



Indicadores para avaliação de boas práticas de manejo na produção de tilápia em tanques-rede



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
92**

**Indicadores para avaliação de boas práticas de
manejo na produção de tilápia em tanques-rede**

*Jorge Laço Portinho
Mariana Silveira Guerra Moura e Silva
Julio Ferraz de Queiroz
Inácio de Barros
Ana Carolina Campos Gomes
Ana Maria Cirino Ruocco
Marcos Eliseu Losekann
Andrea Koga-Vicente
Luciana Spinelli-Araujo
Luiz Eduardo Vicente
Geraldo Stachetti Rodrigues*

**Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2021**

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69, CEP: 13918-110, Jaguariúna, SP
Fone: +55 (19) 3311-2610
Fax: +55 (19) 3311-2640
www.embrapa.br/meio-ambiente/
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Meio Ambiente

Presidente
Ana Paula Contador Packer

Secretária-Executiva
Cristina Tiemi Shoyama

Membros
*Rodrigo Mendes, Victor P. M. Simão, Eliana de Souza
Lima, Rafaela C R. M. Duarte, Fagoni F. Calegario,
Geraldo Stachetti Rodrigues, Vera Lucia Ferracini,
Ana Lucia Penteado*

Revisão de texto
Nilce Chaves Gattaz

Normalização bibliográfica
Maria de Cléofas Faggion Alencar, CRB-8/1658

Projeto gráfico
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Silvana Cristina Teixeira

Foto da capa
Geraldo Stachetti Rodrigues

1ª edição eletrônica (2021)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Meio Ambiente

Portinho, Jorge Laço

Indicadores para avaliação de boas práticas de manejo na produção de tilápia em tanques-rede / Jorge Laço Portinho, Mariana Silveira Guerra Moura e Silva, Julio Ferraz de Queiroz, Inácio de Barros, Ana Carolina Campos Gomes, Ana Maria Cirino Ruocco, Marcos Eliseu Losekann, Andrea Koga-Vicente, Luciana Spinelli-Araujo, Luiz Eduardo Vicente, Geraldo Stachetti Rodrigues. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2021.

PDF (46 p.) il. Color. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio Ambiente, ISSN 1516-4675, 92).

1. Indicadores 2. Boas práticas 3. Tilápia 4. Tanque-rede I. Silva, Mariana Silveira Guerra Moura e. II. Queiroz, Júlio Ferraz de. III. Barros, Inácio de. IV. Gomes, Ana Carolina Campos. V. Ruocco, Ana Maria Cirino. VI. Losekann, Marcos Eliseu. VII. Koga-Vicente, Andrea. VIII. Spinelli-Araujo, Luciana. IX. Vicente, Luiz Eduardo. X. Rodrigues, Geraldo Stachetti. XI. Título. XII. Série.

CDD (21. ed.) 639.3

Maria de Cléofas Faggion Alencar (CRB-8/1658)

© Embrapa, 2021

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	8
Material e Métodos	11
Resultados	23
Discussão	34
Conclusões.....	40
Agradecimentos.....	41
Referências	42

Indicadores para avaliação de boas práticas de manejo na produção de tilápia em tanques-rede*

Jorge Laço Portinho¹

Mariana Silveira Guerra Moura e Silva²

Julio Ferraz de Queiroz³

Inácio de Barros⁴

Ana Carolina Campos Gomes⁵

Ana Maria Cirino Ruocco⁶

Marcos Eliseu Losekann⁷

Andrea Koga-Vicente⁸

Luciana Spinelli-Araujo⁹

Luiz Eduardo Vicente¹⁰

Geraldo Stachetti Rodrigues¹¹

RESUMO - Diversas abordagens têm sido propostas para o registro, interpretação e comunicação de indicadores ambientais, em suas múltiplas aplicações para o manejo de atividades rurais. Uma referência especial a tais ferramentas de gestão ambiental tem sido direcionada à aquicultura, devido à imediata conexão entre a disponibilidade de informações em tempo real sobre os parâmetros de qualidade da água e as práticas produtivas, visando a prontidão das ações de manejo aquícola. O presente trabalho apresenta um módulo do 'sistema de avaliação ponderada de impacto ambiental de atividades rurais' (APOIA-Aquicultura), especialmente dedicado à avaliação de Boas Práticas de Manejo (BPM). Resultados obtidos em empreendimentos aquícolas de diferentes escalas foram analisados, a fim de avaliar a expressão dos índices integrados de qualidade de água e dos sedimentos, em interação com as dimensões de organização espacial e manejo, nutrição e sanidade.

¹ Biólogo, doutor em Zoologia, pesquisador da Unesp, Rio Claro, SP.

² Bióloga, doutora em Engenharia-agrícola, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

³ Oceanólogo, doutor em Ciências Agrárias, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

⁴ Engenheiro-Agrônomo, doutor em Ciências Agrárias, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juis de Fora, MG.

⁵ Engenheira-Ambiental, mestre em Ciências Cartográficas, São José do Rio Preto, SP.

⁶ Bióloga, doutora em Zoologia, Botucatu, SP.

⁷ Zootecnista, mestre em Nutrição Animal, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

⁸ Geógrafa, doutora em Modelagem Ambiental, consultora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

⁹ Engenheira-Florestal, doutora em Ecologia Aplicada, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

¹⁰ Geógrafo, doutor em Geociências e Sensoriamento Remoto, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

¹¹ Ecólogo, doutor em Ecologia e Biologia Evolutiva, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

* Este trabalho é uma versão ajustada, para ampliação do acesso ao público de interesse entre técnicos, professores e estudantes de níveis avançados, do artigo 'Portinho et al. Integrated indicators for assessment of best management practices in tilapia cage farming. *Aquaculture*, v. 545, p. 1-16, 2021b. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737136>.

Os índices de desempenho observados e documentados no sistema de indicadores reforçam a recomendação de alternativas de manejo oferecidas aos piscicultores, em relatórios detalhados de gestão ambiental, favorecendo a comunicação de sustentabilidade na produção aquícola.

Palavras-chave: gestão ambiental; aquicultura; qualidade da água; APOIA-NovoRural.

Integrated indicators for assessment of best management practices in tilapia cage farming

ABSTRACT - A variety of approaches have been proposed for the registration, interpretation, and communication of environmental indicators, in their multiple applications for the management of agricultural activities. Special reference to such environmental management tools has been directed towards aquaculture, due to the close connection between the availability of real-time information on water quality parameters and fish farming practices, for the readiness of decision needed on management actions. The present work introduces a module of the 'system for weighted impact assessment of rural activities' (APOIA-Aquaculture), especially dedicated to the evaluation of Best Management Practices (BMPs) and environmental management of aquaculture activities. Results obtained at different scales in six fish farm ventures were analyzed, in order to evaluate the expression of integrated water and sediment quality indices, in interaction with the dimensions of spatial organization, and fish-cage management, nutrition, and health. Tradeoffs observed and documented in the indicators system support the recommendation of alternative practices, offered to fish farmers in detailed environmental management reports, favoring the communication of productive performance and sustainability indices in aquaculture production.

Key-words: environmental management; aquaculture; water quality; APOIA-NovoRural.

Introdução

O declínio nos estoques naturais de peixes no mundo tem induzido uma tendência de substituição da pesca extrativa pela piscicultura. A produção de peixes cultivados cresceu a uma taxa anual de 5,8% desde 2000 e mais de 50% dos peixes atualmente consumidos globalmente vêm da aquicultura (FAO, 2018). O aumento da demanda tem impulsionado a expansão da atividade no Brasil, particularmente na produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em grandes reservatórios de hidrelétricas (Bueno et al., 2015). Em 2017, o número de empreendimentos aquícolas cresceu 8% em relação ao ano anterior, atingindo uma produção de 640.410 toneladas, colocando o país como o quarto maior produtor de tilápia do mundo, atrás da China, Indonésia e Egito (FAO, 2018). Isso se deve às características favoráveis do país, com destaque para os 5,5 milhões de hectares de superfície ocupada por lagos e reservatórios, em regiões com clima adequado ao longo do ano e à ocorrência de espécies aquáticas de interesse zootécnico e bom apelo de mercado (Beveridge, 2004; Nobile et al., 2020).

Tendo em vista esse rápido ritmo de desenvolvimento, o setor aquícola exige iniciativas estruturais voltadas à sua sustentabilidade (Boyd et al., 2020), visando a adoção de Boas Práticas de Manejo (BPM) que garantam a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais envolvidos na produção (Boyd et al., 2013; David et al., 2018; Valenti et al., 2018). As BPM consistem em práticas ou técnicas consideradas eficazes para atingir objetivos produtivos, ao mesmo tempo otimizam o uso dos recursos que evitem ou reduzam a geração de resíduos e a poluição (Boyd et al., 2008; 2013).

Com o objetivo de fomentar a piscicultura e promover oportunidades produtivas associadas, políticas nacionais têm sido elaboradas no Brasil para implementar 'parques aquícolas' nos grandes reservatórios associados às usinas hidrelétricas em todo o país (Brasil, 2009). Esses parques aquícolas têm sido delimitados conforme cuidadosos diagnósticos de hidrodinâmica, avaliação de capacidade suporte, de usos múltiplos da água e de conflitos de interesses, para que sejam concedidas licenças de instalação de tanques-rede de piscicultura (Brasil, 2009; Bueno et al., 2015).

A piscicultura em tanques-rede apresenta muitas vantagens em comparação com outros sistemas para produção de peixes, porém deve ser

realizada sob precisos limites de manejo para garantir empreendimentos sustentáveis e lucrativos (Boyd et al., 2008, 2013; Queiroz; Rotta, 2016). A produção em tanques-rede é aplicável à maioria das espécies de peixes, não requer espaço em terra, simplifica a logística de manejo devido às altas densidades de peixes, pode ser utilizada na maioria dos tipos de corpos d'água, geralmente não requer uma infraestrutura onerosa ou tecnologia complexa, e essencialmente, não consome água (Beveridge, 2004; Lucas; Southgate, 2012).

Em consonância com essas oportunidades setoriais de desenvolvimento sustentável, uma das disposições das referidas políticas é oferecer programas de monitoramento e protocolos de avaliação de impacto ambiental (AIA) para os empreendimentos de piscicultura implantados. Entre as muitas abordagens disponíveis para a gestão ambiental das atividades de aquicultura (Samuel-Fitwi et al., 2012), os sistemas de AIA baseiam-se em indicadores de desempenho que incluem as dimensões ambiental, econômica e social do desenvolvimento sustentável (Rodrigues et al., 2010, 2018). Idealmente, os indicadores abordam vários níveis de complexidade e graus de atingimento de metas de gestão ambiental, e incluem a adoção de BPM associadas ao monitoramento da saúde ambiental, da disponibilidade de recursos naturais (especialmente águas e sedimentos livres de contaminantes) e do uso eficiente de insumos (Valenti et al., 2018).

Um método reconhecido de avaliação de impactos, de verificação técnica e de promoção da gestão ambiental é o 'Sistema de avaliação ponderada de impacto ambiental das atividades rurais' (APOIA-NovoRural, Rodrigues et al., 2010). Trata-se de um sistema integrado de indicadores que visa analisar a qualidade ambiental e os contextos de desempenho produtivo de estabelecimentos rurais, atendendo aos fundamentos quantitativos da ciência de AIA, e ao mesmo tempo fornece aos agricultores uma ferramenta de suporte à decisão sob os seguintes princípios: (i) permitir a avaliação das mais diversas atividades agropecuárias, nas mais variadas condições ambientais e contextos socioeconômicos; (ii) incluir indicadores relativos aos aspectos ecológicos, econômicos, socioculturais e de gestão relativos ao desenvolvimento local sustentável; (iii) facilitar a detecção de pontos críticos de controle para correção de manejo; (iv) expressar os resultados de forma simples e direta a agricultores, empresários rurais, tomadores de decisão e ao público em geral; e (v) ser construído em uma interface amigável, capaz

de oferecer, automaticamente, um índice integrado de sustentabilidade que contribui para a gestão ambiental e a ecocertificação, de acordo com as demandas dos agricultores e suas organizações.

O sistema APOIA-NovoRural tem sido implementado e melhorado através de inúmeros estudos nos mais diversos contextos ambientais e produtivos (Rodrigues et al., 2010, 2018), antes de ser complementado como um módulo de indicadores específicos, baseados em 'benchmarks' e coeficientes de desempenho dedicados à verificação de BPM aquícola em tanques-rede. Neste contexto, apresenta-se a seguir o 'módulo de avaliação ponderada de impacto ambiental na aquíicultura' (APOIA-Aquíicultura) como um instrumento de registro, interpretação e comunicação para a gestão ambiental de empreendimentos aquícolas.

