimos de concentrações das variáveis físico-químicas e demais outras variáveis que caracterizam a qualidade da água (Brito *et al.*, 2020).

No monitoramento de variáveis físicas e químicas, algumas são consideradas básicas de serem acompanhadas, como temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH (Tundisi e Tundisi, 2008), além dos sólidos dissolvidos, formas nitrogenadas, fósforo total, entre outras variáveis (Farias *et al.*, 2011).

O uso da sonda multiparâmetro proporciona uma aferição das variáveis de forma mais abrangente, conseguindo obter os valores de múltiplas informações da qualidade da água. Porém, existem equipamentos que são utilizados individualmente para aferir apenas uma variável, a exemplo do peagâmetro e oxímetro digital para obter os respectivos valores do pH e oxigênio dissolvido da água, e o turbidímetro portátil realiza a aferição da turbidez total, além do comumente utilizado termômetro que é um instrumento de fácil manuseio na obtenção do valor de temperatura que o ambiente apresenta.

Os equipamentos tecnológicos não os únicos recursos que são utilizados na realização do monitoramento da qualidade dos ambientes de aquicultura. O mercado comercial dispõe de kit técnico de água doce (Alfakit), que são popularmente utilizados nos ambientes de cultivo, a fim de verificar a situação das variáveis físico e químicas, como: pH, oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal, nitrogênio, nitrito, transparência, alcalinidade total, gás carbônico, dureza total e temperatura.

Monitorar, acaba se tornando uma ferramenta de grande importância, auxiliando em verificações periódicas das possíveis variações da qualidade da água, além de proporcionar

análises de caráter temporal e espacial das características apresentadas (Freire, 2010; Fuso, 2016), podendo assim auxiliar na administração do espaço acompanhado. Dessa forma, a atividade de monitorar é um procedimento essencial para assegurar ao produtor que as alterações bióticas e abióticas do ambiente de cultivo estejam em um status aceitável e previsto diante do acompanhamento aplicado ao espaço de produção aquícola (Sorbello, 2008).

O sucesso da aquicultura está atrelado as práticas de manejo adotadas e o monitoramento ambiental eficiente e integrado que é fundamental para uma constância de bons resultados no desenvolvimento dos organismos e na sustentabilidade do local que os mesmos estão sendo cultivados.

3.3 Variáveis Físico-Químicas

O potencial hidrogeniônico, comumente conhecido como pH, é um importante parâmetro químico a ser considerado na aquicultura, uma vez que esse parâmetro consegue influenciar nos processos fisiológicos e metabólicos dos organismos aquáticos (Santos *et al.*, 2018).

O pH varia em uma escala de 0 a 14, e apresenta condições específicas de neutro com valor de 7, ácido com valores inferiores a 7 e básico ou alcalino quando seus valores ultrapassaram o valor de neutro. Existem diferentes métodos para saber em qual condição encontra-se o pH de um ambiente aquícola, os de uso comum são os kits químicos de análise físico-químicas ou mesmo o aparelho peagâmetro (SENAR, 2019).

Em águas naturais, o valor do pH pode variar entre 6,5 e 8,5, mas para a maioria dos organismos, os valores na faixa de 6 a 9 são considerados compatíveis, e fora desses limites já podem ser considerados prejudiciais ou mesmo letais para grande parte dos organismos aquáticos (Vieira, 2019).

Além do pH, a variável temperatura é muito importante e pode influenciar diretamente na biota presente no ambiente aquático, essa variável é uma grandeza física referente a intensidade de calor expresso em uma escala determinada, a qual pode ser representada pela unidade de grau centígrado ou graus Celsius (°C) e pode ser aferida por equipamentos como termômetro ou mesmo através de sensores (Nogueira, Costa e Pereira, 2015).

A temperatura da água é uma das variáveis de maior importância, já que seu valor consegue influenciar em outras variáveis do meio aquático, além de estar ligada as atividades fisiológicas (respiração, digestão, excreção, alimentação, movimentos) dos animais cultivados (Oliveira, 2000).

Para cada organismo aquático, existe uma temperatura preferencial, fora dessa faixa de preferência, esses organismos ainda conseguem suportar certas oscilações, porém, somente até

determinados limites, que ultrapassados pode levar a morte ou danos fisiológicos (Vieira, 2019).

