

ECONOMIA AZUL E SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTÃO: EFICIÊNCIA HÍDRICA, PEGADA HÍDRICA E RASTREABILIDADE NAS CADEIAS DE PRODUTOS DO MAR

BLUE ECONOMY AND INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEMS: WATER EFFICIENCY, WATER FOOTPRINT, AND TRACEABILITY IN SEAFOOD SUPPLY CHAINS

ECONOMÍA AZUL Y SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN: EFICIENCIA HÍDRICA, HUELLA HÍDRICA Y TRAZABILIDAD EN LAS CADENAS DE PRODUCTOS DEL MAR

Robson Jeremias¹
Luiz Alberto Nogueira Machado²
Josué Mario de Oliveira³
Joel Porto Alves⁴
Dircelene Teixeira do Nascimento⁵
Rafael Aljona Ortega⁶
Denise Normino de Oliveira⁷
Evandro Ferigato⁸
Bruno Figueiredo dos Santos⁹

1

RESUMO: A Economia Azul vem assumindo papel estratégico nas agendas globais de desenvolvimento sustentável, ao articular crescimento econômico, segurança alimentar e conservação dos ecossistemas aquáticos. Contudo, sua efetividade depende da adoção de sistemas de gestão capazes de integrar qualidade, uso racional da água e rastreabilidade ao longo das cadeias produtivas de pescados e algas. Neste contexto, o presente estudo realiza uma revisão bibliográfica com abordagem narrativa e elementos sistemáticos, com o objetivo de analisar e integrar evidências normativas, setoriais e científicas relacionadas à gestão da qualidade, eficiência hídrica, pegada hídrica e rastreabilidade na Economia Azul. A pesquisa abrangeu normas internacionais (ISO 9001, ISO 22000, ISO 14001, ISO 14046 e ISO 46001), relatórios institucionais de organismos como FAO e Comissão Europeia, bem como artigos científicos indexados nas bases Scopus e Web of Science, com foco em aquicultura,

¹Doutorando em Eng. de Produção Universidade Paulista – UNIP Consultor - Aequilibrium.

²Especialista em Liderança e Tecnologia 5.0 Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul-PUC-RS Professor - FATEC.

³Especialista em Gestão de Pessoas Faculdade Iguaçu Professor-FATEC.

⁴Doutorando em Eng. de Produção Universidade Paulista – UNIP Professor - FATEC.

⁵Mestra em Desenvolvimento Humano Universidade de Taubaté – UNITAU Professora.

⁶Mestre em Eng. de Produção Universidade Paulista – UNIP Superintendente-ETEC.

⁷MBA Gestão Financeira Faculdade Iguaçu Gestora Administrativa.

⁸Mestre em Administração Centro Universitário Campo Limpo Paulista UNIFACCAMP Professor - UNIFACCAMP.

⁹MBA em Gestão de Pessoas Centro Universitário Anhanguera - UNIAN Professor-FATEC.

processamento de produtos do mar e cadeias de valor associadas. Os resultados indicam que a integração entre indicadores operacionais de desempenho hídrico — como consumo específico (m^3/t), taxas de reuso, perdas por purga e parâmetros de efluentes (DQO e DBO_5) — e indicadores de impacto ambiental, especialmente o water scarcity footprint (WSF) baseado no método AWARE, fortalece a conformidade regulatória, a eficiência produtiva e a transparência socioambiental. Adicionalmente, a rastreabilidade digital, apoiada em padrões interoperáveis como o Global Dialogue on Seafood Traceability (GDST), emerge como elemento estruturante para a governança de dados, a confiança do consumidor e o acesso a mercados mais exigentes. Apesar dos avanços, persistem desafios relevantes, incluindo a padronização de dados, os custos de instrumentação e monitoramento, a capacitação técnica e a integração entre sistemas digitais e de gestão. Conclui-se que a Economia Azul somente se consolida como modelo sustentável quando sustentada por sistemas de gestão auditáveis, métricas comparáveis de eficiência e impacto hídrico e mecanismos robustos de rastreabilidade e governança da informação. O estudo contribui ao oferecer uma síntese integradora que subsidia gestores, pesquisadores e formuladores de políticas na implementação prática de estratégias alinhadas à sustentabilidade, competitividade e transparência nas cadeias produtivas do mar.

