*CARTILHA PARA INDÚSTRIA*

# AQUICULTURA
# GESTÃO CORRETA DE EFLUENTES NO SETOR DO AGRONEGÓCIO

Futuris SUSTAINABILITY ADVISORS

BID | Invest

| | | |
|---|---|---|
| **Título & Referência** | **Cartilha da Indústria - Aquicultura** | **Versão final** |
| **Cliente** | BID Invest<br>1350 New York Ave NW, Washington, DC 20005, Estados Unidos da América | http://www.idbinvest.org |
| **Preparado por** | Mauricio Morera, Especialista em efluentes<br>Mónica Salas, Especialista em efluentes | ma.morera@gmail.com<br>msalas@auroraingenieria.com |
| **Revisado por** | Natalia Benavides, Consultora Sênior, Futuris<br>Emma Tristán, Diretora Geral, Futuris | natalia@futurisconsulting.com<br>emma@futurisconsulting.com |
| **Contato Futuris** | Futuris Consultoria S.A<br>Tres Ríos, Cartago, Costa Rica | @ http://www.futurisconsulting.com<br>+506 2279-3501 |

Copyright © [2024] Corporação Interamericana de Investimentos ("BID Invest"). Esta obra está sujeita à licença Creative Commons CC BY 3.0 IGO. Os termos e condições indicados no link da URL devem ser cumpridos, e o devido reconhecimento deve ser concedido ao BID Invest.

De acordo com a seção 8 da licença mencionada, qualquer mediação relacionada a disputas decorrentes dessa licença será conduzida de acordo com as Regras de Mediação da OMPI, vigentes no momento da disputa. Qualquer disputa relacionada ao uso das obras do BID Invest que não possa ser resolvida amigavelmente será submetida à arbitragem, de acordo com as regras da Comissão das Nações Unidas para o Direito Comercial Internacional (CNUDMI), vigentes no momento da disputa. O uso do nome do BID Invest para qualquer finalidade diferente do devido reconhecimento, bem como o uso do logotipo do BID Invest, estará sujeito a um acordo de licença escrito separado entre o BID Invest e o usuário, não estando autorizado como parte desta licença.

Note que o link da URL inclui termos e condições que são parte integrante desta licença.

## DISCLAIMER

Este relatório foi elaborado pela Futuris Consulting SA com toda a proficiência, cuidado e diligência razoáveis nos termos do Contrato com o cliente, incorporando as nossas Estipulações e Condições Gerais de Trabalho, tendo em conta os recursos que lhe são dedicados conforme acordado com o cliente. Nós nos isentamos de qualquer responsabilidade para com o cliente ou terceiro com relação a quaisquer assuntos fora do escopo do pedido, conforme definido no Contrato com o cliente. Este relatório é confidencial para o cliente e terceiros especificamente indicados pelo contrato escrito entre Futuris Consulting SA e o cliente.

Não aceitamos qualquer responsabilidade de qualquer natureza para com qualquer terceiro que seja notificado com este relatório, ou partes dele. Fica a critério exclusivo de tais terceiros acatar e confiar ou não no relatório.

# Sumário

**1** ***Introdução***

**1.1** Esta Cartilha do Setor e a Nota de Boas Práticas.....5

**1.2** Fontes de informação.....5

**2** *Características do setor e* ***Produção de efluentes***

**2.1** Visão geral do setor.....6

**2.2** Uso da água no processo industrial.....7

**2.3** Revisão geral da produção de águas residuais.....10

**2.4** Descrição da Qualidade das Águas Residuais Brutas.....10

**3** *Melhores Práticas de* ***Gestão de Efluentes***

**3.1** Prevenção da poluição BWMP.....12

**3.2** Tratamento de efluentes BWMP.....14

**3.3** Exemplo de tratamento de águas residuais BWMP.....16

**3.4** Indicadores-chave de desempenho e monitoramento.....16

**4** ***Referências***

# Acrônimos

| | |
|---|---|
| **ALC** | América Latina e Caribe |
| **BID** | Banco Interamericano de Desenvolvimento |
| **BWMP** | Melhores Práticas de Gestão de Efluentes |
| **DBO** | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| **DQO** | Demanda Química de Oxigênio |
| **ETE** | Estação de Tratamento de Efluentes |
| **FAO** | Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura |
| **GBP** | Guia de Nota de Boas Práticas |
| **ISO** | Organização Internacional de Normalização |
| **MPN** | Número mais provável |
| **MO** | Matéria orgânica |
| **OD** | Oxigênio Dissolvido |
| **SRA** | Sistemas de Recirculação de Aquicultura |
| **SDT** | Sólidos Dissolvidos Totais |
| **SST** | Sólidos Suspensos Totais |
| **WBG** | Grupo Banco Mundial |

# 1 Introdução

## 1.1 ESTA CARTILHA DO SETOR E O GUIA DE BOAS PRÁTICAS

Esta cartilha setorial foi desenvolvida para complementar o Guia de Boas Práticas de Gestão de Efluentes para o Setor do Agronegócio1. Sempre que as informações desta cartilha se sobrepõem às do Guia de Boas Práticas de Gestão de Efluentes (GBP), faz-se referência ao GBP para evitar repetições desnecessárias.

Esta cartilha oferece uma visão compreensiva das melhores práticas de gestão de águas residuais (BWMP, na sigla em inglês) para lidar com os impactos ambientais na indústria de aquicultura, auxiliando as empresas a garantir conformidade com regulamentos pertinentes e promovendo práticas sustentáveis para preservar a saúde pública e o meio ambiente. A seção 2 aborda as características do setor, enquanto a seção 3 abrange o BWMP, incluindo a prevenção da poluição (seção 3.1) e o tratamento de águas residuais (seção 3.2).