No ambiente aquático, ainda podemos contar com os sólidos que estão presentes por todo o espaço, e esses são todas as partículas que se encontram em suspensão ou em solução, que podem ser de origem orgânica, mineral, sedimentáveis ou não, e é o determinado quantitativo total de sólidos presentes na água, que são chamados de sólidos dissolvidos totais (Feitosa *et al.*, 2008).

Os sólidos dissolvidos presentes na água, podem apresentar classificação física ou química, sendo as características físicas ligadas à sua dimensão, que $< 2,0 \mu\text{m}$ estão os sólidos totais dissolvidos e $> 2,0 \mu\text{m}$ estão os sólidos em suspensão. Voláteis e fixos são as características químicas que os sólidos dissolvidos podem apresentar, sendo os voláteis os que se volatilizam em temperaturas $< 550 \text{ }^\circ\text{C}$, já os fixos são geralmente oriundos dos sais e os que irão permanecer logo após uma evaporação completa (Feitosa *et al.*, 2008).

O elevado teor de sólidos dissolvidos totais impossibilita qualquer uso da água, sendo o uso satisfatório quando o quantitativo é $< 500 \text{ mg/L}$. Porém acima de 1000 mg/L já pode apresentar demasiados minerais, ocasionando em sabor indesejável, ocasionando problemas e impossibilitando para diversos usos (Carvalho e Oliveira, 2010).

Outra problemática que pode ocorrer é a baixa no oxigênio dissolvido, importante variável para a qualidade da água e bem estar dos organismos cultivados. Diante de constantes períodos com baixa do oxigênio dissolvidos, doenças e má alimentação são características que os indivíduos cultivados podem demonstrar (Inacio, 2022).

O oxigênio dissolvido possui diversos papéis importantes para o desenvolvimento e planejamento na gestão de recursos hídricos, sendo uma ferramenta importante na manutenção da vida aquática e um excelente determinante da poluição dos corpos hídricos (Araújo *et al.*, 2004).

A concentração dessa variável ocorre sazonalmente, ou até mesmo em períodos de 24 h, diante da atividade biológica e da temperatura que o ambiente apresente. Os provenientes do oxigênio na água são de origem dos organismos fotossintetizantes e da difusão do oxigênio atmosférico transferido para a água (Vieira, 2019).

3.4 Tecnologias inovadoras

O termo sensor, é designado a dispositivos que possuem alguma forma de sensibilidade as variadas formas de energia promovidas pelo ambiente, que podem ser originárias de processos físicos, químicos e biológicos, os quais são mensurados pelas suas devidas unidades

e classificações (Wendling, 2010). A função do sensor é transmitir a informação de alguma ação externa para um circuito eletrônico, que irá exercer uma determinada ação através de um comando específico (Wendling, 2010).

É comum o termo sensor inteligente ser aplicado ao chip que possui um ou mais sensores com a capacidade de processamento de sinais e comunicação de dados sem fio (Loureiro *et al.*, 2003). Normalmente os sensores podem apresentar formato e tamanhos variados, com diversos segmentos, e geralmente possuem um baixo custo quando comparado aos equipamentos que já são utilizados analogicamente para a mesma atividade (Silva *et al.*, 2019).

Com o intuito de melhorias e capacidade no desenvolvimento tecnológico dos sensores, a tendência é a produção em larga escala, visando o barateamento e evolução desses equipamentos (Loureiro *et al.*, 2003), assim possibilitando sua aplicação em diferentes setores.

Atrelado aos sensores, temos o Arduino, que se trata de um microcontrolador desenvolvido em 2005, que tem objetivo de ser um instrumento de baixo custo para estudos de programação, automação e projetos em geral (Cid e Correa, 2019), sendo uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar.

A arquitetura do Arduino é composta por uma placa física associada a um microcontrolador e circuitos de entrada e saída, e suas funcionalidades são constituídas pela linguagem de programação C/C++ (McRoberts, 2018).

A plataforma Arduino possui uma interface de desenvolvimento multiplataforma, o que significa que é possível usar o IDE em diferentes sistemas operacionais, como Windows, Linux e Mac OS. Essa característica facilita o desenvolvimento dos algoritmos, permitindo que sejam escritos, alterados e enviados ao Arduino a partir de qualquer sistema operacional suportado (Marchesan, 2012).