O módulo APOIA-Aquíicultura foi estruturado como um sistema prático e de baixo custo para a avaliação integrada de qualidade ambiental e desempenho produtivo das práticas de manejo na criação de tilápia em tanques-rede, uma ferramenta para auxiliar os produtores no registro e interpretação do desempenho de seus sistemas de produção. Não pretende ser uma alternativa aos métodos de monitoramento clássicos, mas uma ferramenta analítica para identificação de deficiências e, devido à ampla gama de indicadores, dar indicações onde os esforços de diagnóstico (com abordagens mais sofisticadas) devem convergir. Além disso, os indicadores apontam onde correções de gestão podem resultar em impactos positivos e, conseqüentemente, estimular a adoção das práticas mais adequadas para a produção sustentável.

Os objetivos do presente trabalho são (i) detalhar a construção e operação do módulo de indicadores APOIA-Aquíicultura; (ii) apresentar os resultados de seis estudos de caso em empreendimentos aquícolas de diferentes tipos, desde pequenas explorações familiares até grandes empreendimentos empresariais, em dois reservatórios com contextos produtivos contrastantes, e; (iii) discutir a consistência dos resultados obtidos em relação aos indicadores de produção de tilápia em tanques-rede e a aplicabilidade da metodologia como ferramenta integrada de BPM para estabelecimentos de piscicultura.

Este estudo visa oferecer métodos para promover a gestão ambiental de atividades aquícolas, com estudos de caso conduzidos nos reservatórios de Furnas e de Ilha Solteira. A pesquisa está vinculada ao Projeto BRS

Aqua, 'Avaliação dos impactos ambientais e sustentabilidade de atividades aquícolas em grandes reservatórios'.

Relaciona-se ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS 6) 'Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos', meta 6.3: "Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejos e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente".

Material e métodos

Formulação e características do módulo APOIA-Aquicultura

O módulo APOIA-Aquicultura é composto por 68 indicadores, cada qual construído em uma matriz de ponderação multiatributo específica, conforme proposto por Bisset (1987). O processo de conformação dos indicadores baseou-se em uma abordagem hierárquica, de forma a vincular os indicadores a recomendações técnicas reconhecidas na literatura sobre BPM aquícola, limites de disponibilidade de nutrientes e padrões de qualidade das águas e sedimentos definidos em manuais de gestão aquícola e na legislação ambiental brasileira (Rotta; Queiroz, 2003; Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005, 2009; Eller; Millani, 2007; Boyd et al., 2008, 2013; Tucker; Hargreaves, 2008; Frascá-Scorvo et al., 2011; Rodrigues et al., 2013; Moura et al., 2016; Queiroz; Rotta, 2016; Valenti et al., 2018). O conjunto completo de indicadores e suas respectivas unidades de medida, obtidas em análises instrumentais e laboratoriais, bem como as principais referências técnicas correspondentes, estão listadas na Tabela 1.

Os indicadores são agrupados em um conjunto de 10 critérios organizados em quatro dimensões: Organização Espacial (22 indicadores), Manejo, Nutrição e Sanidade (23 indicadores), Qualidade da Água (14 indicadores) e Qualidade do Sedimento (9 indicadores). Detalhes do módulo APOIA-Aquicultura e as planilhas operacionais com os indicadores (em plataforma Excel®) estão disponíveis para download em: <https://www.cnpma.embrapa.br/forms/apoia.php>.

Tabela 1. Conjunto de dimensões, critérios e indicadores do ‘Sistema de avaliação ponderada de impactos ambientais de atividades rurais’, módulo APOIA-Aquicultura.

Dimensões e critérios do módulo de indicadores APOIA-Aquicultura	
Dimensões e critérios	Indicadores
Organização Espacial ^{a,b,c,d,e,f,g,h,i} Condições gerais de implantação	Distância dos mercados / infraestrutura viária Facilidade de acesso à água / aos tanques Proximidade de fontes poluentes Existência de conflitos de usos múltiplos Hidrodinâmica local Condição de abrigo
Características Locacionais dos tanques rede	Tipo de reservatório Área de diluição / Adensamento dos tanques Disposição dos tanques rede Profundidade mínima anual Relevo de fundo
Formato e dimensões dos tanques rede	Formato dos tanques rede Relação área / superfície lateral Tipo e dimensão da malha / rede Sistema de fixação
Infraestrutura operacional e equipamentos	Laboratórios / instrumentação para análise de qualidade da água Armazenamento de combustíveis Armazenamento de rações e suplementos Armazenamento de produtos terapêuticos Atracadouro Plataformas e balsas Embarcações, máquinas e implementos
Qualidade da água ^{g,i}	Transparência Oxigênio dissolvido Coliformes fecais DBO ₅ pH Nitrato Nitrito Nitrogênio amoniacal total Fosfato Turbidez Clorofila a Condutividade Poluição visual da água Impacto potencial de pesticidas
Qualidade dos sedimentos ^{a,d}	Matéria orgânica pH Fósforo K trocável Mg (e Ca) trocável H + Al (Acidez potencial) Soma de bases CTC Volume de bases

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Dimensões e critérios do módulo de indicadores APOIA-Aquicultura	
Manejo, nutrição e sanidade ^{a,b,c,d,e,f,g,h,i} Manejo e operações	Planejamento e gestão do ciclo produtivo Procedimentos de recebimento e estocagem dos peixes Procedimentos de vacinação e profilaxia Procedimentos de classificação e repicagem Frequência e temporalidade de limpeza e reparos Procedimentos de desinfecção Descarte ou destinação de material incrustante
Arraçoamento	Densidade populacional Frequência e horário de arraçoamento Periodicidade do acompanhamento biométrico Controle da quantidade de alimento e cálculo do consumo Ajuste do tipo da ração Controle de predadores e competidores
Sanidade animal	Controle e registro da origem de formas jovens Controle e registro de sintomas aparentes Controle e registro de sintomas comportamentais Registro de uso de produtos terapêuticos / profiláticos Controle e registro de peixes mortos Procedimento de descarte ou destinação de peixes mortos
Despesca e qualidade do produto	Pesagem e controles de terminação Procedimento de despesca dos tanques rede Práticas de jejum e eliminação do 'off-flavor' Aspecto do produto final.

^a BOYD, C.E.; LIM, C.; QUEIROZ, J.; SALIE, K.; DE WET, L.; MCNEVIN, A. **Best Management Practices for Responsible Aquaculture**. Washington, DC: USAID: Aquaculture Collaborative Research Support Program, 2008. 47p.

^b BOYD, C.E. Cage design, placement affect water quality. **Global Aquaculture Advocate**, v. 13, p. 21–21, 2010.

^c ELLER, M.N.; MILLANI, T.J. Métodos de estudos de sustentabilidade aplicados a aquicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 33–44, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000004>.

^d FRASCÁ-SCORVO, C.M.D.; QUEIROZ, J.; LOSEKANN, M.E. Boas Práticas de Manejo (BPM) Aplicadas a Qualidade da Água da Aquicultura em Viveiros e Tanques-Rede Instalados em Reservatórios. In: Ayrosa, L.M.S. (ed.). **Piscicultura** (Manual Técnico, 79). Campinas: CATI, 2011, p.161–174.

^e QUEIROZ, J.F.; ROTTA, M.A. **Boas práticas de manejo para piscicultura em tanques-rede**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2016 (Circular Técnica Embrapa No.26/2016).

^f TUCKER, C.S.; HARGREAVES, J.A. **Environmental best management practices for aquaculture**. Oxford: Wiley- Blackwell, 2008. 592p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780813818672>.

^g VALENTI, W.C.; KIMPARA, J.M.; PRETO, B. L.; MORAES-VALENTI, P. Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. **Ecological Indicators**, v. 88, p. 402–413, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.068>.

^h CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (BRASIL). Resolução CONAMA 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, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 18 de março de 2005. Seção 1, p 58–66.

ⁱ CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (BRASIL). Resolução CONAMA nº. 413, de 26 de junho de 2009. Dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 30 de junho de 2009. Seção 1, p. 126-129.

Funcionamento do módulo APOIA-Aquicultura

O fluxo lógico-operacional do sistema de indicadores pode ser dividido em três etapas: (i) as evidências de campo para todos os indicadores são obtidas em pesquisas de campo /análises instrumentais (detalhadas a seguir) e inseridas nas matrizes multiatributo APOIA-Aquicultura (Figura 1),

em que fatores de ponderação traduzem variáveis de campo e atributos ambientais em valores de utilidade (VUs). Os VUs expressam padrões ambientais, requisitos da legislação e conformidade com recomendações de BPM em uma escala normalizada de utilidade (0-1), com a linha de base de conformidade modelada em 0,70. (ii) um resumo baseado em dados dos VUs fornece índices de desempenho ambiental para cada dimensão estudada. Finalmente, (iii) um índice de desempenho integrado para o empreendimento aquícola é calculado pela média dos VUs de todas as dimensões. Detalhes de cada etapa são apresentados na Figura 1, e demonstrados no exemplo animado na página de referência da planilha, disponível em <https://www.cnpma.embrapa.br/forms/apoia.php>, conforme discutido no texto que segue.

Aplicação do módulo APOIA-Aquicultura

A coleta de dados e interpretação dos indicadores APOIA-Aquicultura fornecem um diagnóstico relativo a um determinado momento do ciclo produtivo do empreendimento aquícola estudado. Esta etapa constitui uma referência sobre o desempenho das práticas de manejo nas operações diárias do empreendimento, e envolve duas fases: (i) alternância de entrevista com o produtor e observações de campo para analisar os critérios e indicadores de Organização Espacial e de Manejo, Nutrição e Sanidade e (ii) coleta de amostras / medidas instrumentais de campo (complementadas por pesquisas laboratoriais) para avaliar as dimensões de Qualidade da Água e dos Sedimentos (Tabela 1).

Observações de campo e entrevista com produtores

Esta fase se inicia com uma entrevista, definição do contexto e levantamento de dados técnicos e administrativos com o produtor e pode levar até duas horas, incluindo uma vistoria no empreendimento e arredores. Essas observações de campo, registros e dados técnicos são inseridos como porcentagem de adoção ou de ocorrência dos atributos gerenciais, como disponibilidade de equipamentos, insumos e infraestrutura, e expressos nas matrizes de ponderação (como 'totalmente adequado', 'parcialmente adequado' ou 'inadequado') em relação a todas as unidades produtivas.

Estes dados são a principal fonte de informação para os indicadores de BPM nas dimensões Organização Espacial e Manejo, Nutrição e Sanidade. Para ambas as dimensões, os índices de desempenho são expressos como Valores de Utilidade-Adequação (VU-A), uma medida dos níveis de adoção de práticas de manejo específicas, de acordo com recomendações técnicas e 'benchmarks' envolvendo BPM aquícola.

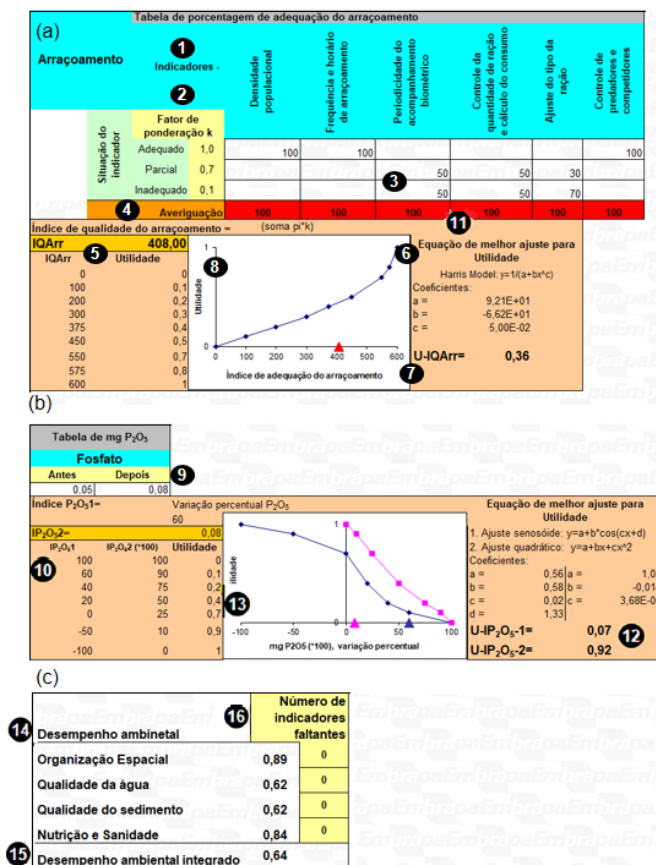


Figura 1. Típicas matrizes de ponderação multiatributo de indicadores do módulo APOIA-Aquicultura. Exemplo de um indicador de: (a) práticas de arraçoamento, e (b) fosfato, com base em análise de campo. Exemplo de (c) índices de desempenho ambiental nas diferentes dimensões e desempenho integrado para um empreendimento aquícola de referência. Detalhes sobre os números nos círculos pretos são explicados nas seções a seguir.