Palavras-chave Economia Azul. Gestão da Qualidade. ISO 14046. ISO 46001. Rastreabilidade.

ABSTRACT: The Blue Economy has assumed a strategic role in global sustainable development agendas by linking economic growth, food security, and the conservation of aquatic ecosystems. However, its effectiveness depends on the adoption of management systems capable of integrating quality management, rational water use, and traceability throughout seafood and algae value chains. In this context, this study conducts a bibliographic review with a narrative approach and systematic elements, aiming to analyze and integrate normative, sectoral, and scientific evidence related to quality management, water efficiency, water footprint, and traceability within the Blue Economy. The review encompasses international standards (ISO 9001, ISO 22000, ISO 14001, ISO 14046, and ISO 46001), institutional reports from organizations such as FAO and the European Commission, as well as scientific articles indexed in Scopus and Web of Science, with a focus on aquaculture, seafood processing, and associated value chains. The findings indicate that integrating operational water performance indicators—such as specific water consumption (m^3/t), reuse rates, purge losses, and effluent parameters (COD and BOD_5)—with environmental impact indicators, particularly the water scarcity footprint (WSF) based on the AWARE method, enhances regulatory compliance, production efficiency, and socio-environmental transparency. In addition, digital traceability supported by interoperable standards such as the Global Dialogue on Seafood Traceability (GDST) emerges as a structuring element for data governance, consumer trust, and access to more demanding markets. Despite these advances, relevant challenges persist, including data standardization, instrumentation and monitoring costs, technical capacity building, and the integration of digital technologies with management systems. It is concluded that the Blue Economy can only be consolidated as a sustainable model

when supported by auditable management systems, comparable metrics of water efficiency and impact, and robust mechanisms for traceability and data governance. This study contributes by offering an integrative synthesis that supports managers, researchers, and policymakers in the practical implementation of strategies aligned with sustainability, competitiveness, and transparency in seafood value chains.

Keywords: Blue Economy. Quality Management. Traceability. Water Footprint.

RESUMEN: La Economía Azul ha asumido un papel estratégico en las agendas globales de desarrollo sostenible, al articular crecimiento económico, seguridad alimentaria y conservación de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, su efectividad depende de la adopción de sistemas de gestión capaces de integrar la calidad, el uso racional del agua y la trazabilidad a lo largo de las cadenas productivas de pescados y algas. En este contexto, el presente estudio realiza una revisión bibliográfica con enfoque narrativo y elementos sistemáticos, con el objetivo de analizar e integrar evidencias normativas, sectoriales y científicas relacionadas con la gestión de la calidad, la eficiencia hídrica, la huella hídrica y la trazabilidad en la Economía Azul. La investigación abarcó normas internacionales (ISO 9001, ISO 22000, ISO 14001, ISO 14046 e ISO 46001), informes institucionales de organismos como la FAO y la Comisión Europea, así como artículos científicos indexados en las bases Scopus y Web of Science, con foco en la acuicultura, el procesamiento de productos del mar y las cadenas de valor asociadas. Los resultados indican que la integración entre indicadores operativos de desempeño hídrico —como el consumo específico (m^3/t), las tasas de reutilización, las pérdidas por purga y los parámetros de efluentes (DQO y DBO_5)— y los indicadores de impacto ambiental, especialmente el *water scarcity footprint* (WSF) basado en el método AWARE, fortalece el cumplimiento regulatorio, la eficiencia productiva y la transparencia socioambiental. Adicionalmente, la trazabilidad digital, apoyada en estándares interoperables como el *Global Dialogue on Seafood Traceability* (GDST), emerge como un elemento estructurante para la gobernanza de datos, la confianza del consumidor y el acceso a mercados más exigentes. A pesar de los avances, persisten desafíos relevantes, entre ellos la estandarización de datos, los costos de instrumentación y monitoreo, la capacitación técnica y la integración entre sistemas digitales y de gestión. Se concluye que la Economía Azul solo se consolida como un modelo sostenible cuando está sustentada por sistemas de gestión auditables, métricas comparables de eficiencia e impacto hídrico y mecanismos robustos de trazabilidad y gobernanza de la información. El estudio contribuye al ofrecer una síntesis integradora que subsidia a gestores, investigadores y formuladores de políticas en la implementación práctica de estrategias alineadas con la sostenibilidad, la competitividad y la transparencia en las cadenas productivas del mar.

