

Aplicação da inteligência artificial e de sistemas de monitoramento automatizado na aquicultura: impactos na produtividade e sustentabilidade dos cultivos aquícolas

Application of artificial intelligence and automated monitoring systems in aquaculture: impacts on the productivity and sustainability of aquaculture farming

Sérgio Rodrigues da Silva; Luana da Costa; Jose Leocyvan Gomes; Ana Helena Carneiro; Hilton Amaral Junio

RESUMO

A aquicultura tem assumido papel estratégico na produção mundial de alimentos, impulsionando a busca por soluções tecnológicas capazes de aumentar a produtividade e promover a sustentabilidade dos sistemas de cultivo. Nesse contexto, a inteligência artificial (IA) e os sistemas de monitoramento automatizado destacam-se como ferramentas inovadoras para otimizar a gestão aquícola e reduzir impactos ambientais. O presente estudo teve como objetivo analisar as contribuições da inteligência artificial e dos sistemas automatizados para a produtividade e a sustentabilidade dos cultivos aquícolas. Trata-se de uma pesquisa de revisão bibliográfica, com abordagem qualitativa e caráter descritivo. O levantamento foi realizado em bases de dados nacionais e internacionais, incluindo Google Scholar, Scopus, Web of Science, Springer Link, Wiley Online Library, MDPI e IEEE Xplore, considerando publicações dos últimos dez anos. Foram utilizados descritores como “inteligência artificial”, “aquicultura inteligente”, “monitoramento automatizado”, “Internet das Coisas”, “machine learning”, “sustentabilidade aquícola” e “produtividade na aquicultura”. Os resultados evidenciaram que a aplicação de sensores inteligentes, algoritmos preditivos, aprendizado de máquina e sistemas integrados de monitoramento possibilita maior controle da qualidade da água, otimização alimentar, detecção precoce de doenças, redução de desperdícios e melhor aproveitamento dos recursos produtivos. Conclui-se que a integração entre inteligência artificial e automação representa um importante avanço para a aquicultura moderna, fortalecendo sua competitividade, eficiência operacional e sustentabilidade em longo prazo.

Palavras-chave: inteligência artificial; aquicultura inteligente; monitoramento automatizado; sustentabilidade aquícola.

ABSTRACT

Aquaculture has assumed a strategic role in global food production, driving the search for technological solutions capable of increasing productivity and promoting the sustainability of farming systems. In this context, artificial intelligence (AI) and automated monitoring systems stand out as innovative tools to optimize aquaculture management and reduce environmental impacts. This study aimed to analyze the contributions of artificial intelligence and automated systems to the productivity and sustainability of aquaculture. This is a literature review, with a qualitative and descriptive approach. The survey was conducted in national and international databases, including Google Scholar, Scopus, Web of Science, Springer Link, Wiley Online Library, MDPI, and IEEE Xplore, considering publications from the last ten years. Descriptors such as "artificial intelligence," "smart aquaculture," "automated monitoring," "Internet of Things," "machine learning," "aquaculture sustainability," and "aquaculture productivity" were used. The results showed that the application of smart sensors, predictive algorithms, machine learning, and integrated monitoring systems enables greater control over water quality, feed optimization, early disease detection, waste reduction, and better use of productive resources. It is concluded that the integration of artificial intelligence and automation represents a significant advance for modern aquaculture, strengthening its competitiveness, operational efficiency, and long-term sustainability.

Keywords: artificial intelligence; smart aquaculture; automated monitoring; aquaculture sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura tem se consolidado como uma das atividades de produção de alimentos que mais cresce em escala mundial, desempenhando papel estratégico na segurança alimentar, na geração de emprego e renda e no atendimento à crescente demanda por proteína de origem aquática. Entretanto, a expansão dos cultivos aquícolas tem sido acompanhada por desafios relacionados à gestão eficiente dos recursos naturais, especialmente da água, ao controle de doenças, à otimização alimentar e à redução dos impactos ambientais decorrentes da intensificação produtiva.

Entre essas inovações, destacam-se a Inteligência Artificial (IA), a Internet das Coisas (IoT), os sistemas automatizados de monitoramento e as plataformas de análise de dados em tempo real, que vêm sendo apontados como elementos centrais para a construção de uma aquicultura mais eficiente, sustentável e resiliente diante das demandas contemporâneas. Essas tecnologias possibilitam o acompanhamento contínuo de variáveis ambientais, a identificação precoce de riscos produtivos e a automação de processos que anteriormente dependiam

exclusivamente da intervenção humana, favorecendo ganhos operacionais e ambientais relevantes (MUSTAPHA et al., 2021; DAS et al., 2022).

O desenvolvimento da chamada aquicultura inteligente ou Aquaculture 4.0 representa uma evolução dos sistemas tradicionais de produção, caracterizada pela integração entre sensores, plataformas digitais, algoritmos de aprendizado de máquina e ferramentas de análise preditiva. Essa transformação tem possibilitado avanços importantes em áreas como monitoramento da qualidade da água, alimentação automatizada, previsão de surtos de doenças, controle energético e gerenciamento de efluentes. Estudos recentes demonstram que a utilização de modelos baseados em inteligência artificial permite processar grandes volumes de dados em tempo real, gerando recomendações mais precisas para o manejo dos cultivos e reduzindo perdas produtivas associadas a falhas humanas ou a alterações ambientais inesperadas (CHATTERJEE; SANYAL, 2026; HAQUE; AL JUFAILI, 2026; RANJAN et al., 2026).