McRoberts (2018) diz que a programação realizada no Arduino acontece através da IDE dele, que se trata de um software que permite que seja escrito o código das instruções que deverão ser executadas aos equipamentos integrados ao hardware, e ambos hardware e software são *open source*, que significa que qualquer pessoa consegue utilizar os códigos livremente.

O IDE permite escrever um programa de computador, que consiste em um conjunto de instruções passo a passo, que são enviadas ao Arduino. Em seguida, o Arduino executa essas instruções, interagindo com os dispositivos conectados a ele. No contexto do Arduino, esses programas são chamados de "sketches" (rascunhos ou esboços) (Marchesan, 2012).

3.5 Aplicação do monitoramento na aquicultura

Em ambientes de aquicultura, como em pisciculturas, é comum que a aferição das variáveis aconteça com uma baixa frequência durante o dia, podendo ser realizado apenas uma vez em um período de 24 horas. Assim, qualquer alteração das variáveis que aconteça antes ou depois da aferição, não será registrada, dificultado o acompanhamento das alterações físico-químicas do ambiente aquático que o cultivo está sendo desenvolvido.

Ter conhecimento sobre as alterações das variáveis é fundamental para auxiliar em possíveis medidas realizadas no manejo dos organismos, melhorando a qualidade do produto a ser cultivado. Beck et al. (2006) ressaltam que a introdução de novas tecnologias no monitoramento da análise automática de água permite a criação de um sistema inovador, pois a atividade aquícola requer uma dedicação contínua para garantir a qualidade da água. A ferramenta de monitoramento constante proporciona um maior conforto para a pessoa responsável pelo empreendimento, garantindo que a qualidade da água seja mantida em níveis ideais (Santos et al., 2018).

A realização do monitoramento contínuo e automatizado, sem a necessidade de intervenção humana, é uma tendência global impulsionada pela Indústria 4.0 e pela crescente utilização da Internet das Coisas (IoT) em diversas áreas (Silva, 2022). E o sistema de telemetria já é um recurso que vem sendo utilizado para contornar o problema de aquisição e deixar mais prático a obtenção dos dados necessários, de forma prática, pois usa meios de telecomunicação das informações obtidas no monitoramento, o qual pode ser realizado periodicamente através de sensores eletrônicos de baixo custo, auxiliando o responsável pelo ambiente de aquicultura (Santos et al., 2017).

A obtenção dos dados pelo sistema de telemetria tem como auxílio a aplicação do uso do Arduino, que é uma plataforma aberta de prototipação eletrônica, composta pelo hardware e software (Fernandes, 2022), possuindo várias versões que são compatíveis a diversos sensores utilizados em sistemas de monitoramento.

O uso de sensores no monitoramento da água possibilita uma otimização do tempo investido na atividade, além de mapear, monitorar e sugerir possíveis complicações que podem acontecer, prevendo e indicando os prováveis causadores da situação (Lima, 2018). Dessa forma, as devidas providências podem ser tomadas pelo responsável do local, que com o auxílio dos sensores, a base das informações pode ser detectada em tempo real (Alves e Silveira Junior, 2013).

Estruturas como boias de ancoragem, instrumentos com sondas multiparâmetros tem sido utilizado como ferramentas para monitoramento da qualidade da água, se tornando um sistema autônomo de coleta de dados in loco de alta frequência por períodos mais extensos (Sampaio et al., 2021).

A automação deve impulsionar o desenvolvimento e aumento na produção da aquicultura e produtividade da indústria agropecuária (Leal Junior et al., 2019), fortalecendo o crescimento tecnológico aplicado aos setores carente desse recurso, como a produção aquícola. Além disso, as novas tecnologias também irão auxiliar em um desenvolvimento mais sustentável, fazendo um melhor uso da água, uma vez que a mesma estará sendo monitorada, visando evitar qualquer tipo de alteração na sua qualidade que venha a prejudicar o seu devido uso.

Silva (2022) ainda salienta que a ação do monitoramento remoto é a solução para locais que o monitoramento manual não pode ser realizado, por não ser economicamente viável, ou mesmo os custos apresentarem valores mais atraentes utilizando o monitoramento automatizado, em contrapartida das técnicas manuais.