Detalhes das matrizes de ponderação e cálculos de Valores de Utilidade-Adequação (VU-A)

A Figura 1 mostra exemplos de matrizes de ponderação multiatributo. A Figura 1a apresenta os indicadores específicos de práticas de arraçoamento (círculo preto 1), com respectivos fatores de ponderação k para situação de adoção (expressos como totalmente adotado, ou seja, 'adequado', 'parcialmente adequado' ou 'inadequado', círculo preto 2), registrados de acordo com observações de campo dessas recomendações técnicas. Variáveis quantitativas são inseridas diretamente nas células de entrada de dados (círculo preto 3, neste caso percentagem) de acordo com a situação observada em campo. O valor total em cada coluna (ou indicador, círculo preto 4) deve corresponder a 100% da área observada. Uma vez que todos os dados sejam inseridos na matriz de ponderação APOIA-Aquicultura, os fatores de ponderação k são combinados com dados de observação de campo para cálculo do índice de impacto (neste caso, soma $\pi_i k$) para se obter o índice de práticas de arraçoamento (círculo preto 5, neste exemplo, $IQArr=408,0$), que está relacionado à escala de práticas alimentares de referência (0-600 possível neste caso). Depois disso, a função de transformação de utilidade (ver detalhes a seguir) é efetuada pela equação de melhor ajuste (círculo preto 6, neste caso, um modelo de Harris) para traduzir o $IQArr$ calculado em VU-A para a referida prática (círculo preto 7, $UV-A 0,36$).

O gráfico (Figura 1a, círculo preto 8) demonstra a função de conversão do indicador (por exemplo, $IQArr$) em VU-A e o triângulo vermelho na abscissa mostra o valor calculado do indicador. O exemplo dado expressa uma observação de campo de práticas alimentares deficientes devido a biometria 'inadequada' (50%) e 'parcialmente adequada' (50%), o controle de quantidade de ração e verificação de consumo 'inadequado' (50%) e 'parcialmente adequado' (50%), e o ajuste do tipo de ração (por idade dos peixes) 'inadequado' (70%) e 'parcialmente adequado' (30%), resultando em $IQArr=408,0$ e $VU-A=0,36$, enquanto o valor de conformidade é modelado em 0,7.

As funções de transformação para utilidade foram derivadas de testes de probabilidade e de sensibilidade, individualmente para cada indicador, conforme proposto por Girardin et al. (1999). No teste de probabilidade, definem-se os limites de escala (máximo e mínimo) por resolução numérica com base na distribuição provável das variáveis de campo. Simultaneamente, o valor de conformidade (0,7) é modelado de acordo com recomendações

técnicas envolvendo BPM em aquicultura bem como limites padronizados definidos em normas técnicas e legislação ambiental. No teste de sensibilidade definem-se o significado das mudanças observadas nas variáveis ambientais nos índices dos indicadores, sua direção (se positiva ou negativa) e sua relação quantitativa com o nível de conformidade da linha de base estabelecida 0,70 (Bockstaller; Girardin, 2003). Os testes de probabilidade e sensibilidade permitem a construção da tabela de correspondência relativa ao índice do indicador e valores de utilidade, então apresentados graficamente nas matrizes de ponderação (Figura 1a, círculo preto 8). Esta relação de correspondência é matematicamente efetuada por equações de melhor ajuste (Hyams, 1995-1997), que resulta na expressão do indicador em Valores de Utilidade.

Definição de Valores de Utilidade-Estado (VU-E) e Tendência (UV-T)

Resultados obtidos em observações de campo, amostragens, e análises instrumentais e de laboratório (ver coleta de dados no texto) são inseridos diretamente nas matrizes de ponderação APOIA-Aquicultura para avaliação de Qualidade da Água e de Sedimentos. Para ambas as dimensões, dois Valores de Utilidade expressam os indicadores: (i) Valores de Utilidade-Estado (VU-E), uma medida que fornece informações sobre a situação dos parâmetros de qualidade da água, em comparação aos padrões ambientais brasileiros (Águas Superficiais Classe II, Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, 2005) e com base nos teores de nutrientes recomendados para sedimentos na piscicultura (Boyd, 1990; Boyd; Tucker, 1998; Beveridge, 2004; Boyd et al., 2008; Frascá-Scorvo et al., 2011; Queiroz, Rotta, 2016); (ii) Valores de Utilidade-Tendência (VU-T), uma medida da variação percentual nos parâmetros relativos ao local de amostragem no campo, seja fora ou sob influência da piscicultura avaliada. O objetivo do VU-T é determinar a causa provável de qualquer variação observada na qualidade da água ou do sedimento entre os locais a montante ou sob os tanques-rede (ou seja: os tanques-rede seriam a principal causa de qualquer excedente nos indicadores?). Limites numéricos que são excedidos, representando um estado de não conformidade (conforme linha de base 0,70), devem induzir uma resposta de manejo, por exemplo, monitoramento responsivo, análise de dados e, se necessário, ações de mitigação por parte do operador aquícola.

Detalhes das matrizes de ponderação e cálculos de VU-E e VU-T

A Figura 1b mostra a matriz de ponderação do indicador Fosfato na dimensão Qualidade da Água do módulo APOIA-Aquicultura, um exemplo de indicador com base em medição instrumental de campo (círculo preto 9). Os termos 'Antes' e 'Depois' correspondem à distribuição espacial de locais de amostragem no campo, ou seja, fora e sob influência da piscicultura avaliada. Similarmente à explicação sobre VU-A anterior, transformações para valores de utilidade por equações de melhor ajuste (círculo preto 11, neste caso, ajustes sinusoidal e quadrático) convertem os resultados numéricos (concentrações de PO_4 , antes e depois) em alteração percentual (círculo preto 10) e VU-T e o nível de PO_4 medido nos tanques-rede (ou seja $0,08 \text{ mg L}^{-1}$) em VU-E. O índice VU-T $0,07$ (círculo preto 12) representa uma medida de impacto que corresponde a um aumento de 60% na concentração de fosfato na água sob a influência da piscicultura. O VU-E $0,92$ (uma medida de qualidade do indicador) aponta para uma condição aceitável de qualidade da água em relação ao conteúdo de PO_4 , conforme as normas ambientais brasileiras (águas superficiais Classe II). O gráfico (Figura 1b, círculo preto 13) demonstra as curvas das funções para converter indicadores em valores de utilidade, e os triângulos na abcissa mostram os valores obtidos para cada indicador (Figura 1b). Detalhes das equações de melhor ajuste para cada indicador individual das dimensões da qualidade da água e dos sedimentos são apresentados nas matrizes da planilha, disponível em: <https://www.cnpma.embrapa.br/forms/apoia.php>.

Índices de desempenho ambiental

Nos indicadores do módulo APOIA-Aquicultura, o desempenho ambiental é representado pela média aritmética dos VUs de cada dimensão (Figura 1c, círculo preto 14). Por exemplo, para Organização Espacial e Manejo, Nutrição e Sanidade, as médias dos respectivos VU-A representam os índices de desempenho. Para as dimensões de qualidade da água e dos sedimentos, as médias dos respectivos VU-E representam os índices de desempenho. É importante ressaltar que os VU-T não integram os índices de desempenho ambiental, pois expressam contextos relativos, não estritamente coerentes com a adequação de BPM ou índices de estado ambiental. Em outras palavras, um indicador de tendência positiva, por exemplo, pode estar associado a um estado inaceitável do ambiente ou vice-versa.

Índice integrado de desempenho

Finalmente, a média de todos os VU-A e VU-E analisados representa o índice integrado de desempenho para o empreendimento aquícola (Figura 1c, círculo preto 15) nas circunstâncias estudadas. Indicadores eventualmente excluídos nas pesquisas de campo podem ser descontados nesta etapa de agregação (Figura 1c, círculo preto 16), com correção automática do índice integrado de desempenho. O índice integrado APOIA-Aquicultura serve como um guia para registrar, interpretar e comunicar informações sobre a eficácia da adoção de BPM na escala do empreendimento aquícola.

Estudos de campo e validação dos indicadores do módulo APOIA-Aquicultura

Para atestar a aptidão do módulo APOIA-Aquicultura como ferramenta para avaliação de BPM aquícola, foram realizados estudos de caso em seis empreendimentos dedicados à produção de tilápia, parceiros da Embrapa em programas de pesquisa e transferência de tecnologias. Informações gerais sobre a escala e tipo de gestão desses empreendimentos são mostrados na Tabela 2. Essas empresas representam diferentes tipos, desde pequenas pisciculturas familiares, até empreendimentos de grande porte, localizados em dois reservatórios de hidrelétricas com contextos produtivos contrastantes. As principais características dos reservatórios são as seguintes (Figura 2):

- Reservatório de Furnas: o terceiro de uma série de grandes reservatórios hidrelétricos construídos ao longo do rio Grande na bacia do alto rio Paraná, concluído em 1965. O reservatório mede 1440 km², com 56,5 m de profundidade média, volume total de 22,59×10⁹ m³, fluxo médio de longo prazo de 13.000 m³ s⁻¹ e tempo de residência em torno de 160 dias (Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa da UFMG, 2006).

- Reservatório de Ilha Solteira: localizado na confluência dos rios Grande e Paranaíba, na bacia do alto rio Paraná. O reservatório foi construído em 1965 para geração de energia elétrica. Cobre uma área total de 1195 km² com profundidade média de 17,62 m, volume total de 21,06×10⁹ m³, fluxo médio de longo prazo de 5.206 m³ s⁻¹ e tempo de residência de 46,7 dias (David et al., 2015).

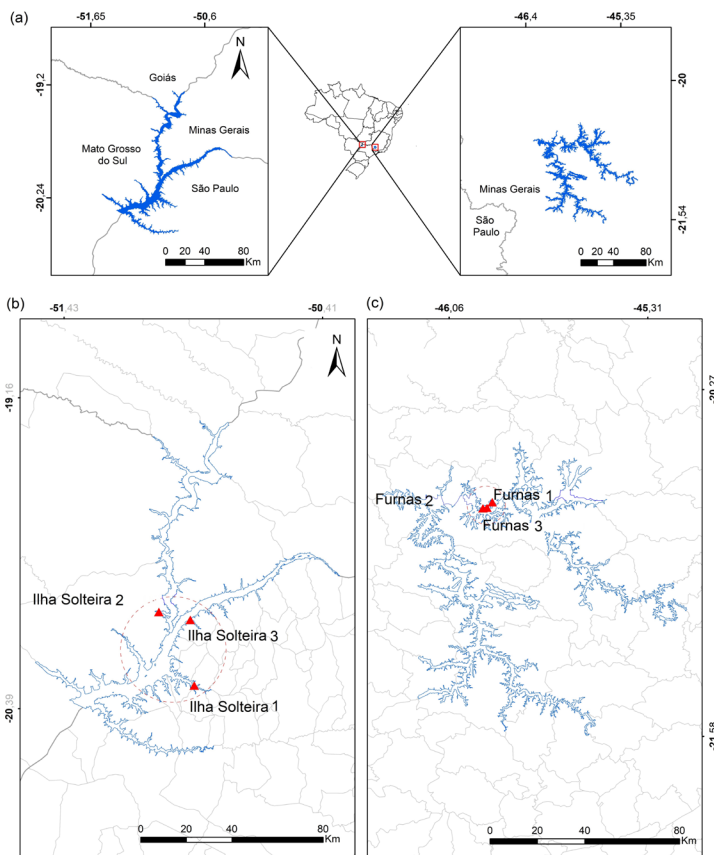


Figura 2. (a) Mapa da área de estudo, com detalhe para a localização das pisciculturas instaladas no Reservatório de (b) Ilha Solteira e (c) Furnas.

Tabela 2. Principais características dos empreendimentos aquícolas estudados, razões entre área de superfície lateral (ASL) e volume (V) para os diferentes tamanhos de tanques-rede, números e volumes dos tanques nos empreendimentos estudados nos reservatórios de Furnas e Ilha Solteira.

Empreendimento e localização	Número e dimensões dos tanques-rede (m ³)	Área da superfície lateral (ASL, m ²)	Volume (V, m ³)	ASL / V	Eficiência potencial de trocas de água (%)	Volume total de tanques-rede (m ³)
Furnas 1 (grupo de pequenos produtores) 20°43'5.3"S, 45°56'2.3"W	80 (2x2x2)	16	8	2	50	640
Furnas 2 (pequeno empreendimento familiar) 20°43'2.6"S, 45°55'8.0"W	80 (2x2x2)	16	8	2	50	640
Furnas 3 (empreendimento empresarial de médio porte) 20°41'0.5"S, 45°54'4.5"W	300 (2x2x2)	16	8	2	50	2400
Total dos empreendimentos de Furnas 1,2,3	460					3680
Ilha Solteira 1 (Empreendimento de grande porte, com infraestrutura de processamento para peixes e ração) 20°17'49.4"S, 50°55'12.4"W	185 (3x3x2) 15 (4x4x3)	36 64	18 48	2 1,33	50 33,25	3330 720
Ilha Solteira 2 (empreendimento familiar de médio porte) 20°0'27.1"S, 51°3'37.7"W	30 (4x4x3) 40 (3x3x2) 8 (2x2x1)	64 36 16	48 18 4	1,33 2 4	33,25 50 100	1440 720 32
Ilha Solteira 3 (empreendimento familiar de grande porte) 20°2'9.61"S, 50°56'8.78"W	56 (6x6x4) 264 (3x3x2)	144 36	144 18	1 2	25 50	8064 4752
Total dos empreendimentos de Ilha Solteira 1,2,3	598					19.058

Fonte: dados da pesquisa.