As informações sobre os indicadores-chave de desempenho estão ligadas aos regulamentos específicos de cada país, e essas informações estão disponíveis na Seção 2 e no Anexo I do GBP. Para uma análise mais aprofundada de exemplos de prevenção da poluição e do BWMP no tratamento de águas residuais, consulte as Seções 4 e 5 do GBP, respectivamente. Detalhes adicionais sobre o monitoramento podem ser encontrados na Seção 6 do GBP.

## 1.2 FONTES DE INFORMAÇÃO

Esta cartilha da indústria sobre o tratamento de águas residuais provenientes do processamento de aquicultura foi elaborada com base em várias fontes de informação. Como ponto de partida, foi adotado o Manual de Prevenção e Redução da Poluição do Banco Mundial de 1998, que serve como estrutura subjacente para as diretrizes mais específicas da indústria reconhecidas como “Diretrizes Ambientais, de Saúde e Segurança para Aquicultura”, publicadas pelo Grupo Banco Mundial em 2007. A lista completa de referências está disponível na Seção 4. Além disso, foram incorporadas informações obtidas em entrevistas com clientes do BID Invest.

# 2 *Características do Setor e* ***Produção de Efluentes***

## 2.1 VISÃO GERAL DO SETOR

A aquicultura, frequentemente chamada de agricultura aquática, é análoga à agricultura terrestre. Da mesma forma que a agricultura abarca a criação de animais por meio da pecuária e o cultivo de plantas por meio de disciplinas como agronomia, horticultura e silvicultura, a aquicultura abrange a produção de organismos aquáticos. Isso inclui diversos animais, como crustáceos, peixes de barbatana, moluscos, bem como plantas como algas marinhas e macrófitas de água doce.

A aquicultura envolve uma intervenção ativa no processo de criação, com o objetivo de aprimorar a produção. Isso abrange atividades como o armazenamento, a alimentação e a proteção dos organismos aquáticos contra predadores. Além disso, implica que pessoas físicas ou jurídicas são proprietárias dos estoques cultivados. Quando os organismos aquáticos são tratados como recursos de propriedade comum, acessíveis ao público, seja com ou sem licenças, são classificados como parte da pesca e não da aquicultura. A maricultura, ou aquicultura marinha, pode ocorrer no mar ao longo de todo o ciclo de vida dos organismos aquáticos ou apenas durante a fase de crescimento. No primeiro caso, o ciclo de produção ocorre inteiramente nos mares, especialmente para espécies que dependem de sementes selvagens do mar, como no caso dos mexilhões marinhos. Por outro lado, a aquicultura costeira geralmente é praticada em lagoas construídas em terra ou em áreas de entremarés e desempenha um papel importante no sustento, geração de empregos e desenvolvimento econômico nas comunidades costeiras.

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura2, a produção combinada da pesca e da aquicultura atingiu um marco histórico de 214 milhões de toneladas em 2020, sendo composta por 178 milhões de toneladas de animais aquáticos e 36 milhões de toneladas de algas. Esse aumento significativo se deve, em grande parte, ao crescimento da aquicultura, especialmente na região asiática. Na ALC a contribuição para a produção aquícola global atingiu 2.275,5 mil toneladas no mesmo ano. O Chile destacou-se como um dos principais protagonistas, respondendo por 34% da produção aquícola na ALC em 2020, seguido por Equador, Brasil, Peru e México.

As águas residuais provenientes da aquicultura representam preocupações ambientais significativas, especialmente em relação à contaminação das águas e à redução das populações de peixes selvagens. Isso ocorre devido à presença de componentes orgânicos nos efluentes da aquicultura, como restos de ração não consumida e fezes, que podem causar danos ao ambiente dos corpos d'água receptores e aos sedimentos circundantes. Essas águas residuais da aquicultura incluem matéria orgânica dissolvida e em suspensão (MO), sólidos dissolvidos totais (SDT) e nutrientes como fósforo (P) e nitrogênio (N). Estes elementos podem ter impactos prejudiciais no crescimento dos peixes e também podem criar problemas ambientais[4].

## 2.2 USO DA ÁGUA NO PROCESSO INDUSTRIAL

A aquicultura envolve o cultivo de organismos aquáticos em três diferentes ambientes aquáticos: água doce, água salobra e água salgada. As práticas de aquicultura ocorrem em uma variedade de