Apesar dos avanços observados e do crescente interesse científico e empresarial pelas tecnologias digitais aplicadas à aquicultura, ainda existem desafios relacionados à implementação dessas ferramentas em diferentes contextos produtivos, especialmente em regiões caracterizadas por limitações de infraestrutura tecnológica, capacitação técnica e acesso a investimentos. Diante desse cenário, a questão norteadora desta pesquisa é: de que maneira a aplicação da inteligência artificial e dos sistemas de monitoramento automatizado pode contribuir para o aumento da produtividade e para a sustentabilidade dos cultivos aquícolas?

O presente estudo tem como objetivo geral analisar as contribuições da inteligência artificial e dos sistemas de monitoramento automatizado para a produtividade e a sustentabilidade da aquicultura moderna. Como objetivos específicos, busca-se: identificar as principais tecnologias digitais atualmente aplicadas aos sistemas aquícolas; analisar os impactos dessas ferramentas na gestão da qualidade da água, no controle sanitário e na eficiência produtiva; e discutir as contribuições da automação e da inteligência artificial para a redução dos impactos ambientais.

A relevância deste estudo está associada à necessidade crescente de compreender como as tecnologias emergentes podem apoiar a transformação sustentável da aquicultura diante dos desafios ambientais, econômicos e produtivos do século XXI. O aprofundamento das discussões sobre inteligência artificial,

aprendizado de máquina, monitoramento automatizado e análise de dados em tempo real torna-se fundamental para subsidiar decisões técnicas, políticas públicas e investimentos voltados à modernização do setor aquícola (WANG et al., 2026; MUSTAPHA et al., 2021).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A evolução da aquicultura e os desafios da produção sustentável

A aquicultura consolidou-se como um dos setores de produção de alimentos de crescimento mais acelerado nas últimas décadas, desempenhando papel estratégico na segurança alimentar mundial, na geração de renda e no desenvolvimento socioeconômico de diversas regiões. Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2024), a produção aquícola já responde por mais da metade do pescado destinado ao consumo humano, evidenciando sua importância para atender à crescente demanda por proteínas de alta qualidade.

Apesar desse crescimento, a intensificação da produção tem imposto desafios significativos relacionados ao manejo dos recursos hídricos, à manutenção da qualidade da água, ao controle sanitário, ao elevado consumo de ração, ao uso eficiente de energia e à mitigação dos impactos ambientais. Problemas como eutrofização, disseminação de enfermidades, desperdício alimentar e degradação dos ecossistemas aquáticos têm estimulado a busca por tecnologias capazes de aumentar simultaneamente a eficiência produtiva e a sustentabilidade ambiental (Boyd et al., 2020).

Nesse cenário, a modernização dos sistemas de produção tornou-se indispensável para garantir maior competitividade ao setor aquícola. O avanço das tecnologias digitais possibilitou o surgimento de novos modelos de gestão baseados na coleta contínua de dados, na automação de processos e na tomada de decisões fundamentada em análises preditivas, promovendo uma mudança significativa na forma de conduzir os empreendimentos aquícolas.

2.2 Inteligência Artificial aplicada à aquicultura

A Inteligência Artificial (IA) pode ser definida como o conjunto de técnicas computacionais capazes de simular processos cognitivos humanos, permitindo que sistemas computacionais aprendam com grandes volumes de dados, reconheçam padrões, realizem previsões e auxiliem na tomada de decisões de maneira autônoma ou semiautônoma (Russell; Norvig, 2021).

Na aquicultura, a IA vem sendo aplicada em diferentes etapas do processo produtivo por meio de algoritmos de Machine Learning, Deep Learning, Visão Computacional e Redes Neurais Artificiais. Essas tecnologias permitem analisar simultaneamente múltiplas variáveis ambientais e produtivas, gerando recomendações capazes de otimizar o manejo e reduzir riscos operacionais.

Os algoritmos de aprendizado de máquina destacam-se por sua capacidade de identificar relações complexas entre parâmetros como temperatura, oxigênio dissolvido, pH, salinidade, turbidez, concentração de amônia e comportamento alimentar dos organismos cultivados. A partir dessas informações, torna-se possível prever alterações ambientais, estimar taxas de crescimento, detectar precocemente doenças e otimizar programas de alimentação, reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência produtiva (Mustapha et al., 2021).

Além da automação de processos rotineiros, a IA contribui para reduzir a subjetividade das decisões humanas, tornando o gerenciamento dos cultivos mais preciso, contínuo e baseado em evidências científicas.

2.3 Internet das Coisas (IoT) e sistemas inteligentes de monitoramento

A Internet das Coisas (Internet of Things – IoT) constitui uma das principais tecnologias que sustentam a transformação digital da aquicultura. Seu princípio consiste na interligação de sensores, dispositivos eletrônicos, equipamentos automatizados e plataformas computacionais capazes de coletar, transmitir e processar informações em tempo real.

Nos sistemas aquícolas, sensores inteligentes monitoram continuamente variáveis físico-químicas da água, como temperatura, oxigênio dissolvido, pH, potencial de oxirredução, salinidade, amônia e condutividade elétrica. Essas informações são enviadas para plataformas computacionais que utilizam algoritmos

de inteligência artificial para interpretar os dados e recomendar intervenções imediatas sempre que são identificadas alterações que possam comprometer o cultivo (Das et al., 2022).

A integração entre IoT, computação em nuvem e inteligência artificial caracteriza o conceito de Aquaculture 4.0, no qual os sistemas produtivos passam a operar de forma altamente conectada, permitindo monitoramento remoto, armazenamento de grandes volumes de dados (Big Data), análise automatizada e apoio à tomada de decisão em tempo real.

Esses sistemas reduzem significativamente o tempo de resposta diante de alterações ambientais, diminuem perdas produtivas e proporcionam maior estabilidade operacional aos empreendimentos aquícolas.