Coleta de dados

Estudos de campo (entrevista com o produtor, amostragens, análises instrumentais e laboratoriais) foram realizados de novembro de 2015 a janeiro de 2016 em Furnas, e em fevereiro de 2019 no reservatório de Ilha Solteira. As coletas para determinação dos parâmetros de qualidade da água (Tabela 1) foram realizadas na primeira hora do dia, com anotação de clima e das condições ambientais, bem como localizações com GPS. Foram selecionados pontos de referência a montante (antes) do fluxo preferencial da água em relação à área de concentração dos tanques-rede que se mostrassem livres de interferências da piscicultura. Um segundo grupo de pontos foi estabelecido em meio aos tanques-rede, de modo a detectar efeitos internos (depois), ou seja, efeitos do empreendimento nas condições locais e no ambiente imediato. Oxigênio dissolvido, coliformes e turbidez foram amostrados em três locais: a montante (antes) e a jusante (depois) do fluxo de água preferencial observado, em relação à área de concentração dos tanques-rede, e em um local em meio a estes.

Temperatura da água, pH, condutividade elétrica e concentração de oxigênio dissolvido foram medidos usando uma sonda Horiba calibrada (Modelo U22 - Horiba Ltd., Japão). Nitrato, nitrito e fosfato foram determinados com um colorímetro de campo (RQflex® 10, Merck, Alemanha). As concentrações de fitoplâncton pelágico (clorofila a) foram determinadas conforme descrito por Talling e Driver (1963). Réplicas foram medidas em cada análise. Embora analisados rotineiramente, os parâmetros transparência, coliformes, demanda bioquímica de oxigênio e nitrogênio amoniacal não foram incluídos no presente estudo. Essas análises instrumentais de campo foram submetidas à confirmação laboratorial sempre que os resultados se mostraram incomuns, especialmente em relação aos parâmetros facilmente influenciados por fluxos turbulentos de água ou distúrbios por efeitos de manejo como fosfato, série nitrogênio e clorofila a, todos facilmente sujeitos a contaminação por adição de ração ou mistura da água.

Para indicadores de sedimentos, as amostras foram coletadas a montante (antes) e imediatamente ao fundo da localização dos tanques-rede (depois). O desenho amostral foi baseado na Resolução nº 413/2009 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2009) para programas de monitoramento ambiental na aquicultura. As amostras foram enviadas a

laboratórios de referência para determinação das propriedades químicas, expressas em nutrientes disponíveis, igualmente a determinações de rotina para fertilidade do solo: matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez total (H+Al) e os indicadores derivados - soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%), de acordo com Embrapa (1997).

Finalmente, foi calculada a 'Eficiência Potencial da Troca de Água' (Tabela 2), com base na proporção de Área de Superfície Lateral (ASL) para Volume (V), segundo os diferentes tamanhos e volumes dos tanques-rede nos empreendimentos estudados nos reservatórios de Furnas e Ilha Solteira (Boyd, 2010).

Análise de dados

Testes U de Mann-Whitney foram realizados para verificar a variabilidade dos VUs em cada dimensão em análise integrada, ou seja, todas as medidas de VU entre os reservatórios. Para esta comparação, VUs dos empreendimentos foram agrupados como réplicas para cada reservatório. As diferenças foram consideradas significativas quando $p < 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas usando o software R versão 4.0.0.

Resultados

Dimensão Organização Espacial

Os índices de desempenho observados para o conjunto de dimensões, nos seis empreendimentos estudados, nos reservatórios de Furnas e Ilha Solteira estão apresentados na Figura 3. Na dimensão Organização Espacial os índices foram 0,89 para o empreendimento Furnas 1; 0,77 para Furnas 2; e 0,92 para Furnas 3 (Figura 3).

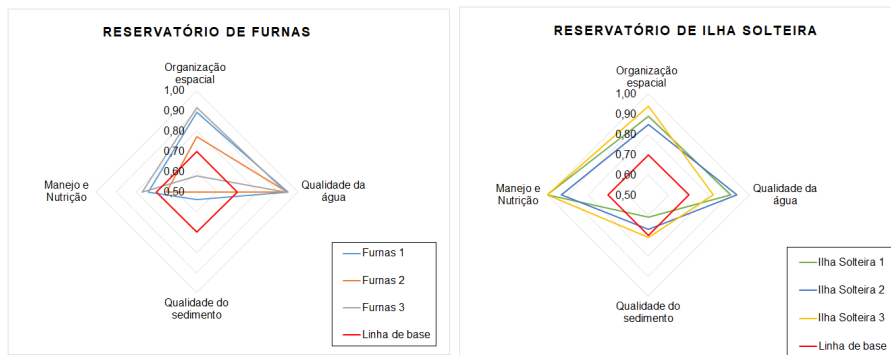


Figura 3. Índices de desempenho ambiental de cada dimensão para os seis empreendimentos de referência de piscicultura nos reservatórios de Furnas (em novembro de 2015 e janeiro de 2016) e Ilha Solteira (em fevereiro 2019), conforme a média de Valores de Utilidade-Adequação (Organização espacial e Manejo, Nutrição e Sanidade), e Valores de Utilidade-Estado (Qualidade da água; Qualidade do sedimento) do módulo APOIA-Aquicultura. As linhas em vermelho representam o nível de conformidade 0,7.

Em relação ao VU-A analisado, os três empreendimentos de Furnas atenderam às condições gerais de implantação (CGI), características locais dos tanques-rede (CLT) e formato e dimensões dos tanques-rede (FDT) (Figura 4). No entanto, deficiências em infraestrutura operacional e equipamentos (IOE) foram detectadas nos empreendimentos Furnas 1 e 2 devido à falta de simples medições de qualidade da água como, por exemplo, oxigênio dissolvido e transparência, resultando em VU-A abaixo da linha de conformidade (0,70) (Figura 4). Além disso, o empreendimento Furnas 2 apresentou posicionamento deficiente dos tanques-rede (UV-A 0,68) devido à baixa área de diluição / proximidade entre tanques-rede e 50% de eficiência potencial de trocas de água (Tabela 2).

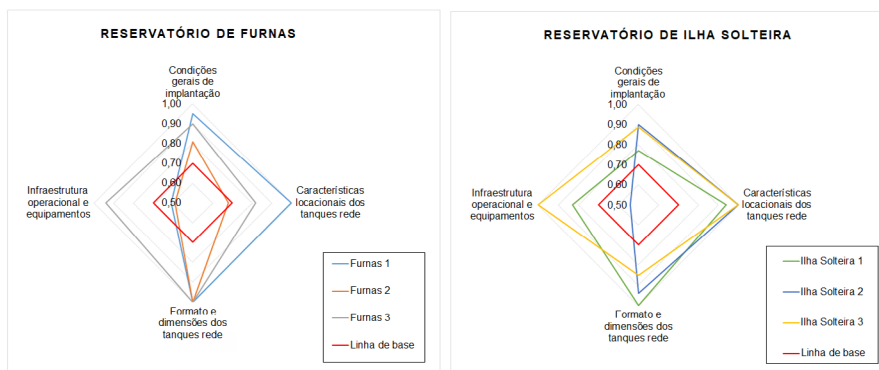


Figura 4. Valores de Utilidade-Adequação (VU-A) para os seis empreendimentos de referência nos reservatórios de Furnas e Ilha Solteira, conforme os quatro critérios e 22 indicadores da dimensão Organização Espacial do módulo APOIA-Aquicultura. As linhas vermelhas representam o nível de conformidade 0,7.

Por sua vez, os índices de desempenho observados para a Organização Espacial foram 0,89 para o empreendimento Ilha Solteira 1; 0,85 para Ilha Solteira 2; e 0,94 para Ilha Solteira 3 (Figura 3). Em relação aos VU-A analisados, todos os três empreendimentos de Ilha Solteira apresentaram adequadas condições gerais de implantação, características locais e formato e dimensões dos tanques-rede (Figura 4). Porém, o empreendimento Ilha Solteira 2 apresentou condições inadequadas de infraestrutura operacional e equipamentos devido à falta de instrumentação básica para monitoramento da água e carência de locais apropriados para armazenamento de combustíveis, rações e produtos terapêuticos (UV-A 0,54 para IOE, Figura 4). Além disso, atenção especial deve ser dirigida pelos produtores visando melhorar a eficiência das trocas de água nos três empreendimentos de Ilha Solteira. A eficiência potencial de trocas de água foi de 50% e 33,25% nos empreendimentos 1 e 2 de Ilha Solteira e 25% e 50% em Ilha Solteira 3 (Tabela 2). O empreendimento Ilha Solteira 3 apresentou condições gerais de implantação adequadas (UV-A = 0,89), mas os indicadores apontaram riscos parciais periódicos em relação à influência de fontes de poluição difusa (ou seja, atividades agrícolas), conflitos de usos múltiplos da água (isto é, pesca amadora, turistas) e um certo nível de exposição a correntes locais de vento que ocasionalmente trazem problemas nas condições de abrigo (Figura 4).

Dimensão Manejo, Nutrição e Sanidade

A dimensão Manejo, Nutrição e Sanidade alcançou índices de desempenho 0,74 para o empreendimento Furnas 1; 0,65 para Furnas 2; e 0,77 para Furnas 3 (Figura 3). Em todos os casos foram observadas ausência de verificações biométricas e, mais importante, falta de controle adequado da quantidade de ração oferecida e cálculo do consumo individual para cada tanque-rede, o que resultou em deficiências nas práticas de arreaçoamento (todos VU-A <0,70, Figura 5). Nos empreendimentos Furnas 1 e 2 foram observados procedimentos parcialmente inadequados para descarte de resíduos, que resultou em indicadores deficientes de saúde e segurança (VU-A 0,57 e 0,27, respectivamente, Figura 5). No empreendimento Furnas 3, inadequação em planejamento e gestão do ciclo produtivo, vacinação e procedimentos de profilaxia resultaram em VU-A 0,63 para o critério Manejo e Operações (Figura 5).

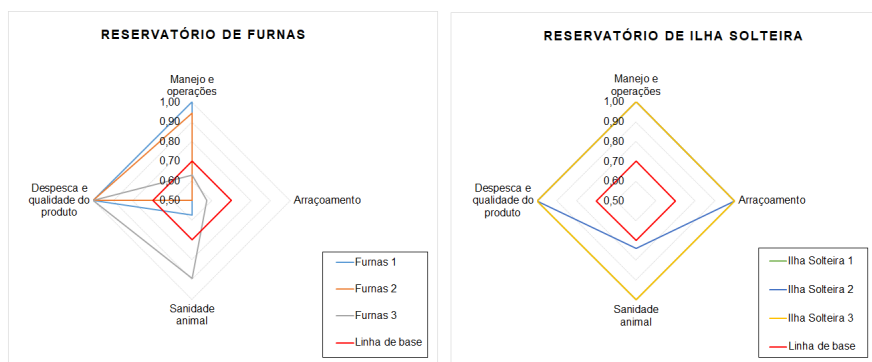


Figura 5. Valores de Utilidade-Adequação (VU-A) para os seis empreendimentos aquícolas de referência nos reservatórios de Furnas e Ilha Solteira, conforme os quatro critérios e 23 indicadores da dimensão Manejo, Nutrição e Sanidade do módulo APOIA-Aquicultura. As linhas vermelhas representam o nível de conformidade 0,7.

Em comparação, todos os empreendimentos de Ilha Solteira alcançaram excelentes índices de desempenho (>0,90) em Manejo, Nutrição e Sanidade (Figura 3). Os empreendimentos Ilha Solteira 1 e 3 mostraram VU-A máximo (1,0) em todos os indicadores, enquanto Ilha Solteira 2 atingiu índice de desempenho 0,93 (Figura 5), uma vez que apenas pequenas falhas foram observadas em parâmetros de controle e manutenção de registros relativos à saúde aparente dos peixes e sintomas comportamentais, bem como nos registros do uso de produtos terapêuticos / profiláticos, trazendo o critério de segurança e saúde para VU-A 0,74 (Figura 5).

