RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.
Ano V, v.1 2025. | submissão: 14/09/2025 | aceito: 16/09/2025 | publicação: 18/09/2025

Carcinicultura Sustentável: O Potencial do Reuso de Água e Antimicrobianos Não Antibióticos para um Futuro Responsável

Sustainable Shrimp Farming: The Potential of Water Reuse and Non-Antibiotic Antimicrobials for a Responsible Future

Neila Lilyane da Silva Gomes
Janine Passos Lima
Angel Ramon Sanchez Delgado

Resumo
Este artigo de revisão explora o potencial do reuso de água na carcinicultura sustentável como estratégia para enfrentar os desafios do uso intensivo de recursos hídricos e minimizar a escassez e a poluição. A gestão inadequada da água é um problema crítico na carcinicultura, podendo contribuir para impactos significativos na saúde humana e ambiental. Além disso, o uso antibióticos na aquicultura é um fator que impulsiona a crise global de resistência antimicrobiana. A adoção de sistemas inovadores de reuso de água, combinada com a aplicação de antimicrobianos não antibióticos, emerge como uma abordagem promissora para alcançar uma produção mais responsável e alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), promovendo a sustentabilidade e minimizando contaminações. A análise da literatura demonstra a necessidade de estudos mais aprofundados sobre a viabilidade e o potencial de sistemas integrados, bem como sobre os efeitos a longo prazo dos antimicrobianos não antibióticos na microbiota dos viveiros e na saúde dos camarões.
Palavras-chave: Aquicultura Sustentável, Alternativas a Fármacos, Impacto Ambiental, Agenda 2030.

Abstract
This review article explores the potential of water reuse in sustainable shrimp farming as a strategy to address the challenges of intensive water resource use and minimize water scarcity and pollution. Inadequate water management is a critical problem in shrimp farming, with significant impacts on human and environmental health. Furthermore, the use of antibiotics in aquaculture is a factor driving the global antimicrobial resistance crisis. The adoption of innovative water reuse systems, combined with the application of non-antibiotic antimicrobials, emerges as a promising approach to achieve more responsible production aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations (UN), promoting sustainability and minimizing contamination. The literature analysis demonstrates the need for more in-depth studies on the feasibility and potential of integrated systems, as well as on the long-term effects of non-antibiotic antimicrobials on the microbiota of ponds and shrimp health.
Keywords: Sustainable Aquaculture, PharmaceuticalsAlternatives to Antibiotic Pharmaceuticals , Environmental Impact, 2030 Agenda.

Introdução

A utilização de água de reuso tratada permite que a água potável seja priorizada para fins básicos, enquanto a água de reuso pode ser utilizada para outras finalidades, como agricultura, irrigação de áreas verdes e limpeza de ruas (Fagundes et al., 2020).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

As principais tecnologias para o tratamento de águas residuárias visando o reuso incluem processos como adsorção em carvão ativado, oxidação avançada com ozônio, dióxido de cloro e peróxido de hidrogênio, separação por membranas (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa), eletrodiálise reversa, troca iônica, destilação e precipitação química (Moura et al., 2020; Carvalho et al., 2013).No entanto a intensificação de tratamentos para o reuso de água traz à tona a necessidade de considerar a formação de subprodutos da desinfecção (DBPs). Compostos como trihalometanos (THMs) ou ácidos haloacéticos (HAAs) podem surgir do uso de desinfetantes químicos como cloro e ozônio, exigindo monitoramento rigoroso para garantir a segurança da água e do produto final (Hoffmans et al., 2025).

Em relação aos perigos microbiológicos, os agentes patogênicos encontrados em águas de reuso, relevantes para a saúde humana e do meio ambiente, são categorizados em bactérias, helmintos, protozoários e vírus. Estudos recentes apontam para a presença de microrganismos patogênicos em água de reuso que podem representar riscos microbiológicos à saúde pública, persistindo mesmo após o tratamento de desinfecção com cloro, a exemplo do Norovírus (Moura et al., 2020). Para o meio ambiente, os riscos microbiológicos incluem a alteração da microbiota natural dos ecossistemas aquáticos, a introdução de espécies patogênicas que podem afetar a fauna e flora locais e, principalmente, a proliferação de genes de resistência antimicrobiana em populações bacterianas, impactando a biodiversidade e a resiliência dos ecossistemas. Nascimento et al. (2014) detalha como a resistência antimicrobiana se dissemina em diversos ecossistemas aquáticos (rios, lagos, tanques de cultivo, estações de tratamento de esgoto), incluindo a aquicultura. O autor pontua que bactérias resistentes podem ser encontradas nesses ambientes e, mais importante, que há preocupação com a transferência de genes de resistência para patógenos humanos.