2.4 Automação e controle inteligente dos sistemas produtivos

A automação representa um dos pilares tecnológicos da aquicultura moderna. Seu objetivo consiste em substituir atividades manuais repetitivas por sistemas capazes de executar operações automaticamente com elevado grau de precisão.

Na produção aquícola, destacam-se sistemas automáticos de alimentação, controle de aeração, renovação de água, acionamento de bombas hidráulicas, monitoramento de tanques, classificação de organismos e inspeção sanitária por visão computacional.

A alimentação automatizada, por exemplo, permite ajustar a quantidade e o horário do fornecimento de ração conforme o comportamento dos animais e as condições ambientais, reduzindo desperdícios e melhorando os índices de conversão alimentar. Como a alimentação representa aproximadamente 50% a 70% dos custos operacionais da aquicultura, pequenas melhorias nesse processo podem gerar expressivos ganhos econômicos.

Outra aplicação relevante envolve o uso de câmeras associadas à visão computacional para monitorar biomassa, comportamento dos organismos e sinais precoces de enfermidades. Essas tecnologias diminuem a necessidade de manejo

excessivo, reduzindo o estresse dos animais e aumentando o bem-estar durante o cultivo.

2.5 Inteligência Artificial e sustentabilidade ambiental

A sustentabilidade constitui atualmente um dos principais desafios da aquicultura mundial. A necessidade de aumentar a produção sem ampliar os impactos ambientais exige sistemas produtivos capazes de utilizar os recursos naturais de forma mais eficiente.

Nesse contexto, a inteligência artificial desempenha papel estratégico ao permitir monitoramento contínuo da qualidade da água, otimização do uso de energia, redução do desperdício de ração e gerenciamento inteligente dos efluentes.

Modelos preditivos conseguem antecipar alterações ambientais antes que ocorram situações críticas, possibilitando intervenções preventivas e reduzindo a necessidade de trocas excessivas de água. Da mesma forma, sistemas inteligentes ajustam automaticamente o funcionamento de aeradores, bombas e equipamentos elétricos conforme a demanda real do cultivo, reduzindo significativamente o consumo energético.

Além disso, algoritmos de IA vêm sendo empregados no tratamento de efluentes aquícolas, permitindo monitorar nutrientes, matéria orgânica e contaminantes antes do descarte, contribuindo para minimizar os impactos sobre os ecossistemas aquáticos (Wang et al., 2026).

Sob essa perspectiva, a aplicação da inteligência artificial aproxima a aquicultura dos princípios da economia circular, promovendo maior eficiência na utilização dos recursos naturais e reduzindo a geração de resíduos.

2.6 Aquaculture 4.0 e perspectivas futuras

O conceito de Aquaculture 4.0 deriva dos princípios da Indústria 4.0 e representa a integração entre inteligência artificial, Internet das Coisas, computação

em nuvem, Big Data, robótica, sensores inteligentes e sistemas ciberfísicos aplicados à produção aquícola.

Esse novo paradigma promove uma mudança estrutural na gestão dos cultivos ao permitir que decisões sejam tomadas com base em análises automatizadas de grandes volumes de dados, reduzindo a dependência exclusiva da experiência humana.

As perspectivas futuras indicam o desenvolvimento de fazendas aquícolas cada vez mais autônomas, capazes de monitorar continuamente o ambiente, identificar alterações sanitárias, ajustar automaticamente equipamentos, controlar alimentação, prever produtividade e otimizar o uso de recursos naturais sem necessidade de intervenção constante dos operadores.

Entretanto, diversos estudos apontam que ainda existem desafios relacionados ao elevado custo inicial de implantação, à disponibilidade de infraestrutura digital, à conectividade em áreas rurais, à capacitação técnica dos produtores e à necessidade de políticas públicas voltadas ao incentivo da inovação tecnológica no setor (Rabie et al., 2026).

Apesar dessas limitações, a literatura demonstra consenso de que a digitalização representa uma tendência irreversível da aquicultura mundial, constituindo um dos principais instrumentos para aumentar simultaneamente a produtividade, a competitividade e a sustentabilidade da atividade.

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de abordagem qualitativa, desenvolvida com o propósito de reunir, analisar e interpretar a produção científica relacionada à aplicação da inteligência artificial e dos sistemas de monitoramento automatizado na aquicultura, com enfoque nos impactos sobre a produtividade e a sustentabilidade dos cultivos aquícolas. A abordagem qualitativa foi adotada por possibilitar uma análise interpretativa dos estudos selecionados, priorizando a compreensão aprofundada dos conceitos, das contribuições científicas e das relações estabelecidas entre inovação tecnológica, eficiência produtiva e sustentabilidade ambiental no contexto da aquicultura moderna.

A coleta dos dados utilizando as plataformas Google Scholar, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, IEEE Xplore, MDPI, Frontiers, Periódicos CAPES e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Para a realização das buscas, empregaram-se os descritores em português e inglês, combinados por operadores booleanos, tais como: “inteligência artificial na aquicultura”, “aquicultura inteligente”, “monitoramento automatizado”, “Internet das Coisas na aquicultura”, “machine learning in aquaculture”, “artificial intelligence in aquaculture”, “smart aquaculture”, “aquaculture monitoring systems”, “IoT aquaculture”, “aquaculture sustainability” e “aquaculture productivity”.