Dimensão Qualidade da Água

A dimensão Qualidade da Água atingiu índices de desempenho 0,95 para os empreendimentos Furnas 1 e 2; e 0,94 para Furnas 3 (Figura 3). Os VU-E associados à qualidade da água são apresentados na Figura 6. Embora os índices de desempenho dos três empreendimentos de Furnas tenham se mostrado $>0,90$, as concentrações de PO_4 em Furnas 2 e 3 ficaram acima do limite definido na legislação brasileira, o que resultou em VU-E abaixo da linha de conformidade (0,70) para este indicador (Figura 6).

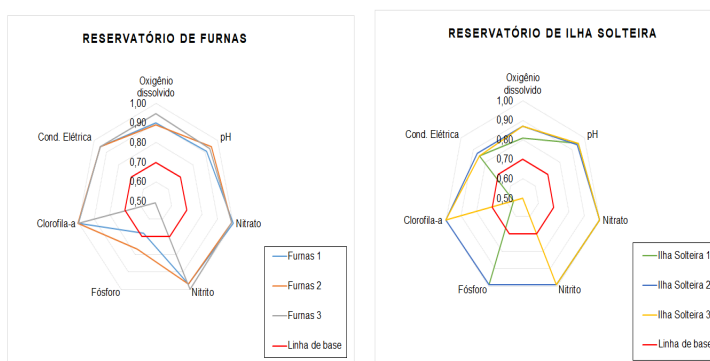


Figura 6. Valores de Utilidade-Estado (VU-E) para os seis empreendimentos aquícolas de referência nos reservatórios de Furnas e Ilha Solteira, conforme os indicadores de Qualidade da Água do módulo APOIA-Aquicultura. As linhas vermelhas representam o nível de conformidade 0,7.

Dados analíticos e VU-T associados à qualidade da água são apresentados na Tabela 3. No empreendimento Furnas 1 foram observadas concentrações de oxigênio dissolvido (OD) de $9,85 \text{ mg L}^{-1}$ a montante e $7,55 \text{ mg L}^{-1}$ entre os tanques-rede, resultando em uma variação de -23% e VU-T0,40. Em Furnas 2 o OD foi de $8,4 \text{ mg L}^{-1}$ a montante e $7,41 \text{ mg L}^{-1}$ entre os tanques-rede (-12%), resultando em UV-T 0,55. Em Furnas 3 foi detectada variação de 100% nas concentrações de PO_4 (VU-T 0,0) e pH ($-0,8\%$, UV-T 0,57) entre a montante e em meio aos tanques-rede (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados da qualidade da água e Valores de Utilidade-Tendência (VU-T) determinados para os seis empreendimentos aquícolas de referência nos reservatórios de Furnas (em novembro de 2015 e janeiro de 2016) e Ilha Solteira (em fevereiro de 2019), conforme o módulo APOIA-Aquicultura. Os valores representam os dados observados a montante do fluxo de preferencial da água (primeiro valor da variável) e (→) entre os tanques-rede (segundo valor da variável). PVA = poluição visual da água, IPP = impacto potencial de pesticidas, nd = não determinado.

Variáveis de Qualidade da água	Furnas 1		Furnas 2		Furnas 3		Ilha Solteira 1		Ilha Solteira 2		Ilha Solteira 3	
	Valores das variáveis	VU-T	Valores das variáveis	VU-T	Valores das variáveis	VU-T	Valores das variáveis	VU-T	Valores das variáveis	VU-T	Valores das variáveis	VU-T
OD (mg L ⁻¹)	9.85→7.55	0.40	8.40→7.41	0.55	8.60→8.60	0.70	4.83→6.04	0.89	5.82→7.05	0.87	8.27→6.90	0.49
pH (unidades de pH)	6.80→6.70	0.91	6.71→6.96	0.99	7.38→6.62	0.57	6.48→7.10	0.99	6.59→7.34	0.99	7.21→6.90	0.77
NO ₃ (mg L ⁻¹)	2.00→2.00	0.70	5.00→5.00	0.70	5.00→5.00	0.70	0.83→1.08	0.34	0.95→0.73	0.94	1.27→1.47	0.51
NO ₂ (mg L ⁻¹)	0.0→0.03	0.70	0.03→0.03	0.70	0.03→0.03	0.70	0.01→0.01	0.70	0.01→0.01	0.70	0.01→0.01	0.70
PO ₄ (mg L ⁻¹)	0.33→0.27	0.90	0.38→0.25	1.0	0.20→0.42	0.00	0.03→0.03	0.70	0.03→0.03	0.70	1.05→1.78	0.02
Turb (NTU)	1.00→1.00	0.70	3.0→3.0	0.77	0.90→0.90	0.70	nd	Nd	nd	nd	nd	nd
Clo-a (µg L ⁻¹)	0.0→0.00	0.70	2.07→2.07	0.70	0.0→0.00	0.70	40.5→43.4	0.61	8.69→6.23	0.99	3.86→3.95	0.67
Cond. (mS/cm)	0.03→0.03	0.70	0.03→0.03	0.70	0.03→0.03	0.70	0.72→0.69	0.75	0.53→0.54	0.68	0.70→0.68	0.73
PVA	100% ausente	1.0	100% ausente	1.0	100% ausente	1.0	100% ausente	1.0	Presença de resíduos sólidos, escala pontual	0.73	Presença de resíduos sólidos, escala pontual	0.67
IPP (%)	Não uso 100% da área	1.0	Não uso 100% da área	1.0	Não uso 100% da área	1.0	Não uso 100% da área	1.0	Não uso 100% da área	1.0	Não uso 100% da área	1.0

Fonte: dados da pesquisa.

Índices de desempenho dos indicadores de qualidade da água para os empreendimentos Ilha Solteira 1, 2 e 3 foram, respectivamente, 0,91; 0,94; e 0,82 (Figura 3). VU-E associados à qualidade da água são apresentados na Figura 6. Concentrações de clorofila a (VU-E 0,56) no empreendimento Ilha Solteira 1 e PO₄ (VU-E 0,0) em Ilha Solteira 3 não estavam em conformidade com os limites definidos, resultando abaixo da linha de base (Figura 6). Conforme apresentado na Tabela 3, o empreendimento Ilha Solteira 1 mostrou concentrações de NO₃ 0,83 mg L⁻¹ a montante e 1,08 mg L⁻¹ entre os tanques-rede, resultando em variação de 30% e VU-T 0,34, enquanto clorofila a foi 40,5 µg L⁻¹ a montante, e 43,4 µg L⁻¹ entre os tanques-rede (variação de 7% e VU-T 0,61). Em Ilha Solteira 3 foram observadas variações no OD (17%), NO₃ (16%), PO₄ (70%) e clorofila a (2%) entre a montante e em meio aos tanques-rede, resultando em VU-T abaixo da linha de conformidade. Foi detectada poluição visual da água (ou seja, resíduos sólidos esparsos) nas proximidades dos empreendimentos Ilha Solteira 2 e 3 (VU-T 0,73; e 0,67, respectivamente para PVA, Tabela 3).

Dimensão Qualidade do Sedimento

Os índices de desempenho da Qualidade do Sedimento observados nos empreendimentos Furnas 1, 2 e 3 foram 0,54; 0,50; e 0,42, respectivamente. E para Ilha Solteira 1, 2 e 3, os índices observados foram 0,61; 0,65; e 0,71 (Figura 3). Foram observados VU-E abaixo da conformidade em Furnas para matéria orgânica, P, K (exceto Furnas 3), H+AL e saturação por bases (exceto Furnas 3) (Figura 7). Da mesma forma, os empreendimentos Ilha Solteira 1, 2 e 3 apresentaram VU-E abaixo da conformidade para P, K, matéria orgânica (exceto Ilha Solteira 3) e pH (exceto Ilha Solteira 2).

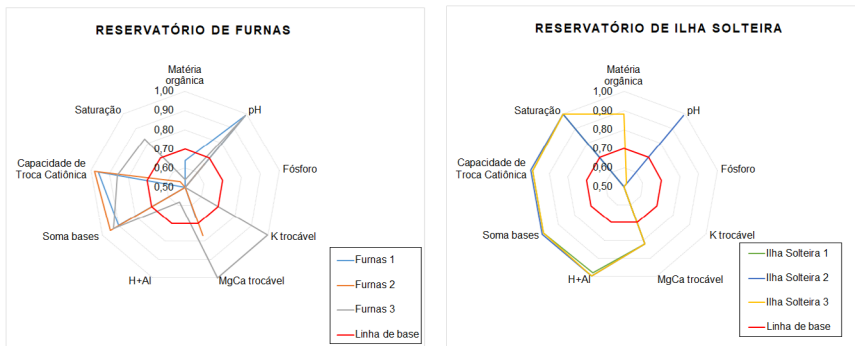


Figura 7. Valores de Utilidade-Estado (VU-E) para os seis empreendimentos aquícolas de referência nos reservatórios de Furnas e Ilha Solteira, conforme os indicadores de Qualidade do Sedimento do módulo APOIA-Aquicultura. As linhas vermelhas representam o nível de conformidade de 0,7.

Dados analíticos e VU-T associados à Qualidade do Sedimento são apresentados na Tabela 4. Foi observado aumento de 60% na concentração de P entre os tanques-rede em relação a montante, resultando em VU-T 0,0 para os empreendimentos de Furnas e Ilha Solteira (exceto Furnas 2). Além disso, observou-se variação na matéria orgânica entre a montante e os tanques-rede, que resultou em VU-T abaixo da conformidade para Furnas 1 (77%); 2 (100%); e 3 (68%), e Ilha Solteira 1(100%). Em Furnas 1, o conteúdo de K era de $0,6 \text{ mmolc dm}^{-3}$ a montante e $1,2 \text{ mmolc dm}^{-3}$ no sedimento ao fundo dos tanques-rede, resultando em VU-T 0,03 (variação de 98%). Em Furnas 3 observou-se que a H+Al apresentava 52 mmolc dm^{-3} a montante e 58 mmolc dm^{-3} sob influência dos tanques-rede, resultando em VU-T 0,56 (variação de 12%). Em Ilha Solteira 1 observou-se indução de acidez do sedimento e variação de 100% em K, Mg, Ca e H+Al, resultando em VU-T 0,0 (Tabela 4). Em Ilha Solteira 3 detectou-se variação de 38% na Soma de Bases e na Capacidade de Troca Catiônica sob influência dos tanques-rede, resultando em VU-T de 0,19 (Tabela 4).

Desempenho integrado

A Tabela 5 mostra os principais aspectos de BPM a observar nos empreendimentos estudados, conforme definido pelo módulo APOIA-Aquicultura. Os índices integrados de desempenho dos empreendimentos Furnas 1, 2 e 3 foram, respectivamente, 0,67; 0,64; e 0,63; enquanto em Ilha Solteira os índices de desempenho atingidos foram de 0,67; 0,71; 0,70 para os empreendimentos 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 4. Resultados da qualidade dos sedimentos e Valores de Utilidade-Tendência (VU-T) determinados para os seis empreendimentos aquícolas de referência nos reservatórios de Furnas (em novembro de 2015 e janeiro de 2016) e Ilha Solteira (em fevereiro de 2019), conforme o módulo APOIA-Aquicultura. Os valores representam os dados observados a montante do fluxo preferencial da água (primeiro valor da variável) e (→) imediatamente ao fundo onde estavam localizados os tanques-rede (segundo valor da variável). Para códigos, consulte a Tabela 1.

Variáveis de Qualidade do Sedimento	Furnas 1		Furnas 2		Furnas 3		Ilha Solteira 1		Ilha Solteira 2		Ilha Solteira 3	
	Valores das variáveis	VU-T	Valores das variáveis	VU-T	Valores das variáveis	VU-T	Valores das variáveis	VU-T	Valores das variáveis	VU-T	Valores das variáveis	VU-T
MO (%)	2.2→3.9	0.41	2.7→6.3	0	2.5→4.2	0.54	1.05→5.05	0	4.97→6.12	0.95	3.99→3.28	0.97
pH	5.0→5.2	0.99	5.2→5.4	0.99	4.5→4.5	0.99	7.47→5.01	0.26	5.49→6.1	0.99	6.76→5.83	0.52
PO ₄ (mg dm ⁻³)	29→370	0	350→570	0.60	8.0→25.0	0	43→337	0	80→1,356	0	134→502	0
K (mmolc dm ⁻³)	0.6→1.2	0.03	1.0→0.9	0.99	1.0→1.0	1.0	0.06→0.22	0	0.20→0.21	1.0	0.33→0.2	0.85
Ca (mmolc dm ⁻³)	33→47	--	49→60	--	10→14	--	69.1→113	--	164→215	--	230→135	--
Mg (mmolc dm ⁻³)	3.0→4.0	0.80	5.0→5.0	1.0	3.0→3.0	1.0	4.22→15.8	0	33.3→48.7	0.79	22.5→21.3	1.0
H+Al (mmolc dm ⁻³)	42→42	0.70	42→42	0.70	52→58	0.56	0.0→0.77	0	0.11→0.0	1.0	0.0→0.0	0.70
TB (mmolc dm ⁻³)	36.6→52.2	0.97	55.0→65.9	0.89	14.0→18.0	0.93	76.4→129	1.0	198→264	0.95	253→156	0.19
CEC (mmolc dm ⁻³)	78.6→94.2	0.89	97.0→107	0.82	66.0→76.0	0.86	73.4→130	1.0	198→264	0.95	253→156	0.19
SB (%)	46.6→55.4	0.88	56.7→61.1	0.79	21.2→23.7	0.83	100→99.4	0.70	99.9→100	0.70	100→100	0.70

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 5. Resumo dos indicadores com índices de desempenho abaixo da linha de conformidade (0,70), observados no módulo APOIA-Aquicultura e BPM recomendadas para os empreendimentos de referência estudados nos reservatórios de Furnas e Ilha Solteira.