Palabras clave: Economía Azul. Gestión de la Calidad. Trazabilidad.

INTRODUÇÃO

A Economia Azul tem se consolidado como um paradigma estratégico para o desenvolvimento sustentável ao articular crescimento econômico, segurança alimentar, inovação tecnológica e conservação dos ecossistemas aquáticos. Diferentemente de abordagens tradicionais baseadas na exploração intensiva dos recursos marinhos, a Economia Azul propõe a internalização de critérios ambientais, sociais e de governança (ESG) nas cadeias produtivas associadas aos oceanos, rios e ambientes costeiros, abrangendo setores como pesca, aquicultura, processamento de produtos do mar, biotecnologia marinha, transporte e energias oceânicas (FAO, 2024; COMISSÃO EUROPEIA, 2024).

Entretanto, a intensificação dessas atividades tem ampliado pressões sobre os recursos hídricos e ecossistemas aquáticos, especialmente em função do elevado consumo de água, da geração de efluentes e da crescente complexidade sanitária das cadeias produtivas. A rápida expansão da aquicultura, que já supera a pesca extrativa em volume global de produção, evidencia desafios relacionados à governança hídrica, à segurança dos alimentos e à transparência dos processos produtivos, tornando insuficientes abordagens fragmentadas de gestão.

Nesse contexto, observa-se uma lacuna na literatura quanto à integração sistemática entre gestão da qualidade, eficiência e pegada hídrica e rastreabilidade digital no âmbito da Economia Azul. Embora existam normas consolidadas e estudos setoriais relevantes, ainda são limitadas as análises que articulem esses instrumentos de forma convergente, com foco na operacionalização prática em cadeias de produtos do mar. Assim, o presente estudo tem como objetivo revisar e integrar evidências normativas, setoriais e científicas relacionadas à gestão da qualidade, à eficiência e à pegada hídrica e à rastreabilidade em cadeias produtivas da Economia Azul, propondo caminhos que conciliem competitividade, conformidade regulatória e conservação ambiental. Nesse contexto, a Economia Azul demanda abordagens integradas que articulem gestão da qualidade, uso racional da água e mecanismos de rastreabilidade ao longo das cadeias produtivas de produtos do mar. A Figura 1 apresenta um esquema conceitual que sintetiza essa integração, evidenciando como sistemas de gestão, indicadores hídricos e rastreabilidade digital se articulam para sustentar a sustentabilidade e a competitividade das cadeias da Economia Azul.

Figura 1 – Esquema conceitual da Economia Azul integrando qualidade, água e rastreabilidade nas cadeias de produtos do mar.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Revisão da literatura

A literatura recente indica que a sustentabilidade das cadeias da Economia Azul depende da integração entre sistemas de gestão da qualidade e segurança de alimentos, métricas robustas de desempenho hídrico e mecanismos de rastreabilidade capazes de garantir transparência e confiança ao longo da cadeia de valor. As normas ISO 9001, ISO 22000 e ISO 14001 constituem a base para a padronização de processos, a gestão de riscos e a melhoria contínua, oferecendo suporte à inocuidade dos alimentos e ao controle dos impactos ambientais (ISO, 2014; ISO, 2015a; ISO, 2015b; ISO, 2018).