Dessa forma, o monitoramento remoto contínuo é uma tendência positiva que a inovação tecnológica está proporcionando cada vez mais, fornecendo e armazenando dados quantitativos, qualitativos ou quali-quantitativos.

5 Considerações finais

O sucesso da aquicultura está intrinsecamente ligado às práticas de manejo adotadas e a um monitoramento ambiental eficiente. O avanço tecnológico, aliado a práticas sustentáveis, não apenas melhora a produtividade, mas também contribui para a preservação dos recursos hídricos. A complexidade do monitoramento é mitigada por avanços tecnológicos, onde sensores e plataformas como o Arduino oferecem soluções inovadoras. A introdução dessas tecnologias não apenas otimiza a coleta de dados, mas também permite um monitoramento contínuo e automatizado, proporcionando uma visão mais abrangente e em tempo real das condições ambientais. A convergência desses avanços tecnológicos com sistemas de telemetria e automação representa uma evolução significativa na gestão da aquicultura.

Além disso, o uso dessas tecnologias não apenas aumenta a eficiência operacional, mas também contribui para práticas mais sustentáveis. O monitoramento remoto contínuo, impulsionado pela Indústria 4.0 e Internet das Coisas, não só fornece dados precisos, mas também possibilita a rápida identificação e resposta a possíveis desafios, melhorando a resiliência e a sustentabilidade da aquicultura.

Assim, a interseção entre a produção aquícola, monitoramento avançado da qualidade da água e inovações tecnológicas destaca-se como uma abordagem integrada e promissora para enfrentar os desafios contemporâneos da aquicultura. Essa sinergia entre práticas tradicionais, normativas ambientais e tecnologias emergentes é essencial para alcançar uma produção aquícola eficiente, responsável e capaz de atender às crescentes demandas alimentares globais.

Referências

ALVES, A. R.; SILVEIRA JUNIOR, C. R. Telemetria no Monitoramento e Controle do Ambiente de Piscicultura. In: **7º Seminário de Iniciação Científica do IFG**, 2013, Goiânia. Portal de Eventos Científicos do IFG, 2013.

ARAÚJO, S. D. S.; SALLES, P. D. A.; SAITO, C. H. **Modelos qualitativos, baseados na dinâmica do oxigênio dissolvido, para avaliação da qualidade das águas em bacias hidrográficas**. Desenvolvimento tecnológico e metodológico para medição entre usuários e comitês de bacia hidrográfica. Brasília: Departamento de Ecologia. Editora da UNB, 2004. p.9-24.

BECK, J. C.P *et al.* Automação e controle de tanques para piscicultura. In: **Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2006. Disponível em: https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/13/artigos/6_287_390.pdf. Acesso em: 23 jul. 2024.

BRITO, F. S. L. *et al.* Comportamento das variáveis físico-químicas da água do lago Bolonha-Belém-PA. **Brazilian journal of development**, v. 6, n. 1, p. 1738-1757, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-120>. Acesso em: 30 jul. 2024.

CARVALHO, A. R. D.; OLIVEIRA, M. V. C. D. (org). **Princípios básicos do saneamento do meio**. 10. Ed. São Paulo: Editora SENAC, 2010. 400 p.

CID, A. S.; CORREA, T. Venturino: análise da variação de pressão em um tubo de Venturi utilizando Arduino e sensor de pressão. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 41(3), 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-033>. Acessado em: 17 fev. 2024.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global aquaculture production statistics 2009**. Rome: FAO, 256 p., 2011.

FARIAS, M. S. S. *et al.* Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Cabelo: parâmetros físico-químicos. **Revista Gestão da Produção Operações d Sistemas**, n. 1, p.161-170, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.15675/gepros.v0i1.870>. Acessado em: 04 ago 2024.

FEITOSA, et al. (Org). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. rev. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM : LABHID, 2008. 812 p. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/14818/3/livro_hidrogeologia_conceitos.pdf. Acesso em: 01 jul. 2025.

FERNANDES, J. V. F. **Projeto de um sistema de telemetria para veículos fórmula sae utilizando transmissão wifi e protocolo can.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista-UNESP, Ilha Solteira, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/238330>. Acessado em: 19 abr. 2024.

FREIRE, R. **Monitoramento da qualidade da água da bacia hidrográfica do Ribeirão Maringá.** 2010. 175 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá-UEM, Maringá, 2010. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3788>. Acesso em: 20 abr 2024.