Empreendimento	Organização Espacial	Manejo, Nutrição e Sanidade	Qualidade da Água	Qualidade do Sedimento	BPM Recomendadas
Furnas 1	<ul style="list-style-type: none"> Ausência de equipamentos para monitoramento da qualidade da água 	<ul style="list-style-type: none"> Ausência de controle biométrico e de consumo de ração Disposição inadequada de resíduos 	<ul style="list-style-type: none"> Variação no OD e PO_4 entre locais a montante e os tanques-rede 	<ul style="list-style-type: none"> Variação na matéria orgânica, K e PO_4 ao fundo dos locais com tanques-rede 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoramento de qualidade da água. Posicionamento dos tanques-rede e melhoria da eficiência das trocas de água. Manejo do arraçamento e da Disposição de resíduos. Controle da saúde dos peixes
Furnas 2	<ul style="list-style-type: none"> Posicionamento inadequado dos tanques-rede Ausência de equipamentos para monitoramento da qualidade da água Deficiências na estocagem de rações e suplementos 	<ul style="list-style-type: none"> Ausência de controle biométrico e de consumo de ração Disposição inadequada de resíduos Ausência de enfermidades e perdas de peixes 	<ul style="list-style-type: none"> Variação do OD entre locais a montante e os tanques-rede 	<ul style="list-style-type: none"> Variação na matéria orgânica, K e PO_4 ao fundo dos locais com tanques-rede 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoramento de qualidade da água. Posicionamento dos tanques-rede e melhoria da eficiência das trocas de água. Manejo do arraçamento. Controle da saúde dos peixes. Estocagem adequada de produtos e insumos
Furnas 3	<ul style="list-style-type: none"> Nenhum indicador observado sob a linha de conformidade (0,70) 	<ul style="list-style-type: none"> Ausência de controle biométrico e de consumo de ração Disposição inadequada de resíduos Planejamento parcial do ciclo produtivo 	<ul style="list-style-type: none"> Desvio da neutralidade no pH Variação do PO_4 entre locais a montante e os tanques-rede 	<ul style="list-style-type: none"> Variação na matéria orgânica, pH e PO_4 ao fundo dos locais com tanques-rede 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoramento de qualidade da água. Manejo do arraçamento. Controle da saúde dos peixes
Ilha Solteira 1	<ul style="list-style-type: none"> Posicionamento parcialmente adequado dos tanques-rede dos equipamentos de monitoramento de qualidade da água 	<ul style="list-style-type: none"> Nenhum indicador observado sob a linha de conformidade (0,70) 	<ul style="list-style-type: none"> Variação na Cloro-a e NO_3 entre locais a montante e os tanques-rede 	<ul style="list-style-type: none"> Variação na matéria orgânica, PO_4, K, Ca e Mg ao fundo dos locais com tanques-rede Alta acidez sob os tanques-rede 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoramento de qualidade da água. Posicionamento dos tanques-rede e melhoria da eficiência das trocas de água Manejo do arraçamento
Ilha Solteira 2	<ul style="list-style-type: none"> Ausência de equipamentos para monitoramento da qualidade da água Deficiências na estocagem de rações, combustíveis e produtos químicos 	<ul style="list-style-type: none"> Controle de sintomas parcialmente adequados Ausência de registros apropriados do uso de produtos terapêuticos e profiláticos 	<ul style="list-style-type: none"> Nenhum indicador observado sob a linha de conformidade (0,70) 	<ul style="list-style-type: none"> Variação na matéria orgânica, K e PO_4 ao fundo dos locais com tanques-rede 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoramento de qualidade da água Manejo do arraçamento. Controle da saúde dos peixes. Manejo de produtos químicos, terapêuticos e profiláticos
Ilha Solteira 3	<ul style="list-style-type: none"> Proximidade a fontes difusas de poluição Conflitos de uso múltiplo da água Potencial de dano devido a correntes de vento 	<ul style="list-style-type: none"> Nenhum indicador observado sob a linha de conformidade (0,70) 	<ul style="list-style-type: none"> Variação do OD, NO_3, PO_4 e Cloro-a entre locais a montante e os tanques-rede Polição visual da água 	<ul style="list-style-type: none"> Variação no K e PO_4 ao fundo dos locais com tanques-rede 	<ul style="list-style-type: none"> Gestão de conflitos e de riscos de interferência nos tanques-rede. Posicionamento dos tanques-rede e melhoria da eficiência das trocas de água. Manejo do arraçamento

Análise dos índices APOIA-Aquicultura entre reservatórios

Os dados de todos os índices de desempenho (VU-A, VU-E e VU-T) em cada empreendimento aquícola estudado nos reservatórios de Furnas e Ilha Solteira são mostrados na Figura 8. Diferenças significativas foram observadas entre os reservatórios na dimensão Manejo, Nutrição e Sanidade ($W=18$, $p=0,003$; teste Wilcoxon de ranqueamento). Não se observaram diferenças significativas nas dimensões Organização Espacial, Qualidade da Água, Qualidade do Sedimento ou na análise integrada considerada no módulo APOIA-Aquicultura para o conjunto de empreendimentos aquícolas nos reservatórios de Furnas e Ilha Solteira ($p>0,05$).

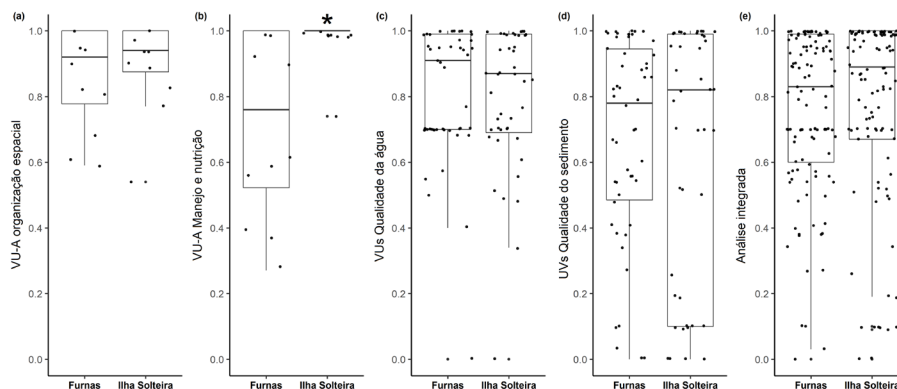


Figura 8. Boxplot e gráfico jitter dos Valores de Utilidade obtidos para as dimensões (a) Organização Espacial, (b) Manejo, Nutrição e Sanidade, (c) Qualidade da Água, (d) Qualidade do Sedimento, e (e) análise integrada (todos os VU) consideradas no módulo APOIA-Aquicultura para o conjunto de empreendimentos aquícolas de Furnas (em novembro de 2015 e janeiro de 2016) e Ilha Solteira (em fevereiro de 2019). A linha horizontal dentro dos boxplot representa as medianas. Os limites superior e inferior representam estimativas do 75º e 25º percentis, e o valor das barras fora das boxplot representa estimativas do 90º e 10º percentis, respectivamente. Barras sinalizadas por asteriscos (*) representam diferenças ($p<0,05$).

Discussão

Principais deficiências em BPM identificadas pelo APOIA-Aquicultura

Embora a dimensão da Qualidade da Água tenha alcançado índices de desempenho acima de 0,90 para todos os empreendimentos aquícolas estudados (Figura 6), foram identificados índices específicos abaixo da linha de conformidade para PO_4 em Furnas 2, 3 e Ilha Solteira 3, e para clorofila a em Ilha Solteira 1. Uma variação superior a 70% foi observada no conteúdo de PO_4 em Furnas 3 (UV-T 0,0) e Ilha Solteira 3 (UV-T 0,02) entre a montante e entre os tanques-rede (Tabela 3). Estes resultados evidenciados nos indicadores APOIA-Aquicultura sugerem que o manejo nutricional / alimentar em Furnas 3 e Ilha Solteira 3 provavelmente causaram o excedente de PO_4 . Tais valores são incomuns para grandes reservatórios hidrelétricos na parte superior da bacia do rio Paraná (Santos et al., 2010) e podem ser considerados uma exceção amostral. Porém, deve-se considerar que a amostragem foi realizada em meio aos tanques-rede (Tabela 3) onde alimentos com alto teor de fosfato são adicionados diariamente.

Ademais, o padrão monomítico-quente de Furnas (Araújo et al., 2017) e de Ilha Solteira (Winton et al., 2019) e o baixo potencial de troca de água, conforme indicado na Tabela 2, podem explicar os altos valores de PO_4 . Os empreendimentos são localizados nos braços dos reservatórios, sujeitos a estratificação durante o período quente e chuvoso, que dificulta a renovação de água, principalmente no empreendimento Ilha Solteira 3 (Tabela 2). Apesar de incomum, Venturoti et al. (2015) observaram resultados semelhantes no Lago Palminhas no sudeste do Brasil, que é um corpo d'água quente monomítico mesotrófico, e onde durante o período de estratificação (estação chuvosa) a diluição de fósforo e clorofila a não foi adequada até 500 m das áreas produtivas.

Em Ilha Solteira 1, evidências de eutrofização local foram observadas com alta concentração de clorofila a ($>40 \mu g L^{-1}$) e níveis de OD próximos do mínimo recomendado ($4,0 mg L^{-1}$) para o cultivo de tilápia (Boyd, 1990; Boyd; Tucker, 1998). Esses problemas representam riscos para a saúde dos peixes e podem causar declínio na produtividade. Tais condições, associadas

a elevação de nutrientes, podem causar crescimento excessivo de algas verde-azuladas que podem induzir a produção de geosmina e resultar em sabor indesejado, o que já foi observado nessa área de estudo (obs. pes. 2018), afetando negativamente a aceitabilidade do produto no mercado, uma vez que os consumidores são avessos ao sabor e cheiro que este composto orgânico provoca nos peixes (Boyd et al., 2008, 2013; Tucker; Hargreaves, 2008).

Diferenças significativas foram registradas nos indicadores da dimensão Manejo, Nutrição e Sanidade entre os reservatórios (Figura 8) devido a ausência de verificações biométricas e controle de consumo de ração em todos os empreendimentos de Furnas, comparados aos empreendimentos de Ilha Solteira estudados (Tabela 5, Figura 5). Este resultado é explicado pelos diferentes tipos de empreendimentos entre os reservatórios. A produção de tilápia no reservatório de Ilha Solteira é tipicamente realizada em regime intensivo, em empreendimentos de média a grande escala, geralmente organizados em cadeias de produção bem estabelecidas, desde o fornecimento de ração industrial até o processamento centralizado do pescado em empresas de comercialização. Em contraste, a produção de tilápia em Furnas ocorre em empreendimentos de pequena escala, em operações com gestão familiar pouco profissionalizada, com menor infraestrutura, pouca adoção de tecnologia e investimentos.

Esses resultados corroboram aqueles obtidos por Roriz et al. (2017) para a aquicultura do reservatório Três Marias, no sudeste do Brasil. Os autores avaliaram 32 fazendas de pequena escala e indicaram que conhecimento limitado sobre a produção de tilápia e práticas inadequadas de alimentação eram os principais fatores que prejudicavam a produtividade e afetavam os resultados econômicos, exigindo melhorias de planejamento e gestão. Essas conclusões estão de acordo com as diretrizes de BPM, delineando o papel chave do manejo do arraçamento na aquicultura (Ozby et al., 2014; Dickson et al., 2016; Henriksson et al., 2017). Por exemplo, Dickson et al. (2016) demonstraram que piscicultores egípcios, após treinamento em BPM, ampliaram a renda em mais de US\$ 15,000.00 anuais para empreendimentos médios, de aproximadamente 7,5 ha.