Como critérios de inclusão, consideraram-se artigos científicos, capítulos de livros, revisões sistemáticas, teses e dissertações publicados nos últimos dez anos (2016–2026), disponíveis integralmente em meio eletrônico, indexados em bases acadêmicas reconhecidas e diretamente relacionados à temática da pesquisa. Foram incluídos estudos que abordavam o uso de inteligência artificial, aprendizado de máquina, Internet das Coisas, sensores inteligentes, automação, monitoramento em tempo real e tecnologias digitais aplicadas à aquicultura. Como critérios de exclusão, descartaram-se trabalhos duplicados, publicações sem acesso ao texto completo, documentos que não apresentavam relação direta com a aquicultura ou que abordavam apenas aspectos tecnológicos sem conexão com produtividade, sustentabilidade ou gestão dos cultivos aquícolas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das publicações selecionadas permitiu identificar um cenário de rápida transformação tecnológica na aquicultura mundial, impulsionado pela incorporação de ferramentas baseadas em inteligência artificial, Internet das Coisas (IoT), aprendizado de máquina, computação em nuvem e sistemas automatizados de monitoramento. Os estudos evidenciam que a integração dessas tecnologias tem contribuído significativamente para a modernização dos sistemas produtivos, possibilitando maior precisão na tomada de decisões, redução de perdas, otimização dos recursos naturais e fortalecimento da sustentabilidade dos cultivos aquícolas.

Observou-se ainda que as aplicações da inteligência artificial abrangem diferentes etapas da produção, incluindo monitoramento da qualidade da água,

previsão de doenças, controle alimentar, gestão energética e tratamento de efluentes. A partir da análise dos resultados encontrados na literatura, foram estabelecidas três categorias temáticas que permitem compreender de forma mais aprofundada as contribuições dessas tecnologias para a produtividade e a sustentabilidade da aquicultura moderna.

4.1 Inteligência artificial e monitoramento automatizado na gestão dos cultivos aquícolas

A literatura analisada demonstra que a inteligência artificial vem desempenhando um papel cada vez mais relevante na gestão dos sistemas aquícolas, especialmente em atividades que demandam monitoramento contínuo e tomada rápida de decisões. Tradicionalmente, grande parte do manejo dos cultivos dependia da observação humana e de avaliações periódicas realizadas manualmente, o que frequentemente resultava em atrasos na identificação de problemas ambientais ou produtivos. Com a introdução de sistemas inteligentes capazes de coletar, processar e interpretar dados em tempo real, tornou-se possível ampliar significativamente a precisão das operações aquícolas. Segundo Mustapha et al. (2021), a combinação entre inteligência artificial, Internet das Coisas e computação em nuvem tem criado uma nova estrutura tecnológica para a aquicultura, permitindo que informações críticas sejam monitoradas continuamente e utilizadas para orientar decisões mais eficientes.

Os avanços observados na integração entre sensores inteligentes e sistemas digitais representam uma das transformações mais importantes para o setor. De acordo com Khatei, Ganie e Pandey (2025), a utilização de dispositivos conectados possibilita o monitoramento constante de parâmetros como temperatura, oxigênio dissolvido, pH, turbidez e concentração de amônia, fornecendo informações precisas sobre as condições ambientais dos cultivos. Essa capacidade de observação permanente reduz a dependência de verificações pontuais e permite respostas mais rápidas diante de alterações que possam comprometer o desempenho produtivo ou a saúde dos organismos cultivados.

Os estudos de Das et al. (2022) destacam que a chamada aquicultura inteligente representa uma evolução dos modelos convencionais de produção ao

integrar tecnologias digitais em todas as etapas do processo produtivo. Os autores observam que a automação do monitoramento ambiental não apenas melhora a eficiência operacional, mas também contribui para reduzir falhas decorrentes da subjetividade humana. Em sistemas tradicionais, variações críticas podem passar despercebidas por longos períodos, enquanto os sistemas automatizados conseguem detectar alterações instantaneamente e emitir alertas preventivos para os gestores.

A utilização de algoritmos de aprendizado de máquina também tem ampliado as possibilidades de gestão dos cultivos aquícolas. O'Donncha et al. (2026) explica que esses algoritmos são capazes de identificar padrões complexos em grandes volumes de dados históricos e operacionais, permitindo a elaboração de previsões relacionadas ao crescimento dos organismos, ao consumo alimentar e às condições ambientais futuras. Essa capacidade preditiva representa uma importante ferramenta para o planejamento produtivo, uma vez que possibilita antecipar cenários e adotar medidas preventivas antes que problemas efetivamente ocorram.

Outro aspecto relevante refere-se ao desenvolvimento de modelos de inteligência artificial voltados à análise integrada dos sistemas produtivos. Haque e Al Jufaili (2026) destacam que a capacidade da IA de processar múltiplas variáveis simultaneamente favorece uma compreensão mais abrangente dos fatores que influenciam o desempenho dos cultivos. Em vez de analisar cada indicador isoladamente, os sistemas inteligentes conseguem estabelecer relações entre diferentes parâmetros ambientais e produtivos, produzindo recomendações mais precisas para o manejo diário das operações.

Os resultados apresentados por Chatterjee e Sanyal (2026) indicam que a aplicação conjunta de inteligência artificial e aprendizado de máquina tem contribuído para aumentar a eficiência dos sistemas produtivos por meio da automação de tarefas repetitivas e da melhoria dos processos decisórios. Segundo os autores, essas tecnologias permitem que os gestores concentrem seus esforços em atividades estratégicas, enquanto o monitoramento rotineiro é realizado automaticamente por sistemas digitais. Essa transformação reduz custos operacionais e favorece maior controle sobre os fatores que influenciam a produtividade.

As evidências apresentadas por Bhusan, Ibrahım e Akash (2025) reforçam que o avanço das tecnologias da informação está promovendo uma mudança

estrutural na forma como a aquicultura é gerenciada. Os autores observam que o acesso instantâneo a informações atualizadas facilita o planejamento das atividades produtivas e melhora a capacidade de resposta diante de eventos inesperados. Além disso, os sistemas digitais favorecem a construção de bancos de dados históricos que podem ser utilizados para aperfeiçoar continuamente os modelos de gestão e previsão.