No campo específico da gestão da água, a ISO 14046 introduz a avaliação da pegada hídrica como instrumento para mensurar impactos ambientais associados ao consumo de água, destacando o conceito de water scarcity footprint (WSF), especialmente quando operacionalizado pelo método AWARE. Complementarmente, a ISO 46001 orienta a

implantação de sistemas de gestão da eficiência hídrica, com foco em inventários, definição de metas, monitoramento de indicadores e planos de ação voltados à redução de perdas e ao reuso.

A rastreabilidade, por sua vez, assume papel central diante das crescentes exigências regulatórias e de mercado. O Global Dialogue on Seafood Traceability (GDST) estabelece padrões interoperáveis que possibilitam o rastreamento do produto “do mar ao prato”, fortalecendo a governança de dados, a transparência e o acesso a mercados mais exigentes. Paralelamente, estudos científicos têm alertado para riscos emergentes associados à produção e ao consumo de produtos do mar, como a presença de microplásticos, metais pesados e antimicrobianos, reforçando a necessidade de sistemas integrados de monitoramento e controle (ALBERGHINI et al., 2022; CABELLO et al., 2023).

Apesar dos avanços normativos e tecnológicos, a literatura aponta desafios persistentes relacionados à padronização de dados, aos custos de implementação, à capacitação técnica e à integração entre sistemas digitais e de gestão, especialmente em países em desenvolvimento. Esses aspectos evidenciam a necessidade de abordagens integradoras que transcendam a adoção isolada de normas e tecnologias.

A literatura evidencia que a adoção isolada de normas e instrumentos de gestão tende a gerar resultados limitados, sendo necessária uma abordagem integrada. A Tabela 1 sintetiza as principais normas internacionais e padrões setoriais, destacando suas contribuições específicas para a gestão da qualidade, da água e da rastreabilidade no contexto da Economia Azul.

Tabela 1 – Síntese das principais normas (ISO 9001, 22000, 14001, 14046, 46001 e GDST) e suas contribuições para a Economia Azul.

Dimensão de gestão	Normas	Indicadores	Aplicação
Qualidade e inocuidade	ISO 9001 / ISO 22000	Conformidade, risco sanitário	Processamento e exportação
Gestão ambiental	ISO 14001	Impactos, efluentes	Licenciamento e controle
Eficiência e pegada hídrica	ISO 14046 / ISO 46001	m ³ /t, WSF (AWARE)	Aquicultura e processamento
Rastreabilidade digital	GDST	Cadeia de custódia	Do mar ao consumidor

Fonte: Elaborado pelos autores.

Além disso, estudos recentes apontam para a necessidade de modelos conceituais capazes de articular sistemas de gestão, métricas operacionais e indicadores de impacto

ambiental. A Figura 2 ilustra um modelo conceitual de integração entre sistemas de gestão, métricas hídricas e rastreabilidade, evidenciando a convergência entre eficiência operacional, conformidade normativa e transparência ao longo da cadeia de valor.

Figura 2 – Modelo conceitual de integração entre sistemas de gestão, métricas hídricas e rastreabilidade.



Fonte: Elaborado pelos autores.

MÉTODO

O estudo adotou uma abordagem de revisão bibliográfica narrativa com elementos sistemáticos, visando à integração crítica de evidências normativas, setoriais e científicas relacionadas à Economia Azul. A pesquisa envolveu a análise de normas internacionais da ISO, relatórios institucionais de organismos multilaterais — como FAO e Comissão Europeia — e artigos científicos indexados nas bases Scopus e Web of Science.