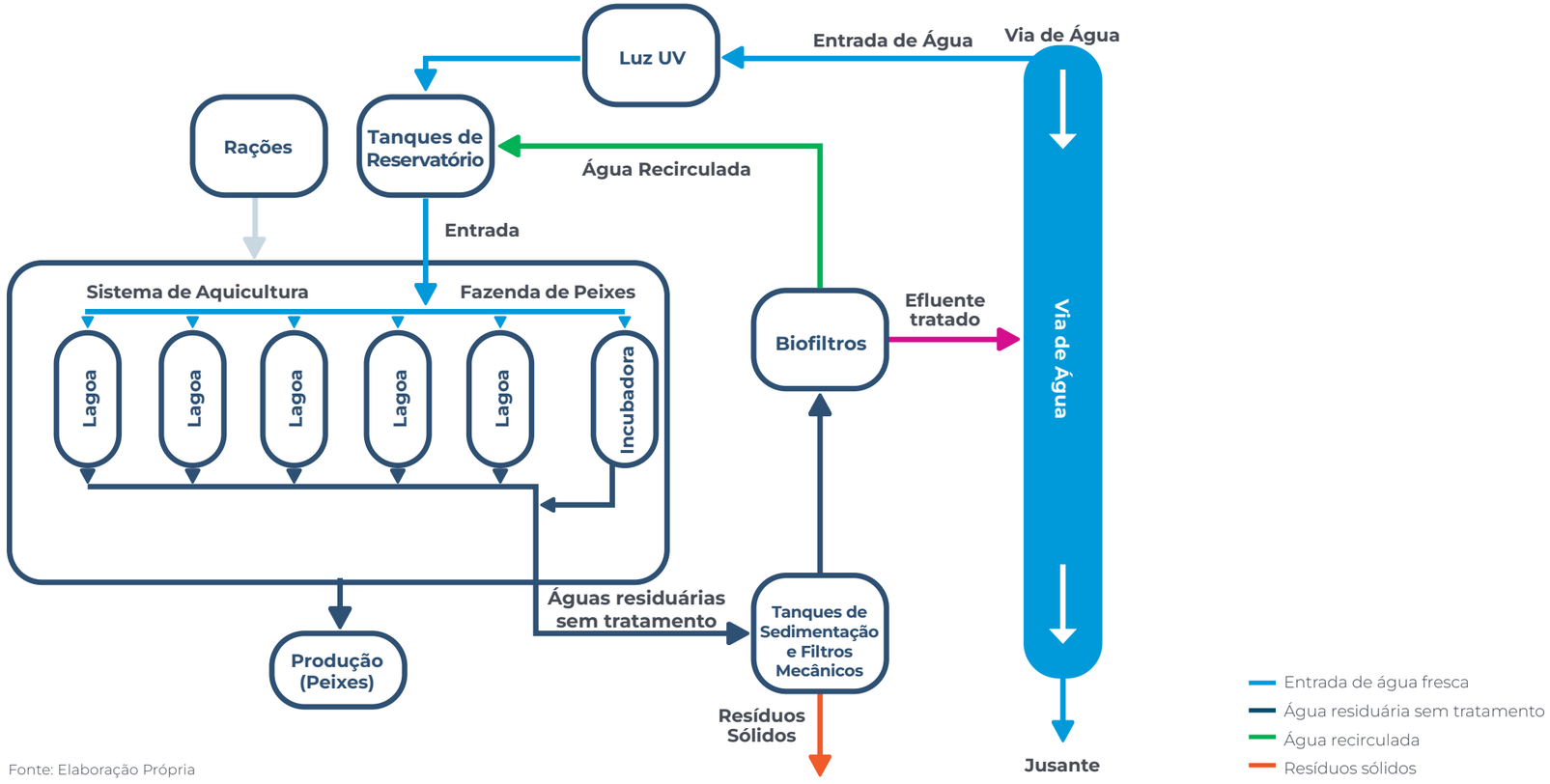
corpos de água, abarcando sistemas fechados, como lagoas e tanques, sistemas semifechados, como canais e lagos, e sistemas abertos, como rios e oceanos 5. Historicamente, a aquicultura de água doce tem dependido de fontes de água próximas, como riachos, lagos e águas subterrâneas[6].

A água desempenha um papel essencial na aquicultura, sendo usada diretamente nos sistemas de cultivo, que podem ser de fluxo contínuo, recirculação ou lagoas tradicionais[7]. Além disso, a água é necessária para as instalações de suporte e para repor as perdas decorrentes da evaporação ou infiltração[8].

Na aquicultura offshore, o uso da água do mar para a piscicultura pode ser dividido em duas abordagens principais: design de canetas abertas e sistemas de contenção fechados. O design de canetas abertas envolve compartimentos com redes colocados diretamente no ambiente marinho, permitindo que a água flua livremente através das canetas. Por outro lado, os sistemas de contenção fechados proporcionam um ambiente mais controlado, mantendo os peixes dentro de estruturas que evitam o contato direto com a água circundante. Esses sistemas empregam tecnologias avançadas de filtragem e recirculação para tratar e reutilizar a água, minimizando a liberação de poluentes e reduzindo o risco de transmissão de doenças para peixes selvagens[9].