Os estudos bibliométricos conduzidos por Rabie et al. (2026) demonstram um crescimento expressivo das pesquisas relacionadas à inteligência artificial aplicada à aquicultura nos últimos anos. Os autores identificam uma expansão significativa do interesse científico por tecnologias voltadas ao monitoramento automatizado, à análise preditiva e à automação dos processos produtivos. Esse crescimento reflete o reconhecimento internacional do potencial dessas ferramentas para enfrentar desafios relacionados à produtividade, sustentabilidade e segurança alimentar.

De maneira geral, os estudos analisados convergem ao indicar que a inteligência artificial e os sistemas de monitoramento automatizado estão redefinindo os modelos de gestão aquícola. A capacidade de coletar dados em tempo real, identificar padrões complexos, realizar previsões precisas e automatizar processos operacionais têm contribuído para a construção de sistemas produtivos mais eficientes, resilientes e sustentáveis. As evidências demonstram que essas tecnologias não apenas ampliam a produtividade dos cultivos, mas também fortalecem a capacidade dos empreendimentos de responder aos desafios ambientais e econômicos que caracterizam a aquicultura contemporânea.

4.2 Contribuições da inteligência artificial para a produtividade e o desempenho dos sistemas aquícolas

A análise da literatura evidencia que um dos principais benefícios associados à aplicação da inteligência artificial na aquicultura está relacionado ao aumento da produtividade dos cultivos. Em sistemas produtivos tradicionais, diversas decisões dependem da experiência dos produtores e da observação direta das condições de cultivo, o que pode gerar limitações diante da complexidade dos fatores que influenciam o desenvolvimento dos organismos aquáticos. Com a incorporação de ferramentas de inteligência artificial, tornou-se possível processar grandes volumes

de informações provenientes dos ambientes de cultivo, transformando dados em conhecimento estratégico para orientar o manejo (CHATTERJEE; SANYAL, 2026).

A alimentação representa uma das maiores despesas da produção aquícola e influencia diretamente os índices de crescimento, conversão alimentar e rentabilidade dos empreendimentos. Segundo O'Donncha et al. (2026), os sistemas baseados em aprendizado de máquina conseguem analisar informações relacionadas ao comportamento dos organismos, às condições ambientais e ao histórico produtivo para determinar os momentos mais adequados para o fornecimento de ração. Essa abordagem reduz desperdícios, melhora a utilização dos nutrientes e favorece um crescimento mais uniforme dos lotes, resultando em ganhos significativos de eficiência produtiva.

Haque e Al Jufaili (2026) destacam que os algoritmos de inteligência artificial conseguem identificar padrões que muitas vezes não seriam percebidos por métodos convencionais de análise. A partir do processamento contínuo de dados ambientais e produtivos, esses sistemas podem prever tendências relacionadas ao crescimento dos organismos, ao consumo alimentar e ao comportamento dos cultivos, permitindo ajustes antecipados nas estratégias de manejo. Essa capacidade de antecipação reduz riscos operacionais e fortalece a estabilidade da produção ao longo dos ciclos produtivos.

De acordo com Rohini et al. (2026), a integração entre sensores, Internet das Coisas e inteligência artificial possibilita o monitoramento constante de indicadores associados à saúde dos organismos cultivados. Alterações sutis nos padrões ambientais ou comportamentais podem ser detectadas precocemente pelos algoritmos, permitindo a identificação antecipada de possíveis surtos de doenças. Essa abordagem reduz perdas produtivas, minimiza a mortalidade e favorece intervenções mais rápidas e eficazes quando comparadas aos métodos convencionais de monitoramento sanitário.

Os estudos de Imran et al. (2026) reforçam que a inteligência artificial vem promovendo uma verdadeira transformação nos processos produtivos aquícolas ao permitir níveis de automação antes considerados inviáveis. Segundo os autores, tecnologias de visão computacional, sensores inteligentes e análise automatizada de dados vêm sendo utilizadas para monitorar crescimento, biomassa, consumo alimentar e condições ambientais sem a necessidade de intervenções frequentes por parte dos operadores. Essa automação reduz erros humanos, aumenta a

precisão das informações e contribui para a padronização dos processos produtivos, fatores diretamente relacionados ao aumento da eficiência operacional.

Das et al. (2022) observam que os sistemas inteligentes possibilitam uma utilização mais eficiente da infraestrutura produtiva ao fornecer informações detalhadas sobre o desempenho dos cultivos em diferentes condições operacionais. Essa capacidade permite identificar oportunidades de melhoria, ajustar estratégias de manejo e maximizar os resultados produtivos sem a necessidade de expansão proporcional dos recursos utilizados. Dessa forma, a tecnologia passa a atuar como um instrumento de intensificação sustentável da produção.

Kantal, Arun e Ganie (2025) destacam que a redução de desperdícios, o aumento da eficiência alimentar, a melhoria dos índices produtivos e a diminuição das perdas por mortalidade contribuem diretamente para o fortalecimento da rentabilidade dos empreendimentos aquícolas. Embora a implementação de sistemas inteligentes exija investimentos iniciais, os benefícios acumulados ao longo do tempo tendem a compensar os custos de adoção, tornando a tecnologia um importante fator de competitividade para o setor.

Varghese, Sreenath e Jayasankar (2026) ampliam essa discussão ao destacar que a inteligência artificial não deve ser compreendida apenas como uma ferramenta operacional, mas como um elemento estratégico para o desenvolvimento da chamada Revolução Azul. Os autores argumentam que a utilização de sistemas inteligentes favorece uma gestão mais eficiente dos recursos produtivos, contribuindo para atender à crescente demanda global por pescado sem ampliar proporcionalmente os impactos ambientais. Assim, produtividade e sustentabilidade deixam de ser objetivos conflitantes e passam a ser dimensões complementares dentro dos novos modelos de produção aquícola.