A carcinicultura, atividade de importância socioeconômica global, enfrenta desafios ambientais e de saúde pública que são intrínsecos ao seu modelo de produção predominante. Embora seja uma fonte vital de alimento e renda, a intensificação dessa prática acarreta consequências que vão além do âmbito exclusivamente ambiental, impactando áreas socioeconômicas, políticas e tecnológicas (Silva et al., 2025). Entre as práticas que geram maior preocupação, destacam-se o uso intensivo da água e o uso rotineiro de antibióticos para controlar doenças nos viveiros. Essas abordagens não só comprometem os recursos hídricos e os ecossistemas aquáticos (Bostock et al., 2010; Diana et al., 2013), mas também resultam na presença preocupante de resíduos de antibióticos nos viveiros e nos produtos finais para consumo humano (Manage, 2018). A contaminação por esses resíduos antibióticos contribui significativamente para o aumento da resistência antimicrobiana (Costa-Pierce, 2021),

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

representando um risco crescente para a saúde humana e a integridade dos ecossistemas aquáticos.

A urgente ameaça que trata a resistência antimicrobiana, reconhecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como uma das maiores para a saúde global (WHO, 2015;Monteiro, 2020), exige soluções imediatas e inovadoras. Para que a carcinicultura possa ser sustentável a médio e longo prazos, é fundamental que essas diversas proporções sejam abordadas por meio de pesquisa e inovação (Silva et al., 2025).

Nesse contexto de busca por sustentabilidade, as ações globais estabelecidas pelas Nações Unidas fornecem uma direção imprescindível a ser seguida. Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, um plano de ação abrangente que visa erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir a paz e a prosperidade para todos. No centro dessa agenda estão os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que são metas globais interligadas e indivisíveis, abordando desde a erradicação da fome e da pobreza até a ação climática e a proteção da vida aquática e terrestre. Eles representam um chamado universal à ação para um futuro mais sustentável, equilibrando as dimensões ambiental, social e econômica (ONU, 2015).

A adoção urgente de práticas mais sustentáveis na carcinicultura, incluindo a implementação de sistemas eficientes de reuso de água e a substituição de antibióticos por alternativas não antibióticas, é essencial para minimizar o impacto ambiental, reduzir a contaminação por resíduos e combater a resistência antimicrobiana. A união entre essas estratégias visa otimizar o uso da água (ODS 6) e promover um consumo e produção responsáveis (ODS 12), mas também proteger a vida aquática (ODS 14) ao diminuir a poluição e prevenir resistência aos antimicrobianos e impacta diretamente a saúde e o bem-estar (ODS 3) ao reduzir a exposição a resíduos de antibióticos e a disseminação de superbactérias.

Este artigo aborda a interconexão entre o uso e reuso de água na carcinicultura e o papel fundamental dos antimicrobianos não antibióticos na mitigação da contaminação por resíduos de antibióticos nos camarões de viveiro. Serão analisados os problemas decorrentes do uso de antibióticos na aquicultura, a ocorrência e os impactos dos seus resíduos, os benefícios dos sistemas de reuso de água e o potencial dos antimicrobianos não antibióticos como soluções para uma produção mais segura e sustentável. Buscamos ainda na revisão de literatura entender melhor quais são as dúvidas e incertezas sobre a eficácia e os impactos a longo prazo do reuso de água e dos antimicrobianos não antibióticos, e se há viabilidade para uso. Em particular, este trabalho visa identificar as lacunas de conhecimento que impedem a implementação dessas

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

tecnologias e propor direções para futuras pesquisas que facilitem a transição para uma carcinicultura sustentável.

Material e Métodos

Este artigo consiste em uma revisão bibliográfica que aborda: carcinicultura sustentável, com foco no potencial do reuso de água e na aplicação de antimicrobianos não antibióticos. A pesquisa bibliográfica envolveu a consulta de artigos científicos, livros, relatórios de organizações internacionais e outras fontes relevantes nas bases de dados Web of Science, Scopus e Google Scholar sobre carcinicultura sustentável, com foco no potencial do reuso de água e na aplicação de antimicrobianos não antibióticos. Os termos de busca utilizados incluíram "carcinicultura sustentável", "reuso de água na aquicultura", "antimicrobianos não antibióticos", "resíduos de antibióticos na aquicultura", "resistência antimicrobiana e aquicultura", "biofloc technology", "recirculating aquaculture systems" e "Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e aquicultura". A seleção dos artigos considerou a relevância para o tema, a qualidade metodológica e a atualidade das informações. A análise dos dados foi qualitativa, buscando identificar as principais tendências, desafios e potencialidades relacionados ao reuso de água e ao uso de antimicrobianos não antibióticos na carcinicultura sustentável. Um foco específico foi dado à literatura que discute a aplicação prática e os resultados de estudos-piloto ou projetos de campo que integrem essas abordagens.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