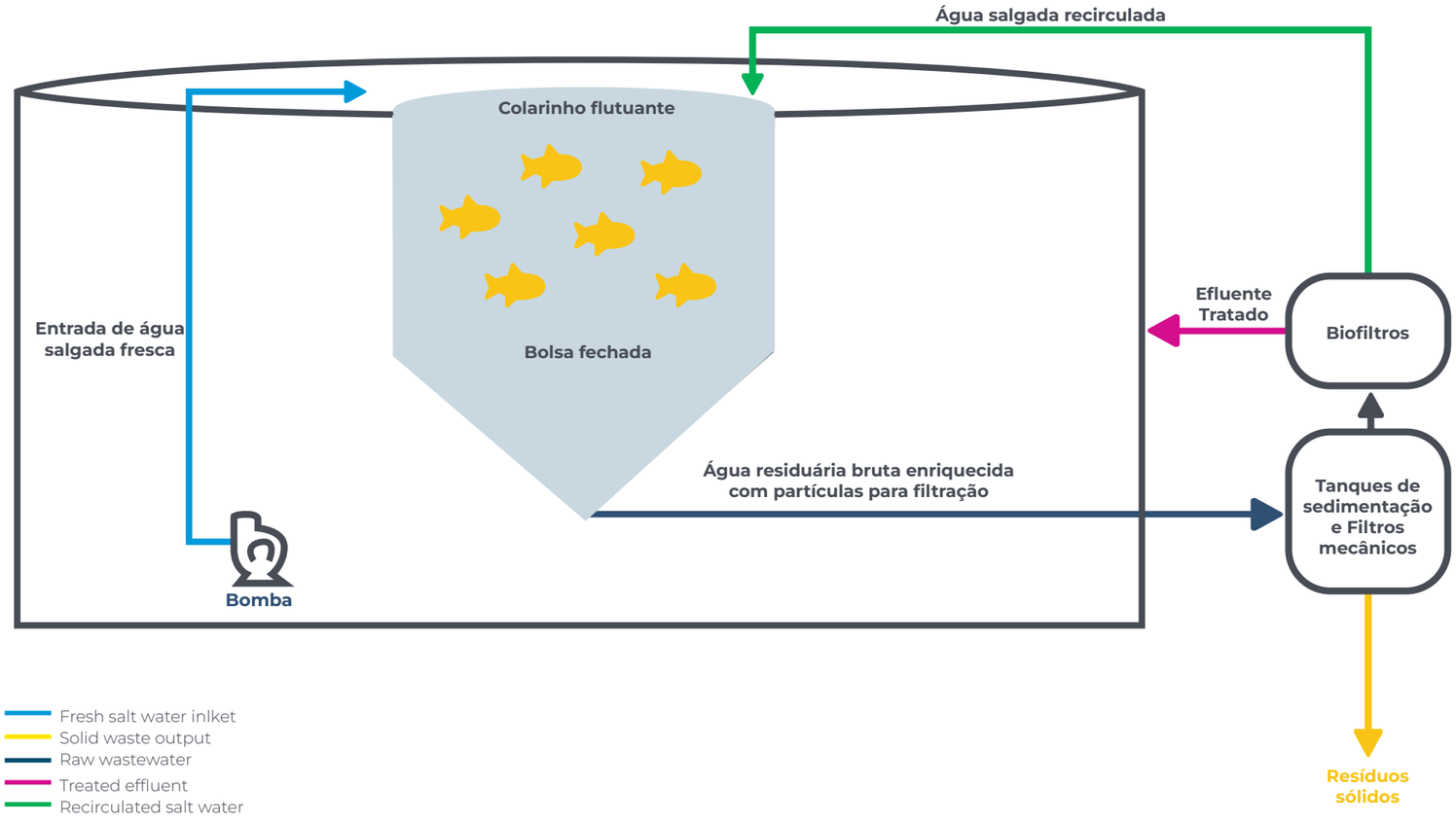
As Figuras 1 e 2 mostram um resumo que ilustra o uso de água na aquicultura de água doce e na aquicultura marinha de contenção fechada, respectivamente. Quando a água é recirculada, geralmente é necessário repor cerca de 10% do volume total de água diariamente, o que depende do suprimento de água e das taxas de alimentação[7].

**FIGURA 1 Fluxograma do processamento aquícola e uso da água na aquicultura de água doce**




Fonte: Elaboração Própria

**FIGURA 2** Fluxograma do processamento aquícola e uso da água na aquicultura de contenção fechada




Fonte: Elaboração Própria

# 2.3 REVISÃO GERAL DA PRODUÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

## 2.3.1 POLUENTES PRIMÁRIOS E SUAS FONTES

A aquicultura gera volumes significativos de águas residuais que contêm compostos como matéria orgânica, demanda química de oxigênio, sólidos suspensos totais e níveis de N e P. Essas águas residuais têm sua origem nos resíduos de alimentos não consumidos, nas fezes dos peixes e nos organismos mortos. Além disso, atividades como a manutenção de lagoas ou tanques, aeração e a colheita podem causar a suspensão de sedimentos, resultando em um aumento na turbidez e no potencial de poluição da água.

## 2.3.2 PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS

O acúmulo de excrementos e restos de comida na piscicultura frequentemente resulta na deterioração da qualidade da água, com impactos negativos no ambiente dos corpos d'água vizinhos. Quando grandes quantidades de resíduos orgânicos entram nos corpos d'água, a atividade metabólica das bactérias que requerem oxigênio aumenta, levando a uma diminuição dos níveis de oxigênio[7], o que afeta negativamente a microfauna e a macrofauna que dependem de oxigênio nos corpos d'água receptores. O acúmulo de matéria orgânica nos sedimentos dos corpos d'água, devido à

insuficiência de populações microbianas, pode resultar no processo de eutrofização. Além disso, resíduos químicos, como restos de antibióticos e hormônios aplicados às espécies cultivadas, podem também ser liberados nos ambientes aquáticos, agindo como poluentes emergentes[10] .

Além disso, o uso intensivo de água na aquicultura apresenta desafios significativos. Embora a aquicultura de água doce possa teoricamente usar água de várias fontes ao longo do ciclo hidrológico, ela depende predominantemente de fontes superficiais de água doce. A disponibilidade limitada dessas fontes levanta preocupações sobre a sustentabilidade do uso da água na aquicultura.

É importante notar que as águas subterrâneas geralmente possuem características químicas mais estáveis em comparação com as águas superficiais. No entanto, essas águas podem conter níveis indesejáveis de sais dissolvidos e íons metálicos. Em muitas regiões, existe uma crescente preocupação com a contaminação das águas subterrâneas por poluentes persistentes que podem prejudicar a aquicultura.  Apesar da disponibilidade global de águas subterrâneas em comparação com as águas superficiais, as operações de aquicultura geralmente extraem água diretamente dos rios ou de fontes alternativas. Certas explorações aquícolas também exploraram a possibilidade de reutilizar a água anteriormente utilizada para irrigação[11]. Portanto, é essencial abordar essas questões por meio da implementação de práticas sustentáveis de gestão da água na aquicultura, incluindo o uso eficiente da água, conforme detalhado na Seção 3.1.

As operações de aquicultura podem criar condições propícias para a reprodução de vários insetos, especialmente mosquitos e moscas, o que eleva o risco de doenças transmitidas por insetos nas comunidades locais da região[12].