FUSO, R. S. Análise da qualidade da água no ribeirão montalvão, município de Alfredo Marcondes/SP. (2016). **Colloquium Exactarum**, v. 7m n. 3, p. 12-19, 2016. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ce/article/view/1439>. Acesso em: 03 ago. 2024.

GUIMARÃES, K. M.; LOHMANN, D. Automação de tanques para aquicultura. **Revista Ilha Digital**, Florianópolis, v. 6, p. 34–47, 2017. Disponível em: <https://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/index.php/ilhadigital/article/view/92>. Acesso em: 7 jul. 2024.

INACIO, A. H. **Desenvolvimento de um robô autônomo para controle de nível de oxigênio em tanques de piscicultura.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UFTPR, Toledo, 2022. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31433>. Acessado em: 19 jul. 2024.

LEAL JUNIOR, W. B. *et al.* Estudo da viabilidade no desenvolvimento de um sistema computacional de baixo custo para monitoramento da qualidade da água em cultivos de organismos aquáticos: Aplicação inicial em viveiros escavados. In: SANTOS, C. C. **Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias 4.** 6ed.: Atena Editora, p. 339-348, 2019. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/estudos-interdisciplinares-nas-ciencias-exatas-e-da-terra-e-engenharias-4>. Acessado em: 01 jul. 2025.

LEBOUTE, *et al.* Estudos preliminares sobre o cultivo de tilápia nilótica, *Oreochromis niloticus*, masculinizada em tanques-rede. In: **ENCONTRO RIOGRANDENSE DE TÉCNICOS EM AQUICULTURA**, 4, Porto Alegre, RS, 1993. Anais.... Porto Alegre, RS, p.151-5, 1993.

LIMA, E. L. **Módulo de sensores para monitoramento da qualidade da água com transmissão sem fio utilizando plataforma de prototipagem.** 2018. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Universidade Estadual de Feira de Santana-UEFS, Feira de Santana, 2018. Disponível em: <http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/863>. Acessado em: 25 jun. 2024.

LOUREIRO, *et al.* Redes de sensores sem fio. In: **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)**. p. 179-226, 2003. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~loureiro/cm/docs/sbrc03.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2025.

MADUREIRA, E. M. P.; BLOEMER, J. Aplicação de probióticos na aquicultura. In: **Anais do Congresso Nacional de Medicina Veterinária FAG**. 2019.

MARCHESAN, M. **Sistema de monitoramento residencial utilizando a plataforma arduino**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Redes de Computadores) - Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, 2012. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/495/2019/05/2012-Marcelo_Marchesan.pdf. Acessado em: 12 mai. 2024.

MARTINS, L. A. P. **Avaliação da qualidade da água de viveiros de piscicultura de pequeno porte associados à suinocultura**. 2016. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental) – Núcleo de Pesquisas e Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Ouro Preto-UFOP, Ouro Preto, 2016. Disponível em: <https://monog.ufop.br/server/api/core/bitstreams/fb3962fc-7265-47bc-ae8a-1d46e4579f20/content>. Acessado em: 12 mai. 2024.

MCROBERTS, M. **Arduino básico**. Novatec Editora, 2018.

NAUGHTON, S. *et al.* Synchronizing use of sophisticated wet-laboratory and in-field handheld technologies for real-time monitoring of key microalgae, bacteria and physicochemical parameters influencing efficacy of water quality in a freshwater aquaculture recirculation system: A case study from the Republic of Ireland. **Aquaculture**, vol. 526, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735377>. Acessado em: 11 ago. 2024.

NOGUEIRA, F. F.; COSTA, I. A.; PEREIRA, U. A. **Análise de parâmetros físicoquímicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis–Goiás**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Goiás-UFG, Goiânia, 2015. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/An%C3%A1lise_de_par%C3%A2metros_f%C3%ADsico-qu%C3%ADmicos_da_%C3%A1gua_e_do_uso_e_ocupa%C3%A7%C3%A3o_do_solo_na_sub-bacia_do_C%C3%B3rrego_da_%C3%81gua_Branca_no_munic%C3%ADpio_de_Ner%C3%B3polis_%E2%80%93_Goi%C3%A1s.pdf. Acesso em: 01 jul. 2025.