O Uso de Antibióticos na Aquicultura e a Crise dos Resíduos e da Resistência Antimicrobiana

O emprego de produtos fármacos, especialmente os antibióticos, nas atividades de criação animal, incluindo a aquicultura e pecuária (aves, suínos e bovinos), constitui a principal via de introdução desses compostos no meio ambiente. Essa liberação contínua pode levar à contaminação significativa tanto de ambientes aquáticos quanto terrestres (WOAH, 2022). Na carcinicultura, o uso de antibióticos para profilaxia, metafilaxia e tratamento de doenças é uma prática citada como comum e impulsionada pela intensificação dos sistemas de produção e pela alta densidade de estocagem, o que favorece a ocorrência de surtos infecciosos (Manage, 2018; Luu et al., 2021) Uma vez aplicados, os antibióticos podem ser liberados nos viveiros e no ambiente circundante de diversas formas: através de alimentos medicados não consumidos, fezes dos animais, ou diretamente pela descarga de efluentes contendo os fármacos não metabolizados e seus metabólitos. Na aquicultura, o lançamento direto em águas superficiais é particularmente problemático, podendo resultar em um acúmulo significativo desses fármacos nos sedimentos dos viveiros e corpos d'água adjacentes (Zhang et al., 2018; WOAH, 2018). Esse acúmulo pode levar à modificação das funções do ecossistema aquático, afetando a microbiota natural, as cadeias tróficas e a saúde de organismos não-alvo (Li et al., 2019; Rocha et al., 2019).

Estudos de monitoramento em diversas regiões produtoras de camarão têm frequentemente detectado a presença de resíduos de variados antibióticos em amostras de água, sedimentos e, crucialmente, em tecidos de camarões cultivados (Li et al., 2023). Técnicas analíticas avançadas (como LC-MS/MS) permitem identificar e quantificar esses resíduos em concentrações cada vez menores, apontando para uma contaminação disseminada em muitos sistemas de produção globalmente.

A presença desses vestígios de antibióticos no ambiente acarreta diversos e graves perigos. Inicialmente, atesta um impacto significativo para a evolução e propagação da resistência antimicrobiana (RAM) no meio aquático. Os antibióticos presentes nos resíduos, mesmo em baixas concentrações, atuam como agentes de seleção, favorecendo o desenvolvimento e a proliferação de linhagens bacterianas resistentes (Van Boeckel et al., 2019). Essas bactérias podem, por sua vez, transferir seus genes de resistência para outras bactérias, incluindo patógenos que afetam a saúde humana e animal, por meio de mecanismos de transferência horizontal de genes (Nascimento et al., 2014). A multiplicação e disseminação de bactérias multirresistentes é um problema de saúde pública global crescente, com potencial de tornar

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

tratamentos comuns ineficazes, aumentar a morbidade e mortalidade e gerar custos elevados para os sistemas de saúde em todo o mundo (BRAZIL, 2019). A Organização Mundial da Saúde Animal (WOAH) (2016), em sua Estratégia sobre Resistência Antimicrobiana, destaca a importância da abordagem *One Health*,no Brasil denominado "Uma Só Saúde" para combater esse problema, reconhecendo a interconexão entre a saúde humana, animal, vegetal e ambiental.

Antibióticos e o Meio Ambiente

A produção, o uso e o descarte de antibióticos frequentemente levam à contaminação de ecossistemas naturais com seus resíduos (Kovalakova et al., 2020). A contínua disseminação de antibióticos nos ecossistemas pode impactar organismos em diversos níveis da cadeia alimentar e provocar efeitos prejudiciais em espécies não intencionadas, com mortalidade, mudanças comportamentais, danos genéticos e alterações nas taxas de crescimento, reprodução e alimentação de bactérias, fungos, protozoários, algas, microcrustáceos e peixes (Jijie et al., 2021). Diversas pesquisas apontam a identificação de antibióticos tanto em águas de superfície, como rios e lagos, quanto em águas subterrâneas (Duan et al., 2022). A presença dessas substâncias no meio ambiente pode afetar tanto a vida aquática quanto a terrestre, além de potencialmente contribuir para o aumento da resistência de microrganismos aos antibióticos (Gothwal & Shashidhar, 2015). Um ponto crítico é a bioacumulação desses compostos em organismos aquáticos e seu potencial de transferência para a cadeia alimentar humana, levantando preocupações sobre a segurança dos alimentos, sobretudo a resistência antimicrobiana (RAM).