De modo geral, os estudos analisados demonstram que a inteligência artificial exerce influência direta sobre o desempenho produtivo dos sistemas aquícolas ao melhorar a precisão das decisões, otimizar a alimentação, fortalecer o controle sanitário, reduzir desperdícios e ampliar a eficiência operacional. As evidências indicam que a incorporação dessas tecnologias tem potencial para redefinir os padrões de produtividade da aquicultura contemporânea, criando condições para uma produção mais eficiente, economicamente viável e preparada para enfrentar os desafios associados à expansão sustentável do setor.

4.3 Inteligência artificial, sustentabilidade ambiental e perspectivas futuras para a aquicultura

A sustentabilidade tem se consolidado como um dos principais eixos de discussão no desenvolvimento da aquicultura contemporânea, especialmente diante da necessidade de ampliar a produção de alimentos sem intensificar os impactos sobre os ecossistemas aquáticos. A inteligência artificial e os sistemas automatizados de monitoramento vêm sendo apontados como ferramentas estratégicas para promover maior equilíbrio entre produtividade e conservação ambiental. Frequentemente dependem de monitoramentos esporádicos e intervenções corretivas, os sistemas inteligentes possibilitam acompanhamento contínuo das condições ambientais, criando condições para uma atuação preventiva e mais alinhada aos princípios da sustentabilidade (MUSTAPHA et al., 2021).

Entre os aspectos mais relevantes identificados na literatura está a contribuição da inteligência artificial para a gestão da qualidade da água. A água constitui o principal recurso utilizado na aquicultura e exerce influência direta sobre a saúde dos organismos cultivados e sobre a estabilidade dos ecossistemas produtivos. Segundo Akhter, Ratul e Chowdhury et al. (2026), os modelos preditivos baseados em inteligência artificial são capazes de processar grandes quantidades de informações ambientais para identificar tendências, prever alterações nos parâmetros físico-químicos e recomendar intervenções antes que ocorram situações críticas. Essa capacidade favorece uma utilização mais eficiente dos recursos hídricos, reduzindo perdas produtivas e minimizando riscos ambientais decorrentes do manejo inadequado.

Akhter, Ratul e Chowdhury (2026) demonstram que os sistemas inteligentes de gerenciamento da água representam uma evolução significativa em relação aos métodos tradicionais de monitoramento. Por meio da análise contínua de dados relacionados ao pH, oxigênio dissolvido, temperatura, amônia e outros indicadores ambientais, os algoritmos conseguem gerar recomendações automatizadas que contribuem para a manutenção das condições ideais de cultivo. Além de melhorar o desempenho produtivo, essa abordagem reduz a necessidade de trocas excessivas de água e favorece a conservação dos recursos hídricos, aspecto cada vez mais

relevante diante dos desafios associados às mudanças climáticas e à crescente pressão sobre os mananciais.

Outro tema amplamente discutido na literatura refere-se ao tratamento inteligente dos efluentes gerados pela aquicultura. Wang et al. (2026) destacam que a inteligência artificial tem sido aplicada ao desenvolvimento de sistemas capazes de monitorar continuamente a composição dos efluentes e otimizar os processos de tratamento antes do descarte ou reaproveitamento da água. Os autores observam que a integração entre sensores inteligentes, análise de dados e automação permite reduzir significativamente a carga de nutrientes e contaminantes lançados nos corpos hídricos, contribuindo para minimizar impactos ambientais frequentemente associados à intensificação dos cultivos aquícolas.

A automação também tem demonstrado potencial para promover maior eficiência energética nos sistemas produtivos. Kularbphettong, Kaewrattanapat e Raksuntorn (2026) evidenciam que os sistemas inteligentes de controle conseguem ajustar automaticamente o funcionamento de equipamentos como aeradores, bombas e sistemas de filtragem de acordo com as necessidades reais dos cultivos. Essa capacidade reduz o consumo desnecessário de energia e contribui para diminuir os custos operacionais e a pegada ambiental da atividade. Além disso, a utilização racional da energia fortalece a viabilidade econômica dos empreendimentos e amplia a sustentabilidade dos sistemas de produção em longo prazo.

Os avanços tecnológicos observados na integração entre Internet das Coisas e inteligência artificial também têm ampliado a capacidade de monitoramento ambiental em tempo real. Rohini et al. (2026) destacam que os sistemas conectados permitem a coleta contínua de dados em diferentes pontos dos cultivos, criando uma rede inteligente de monitoramento capaz de identificar rapidamente alterações que possam comprometer o equilíbrio ambiental. Essa abordagem fortalece a capacidade preventiva da gestão aquícola e reduz a ocorrência de eventos que poderiam resultar em mortalidade, desperdício de recursos ou degradação ambiental.

Marr, Rouhani e Megahed (2026) indicam que a expansão das tecnologias digitais pode gerar impactos particularmente positivos para pequenos e médios produtores aquícolas. Os autores argumentam que soluções tecnológicas cada vez mais acessíveis têm potencial para democratizar o acesso à inovação, permitindo

que empreendimentos de diferentes portes adotem sistemas de monitoramento, análise de dados e automação. Essa expansão contribui para reduzir desigualdades tecnológicas e fortalecer a sustentabilidade da produção em regiões onde os recursos financeiros e a infraestrutura ainda representam limitações para a modernização do setor.