OLIVEIRA, L. Manual de qualidade da água para aquicultura. Florianópolis:[sn], 2000.

OLIVEIRA, R. Panorama Geral da Aqüicultura no Brasil. **Revista Aquavista**, v. 1, n. 1, p. 36-56, 2009.

PEDROZA FILHO, M. X. *et al.* Impactos socioeconômicos da aquicultura no Brasil: análise a partir da matriz de contabilidade social. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 51, n. 4, p. 159-176, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.61673/ren.2020.1176>. Acessado em: 02 jun. 2024.

RAMOS, R. S.; CASTRO, A. C. L. Monitoramento das variáveis físico-químicas no cultivo de *crassostrea rhizophorae* (mollusca) (guilding, 1928) no estuário de paquatua - ALCÂNTARA/MA,

BRASIL. **Boletim do Laboratório de Hidrobiolog**, 17, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.18764/>. Acessado em: 07 jul. 2024.

SAMPAIO, F. G. *et al.* Unveiling low-to-high-frequency data sampling caveats for aquaculture environmental monitoring and management. **Aquaculture Reports**, v. 20, p. 100764, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100764>. Acessado em: 07 jul. 2024.

SANTOS, M. V. B. *et al.* Desenvolvimento de Sistema Automático de Análise de pH e Temperatura da Água para Aquicultura. **Anais do Computer on the Beach**, v. 9, p. 325-333, 2018. Disponível em: <https://arquivo.periodicos.univali.br/index.php/acotb/article/view/12765>. Acesso em: 01 jul. 2025.

SANTOS, M. V. *et al.* Monitoramento Automático da Qualidade de Água para Pisciculturas. **Anais SULCOMP**, v. 8, 2017. Disponível em: <https://www.periodicos.unesc.net/ojs/index.php/sulcomp/article/view/3139>. Acessado em: 10 jul. 2024.

SCHULTER, E. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Evolução da piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia**. Texto para Discussão, No. 2328, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-IPEA, Brasília, 2017. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10419/177544>. Acessado em: 25 jul. 2024.

Serviço Nacional de Aprendizagem Rural - SENAR. **Piscicultura: manejo da qualidade da água**. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural, Brasília: Senar, 2019.

SIDONIO, *et al.* Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades. **BNDES Setorial**, n. 35, mar. 2012, p. 421-463, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1316/2/BS%2036_final%20A.pdf. Acesso em: 01 jul. 2025.

SILVA, *et al.* Definição de sensores io-link para aplicações em processos metalúrgicos de soldagem. **Revista Brasileira de Mecatrônica**, v. 2, n. 1, p. 71-82, 2019. Disponível em: <https://revistabrmecatronica.sp.senai.br/ojs/index.php/revistabrmecatronica/article/view/63>. Acessado em: 19 jun. 2024.

SILVA, L. D. **Monitoramento de qualidade de água através de sensores robóticos Arduino**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista-UNESP, Ilha Solteira, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/238720>. Acessado em: 01 set. 2024.

SIQUEIRA, T. V. Aquicultura: a nova fronteira para produção de alimentos de forma sustentável. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v.25, n.49, p. 119-170, jun. 2018. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16085>. Acessado em: 01 set. 2024.

SORBELLO, G. Linee guida per la realizzazione di impianti di maricoltura in Sicilia. **Regione Sicilia (Palermo)**, nov. 2008.

THE WORLD BANK. **Fish to 2030**: Prospects for Fisheries and Aquaculture. Agriculture and environmental services discussion paper, Washington DC ; World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/458631468152376668>. Acesso em: 01 jul. 2025.

TUNDISI, J. G; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VIEIRA, M. R. Os principais parâmetros monitorados pelas sondas multiparâmetros são: pH, condutividade, temperatura, turbidez, clorofila ou cianobactérias e oxigênio dissolvido. **Agencia Nacional das Aguas-ANA-2015**, 2019.

WENDLING, M. **Sensores**. Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista-UNESP, Guaratinguetá, 2010. Disponível em: <https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2025.

XIMENES, L. F.; VIDAL, M. D. F. Pesca e Aquicultura: Piscicultura. **Caderno Setorial Etene**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, v. 8, n.272, mar. 2023. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1737>. Acesso: 01 jul. 2025.