Sistemas de Reuso de Água: Reduzindo a Dispersão de Resíduos e o Consumo Hídrico

A adoção de sistemas de reuso hídrico, a exemplo do Biofloc Technology (BFT) (De Schryver et al., 2008; Crab et al., 2012) e do Recirculating Aquaculture System (RAS) (Martins et al., 2010), constitui um meio essencial para diminuir a disseminação de vestígios de antibióticos no meio ambiente. Esses métodos de reciclagem e reuso são cruciais, pois estudos indicam que poderiam reduzir a descarga final de efluentes da carcinicultura em até 90%, resultando em uma economia considerável de água (Leitãoet al., 2011). Ao diminuir drasticamente o lançamento de efluentes, tais sistemas retêm os potenciais poluentes em um circuito delimitado, simplificando o tratamento e a eliminação de substâncias indesejáveis, inclusive os resíduos de antibióticos. Estudos como o de Fedorova et al., (2022), demonstram a eficácia de sistemas de

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

reuso de água na remoção de produtos farmacêuticos na aquicultura, reforçando a capacidade dessas tecnologias em mitigar a dispersão de resíduos. A revisão da literatura sobre sistemas de reuso, como a tecnologia de bioflocos (BFT) descrita por Crab et al. (2012) , demonstra a eficiência na melhora da qualidade da água e na redução do consumo hídrico. Porém, estudos futuros devem se concentrar na análise mais precisa em relação à implementação e produção para avaliar a viabilidade. Além disso, consideramos que a demanda reduzida por água potável alivia a pressão sobre as fontes hídricas e diminui o volume de água que poderia ser contaminada por antibióticos durante os tratamentos. A estabilidade na qualidade da água oferecida pelos sistemas de reuso também pode favorecer a saúde dos camarões, possivelmente diminuindo a necessidade de uso de antibióticos.

Reuso da Água na Carcinicultura

O reuso da água proveniente dos viveiros de camarão, em vez de seu descarte direto em rios e lagos após a colheita, oferece múltiplos benefícios. O consumo hídrico na carcinicultura é notoriamente elevado, concentrando-se principalmente nas etapas de troca de água nos viveiros e na despesca. O descarte de efluentes da aquicultura, ricos em matéria orgânica e sólidos em suspensão, pode alterar significativamente as características dos corpos hídricos receptores e gerar impactos negativos na biota local. Diante dessa realidade, e visando promover a economia de água e mitigar os efeitos poluentes, a legislação ambiental brasileira estabelece critérios para o enquadramento dos corpos d'água e diretrizes para a gestão sustentável. Nesse contexto, a Resolução CONAMA n.º 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005), enquanto a Lei Federal n.º 12.651/2012, conhecida como Novo Código Florestal, define parâmetros de proteção e uso sustentável das Áreas de Preservação Permanente (APPs) (BRASIL, 2012) . Ao ser empregada na irrigação, essa prática não só promove a conservação dos recursos hídricos (Fagundes et al., 2020), mas também enriquece o solo, elevando sua fertilidade e, consequentemente, diminuindo a necessidade de aplicação de fertilizantes químicos nas lavouras (Anjos et al., 2017). Essas tecnologias demonstram benefícios e enfatizam o papel fundamental do reuso de água como base para a economia circular na aquicultura, transformando um resíduo em um recurso valioso e útil.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Antimicrobianos Não Antibióticos: Uma Barreira à Contaminação por Resíduos

A implementação de antimicrobianos não antibióticos representa uma estratégia fundamental para prevenir a contaminação por resíduos de antibióticos na aquicultura. Ao substituir os antibióticos convencionais por alternativas como bacteriocinas (ex: nisina) (Bondad-Reantaso et al., 2023; Cotter et al., 2013; Li et al., 2020; Sudagidan et al., 2012), óleos essenciais de plantas aromáticas (Reverter et al., 2014), probióticos e prebióticos (Bondad-Reantaso et al., 2023), o risco de resíduos persistentes e com potencial para induzir resistência é significativamente menor. Além disso, diversas alternativas de antimicrobianos não antibióticos apresentam modos de atuação direcionados e se decompõem com maior facilidade no meio ambiente, o que minimiza o risco de se acumularem nos viveiros e nos efluentes. Adicionalmente, o efeito desses compostos na microbiota do ambiente geralmente é menos severo em comparação com o dos antibióticos de amplo espectro. Estudos comparativos sobre a eficácia e a vantagem dos antimicrobianos não antibióticos em relação aos antibióticos tradicionais na carcinicultura são fundamentais para o uso sustentável (Bondad-Reantaso et al., 2023).