As análises desenvolvidas por Ranjan et al. (2026) reforçam que o futuro da aquicultura sustentável dependerá da capacidade de integrar diferentes tecnologias emergentes em sistemas produtivos cada vez mais inteligentes e conectados. Os autores destacam que a convergência entre inteligência artificial, aprendizado de máquina, sensores avançados, automação e análise de big data tende a ampliar significativamente a eficiência dos cultivos e a capacidade de adaptação diante dos desafios ambientais futuros. Essa integração permitirá o desenvolvimento de sistemas produtivos mais resilientes, capazes de responder rapidamente a alterações climáticas, sanitárias e econômicas.

A incorporação de sistemas inteligentes também tem potencial para fortalecer a rastreabilidade dos produtos aquícolas ao longo de toda a cadeia produtiva. Com o uso integrado de sensores, bancos de dados, computação em nuvem e plataformas digitais, torna-se possível registrar informações relacionadas às condições de cultivo, qualidade da água, manejo alimentar e histórico sanitário dos organismos produzidos. Essa capacidade de monitoramento contínuo contribui para aumentar a transparência dos processos produtivos e atende às exigências cada vez mais rigorosas dos mercados consumidores em relação à segurança alimentar e à sustentabilidade (KHATEI; GANIE; PANDEY, 2025; MUSTAPHA et al., 2021).

Outro aspecto relevante identificado na literatura refere-se ao papel da inteligência artificial no aprimoramento da gestão estratégica dos empreendimentos aquícolas. A análise automatizada de grandes volumes de dados permite que gestores tenham acesso a informações detalhadas sobre desempenho produtivo, eficiência operacional, consumo de insumos e comportamento dos cultivos. Essa capacidade favorece o planejamento de longo prazo e auxilia na definição de estratégias mais adequadas para cada realidade produtiva (HAQUE; AL JUFAILI, 2026; KANTAL; ARUN; GANIE, 2025).

As perspectivas futuras também apontam para o desenvolvimento de sistemas cada vez mais autônomos, capazes de realizar ajustes automáticos em diferentes componentes do cultivo sem necessidade de intervenção humana

constante. A evolução dos algoritmos de aprendizado de máquina, da Internet das Coisas e das tecnologias de automação tende a ampliar a capacidade dos sistemas produtivos de responder rapidamente a alterações ambientais, sanitárias e produtivas. Esse avanço poderá contribuir para a redução de custos operacionais, para a melhoria da eficiência dos processos e para a diminuição dos riscos associados à variabilidade das condições de cultivo, fortalecendo a resiliência dos sistemas aquícolas diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda por alimentos (CHATTERJEE; SANYAL, 2026; ROHINI et al., 2026).

Embora os benefícios das tecnologias digitais sejam amplamente reconhecidos, sua adoção em larga escala ainda enfrenta obstáculos relacionados ao acesso à infraestrutura tecnológica, aos investimentos necessários e à formação de profissionais qualificados para operar e interpretar os sistemas inteligentes. Estudos recentes apontam que essas limitações são mais evidentes em regiões onde os empreendimentos aquícolas possuem menor acesso a recursos financeiros e suporte técnico especializado. A literatura também destaca que políticas de incentivo à inovação e programas de capacitação poderão desempenhar papel decisivo na democratização do acesso às tecnologias digitais aplicadas à aquicultura (RABIE et al., 2026; RANJAN et al., 2026).

Essas tecnologias contribuem para o uso racional da água, para a redução dos impactos ambientais, para a otimização energética e para o fortalecimento da gestão ambiental dos cultivos. As perspectivas futuras indicam que a continuidade dos avanços tecnológicos poderá ampliar ainda mais os benefícios observados, consolidando a transformação digital como um dos principais caminhos para garantir a sustentabilidade, a competitividade e a segurança alimentar associadas ao desenvolvimento da aquicultura nas próximas décadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão bibliográfica permitiu compreender que a aplicação da inteligência artificial e dos sistemas de monitoramento automatizado tem promovido mudanças significativas na aquicultura moderna, contribuindo para a construção de sistemas produtivos mais eficientes, precisos e sustentáveis. A integração entre tecnologias digitais, sensores inteligentes, Internet das Coisas, aprendizado de

máquina e análise de dados em tempo real possibilita maior controle dos processos produtivos, favorecendo a tomada de decisões fundamentadas em informações atualizadas e reduzindo a ocorrência de falhas operacionais.

Os resultados demonstraram que a inteligência artificial exerce papel relevante na otimização da produtividade dos cultivos aquícolas, especialmente por meio do monitoramento contínuo da qualidade da água, da previsão de doenças, do gerenciamento alimentar e da automação de diversas atividades operacionais. A capacidade de antecipar problemas, identificar padrões de comportamento e realizar ajustes preventivos fortalece a eficiência dos sistemas produtivos e amplia sua capacidade de adaptação diante das constantes mudanças ambientais e econômicas que afetam o setor.

Conclui-se que a adoção de tecnologias inteligentes representa uma tendência irreversível para o desenvolvimento sustentável da aquicultura. Entretanto, para que seus benefícios sejam plenamente alcançados, torna-se fundamental ampliar investimentos em pesquisa, inovação, infraestrutura tecnológica e capacitação profissional, possibilitando que produtores de diferentes escalas tenham acesso a essas ferramentas. O avanço da digitalização dos sistemas aquícolas poderá contribuir não apenas para o aumento da produtividade, mas também para a consolidação de modelos de produção mais responsáveis, resilientes e alinhados aos princípios da sustentabilidade ambiental, econômica e social, fortalecendo o papel da aquicultura como atividade estratégica para a segurança alimentar global.

REFERÊNCIAS

AKHTER, M. S.; RATUL, S. I.; CHOWDHURY, U. et al. AI-Powered Generative Models for Predictive and Optimized Aquaculture Water Management. In: *Artificial Intelligence Techniques for Sustainable Water Management*. Cham: Springer, 2026. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-032-19012-3_8. Acesso em: 22 jan. 2026.