A avaliação de indicadores da dimensão Manejo, Nutrição e Sanidade no APOIA-Aquicultura não envolve apenas a viabilidade da produção de peixes,

mas também reflete diretamente considerações ambientais. Por exemplo, uma correspondência interessante foi observada nos indicadores dessa dimensão em relação à Qualidade do Sedimento nos três empreendimentos de Furnas. A Qualidade do Sedimento em Furnas 1, 2 e 3 foi 0,54; 0,50; e 0,42; respectivamente, (Figura 3) devido a VU-E abaixo da conformidade para MO, P e K (exceto Furnas 3). Além disso, os VU-T ficaram abaixo da conformidade para MO e P para todos os empreendimentos em Furnas, indicando possível influência da deposição de ração e excretas de peixes sob os tanques-rede em relação a montante (Tabela 4). Ao mesmo tempo, indicadores APOIA-Aquicultura evidenciaram controle inadequado da quantidade de ração oferecida e cálculo do consumo, individualmente, para cada tanque-rede, resultando em VU-A abaixo da conformidade para os critérios de práticas de arraçamento em todos os empreendimentos de Furnas estudados (Figura 5). Estes resultados sugerem que insumos e resíduos da produção são provavelmente as principais causas de enriquecimento orgânico nos sedimentos das áreas imediatamente abaixo dos tanques-rede (Montanhini Neto; Ostrensky, 2013).

Embora a dimensão Manejo, Nutrição e Sanidade tenha apresentado valores de desempenho acima de 0,9 para todos os empreendimentos de Ilha Solteira (Figura 6), foram detectados VU-E abaixo da conformidade para P e K em todos os empreendimentos, e para matéria orgânica em Ilha Solteira 1 e 2 (Figura 7). Existem duas explicações possíveis para este resultado: a primeira atesta a necessidade de supervisão técnica para melhor adoção do conjunto de práticas de manejo de nutrição nos empreendimentos de Ilha Solteira, já a segunda refere-se à diferença no volume útil total de tanques-rede (m^3) instalado (Tabela 3) entre os empreendimentos de Furnas e Ilha Solteira. No momento da aplicação do módulo APOIA-Aquicultura a campo, os empreendimentos estudados em Furnas possuíam $3.680 m^3$ de volume útil instalado, comparado a $19.058 m^3$ em Ilha Solteira, representando maior liberação de ração residual (matéria orgânica, nitrogênio e fósforo) ao ambiente (Montanhini Neto et al., 2015; Montanhini Neto; Ostrensky, 2013; Cacho et al., 2020).

Montanhini e Ostrensky (2015) estimaram o balanço de nutrientes (MO, N e P), e a carga total de nutrientes nos resíduos por tonelada de biomassa de tilápias produzidas. Foi estimada em 1040,63 kg de MO, 44,95 kg de N e 14,26 kg de P, representando 78%, 65% e 72% das respectivas quantidades

de nutrientes fornecidas pelo arraçoamento. Portanto, a dissimilaridade de sedimentos entre empreendimentos nos reservatórios de Furnas e Ilha Solteira pode ser explicada pelas diferenças no volume total instalado, o que resultou em diferenças de entrada de ração em ambos os reservatórios.

Estudos anteriores citaram nutrientes 'secundários' (por exemplo, Ca, Mg, K) que poderiam estar associados a alterações ambientais e consequentes impactos econômicos da produção aquícola (Silapajarn et al., 2004; Queiroz et al., 2004). Foram observados VU-E abaixo da conformidade para K na maioria dos empreendimentos estudados (exceto Furnas 3, Figura 7). Muito do conhecimento sobre K na aquicultura vem de pesquisas sobre práticas de fertilização inorgânica em lagoas e viveiros escavados (Silapajarn et al., 2004; Ribeiro et al., 2005; Sipaúba-Tavares et al., 2013). Por exemplo, Sipaúba-Tavares et al. (2013) indicam que as flutuações nos conteúdos de P e K no sedimento foram diretamente relacionadas à presença de clorofila a nos viveiros. Informações sobre o conteúdo de K no sedimento que ocorre acidentalmente, ou é adicionado intencionalmente na produção aquícola, pode estar associado ao desempenho ambiental e econômico da piscicultura, e são escassas para pisciculturas instaladas em reservatórios (Sipaúba-Tavares et al., 2013; Montanhini; Ostrensky, 2013).

Recentemente, Portinho et al. (2021a), em estudo na mesma área do reservatório de Ilha Solteira, indicaram concentrações de K na água associadas ao cultivo da cana-de-açúcar no entorno das pisciculturas, o que corrobora os resultados do presente estudo. Grandes quantidades de K geralmente são aplicadas no cultivo da cana-de-açúcar em virtude da alta exigência dessa cultura por este nutriente (Pavinato et al., 2020; Crusciol et al., 2020), que pode fluir para os corpos d'água devido ao escoamento superficial e subsuperficial. A avaliação dos indicadores de qualidade dos sedimentos via APOIA-Aquicultura pode facilitar o entendimento do contexto e das prováveis fontes de nutrientes caso aumentos sejam observados na coluna de água dos empreendimentos aquícolas, uma informação indispensável para indicar recomendações de gestão da qualidade da água (Queiroz et al., 2004; Boyd et al., 2008; Queiroz; Rotta, 2016).

Problemas específicos identificados com APOIA-Aquicultura

Alguns indicadores da dimensão Organização Espacial, em particular aqueles relacionados ao arraçoamento inadequado e armazenamento de suplementos, foram observados em Furnas 2 e Ilha Solteira 2, onde o controle inadequado de sintomas de doenças e da falta de registros apropriados a respeito do uso de produtos terapêuticos e profiláticos também foram notados (Tabela 5). O armazenamento e uso de produtos químicos deve ser feito de forma responsável para garantir a segurança ambiental (He et al., 2016). Além disso, interferências menores relacionadas a navegação local, devido à localização de tanques-rede, e conflitos sobre os usos múltiplos da água com usuários locais foram notificados no empreendimento Ilha Solteira 3 (Tabela 5).

Na dimensão Manejo, Nutrição e Sanidade, observaram-se ausência de verificações biométricas e de procedimentos adequados para a eliminação de peixes mortos em Furnas 1 e 2. Além disso, não havia controle ou registro de perdas de peixes (fugas) no empreendimento Furnas 2 (Tabela 5). Atenção especial deve ser dirigida a fugas, pois representa uma ameaça à biodiversidade de espécies nativas (Azevedo-Santos et al., 2011). As fugas são causadas, principalmente, durante a estocagem, despesca, amostragem e classificação (Azevedo-Santos et al., 2011). Práticas adequadas de manejo, como a inspeção regular da infraestrutura de produção e barreiras de escape (por exemplo, redes e grades) devem ser tomadas para evitar a fuga, especialmente do ambiente de incubação, onde os organismos individuais podem ser muito pequenos (Boyd et al., 2008; Zaniboni-Filho et al., 2018).

Infestação pelo mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) tem sido causa de impactos ambientais e econômicos na aquicultura no sudeste do Brasil (Costa et al., 2017; Zaniboni-Filho et al., 2018). A incrustação de mexilhão dourado diminui as trocas de água entre os ambientes interno e externo dos tanques-rede e reduz a disponibilidade de oxigênio na coluna d'água (Zaniboni-Filho et al., 2018). De acordo com Costa et al. (2017), o impacto econômico da infestação por mexilhão nos custos de produção de tilápia pode atingir até US\$ 0,20 kg⁻¹ de peixe produzido. Esse tópico relevante é tratado no APOIA-Aquicultura na dimensão Manejo, Nutrição e Sanidade, no critério Gestão e Operações, envolvendo os indicadores 'frequência e temporalidade da limpeza e reparos', 'procedimentos de desinfecção', e

‘eliminação de materiais incrustantes’. Para esses indicadores, todos os seis empreendimentos relataram limpeza dos tanques-rede com escovas ou jatos de água pressurizada, removendo a sujeira e incrustações das telas e outras estruturas. No entanto, em geral, a remoção dos tanques-rede para limpeza em terra é uma operação laboriosa, razão pela qual a maior parte da limpeza é feita na água. Do ponto de vista de BPM, a remoção de incrustações não deve ser feita na água para evitar o acúmulo de resíduos orgânicos, e onde for praticado, os resíduos devem ser coletados e removidos para um local de descarte em uma base regular.

Desempenho integrado

O índice integrado de desempenho serve como uma avaliação do conjunto de BPM da produção aquícola na escala do empreendimento e, em geral, os empreendimentos de Furnas apresentaram índices inferiores aos de Ilha Solteira. Nos últimos anos, pesquisadores, técnicos, especialistas e instituições de pesquisa e setoriais (por exemplo, a Organização para a Alimentação e Agricultura das Nações Unidas e a International Finance Corporation) sugeriram conjuntos de BPM para melhorar o desempenho zootécnico, ambiental e econômico da produção aquícola (Rotta; Queiroz, 2003; Eller; Millani, 2007; Cyrino et al., 2010; Boyd et al., 2013; Moro, 2014; Moura et al., 2016; David et al., 2018; Serviço Nacional de Aprendizagem Rural, 2019). No entanto, o conteúdo dos documentos de BPM apresentados pelos diferentes grupos são diretrizes ou guias de cunho geral, ou seja, ‘amplas listas de práticas e recomendações’. A principal vantagem do módulo APOIA-Aquicultura em relação a outras abordagens é tornar as BPM mensuráveis (por exemplo, via análise individual de VU, ou índices de desempenho em cada dimensão, ou integrado), dinâmicas e comunicáveis, tanto em nível de empreendimento quanto deste para com o mercado, quando necessário.

Nesse sentido, uma vez que todos os dados de campo e laboratório foram inseridos e os resultados foram analisados e interpretados, ‘Relatórios de Gestão Ambiental’ foram produzidos e emitidos aos responsáveis pelos empreendimentos estudados. Esse relatório é a base para a restituição de resultados e discussão de ações de melhorias do sistema de produção com os piscicultores, quando a gestão de pontos fortes e das deficiências são

avaliadas. As recomendações de práticas adequadas e adoção de tecnologias devem ser enfatizadas, a fim de minimizar os impactos negativos e promover os impactos positivos, contribuindo, assim, para a gestão ambiental dos empreendimentos aquícolas.

Limitações do APOIA-Aquicultura

O sistema não pretende substituir os métodos clássicos de monitoramento, porém, como uma ferramenta analítica, favorece a rápida identificação de problemas, e que, devido a ampla gama de indicadores, traz sugestões de onde os esforços de diagnóstico devem convergir.

Os dados usados nos estudos de caso apresentados, e em quaisquer outros que venham a ser realizados, são baseados em eventos de amostragem singulares e apenas na escala próxima aos empreendimentos, ou seja, se referem a efeitos dos tanques-rede sobre si mesmos e ao ambiente imediato.

Ressalta-se que o módulo APOIA-Aquicultura deve ser tratado como uma base documental ativa, que requer melhoria, revisão e atualizações regulares, tal como quaisquer sistemas de avaliação de impactos, para garantir que o manejo aquícola permaneça em dia com as melhores práticas e conhecimentos internacionais.

Conclusões

Os empreendimentos aquícolas estudados nos reservatórios de Furnas e Ilha Solteira apresentaram deficiências moderadas na dimensão Organização Espacial em virtude da falta de equipamentos para monitoramento da qualidade da água e às questões relativas ao posicionamento dos tanques-rede. Além disso, deficiências na dimensão Manejo, Nutrição e Sanidade foram responsáveis por sinais localizados de deterioração em parâmetros específicos de qualidade da água e dos sedimentos. Indicadores pontuais com índices abaixo da conformidade (0,70) nos empreendimentos estudados receberam indicações de BPM e estratégias de mitigação, favorecendo o monitoramento e gestão mais eficazes dos tanques-rede.

Os resultados obtidos para os seis estudos de caso diversificados, juntamente com os índices de desempenho, e principais recomendações resumidas na Tabela 5, atestam a viabilidade do APOIA-Aquicultura em facilitar a compreensão de eventuais falhas de manejo e comunicar soluções de gestão relacionadas às condições ambientais e contextos gerenciais para empreendimentos aquícolas. Estas informações integradas podem facilitar o engajamento de produtores e outros grupos de interesse em um processo de promoção da infraestrutura específica local, de oportunidades de monitoramento, adoção de BPM e desenvolvimento sustentável da aquicultura.

Agradecimentos

Ao Banco Brasileiro de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Projeto BRS-Aqua, Componente Gestão Ambiental da Aquicultura, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Projeto N° 421502 / 2017-7), pela provisão de recursos. Ao Dr. Marcelo Saldanha e equipe do Laboratório de Fertilidade e Física de Solos da Embrapa Meio Ambiente, pelo suporte analítico. Agradecemos especialmente aos piscicultores e seus familiares por oferecerem seu precioso tempo e compartilharem seus conhecimentos durante os estudos de campo, e por suas sugestões críticas sobre as contribuições da pesquisa. Ao geógrafo Rodrigo B. Pentean pela formulação dos mapas. Aos revisores anônimos por críticas e comentários sobre o manuscrito. Atualmente, JLP é financiado por PNPd/CAPES (processo número 88887.473604 / 2020-00) dirigido ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Biodiversidade, na Universidade Estadual Paulista (UNESP-Rio Claro).