A Integração Estratégica: Reuso de Água e Antimicrobianos Não Antibióticos na Mitigação de Resíduos

A combinação estratégica de reuso de água e antimicrobianos não antibióticos é uma medida colaborativa para combater resíduos de antibióticos na carcinicultura. O reuso limita a dispersão de substâncias, e os não antibióticos diminuem a contaminação por resíduos persistentes e indutores de resistência. Em sistemas de reuso, o uso de não antibióticos que não se acumulam e são facilmente degradados mantém a qualidade da água e a saúde do microbioma, como os bioflocos (De Schryver et al., 2008). A eficácia dos sistemas de reuso de água na diminuição de contaminantes tem sido frequentemente demonstrada. Por exemplo, Fedorova et al. (2022) investigaram um sistema de lagoas de tratamento terciário desenvolvido para reuso em aquicultura. Eles observaram uma redução significativa de diversos compostos farmaceuticamente ativos (PhACs), incluindo antibióticos. Essa diminuição resultou em uma redução dos riscos ecotoxicológicos e da resistência antimicrobiana antes da reutilização benéfica da água. Esse estudo valida o potencial de tais sistemas para uma produção aquática mais segura e sustentável. Para garantir a segurança e eficácia no reuso de água e antimicrobianos não antibióticos, é fundamental desenvolver e implementar estratégias de

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

tratamento e monitoramento da qualidade da água que sejam robustas e sustentáveis na carcinicultura. Daí a necessidade de protocolos padronizados de monitoramento de resíduos e a validação de tecnologias para garantir a segurança sanitária dos produtos e do ambiente.

Trabalhos Relevantes

Segundo o estudo de Jeronimo e Balbino (2012), as áreas de mangue do Rio Grande do Norte têm sofrido significativa degradação devido à expansão acelerada e, muitas vezes, irregular da carcinicultura, ameaçando o ecossistema e as comunidades locais. Os autores apontam para um cenário crítico de contaminação da água, destruição da vegetação nativa e declínio de espécies marinhas, especialmente o caranguejo, alertando para o desequilíbrio ecológico e suas consequências imprevisíveis. Os autores identificam os efluentes líquidos da etapa de despesca como um dos principais responsáveis pelos impactos ambientais, caracterizados pela alta concentração de matéria orgânica em decomposição e pela presença de agentes químicos como antibióticos e antioxidantes. Visando mitigar os problemas decorrentes da destinação inadequada desses efluentes, o trabalho de Jeronimo e Balbino (2012) propõe a investigação e adequação de processos de tratamento físicos, químicos e microbiológicos para reduzir os impactos ambientais e alinhar a atividade da carcinicultura às normas legais de disposição de efluentes industriais. Embora este estudo contribua para a compreensão dos impactos ambientais, ele não aborda em detalhes o papel dos antimicrobianos não antibióticos na redução da carga de poluentes e no reuso da água.

Souza (2022) investigou a eficiência da planta halófita *Salicornia ambigua* no tratamento de efluente da carcinicultura em sistema de bioflocos (BFT) ao longo de 270 dias, visando reduzir os níveis de nitrogênio na água, otimizar seu reuso e evitar a contaminação do solo e lençol freático, com potencial para melhorar o custo-benefício da produção. O estudo utilizou um sistema hidropônico Nutrient Film Technique (NFT) com as raízes das plantas em contato com o efluente descartado dos clarificadores. Os resultados demonstraram redução nos níveis de amônia e desenvolvimento satisfatório da planta, indicando uma produção vegetal adequada. Souza (2022) concluiu que a reutilização do efluente da carcinicultura em aquaponia é eficiente tanto para o tratamento da água quanto para a produção de hortaliças, representando uma abordagem sustentável para a carcinicultura, que cresceu significativamente desde os anos 2000, atingindo 55% da produção mundial de crustáceos, e onde o reuso da água é essencial para a sustentabilidade ambiental e econômica. Apesar de demonstrar o potencial do reuso, este estudo não avalia o impacto da presença de resíduos de antibióticos no efluente tratado e como

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

a adoção de antimicrobianos não antibióticos poderia influenciar a qualidade da água para reuso.

Segundo estudos conduzidos por Anjos et al. (2017), investigou-se o potencial do efluente da carcinicultura como fonte de irrigação para o arroz (*Oryza sativa* L.), com o objetivo de reduzir o uso de fertilizantes e promover o reuso da água. Através de um experimento com diferentes diluições do efluente, os autores observaram que, embora a água de abastecimento público tenha favorecido o maior crescimento do arroz, o efluente da carcinicultura aumentou a matéria orgânica do solo sem prejudicar suas características químicas. A pesquisa concluiu que o efluente da carcinicultura representa uma alternativa promissora para a agricultura, especialmente em regiões com escassez hídrica como o Nordeste brasileiro, ao permitir a economia de fertilizantes e o reuso da água, evitando a eutrofização. No entanto, a pesquisa não aborda a segurança microbiológica da água de irrigação e o potencial impacto de resíduos de antibióticos presentes no efluente no solo e nas culturas.