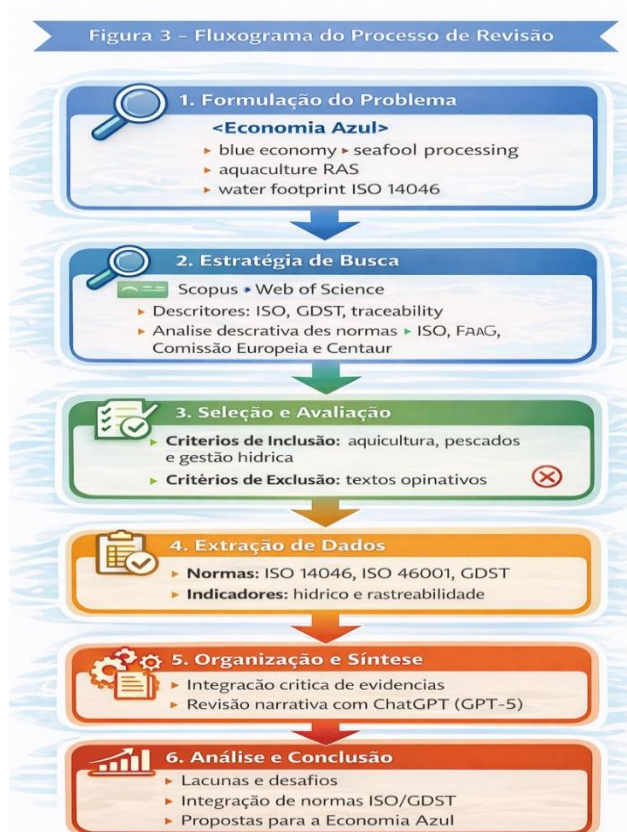
Foram utilizados descritores em língua inglesa relacionados à temática, incluindo blue economy, seafood processing, aquaculture RAS, water footprint ISO 14046, AWARE, ISO 46001 e traceability GDST. Os critérios de inclusão contemplaram estudos voltados a produtos do mar, aquicultura, processamento, gestão da água e sistemas de gestão reconhecidos

internacionalmente. Foram excluídos textos opinativos, duplicados e trabalhos sem aderência direta ao escopo do estudo.

O processo de organização, síntese e refinamento textual contou com o apoio da ferramenta ChatGPT (OpenAI, GPT-5), sendo todas as informações rigorosamente verificadas e validadas a partir das fontes originais, de modo a assegurar a integridade científica e a rastreabilidade das evidências utilizadas.

O processo metodológico da revisão foi estruturado de forma sequencial, contemplando as etapas de busca, seleção, análise crítica e síntese dos estudos. Esse percurso metodológico está representado na Figura 3, que apresenta o fluxograma adotado para organização e consolidação das evidências analisadas.

Figura 3 – Fluxograma do processo metodológico da revisão (busca, seleção, análise e síntese).



Fonte: Elaborado pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da revisão evidenciam que a adoção integrada das normas ISO 9001, ISO 22000 e ISO 14001 contribui para a organização dos processos produtivos, a gestão de riscos e a

melhoria contínua, assegurando padrões elevados de qualidade e inocuidade dos produtos do mar. No âmbito hídrico, a ISO 14046 possibilita a mensuração da pegada de escassez de água por meio do indicador WSF/AWARE, enquanto a ISO 46001 orienta a implementação de inventários, metas e planos de eficiência e reuso, promovendo a racionalização do consumo.

No processamento de pescados, as etapas úmidas concentram os maiores volumes de consumo hídrico, com valores que variam entre 5 e 15 m³ por tonelada de produto, embora unidades mais eficientes alcancem patamares entre 4 e 6 m³/t. Tecnologias como sistemas CIP inteligentes, processos de separação por membranas, processos oxidativos avançados e sensores baseados em Internet das Coisas (IoT) têm demonstrado potencial significativo para a redução do consumo de água e a melhoria do desempenho ambiental.

A rastreabilidade digital, apoiada no GDST, emerge como elemento estruturante para a transparência e a governança da informação, ampliando a confiança dos consumidores e a competitividade das empresas. Contudo, barreiras relacionadas a custos, interoperabilidade de sistemas, padronização de dados e capacitação técnica ainda limitam a adoção ampla dessas soluções. A integração de indicadores operacionais e de impacto, ancorada no ciclo PDCA, é apontada como estratégia-chave para tornar as metas ambientais auditáveis, comparáveis e transparentes.

A análise dos estudos permitiu identificar um conjunto de indicadores operacionais e de impacto ambiental aplicáveis ao processamento de produtos do mar. A Tabela 2 apresenta esses indicadores, contemplando métricas de eficiência hídrica, qualidade de efluentes e avaliação de impacto associada à escassez de água.