# 2.4 DESCRIÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS RESIDUAIS BRUTAS

A Tabela 1 contém informações sobre os parâmetros médios de qualidade das águas residuais não tratadas da aquicultura, provenientes de diversas espécies cultivadas e de diferentes métodos de cultivo. As características e quantidades das águas residuais podem variar significativamente com base na espécie específica que está sendo cultivada, nos métodos utilizados para a aquicultura e no grau de diluição. Esses dados fornecem insights sobre as variações na composição das águas residuais e são úteis para direcionar esforços na elaboração de estratégias eficazes de gerenciamento de águas residuais em operações de aquicultura.

**TABELA 1 Valores médios dos parâmetros de qualidade para águas residuais brutas de aquicultura provenientes de várias fontes**

| Parâmetros | Lagoas de tilápia com recirculação[13] | Cultivo de almejas[14] | Granjas camaroneras[15] |
|---|---|---|---|
| DQO (mg/L) | 253 | 140.02 | 564 |
| SST (mg/L) | NR | NR | 9510.67 |
| N total N-$NO_3$ (mg/L) | 18.1 | 5.81 | 3.29 |
| P total $PO_4$ (mg/L) | 2.5 | 4.5 | - |
| pH | 6.97 | - | 8.23 |

# 3 *Melhores Práticas de* ***Gestão de Efluentes***

## 3.1 PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO BWMP

É crucial dar prioridade à adoção de tecnologias como os Sistemas de Aquicultura de Recirculação de Água (SRA) e implementar estratégias eficazes de gestão da poluição para garantir a sustentabilidade na aquicultura. Recomenda-se o uso de rações com baixos conteúdos de N e P que sejam altamente digestíveis. Evitar a superalimentação é fundamental para minimizar o desperdício de alimentos. A aplicação de práticas como a drenagem parcial, a retenção da água na lagoa após a colheita e a abstenção de descargas de água durante a colheita com redes pode efetivamente reduzir a presença de sólidos em suspensão e os níveis de contaminação nos efluentes.

Para uma visão completa das técnicas de gestão para prevenir a poluição das águas residuais na aquicultura, consulte a Seção 4 do GBP e veja exemplos no Tabela 2.

**TABELA 2 Técnicas de gestão para a prevenção da poluição de águas residuais na aquicultura**

| Técnicas de Gestão para Prevenção da Poluição | Descrição dos controles |
|---|---|
| A aplicação de aeração pode melhorar significativamente a qualidade da água, aumentando as concentrações de OD[8] | • É crucial monitorar regularmente os níveis de OD e temperatura da água, com uma frequência recomendada de pelo menos duas vezes ao dia. Idealmente, a monitorização contínua com uma sonda é preferível, permitindo uma avaliação horária desses parâmetros.<br>• Realize inspeções regulares dos dispositivos de aeração e implemente manutenção preventiva: Um cronograma de inspeção mensal é considerado adequado para garantir o funcionamento adequado e resolver prontamente quaisquer problemas potenciais. No entanto, em casos de sistemas de aquicultura altamente utilizados, inspeções mais frequentes, tais como quinzenais ou mesmo semanais, podem ser necessárias para manter o desempenho ideal. |
| Instalação de sistemas de recirculação de água[7] | • Faça um monitoramento interno semanal dos parâmetros de qualidade da água, incluindo pH, condutividade, STD, temperatura e OD.<br>• Mantenha o sistema de recirculação de água regularmente, o que envolve a limpeza de filtros, a detecção de vazamentos e a verificação do funcionamento adequado de bombas e outros equipamentos. Geralmente, um cronograma de inspeção mensal é suficiente para garantir o funcionamento adequado e solucionar eventuais problemas. No entanto, em sistemas de aquicultura intensiva, inspeções mais frequentes, como quinzenais ou semanais, podem ser necessárias para manter o desempenho ideal.<br>• Execute a desinfecção de água e equipamentos, mantenha uma quarentena para novos estoques e realize verificações mensais de saúde em peixes ou organismos aquáticos. |
| Melhorar a taxa e a qualidade da alimentação[16] | • Garanta que a ração seja controlada com o mínimo de resíduos ou partículas em suspensão.<br>• Faça monitoramentos diários para verificar a taxa de consumo da ração e determine se está sendo consumida adequadamente.<br>• Considere substituir a ração por uma opção com menor concentração de N e P, além de maior digestibilidade. |
| Reduzir sólidos no efluente[12] | • Utilize lagoas de decantação e armadilhas de sedimentos antes de liberar a água.<br>• Evite liberar água das lagoas durante a colheita, usando redes.<br>• Certifique-se de não alimentar os peixes nos dois dias que antecedem a colheita da lagoa para reduzir as concentrações de nutrientes no efluente.<br>• Faça manutenção mensal dos sistemas de descarga e dos equipamentos de controle de ero são instalados no ponto de liberação. |
| Implementação de técnicas de drenagem[12] | • Mantenha os níveis adequados nas lagoas e crie sistemas de armazenamento para a água da chuva.<br>• Empregue técnicas de drenagem parcial para esvaziar 85% das lagoas durante a colheita. |

# 3.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES BWMP

O tratamento das águas residuais da aquicultura envolve geralmente várias etapas destinadas a remover eficazmente os poluentes e preservar a qualidade da água. As etapas de tratamento recomendadas podem variar com base nas necessidades específicas e nas características das águas residuais, mas geralmente incluem processos físicos, químicos e biológicos.
O Tabela 3 oferece uma análise detalhada das abordagens comuns de tratamento de águas residuais da aquicultura, considerando tanto as tecnologias tradicionais quanto as inovações recentes.

## TRATAMENTO PRIMÁRIO

A primeira fase do tratamento envolve a eliminação de partículas sólidas em suspensão e partículas maiores do efluente. Isso é conseguido por meio de processos físicos, como sedimentação, decantação e filtração. Tanques de sedimentação ou bacias de decantação permitem que as partículas sólidas mais pesadas se depositem no fundo, enquanto métodos de filtração, como filtros de areia ou peneiras, ajudam a capturar e remover as partículas sólidas em suspensão.