Um estudo relevante para a abordagem do reuso de água na carcinicultura é o de Leitão et al. (2011), publicado na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Este trabalho teve como objetivo avaliar o reaproveitamento da água de despesca dos viveiros de camarão na própria atividade, buscando mitigar os significativos impactos ambientais causados pela alta demanda hídrica e pelo descarte de efluentes. Os experimentos mostraram que, embora a taxa de sobrevivência do camarão *Litopenaeus vannamei* em águas de despesca tenha sido de 42,1%, a maior mortalidade ocorreu na primeira semana do ciclo de engorda. Contudo, os autores sugerem que uma mudança na estratégia de produção, como um aumento na densidade inicial de povoamento, pode compensar essa perda e, ainda, aproveitar o crescimento acelerado dos camarões (atingindo o peso de corte em 68 dias contra 116 dias com água do rio). Conclui-se que o reuso da água da despesca é uma alternativa viável, com potencial para reduzir os custos com água e energia, diminuir a carga poluidora e aumentar a produtividade das fazendas de camarão.

No Brasil, um cenário mais recente descrito por Silva et al. (2025), que realizaram uma análise bibliométrica dos impactos socioambientais da carcinicultura entre 1993 e 2023. A partir de 56 estudos revisados, destacaram principais preocupações ambientais como a alteração de áreas de manguezais, a contaminação da qualidade da água e a presença da síndrome da mancha branca. Além de impactos sociais e econômicos, como a mudança nas formas de vida local e a criação de empregos. Embora fundamental para entender a dimensão dos impactos, o trabalho de Silva et al. (2025) não se aprofunda nas soluções de reuso de água ou em estratégias para mitigar contaminação por resíduos químicos, incluindo antibióticos.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Nesse contexto de urgência por soluções eficazes no manejo de efluentes na carcinicultura, a presente revisão, ao explorar o potencial de antimicrobianos não antibióticos para diminuir o uso de antibióticos e seus resíduos nos efluentes, visa contribuir para facilitar não apenas o tratamento desses efluentes, com a diminuição de antibióticos no ambiente, mas também para viabilizar o reuso da água, imprescindível para a sustentabilidade e a responsabilidade futura da atividade. A revisão da literatura mostra que há uma necessidade de pesquisas que abordem o uso de antimicrobianos não antibióticos para facilitar o reuso seguro da água na carcinicultura.

Regulamentação e o Caminho para o Futuro

No que se refere ao reuso de água, o Brasil ainda carece de normas técnicas específicas para os sistemas de reutilização (Moura et al., 2020). Frequentemente, são utilizados padrões internacionais de referência ou diretrizes técnicas elaboradas por entidades privadas. Essa ausência de legislação e normatização próprias tem obstaculizado a implementação dessa prática no país, dificultando o trabalho dos profissionais da área. Além disso, a falta de orientação técnica para a instalação de sistemas de reuso de águas servidas e a consequente fiscalização inadequada desses sistemas podem comprometer a saúde da população (Moura et al., 2020). A legislação de reuso de água em países europeus (Bélgica, Holanda e Espanha), destaca a importância de leis claras para a implementação eficaz e segura dessa prática (Hoffmans et al., 2025), um ponto indispensável para o desenvolvimento da carcinicultura sustentável no Brasil.

Nesse contexto, a análise da literatura revela uma necessidade urgente de desenvolvimento e implementação de regulamentações específicas para o reuso de água na aquicultura no Brasil, considerando os aspectos de segurança ambiental e sanitária (Cunha et al., 2012; Fagundes et al., 2020). A padronização dessas regulamentações em nível global e a fiscalização eficaz ainda representam desafios significativos (Cunha et al., 2012). Além disso, políticas públicas que incentivem a adoção de práticas sustentáveis são cruciais para impulsionar a transição para uma carcinicultura mais responsável (Costa-Pierce, 2021), como o reuso de água e a utilização de antimicrobianos não antibióticos.

O futuro da carcinicultura sustentável passa pela adoção de práticas que minimizem o uso de antibióticos e aprimorem o uso da água. Isso requer investimento em pesquisa e desenvolvimento de alternativas eficazes, como os antimicrobianos não antibióticos, e em tecnologias de reuso de água acessíveis e eficientes. A conscientização dos produtores, o apoio

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

governamental e a demanda dos consumidores por produtos seguros e sustentáveis também desempenharão um papel crucial nessa transição. Trabalhos futuros devem se concentrar na viabilidade da implementação em larga escala de processos interligados, assim como nos impactos nos ecossistemas aquáticos e na qualidade dos produtos (Diana et al., 2013).

Conclusões

Priorizar a implementação de sistemas de reuso de água é fundamental para garantir a sustentabilidade ambiental e econômica da carcinicultura, otimizando o uso de um recurso cada vez mais escasso e diminuindo a poluição hídrica. Por outro lado, a necessidade de substituir os antibióticos tradicionais por alternativas não antibióticas torna-se evidente para mitigar a disseminação da resistência antimicrobiana e a contaminação por resíduos, protegendo a saúde humana e os ecossistemas aquáticos.