Tabela 2 – Indicadores operacionais e de impacto hídrico aplicáveis ao processamento de produtos do mar.

Categoria	Indicador	Unidade / Método	Norma	Uso gerencial
Eficiência operacional	Consumo específico de água	m ³ /t	ISO 46001	Metas e redução de perdas
Eficiência operacional	Taxa de reuso	%	ISO 46001	Otimização de processos
Controle ambiental	Carga orgânica	DQO / DBO ₅	ISO 14001	Conformidade legal
Impacto ambiental	Water Scarcity Footprint	WSF (AWARE)	ISO 14046	Avaliação de risco hídrico
Governança da cadeia	Rastreabilidade hídrica	Cadeia de custódia	GDST	Transparência e mercado

Fonte: Elaborado pelos autores.

A integração entre gestão da qualidade, eficiência hídrica e rastreabilidade digital demanda uma lógica sistemática de melhoria contínua. A Figura 4 ilustra essa integração a partir do ciclo PDCA, evidenciando como os diferentes sistemas de gestão podem ser operacionalizados de forma convergente e auditável.

Figura 4 – Integração PDCA entre qualidade, eficiência hídrica e rastreabilidade.



Fonte: Elaborado pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os achados do estudo indicam que a Economia Azul somente alcança efetividade quando sustentada por sistemas de gestão auditáveis, métricas consistentes de eficiência e impacto hídrico e mecanismos robustos de rastreabilidade digital. O alinhamento entre ISO 14046, ISO 46001, ISO 9001, ISO 22000, ISO 14001 e GDST configura um caminho prático para conciliar competitividade, sustentabilidade ambiental e transparência nas cadeias produtivas de produtos do mar.

A implementação efetiva desses instrumentos exige investimentos em monitoramento, tecnologias de processo, capacitação técnica e interoperabilidade de dados, superando abordagens meramente normativas ou declarativas. Como agenda de pesquisa futura, destacam-se a construção de benchmarks regionais de consumo e WSF, a análise de trade-offs água-energia, o aprofundamento da rastreabilidade digital e a avaliação de riscos emergentes associados à produção e ao consumo de produtos do mar.

Dessa forma, o estudo contribui para o fortalecimento do debate acadêmico e oferece subsídios concretos para gestores, pesquisadores e formuladores de políticas interessados em consolidar a Economia Azul como um modelo de desenvolvimento sustentável, transparente e competitivo.

REFERÊNCIAS

ALBERGHINI, L. et al. Microplastics in fish and fishery products and risks for human health: A review. *Foods*, v. 11, n. 1, p. 1–23, 2022.

BADIOLA, M.; MENDIOLA, D.; BOSTOCK, J. Recirculating Aquaculture Systems (RAS): Main issues and future challenges. *Aquacultural Engineering*, v. 51, p. 26–35, 2012.

BOULAY, Anne-Marie et al. The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 23, n. 2, p. 368–378, 2018.

CABELLO, F. C. et al. Antimicrobial use and resistance in salmon aquaculture: Current status and future perspectives. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, p. 1–16, 2023.

COMISSÃO EUROPEIA. *EU Blue Economy Report 2024*. Bruxelas: European Commission, 2024.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in Action*. Roma: FAO, 2024.

GDST – GLOBAL DIALOGUE ON SEAFOOD TRACEABILITY. *Core Normative Standard v1.2*. Seattle: GDST, 2023.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 9001:2015 – Quality management systems — Requirements*. Genebra: ISO, 2015a.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 14001:2015 – Environmental management systems — Requirements with guidance for use*. Genebra: ISO, 2015b.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 22000:2018 – Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain*. Genebra: ISO, 2018.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 14046:2014 – Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines*. Genebra: ISO, 2014.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 46001:2019 – *Water efficiency management systems — Requirements with guidance for use*. Geneva: ISO, 2019.

MURALI, S. et al. Energy and water consumption pattern in seafood processing industry: A cleaner production perspective. *Cleaner Engineering and Technology*, v. 4, 100260, 2021.