## TRATAMENTO BIOLÓGICO

Após a remoção das partículas sólidas, o efluente é submetido a um tratamento biológico, onde ocorre a decomposição da matéria orgânica e a remoção de nutrientes. Nessa etapa, geralmente se faz uso de bactérias e outros microrganismos que desempenham um papel na decomposição e oxidação de compostos orgânicos. Processos comuns de tratamento biológico incluem biofiltros submersos, filtros de gotejamento, contatores biológicos rotativos, reatores de leito fluidizado e sistemas de lodos ativados. Esses métodos proporcionam um ambiente propício para o crescimento de microrganismos benéficos que metabolizam poluentes orgânicos, transformando-os em substâncias menos prejudiciais.

## TRATAMENTO QUÍMICO (SE FOR NECESSÁRIO)

Utilização de tratamento químico pode ser considerada, dependendo das características particulares do efluente e dos padrões de qualidade da água que se desejam alcançar. Coagulantes químicos, floculantes e desinfetantes podem ser aplicados para eliminar partículas em suspensão, clarificar a água ou desinfetá-la para eliminar patógenos. No entanto, é fundamental gerenciar com cautela o uso de produtos químicos a fim de minimizar possíveis impactos ambientais adversos.

## TRATAMENTO DE ZONAS HÚMIDAS (OPCIONAL)

Em determinadas situações, é possível incorporar áreas úmidas construídas ou faixas de vegetação natural ao sistema de tratamento. Essas áreas úmidas fazem uso de plantas aquáticas e processos naturais, como filtração, sedimentação e absorção de nutrientes, para aprimorar a qualidade da água. Elas oferecem tratamento suplementar e refinamento das águas residuais antes de serem liberadas no ambiente ou reutilizadas [8].

Além do tratamento convencional, a priorização da recirculação de efluentes é essencial na aquicultura, especialmente nos SRA. Essa técnica avançada não apenas trata as águas residuais, removendo poluentes prejudiciais, mas também recicla a água tratada, utilizando os recursos hídricos de maneira eficiente. Uma das principais vantagens do SRA é a sua capacidade de produzir quantidades significativas de peixes, mesmo utilizando um volume relativamente pequeno de água [7].

Nos sistemas SRA, o efluente produzido nos tanques de peixes passa por uma série de processos de tratamento, que incluem a remoção de sólidos, filtração biológica e desinfecção. Esses processos são fundamentais para manter a qualidade da água e eliminar substâncias tóxicas. Um ponto crítico a ser considerado em sistemas SRA é a presença de amônia, que é principalmente liberada como resíduo pelas espécies de peixes na aquicultura. A amônia é altamente tóxica para os peixes e pode causar estresse severo, danos aos tecidos, inibição do crescimento e, em concentrações elevadas, até mesmo a morte.

Para lidar com a toxicidade da amônia, é frequentemente necessário realizar um processo de nitrificação, que converte a amônia em nitrato. Esse processo de nitrificação é geralmente alcançado na aquicultura por meio do uso de bactérias nitrificantes presentes em biofiltros especializados ou meios de biofilme [17].

**TABELA 3 Tecnologias comuns de tratamento utilizadas para o tratamento de águas residuais de processamento aquícola.**

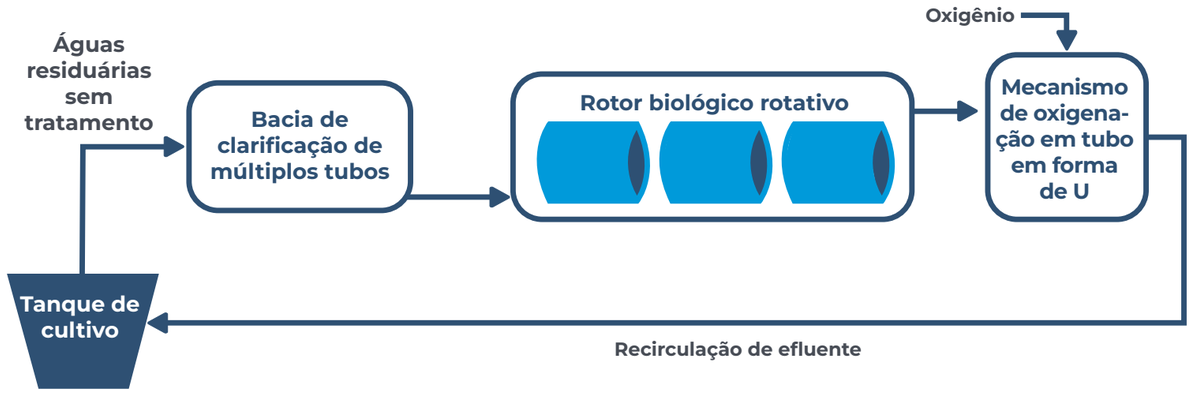
| Indústria | Tratamento preliminar | Tratamento primário | Tratamento secundário | Tratamento terciário | Tratamento de lodo | Tecnologias emergentes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Aquicultura | Peneiras, filtros mecânicos. | Bacia de sedimentação, clarificar, centrífuga | Biofiltros submersos, filtros de gotejamento, contatores biológicos rotativos e reatores de leito fluidizado | Áreas úmidas construídas. | O lodo produzido no tratamento primário e secundário deve ser desidratado antes do descarte usando leitos de secagem de lodo, centrífugas ou decantadores. É incentivado a secar ainda mais o lodo para produzir biossólidos que possam ser reaproveitados. | Reator de biofilme aerado por membrana em sistema de aquicultura recirculante para tratamento de efluentes.[18]<br><br>Sistema RAS-polihidroxibutirato [19]<br>Sistema de biofiltração de zeólita em dois estágios para aquicultura salobra [20]<br><br>Métodos híbridos de eletrocoagulação-filtração no pré-tratamento de águas residuais da aquicultura marinha [21] |

## 3.3 EXEMPLO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS BWMP

Um exemplo de uma estação de tratamento de efluentes (ETE) em operação está localizada em uma fazenda de criação de tilápia que produz cerca de 1,380 toneladas métricas por ano. Essa fazenda utiliza sistemas de aquicultura de recirculação. Os principais objetivos deste sistema incluem a desintoxicação de resíduos ricos em nitrogênio, a oxigenação da água, a remoção de partículas sólidas suspensas e a regulação da acumulação de compostos orgânicos.