AKHTER, M. S.; RATUL, S. I.; CHOWDHURY, U. Predictive and Optimized Aquaculture Water Management Using Artificial Intelligence. In: *Artificial Intelligence Techniques for Sustainable Water Management*. Cham: Springer, 2026. Disponível em: <https://books.google.com/books?id=eaTdEQAAQBAJ>. Acesso em: 22 jan. 2026.

BHUSAN, S.; IBURAHIM, S. A.; AKASH, J. S. Emerging Trends in Information Technology with Reference to Fisheries and Aquaculture. In: *Information Technology in Fisheries and Aquaculture*. Singapore: Springer, 2025. Disponível em:

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-8553-7_14. Acesso em: 22 jan. 2026.

CHATTERJEE, A.; SANYAL, S. The Future of Aquaculture: Integrating Artificial Intelligence and Machine Learning for Sustainable Productivity. *Biotechnologia Acta*, 2026. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Arnab-Chatterjee-21/publication/402328640_THE_FUTURE_OF_AQUACULTURE_INTEGRATING_ARTIFICIAL_INTELLIGENCE_AND_MACHINE_LEARNING_FOR_SUSTAINABLE_PRODUCTIVITY. Acesso em: 22 jan. 2026.

DAS, B. K.; MEENA, D. K.; DAS, A.; SAHOO, A. K. Prospects of Smart Aquaculture in Indian Scenario: A New Horizon in the Management of Aquaculture Production Potential. In: *Smart and Sustainable Food Technologies*. Singapore: Springer, 2022. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-1746-2_3. Acesso em: 22 jan. 2026.

HAQUE, S. A.; AL JUFAILI, S. M. Applications of Artificial Intelligence in Fisheries: From Data to Decisions. *Big Data and Cognitive Computing*, v. 10, n. 1, 2026. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-2289/10/1/19>. Acesso em: 22 jan. 2026.

IMRAN, M. N.; HEPZIBAH, B. R.; VIMALADEVI, S. et al. Revolution of AI in Aquaculture and Fish Processing: A Review. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, v. 16, 2026. Disponível em: <https://indianjournals.com/article/ijbsm-16-7-018>. Acesso em: 22 jan. 2026.

KANTAL, D.; ARUN, K.; GANIE, P. A. Economic Implications of Information Technology in Aquaculture and Fisheries. In: *Information Technology in Fisheries and Aquaculture*. Singapore: Springer, 2025. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-8553-7_13. Acesso em: 22 jan. 2026.

KHATEI, A.; GANIE, P. A.; PANDEY, P. K. Introduction of Information Technology in Fisheries and Aquaculture. In: *Information Technology in Fisheries and Aquaculture*. Singapore: Springer, 2025. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-8553-7_1. Acesso em: 22 jan. 2026.

KULARBPHEETONG, K.; KAEWRATTANAPAT, N.; RAKSUNTORN, N. An Intelligent IoT-Based Predictive Control System for Water Quality and Energy Management in Koi Aquaculture. *Sensors*, 2026. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/26/10/3238>. Acesso em: 22 jan. 2026.

MARR, S.; ROUHANI, Q.; MEGAHED, M. Digital Technologies for Improving the Efficiency of Small and Medium-Scale Aquaculture in Africa. Rome: FAO, 2026. Disponível em: <https://books.google.com/books?id=hnndEQAAQBAJ>. Acesso em: 22 jan. 2026.

MUSTAPHA, U. F.; ALHASSAN, A. W.; JIANG, D. N. et al. Sustainable aquaculture development: a review on the roles of cloud computing, internet of things and artificial

intelligence (CIA). *Reviews in Aquaculture*, v. 13, n. 4, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/raq.12559>. Acesso em: 22 jan. 2026.

O'DONNCHA, F.; PAPANDROULAKIS, N.; KORUS, J. et al. Machine Learning in Fish Farming. In: *Digital Technologies for Marine Fish Farming*. Cham: Springer, 2026. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-032-10362-8_3. Acesso em: 22 jan. 2026.

RABIE, G.; NABILA, B.; MATAALLAH, A.; OUAGGAD, M. Artificial Intelligence in Aquaculture: A Global Bibliometric Review Highlighting the Role and Challenges of African Countries. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 2026. Disponível em: https://journals.ekb.eg/article_495963.html. Acesso em: 22 jan. 2026.

RANJAN, D.; SINGH, S.; SINGH, A. et al. Recent advancements in sustainable aquaculture: innovative techniques and future prospects. *Frontiers in Aquaculture*, 2026. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/aquaculture/articles/10.3389/faquc.2026.1770106/full>. Acesso em: 22 jan. 2026.

ROHINI, P.; KANAGACHIDAMBARESAN, G. R. et al. IoT Enabled Real-Time Monitoring and Disease Prediction System for Sustainable Aquaculture. *IEEE Access*, 2026. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11414229>. Acesso em: 22 jan. 2026.

VARGHESE, E.; SREENATH, K. R.; JAYASANKAR, J. Artificial Intelligence for the Blue Revolution: Advancing Fisheries and Aquaculture Management. In: *Harvesting Intelligence*. Singapore: Springer, 2026. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-95-5175-0_14. Acesso em: 22 jan. 2026.

WANG, Z.; TANG, R.; CHEN, G. et al. A Review of Artificial Intelligence-Driven Smart Treatment of Aquaculture Effluent: Technical Framework, Application Scenarios, and Development Outlook. *Water*, v. 18, n. 4, 2026. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/18/4/470>. Acesso em: 22 jan. 2026.