A adoção conjunta dessas estratégias, em concordância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, representa o caminho mais propício para uma carcinicultura mais responsável e saudável. Esta revisão demonstra que a integração do reuso de água com a utilização de antimicrobianos não antibióticos oferece um potencial significativo para a sustentabilidade da carcinicultura. No entanto, o sucesso dessa transição depende de investimentos contínuos em pesquisa, desenvolvimento de tecnologias acessíveis, bem como regulamentações bem definidas e elaboração de políticas públicas, com a finalidade de contribuir para a saúde global e a preservação do meio ambiente, alinhando a produção de alimentos com um futuro mais sustentável.

Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária (PPGCTIA/UFRRJ) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio à pesquisa.

Referências

ANJOS, D. C. et al. Uso do efluente da carcinicultura na irrigação do arroz e seu efeito nas características químicas do solo. In: **INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING**, 4., 2017, Fortaleza. Anais eletrônicos. Fortaleza: Inovagri, 2017. p. 1-10. Disponível em: https://icolibri.com.br/public/anais/TC4650922.pdf. Acesso em: 5 abr. 2025.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

BONDAD-REANTASO, M. G. et al. Review of alternatives to antibiotic use in aquaculture. **Reviews in Aquaculture**, v. 15, n. 4, p. 1421-1451, 2023. DOI: https://doi.org/10.1111/raq.12786.

BOSTOCK, J. et al. Aquaculture: global status and trends. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1554, p. 2897-2912, 2010. DOI: https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0170.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 053, p. 58-63, 18 mar. 2005.

BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 maio 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. **Plano de ação nacional de prevenção e controle da resistência aos antimicrobianos no âmbito da saúde única 2018-2022 (PAN-BR)**. Brasília: Ministério da Saúde, 2019. 24 p. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/plano_prevencao_resistencia_antimicrobianos.pdf. Acesso em: 3 abr. 2025.

CARVALHO, R. S. de et al. Influência do reuso de águas residuárias na qualidade microbiológica do girassol destinado à alimentação animal. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 3, p. 157-167, 2013. DOI: https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1116.

COSTA-PIERCE, B. A. Radical Aquaculture: Transformative Socio-Ecological Systems Promoting the Sustainable Development Goals. **World Aquaculture**, v. 21, 2021. Disponível em: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20220455081. Acesso em: 28 abr.. 2025.

COTTER, P. D.; ROSS, R. P.; HILL, C. Bacteriocins—a viable alternative to antibiotics? **Nature Reviews Microbiology**, v. 11, n. 2, p. 95-105, 2013. DOI: https://doi.org/10.1038/nrmicro2937.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

CRAB, R. et al. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. **Aquaculture**, v. 356, p. 351-356, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046.

CUNHA, I. N. et al. Aspectos regulatórios para reúso de água no Brasil. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL**, 2., 2012, João Pessoa. Anais eletrônicos. João Pessoa: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2012. Disponível em: https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/VIII-005.pdf. Acesso em: 11 abr. 2025.

DE SCHRYVER, P. et al. The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture. **Aquaculture**, v. 277, n. 3-4, p. 125-137, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.019.

DIANA, J. S. et al. Responsible aquaculture in 2050: Valuing local conditions and human innovations will be key to success. **BioScience**, v. 63, n. 4, p. 255-262, 2013. DOI: https://doi.org/10.1525/bio.2013.63.4.5.

DUAN, W. et al. Occurrence and ecotoxicity of sulfonamides in the aquatic environment: A review. **Science of The Total Environment**, v. 820, 153178, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153178.

FAGUNDES, O. S. et al. A crise hídrica e suas implicações no agronegócio brasileiro: Uma revisão bibliográfica. **Revista Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 1, p. 42-50, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.36560/1312020801.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Responsible use of antibiotics in aquaculture**. Roma: FAO, 2005. Disponível em: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bf43d03e-11bf-47d1-83c2-fd02cc94baa4/content. Acesso em: 5 jun. 2025.

FEDOROVA, G. et al. Water reuse for aquaculture: Comparative removal efficacy and aquatic hazard reduction of pharmaceuticals by a pond treatment system during a one year study. **Journal of Hazardous Materials**, v. 421, p. 126712, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126712.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

GOTHWAL, R.; SHASHIDHAR, T. Fate of antibiotics in wastewater treatment plants and their environmental significance: A review. **African Journal of Biotechnology**, v. 14, n. 47, p. 3173-3184, 2015. DOI: https://doi.org/10.1002/clen.201300989.

HOFFMANS, Y.; SAFITRI, R. A.; BANACH, J. L. Water reuse during fresh produce processing: Unpacking the legislation in Belgium, the Netherlands, and Spain. **Food Control**, p. 111500, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111500.