O processo de tratamento envolve um Contator Biológico Rotativo (RBC) de escala industrial. Após deixar o tanque de cultivo de 215 $m^3$, a água segue por uma série de etapas, passando por uma bacia clarificadora multitubo de 37 $m^3$. Em seguida, a água é direcionada através do RBC em escala industrial, que possui três estágios dispostos em paralelo ao fluxo de tratamento. O sistema opera com uma taxa de carregamento hidráulico de cerca de 407 $m^3/m^2$ de área superficial por dia. A água tratada é então impulsionada (a uma taxa de 3,8 $m^3$ por minuto) através de um mecanismo de oxigenação em formato de tubo U antes de ser reintroduzida no tanque de cultivo. Este sistema alcançou uma eficiência média de remoção de cerca de 0,42 gramas de nitrogênio total por metro quadrado de área superficial por dia e uma eficiência global de remoção de 90% de Oxigênio DQO.

**FIGURA 3 Fluxograma de um sistema de aquicultura de recirculação**




Fonte: Elaboração Própria

# 3.4 INDICADORES-CHAVE DE DESEMPENHO E MONITORAMENTO

Cada país possui regulamentos específicos para o tratamento e reutilização de águas residuais, estabelecendo padrões de qualidade da água aceitáveis para diferentes situações, como a descarga em corpos de água, áreas costeiras e sistemas de esgoto, além da reutilização de águas residuais tratadas. A Seção 2.2 do GBP contém uma comparação dos parâmetros de qualidade estabelecidos em diferentes países. Para uma visão abrangente do quadro legal de gerenciamento de águas residuais na região da América Latina e Caribe, o Anexo I apresenta o Tabela A-1.

As Diretrizes de EHS para o Processamento de Aquicultura do Grupo Banco Mundial (WBG) estabelecem os limites máximos de descarga permitidos em corpos d'água para os parâmetros mencionados na Tabela 4. Esses limites devem ser atingíveis em situações normais de operação, em instalações devidamente projetadas e operadas, e podem servir como indicadores-chave de desempenho no tratamento de águas residuais. Projetos novos devem estar em conformidade com as Diretrizes de EHS do WBG ou com os regulamentos nacionais aplicáveis, seguindo o que for mais rigoroso, conforme descrito no Anexo I do GBP.

**TABELA 4 Limites admissíveis para descargas em massas de água[12]**

| Poluente | Valor da diretriz |
|---|---|
| pH | 6-9 |
| $DBO_5$ | 50 mg/L |
| DQO | 250 mg/L |
| NTotal | 10 mg/L |
| PTotal | 2 mg/L |
| FOGs | 10 mg/L |
| SST | 50 mg/L |
| Aumento de temperatura | < 3 °C |
| Bactérias coliformes totais | 400 NMP/100 mL |

Para prevenir impactos ambientais e sociais, é crucial realizar monitoramentos regulares da qualidade dos efluentes e estabelecer mecanismos eficazes de feedback. Mais detalhes sobre a gestão apropriada de águas residuais no setor do agronegócio podem ser encontrados na Seção 6 do GBP. É fundamental desenvolver e implementar um programa de monitoramento de águas residuais e qualidade da água com recursos adequados e supervisão de gestão para alcançar os objetivos estabelecidos. A Tabela 9 do GBP fornece informações sobre os locais de amostragem e os requisitos analíticos para amostras de água de processo e águas residuais, juntamente com uma recomendação de frequência de amostragem. No entanto, é importante destacar que as regulamentações locais e outros requisitos relativos ao monitoramento de águas residuais e qualidade da água devem sempre ser priorizados e substituir quaisquer diretrizes ou recomendações gerais.

Embora a frequência de amostragem sugerida possa servir como ponto de partida, é essencial entender e cumprir as regulamentações e requisitos locais estabelecidos pelas agências reguladoras.

Na aquicultura, é essencial monitorar regularmente o pH, a concentração de oxigênio dissolvido, a turbidez, a temperatura e o fluxo da água no efluente tratado, a fim de obter dados representativos (consulte a seção 6.5 do GBP). Os registros devem conter informações como a data, a hora, os resultados das medições, quaisquer ajustes realizados e outros dados pertinentes. É importante utilizar equipamentos calibrados e garantir que as medições sejam conduzidas por operadores devidamente treinados. Também é necessário disponibilizar um espaço de laboratório na estação de tratamento para essa finalidade. Além disso, é crucial estabelecer procedimentos de registro para documentar os resultados do monitoramento. Para análises microbianas e físico-químicas, é recomendável que laboratórios externos certificados, preferencialmente com certificação ISO 17025, forneçam registros de monitoramento, cuja frequência pode variar de acordo com os regulamentos regionais. A recomendação geral é realizar essas análises pelo menos trimestralmente.

# 4 Referências

(1) Futuris Consulting. Good Practice Note: Wastewater Management for the Agribusiness Sector, 2023.

(2) Towards Blue Transformation; FAO, Ed.; The state of world fisheries and aquaculture; FAO: Rome, 2022. https://doi.org/10.4060/cc0461en.

(3) Ansari, F. A.; Singh, P.; Guldhe, A.; Bux, F. Microalgal Cultivation Using Aquaculture Wastewater: Integrated Biomass Generation and Nutrient Remediation. Algal Res. 2017, 21, 169–177. https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.11.015.

(4) Crab, R.; Avnimelech, Y.; Defoirdt, T.; Bossier, P.; Verstraete, W. Nitrogen Removal Techniques in Aquaculture for a Sustainable Production. Aquaculture 2007, 270 (1–4), 1–14. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.006.

(5) Ahmed, N.; Ward, J. D.; Thompson, S.; Saint, C. P.; Diana, J. S. Blue-Green Water Nexus in Aquaculture for Resilience to Climate Change. Rev. Fish. Sci. Aquac. 2018, 26 (2), 139–154. https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1373743.

(6) Zaibel, I.; Arnon, S.; Zilberg, D. Treated Municipal Wastewater as a Water Source for Sustainable Aquaculture: A Review. Rev. Aquac. 2022, 14 (1), 362–377. https://doi.org/10.1111/raq.12602.

(7) Tom, A. P.; Jayakumar, J. S.; Biju, M.; Somarajan, J.; Ibrahim, M. A. Aquaculture Wastewater Treatment Technologies and Their Sustainability: A Review. Energy Nexus 2021, 4, 100022. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100022.

(8) Maryland Aquaculture Coordinating Council. Best Management Practices: A Manual for Maryland Aquaculture, 2007.

(9) Fujita, R.; Brittingham, P.; Cao, L.; Froehlich, H.; Thompson, M.; Voorhees, T. Toward an Environmentally Responsible Offshore Aquaculture Industry in the United States: Ecological Risks, Remedies, and Knowledge Gaps. Mar. Policy 2023, 147, 105351. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105351.

(10) Senarathna, D. D.; Abeysooriya, K. N.; Vithushana, T.; Dissanayake, D. Veterinary Pharmaceuticals in Aquaculture Wastewater as Emerging Contaminant Substances in Aquatic Environment and Potential Treatment Methods. MOJ Ecol. Environ. Sci. 2021, 6 (3), 98–102. https://doi.org/10.15406/mojes.2021.06.00221.

(11) FAO. Three Overviews on Environment and Aquaculture in the Tropics and Sub-Tropics; 1994. https://www.fao.org/3/AD002E/AD002E00.htm.

(12) World Bank Group. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Aquaculture, 2007.

(13) Halfhide, T.; Åkerstrøm, A.; Lekang, O. I.; Gislerød, H. R.; Ergas, S. J. Production of Algal Biomass, Chlorophyll, Starch and Lipids Using Aquaculture Wastewater under Axenic and Non-Axenic Conditions. Algal Res. 2014, 6, 152–159. https://doi.org/10.1016/j.algal.2014.10.009.

(14) Lukwambe, B.; Yang, W.; Zheng, Y.; Nicholaus, R.; Zhu, J.; Zheng, Z. Bioturbation by the Razor Clam (Sinonovacula Constricta) on the Microbial Community and Enzymatic Activities in the Sediment of an Ecological Aquaculture Wastewater Treatment System. Sci. Total Environ. 2018, 643, 1098–1107. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.251.

(15) De Menezes, F. L. G.; Da Silva, A. J. C.; Martínez-Huitle, C. A.; Zanta, C. L. P. S.; Alves, J. J. F.; Castro, S. S. L. Electrochemical Treatment of Shrimp Farming Effluent: Role of Electrocatalytic Material. Environ. Sci. Pollut. Res. 2017, 24 (7), 6061–6070. https://doi.org/10.1007/s11356-016-7408-4.

(16) Turcios, A.; Papenbrock, J. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents—What Can We Learn from the Past for the Future? Sustainability 2014, 6 (2), 836–856. https://doi.org/10.3390/su6020836.

(17) Preena, P. G.; Rejish Kumar, V. J.; Singh, I. S. B. Nitrification and Denitrification in Recirculating Aquaculture Systems: The Processes and Players. Rev. Aquac. 2021, 13 (4), 2053–2075. https://doi.org/10.1111/raq.12558.

(18) Almeida, J. C. R.; Bega, J. M. M.; Leite, L. D. S.; De Oliveira, J. N.; Albertin, L. L.; Matsumoto, T. Membrane Aerated Biofilm Reactor in Recirculating Aquaculture System for Effluent Treatment. Environ. Technol. 2022, 1–13. https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2078674.

(19) Asiri, F.; Chu, K.-H. A Novel Recirculating Aquaculture System for Sustainable Aquaculture: Enabling Wastewater Reuse and Conversion of Waste-to-Immune-Stimulating Fish Feed. ACS Sustain. Chem. Eng. 2020, 8 (49), 18094–18105. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c06375.

(20) Fei, X.; Sun, S.; He, S.; Huang, J.; Zhou, W. Application of a Novel Two-Stage Biofiltration System for Simulated Brackish Aquaculture Wastewater Treatment. Environ. Sci. Pollut. Res. 2020, 27 (1), 636–646. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06969-z.

(21) Xu, J.; Du, Y.; Qiu, T.; Zhou, L.; Li, Y.; Chen, F.; Sun, J. Application of Hybrid Electrocoagulation–Filtration Methods in the Pretreatment of Marine Aquaculture Wastewater. Water Sci. Technol. 2021, 83 (6), 1315–1326. https://doi.org/10.2166/wst.2021.044.

BID | Invest

@idbinvest
www.idbinvest.org