JERONIMO, C. E.; BALBINO, C. P. Caracterização físico-química de efluentes da carcinicultura e seus impactos ao meio ambiente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 8, n. 8, p. 1639-1650, 2012. DOI: https://doi.org/10.5902/223611706273.

JIJIE, R. et al. Zebrafish as a Screening Model to Study the Single and Joint Effects of Antibiotics. **Pharmaceuticals**, v. 14, n. 6, 578, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/ph14060578.

KOVALAKOVA, P. et al. Occurrence and toxicity of antibiotics in the aquatic environment: A review. **Chemosphere**, v. 251, 126351, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126351.

LEITÃO, R. C. et al. Reúso da água da despesca na produção de camarão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1314-1320, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001200014.

LOU, W. Y.; TAN, G. Y. A.; LETCHUMANAN, V. A review of antibiotic usage in aquaculture: Global trends and future perspectives. **Aquaculture**, v. 532, 735977, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.735977.

MANAGE, P. M. Heavy use of antibiotics in aquaculture: Emerging human and animal health problems–A review. **Sri Lanka Journal of Aquatic Sciences**, v. 23, n. 1, 2018. DOI: https://doi.org/10.4038/sljas.v23i1.7543.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

MARTINS, C. I. M. et al. Recirculating aquaculture systems in Europe: A state-of-the-art review. **Aquaculture Engineering**, v. 43, n. 3, p. 63-70, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002.

MONTEIRO, S. G. Resistência antimicrobiana: um problema de saúde pública. **Revista Multidisciplinar em Saúde**, v. 1, n. 1, p. 79-88, 2020. DOI: https://doi.org/10.25248/reas.e3597.2020.

MOURA, P. G. et al. Water reuse: a sustainable alternative for Brazil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 5, p. 791-808, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180201.

NASCIMENTO, E. D.; ARAÚJO, M. F. F. de. Antimicrobial resistance in bacteria isolated from aquatic environments in Brazil: a systematic review. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 1, p. 239-249, 2014. DOI: https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1343.

REVERTER, M. et al. Essential oils as antimicrobial agents in aquaculture: a review. **Aquaculture**, v. 434, p. 117-129, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.048.

ROCHA, A. C. de L.; KLIGERMAN, D. C.; OLIVEIRA, J. L. da M. Panorama da pesquisa sobre tratamento e reúso de efluentes da indústria de antibióticos. **Saúde em Debate**, v. 43, n. spe3, p. 165-180, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/0103-11042019S312.

SANTOS, S. A.; NAVONI, J. A.; OLIVEIRA, J. E. L. Impactos sociais, econômicos e ambientais da carcinicultura no Brasil: Uma análise bibliométrica. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 11, n. 1, p. 782-793, 2025. DOI: https://doi.org/10.21680/2447-3359.2025v11n1ID36668.

SOUZA, L. A. de. **A utilização do efluente da carcinicultura em sistemas de bioflocos (biofloc technology) para produção de hortaliças em aquaponia**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/8920. Acesso em: 25 abr.. 2025.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

SUDAGIDAN, M.; YEMENICIOĞLU, A. Effects of nisin and lysozyme on growth inhibition and biofilm formation capacity of Staphylococcus aureus strains isolated from raw milk and cheese samples. **Journal of Food Protection**, v. 75, n. 9, p. 1627-1633, 2012. DOI: https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-12-001.

VAN BOECKEL, T. P. et al. Global trends in antimicrobial resistance in animals in low- and middle-income countries. **Science**, v. 364, n. 6439, eaaw1944, 2019. DOI: https://doi.org/10.1126/science.aaw1944.

WHO. **Global action plan on antimicrobial resistance**. Geneva: World Health Organization, 2015. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789241509763. Acesso em: 08 jun.. 2025.

WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH (WOAH). **Aquatic Animal Health Code: Chapters 6.1 to 6.5**. Paris: WOAH, 2022. Disponível em: https://rr-africa.woah.org/app/uploads/2022/09/en_csaa-2022.pdf. Acesso em: 3 jun. 2025.

WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH (WOAH). **OIE List of Antimicrobials of Veterinary Importance**. Paris: OIE, 2018. Disponível em: https://www.woah.org/app/uploads/2021/03/a-oie-list-antimicrobials-may2018.pdf. Acesso em: 2 jun. 2025.

WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH (WOAH). **The OIE Strategy on Antimicrobial Resistance and the Prudent Use of Antimicrobials**. Paris: OIE, 2016. Disponível em: https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Media_Center/docs/pdf/PortailAMR/EN_OIE-AMRstrategy.pdf. Acesso em: 2 jun. 2025.

ZHANG, R. et al. Occurrence and distribution of antibiotics in mariculture farms, estuaries and the coast of the Beibu Gulf, China: Bioconcentration and diet safety of seafood. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 154, p. 27-35, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.006.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.