Referências

AZEVEDO-SANTOS, V. M.; RIGOLIN-SA, O.; PELICICE, F.M. Growing, losing or introducing? Cage aquaculture as a vector for the introduction of non-native fish in Furnas Reservoir, Minas Gerais. **Brazilian Neotropical Ichthyology**, v. 9, p. 915-919, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252011000400024>.

ARAÚJO, C. S.; SAMPAIO, F.; ALCÂNTARA, E.; CURTARELLI, M.; OGASHAWARA, I.; STECH, J. Effects of atmospheric cold fronts on stratification and water quality of a tropical reservoir: implications for aquaculture. **Aquaculture Environment Interactions**, v. 9, p. 385-403, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3354/aei00240>.

BEVERIDGE, M. C. M. **Cage aquaculture**. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2004. 380 p.

BISSET, R. Methods for environmental impact assessment: a selective survey with case studies. In: BISWAS, A. K.; GEPING, Q. (Ed.). **Environmental impact assessment for developing countries**. London: Tycooly International, 1987. p. 3-64.

BOCKSTALLER, C.; GIRARDIN, P. How to validate environmental indicators. **Agricultural Systems**, v. 76, p. 639-653, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00053-7](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00053-7).

BOYD, C. E. **Water quality in ponds for aquaculture**. Auburn: Auburn University, Alabama Agricultural Experiment Station, 1990. 482 p.

BOYD, C. E. Cage design, placement affect water quality. **Global Aquaculture Advocate**, v. 13, p. 21-24, 2010.

BOYD, C. E.; D'ABRAMO, L. R.; GLENCROSS, B. D.; HUYBEN, L. M.; LORENZO, M.; JUAREZ, G. S.; LOCKWOOD, A. A.; MCNEVIN, A. A.; TACON, A. G. J.; TELETCHEA, F.; TOMASSO JR., J. R.; TUCKER, C. S.; VALENTI, W. C. Achieving sustainable aquaculture: historical and current perspectives and future needs and challenges. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 51, p. 578-633, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>.

BOYD, C. E.; LIM, C.; QUEIROZ, J.; SALIE, K.; DE WET, L.; MCNEVIN, A. **Best management practices for responsible aquaculture**. Washington, DC: USAID: Aquaculture Collaborative Research Support Program, 2008. 47 p.

BOYD, C. E.; QUEIROZ, J. F.; MCNEVIN, A. Perspectives on the responsible aquaculture movement. **World Aquaculture**, v. 44, p. 14-21, 2013.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Pond aquaculture water quality management**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. 700 p.

BRASIL. Decreto Nº 6.792, de 29 de setembro de 2009. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções Gratificadas do Ministério da Pesca e Aquicultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 30 de setembro de 2009, Seção 1, p. 12.

BUENO, G. W.; OSTRENSKY, A.; CANZI, C.; MATOS, F. T.; ROUBACH, R. Implementation of aquaculture parks in Federal Government waters in Brazil. **Reviews in Aquaculture**, v. 7, p. 1-12, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12045>.

CACHO, J. C. S.; MOURA, R. S. T.; HENRY-SILVA, G. G. Influence of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish farming in net cages on the nutrient and particulate matter sedimentation rates in Umari reservoir, Brazilian semi-arid. **Aquaculture Reports**, v. 17, p. 2352-5134, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100358>.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA Nº. 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, 18 de março de 2005. Seção 1, 58-66. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: abr. 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA Nº 413, de 26 de junho de 2009. **Diário Oficial da União**, 30 de junho de 2009. Seção 1, p. 126-129. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=2009>. Acesso em: abr. 2019.

COSTA, J. M.; MARTINS, M. I. E.; AYROZA, D. M. M. R. Impact of control of the golden mussel on the production costs of tilapia bred in net cages. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 44, p. 110-115, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2018.284>.

CRUSCIOL, C. A. C.; CAMPOS, M.; MARTELLO, J. M.; ALVES, C. J.; NASCIMENTO, C. A. C.; PEREIRA, J. C. D. R.; CANTARELLA, H. Organomineral fertilizer as source of P and K for sugarcane. **Scientific Reports**, v. 10, 5398, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62315-1>.

CYRINO, J. E. P.; BICUDO, A. J. A.; SADO, R. Y.; RICARDO, B.; DAIRIK, J. K. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 68-87, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300009>.

DAVID, G. S.; CARVALHO, E. D.; LEMOS, D. E. L.; SILVEIRA, A. N.; DALLIAGLIO-SOBRINHO, M. Ecological carrying capacity for intensive tilapia (*Oreochromis niloticus*) cageaquaculture in a large hydroelectric reservoir in southeastern Brazil. **Aquacultural Engineering**, v. 66, p. 30-40, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.02.003>.

DAVID, L. H. C.; PINHO, S. M.; GARCIA, F. Improving the sustainability of tilapia cage farming in Brazil: an emergy approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 201, p. 1012-1018, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.124>.

DICKSON, M.; NASR-ALLAH, A.; KENAWY, D.; KRUIJSSEN, F. Increasing fish farm profitability through aquaculture best management practice training in Egypt. **Aquaculture**, v. 465, p. 172-178, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.015>.

ELLER, M. N.; MILLANI, T. J. Métodos de estudos de sustentabilidade aplicados a aquicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 33-44, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000004>.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA)**. Rome: FAO, 2018. 227 p. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/19540EN/>. ISBN: 978-92-5-130562-1. Acesso em: ago. 2018.

FRASCÁ-SCORVO, C. M. D.; QUEIROZ, J.; LOSEKANN, M. E. Boas práticas de manejo (BPM) aplicadas à qualidade da água da aquicultura em viveiros e tanques-rede instalados em reservatórios. In: AYROSA, L.M.S. (Ed.). **Piscicultura**. Campinas: CATI, 2011. p.161-174. (Manual Técnico 79).

FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA DA UFMG. **Estudo técnico-científico visando a delimitação de parques aquícolas nos lagos das usinas hidroelétricas de Furnas e Três Marias**. Belo Horizonte: Governo de Minas, 2006. 131 p.

GIRARDIN, P.; BOCKSTALLER, C.; VAN DER WERF, H. M. G. Indicators: tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 13, p. 5-21, 1999. DOI: https://doi.org/10.1300/J064v13n04_03.

HE, Z.; CHENG, X.; KYZAS, G. Z.; FU, J. Pharmaceuticals pollution of aquaculture and its management in China. **Journal of Molecular Liquids**, v. 223, p. 781-789, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.09.005>.

HENRIKSSON, P. J. G.; DICKSON, M.; ALLAH, A. N.; AL-KENAWY, D.; PHILLIPS, M. Benchmarking the environmental performance of best management practice and genetic improvements in Egyptian aquaculture using life cycle assessment. **Aquaculture**, v. 468, p. 53-59, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.051>.

HYAMS, D. **Curve expert version 1.34**: a curve fitting system for Windows, 1995-1997. Disponível em: <https://www.curveexpert.net/>. Acesso em: 06 dez, 2021.

LUCAS, J. S.; SOUTHGATE, P. C. **Aquaculture: farming aquatic animals and plants**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012. 629 p.

MONTANHINI NETO, R.; NOCKO, H. F.; OSTRENSKY, A. Environmental characterization and impacts of fish farming in the cascade reservoirs of the Paranapanema River, Brazil. **Aquaculture Environment Interactions**, v. 6, p.255-272, 2015. DOI <https://doi.org/10.3354/aei00130>.

MONTANHINI NETO, R.; OSTRENSKY, A. Nutrient load estimation in the waste of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared in cages in tropical climate conditions. **Aquaculture Research**, v. 46, p. 1309-1322, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.12280>.

MORO, G. V. **Rações e manejo alimentar de peixes**: tanque-rede. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014. 8 p.

MOURA, R. S. T.; VALENTI, W. C.; HENRY-SILVA, G. G. Sustainability of Nile tilapia net-cage culture in a reservoir in a semi-arid region. **Ecological Indicators**, v. 66, p. 574-582, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.052>.

NOBILE, A. B.; CUNICO, A. M.; VITULE, J. R. S.; QUEIROZ, J.; VIDOTTO, A. P.; GARCIA, D. A. Z.; ORSI, M. L.; LIMA, F. P.; ACOSTA, A. A.; DA SILVA, R. J.; DO PRADO, F. D.; FORESTI, F. P.; BRANDÃO, H.; FORESTI, F.; OLIVEIRA, C.; RAMOS, I. P. Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil. **Reviews in Aquaculture**, v. 12, n. 3, p. 1495-1517, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12393>.

OZBAY, G.; BLANK, G.; THUNJAI, T. Impacts of aquaculture on habitats and best management practices (BMPs). In: HERNANDEZ-VERGARA, M.P.; PEREZ-ROSTRO, C.I. (Ed.). **Sustainable Aquaculture Techniques**. Intech Open, 2014. p. 274-274. DOI: <https://doi.org/10.5772/57471>.

PAVINATO, P. S.; CORÁ, J. E.; SANTOS, A. D. C.; HERRERA, W. F. B.; PAVULURI, K.; PIERCE., F. J. Sugarcane response to polyhalite fertilizer in brazilian oxisols. **Agronomy Journal**, v. 112, p. 5264- 5278, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20452>.

PORTINHO, J. L.; GOMES, A. C. C.; KOGA-VICENTE, A.; MILANI, F. C. C.; PENTEAN, R.B.; MANZATTO, C. V.; SPINELLI-ARAUJO, L.; VICENTE, L. E. The pathways influence of agricultural expansion on water quality of fish farming in Ilha Solteira reservoir, São Paulo, Brazil. **Aquaculture**, v. 536, 736405, 2021a. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736405>.

PORTINHO, J. L.; SILVA, M. S. G. M. e; QUEIROZ, J. F. de; BARROS, I. de; GOMES, A. C. C.; LOSEKANN, M. E.; KOGA-VICENTE, A.; ARAUJO, L. S. de; VICENTE, L.E.; RODRIGUES, G. S. Integrated indicators for assessment of best management practices in tilapia cage farming. **Aquaculture**, v. 545, 737136, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737136>.

QUEIROZ, J. F. D.; NICOLELLA, G.; WOOD, C. W.; BOYD, C. E. Lime application methods, water and bottom soil acidity in fresh water fish ponds. **Scientia Agricola**, v. 61, p. 469-475, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000500001>.

- QUEIROZ, J. F.; ROTTA, M. A. **Boas práticas de manejo para piscicultura em tanques-rede**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2016. 10 p. (Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica Embrapa, 26).
- RIBEIRO, R. R.; SENGK, E.; BARRERO, N. M. L.; CIOLA, A. L.; MOREIRA, H. L. M.; SUSSEL, F. R.; LUPCHINSKI JUNIOR, E.; BENITES, C. Coleta de amostras de sedimentos em viveiros de piscicultura. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 27, n. 3, p. 399-403, 2005.
- RODRIGUES, G. S.; MARTINS, C. R.; BARROS, I. Sustainability assessment of ecological intensification practices in coconut production. **Agricultural Systems**, v. 165, p. 71-84, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.001>.
- RODRIGUES, G. S.; QUEIROZ, J. F. de.; FRIGHETTO, R. T. S.; SAMPAIO, F. G.; FRASCÁ-SCORVO, C. M. D.; COUTO, K. R.; RODRIGUES, I. A. Best management practices and environmental management in aquaculture – indicators for monitoring in multiple scales. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 4, 2013, São Paulo. **Anais....**São Paulo: Universidade Paulista, 2013. p. 1-9.
- RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, I. A.; BUSCHINELLI, C. C. A.; BARROS, I. Integrated farm sustainability assessment for the environmental management of rural activities. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 30, p. 229-239, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2009.10.002>.
- RORIZ, G. D.; DELPHINO, M. K. V. C.; GARDNER, I. A.; GONÇALVES, V. S. P. Characterization of tilapia farming in net cages at a tropical reservoir in Brazil. **Aquaculture Reports**, v. 6, p. 43-48, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.03.002>.
- ROTTA, M.A.; QUEIROZ, J.F. **Boas práticas de manejo (BPMs) para a produção de peixes em tanques-redes**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2003. 27 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 47).
- SAMUEL-FITWI, B.; WUERTZ, S.; SCHROEDER, J.P.; SCHULZ, C. Sustainability assessment tools to support aquaculture development. **Journal of Cleaner Production**, v. 32, p. 183-192, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.037>.
- SANTOS, R. M.; NEGREIROS, N. F.; SILVA, L. C.; ROCHA, O.; SANTOS-WISNIEWSKI, M. J. Biomass and production of Cladocera in Furnas Reservoir, Minas Gerais, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, p. 879-887, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000400019>.
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Piscicultura: manejo da qualidade da água**. Brasília: SENAR, 2019. 52 p.
- SIPAÚBA-TAVARES, L.; MILLAN, R.; AMARAL, A. Influence of management on the water quality and sediment in tropical fish farm. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 5, p. 495-501, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2013.55049>.
- SILAPAJARN, K.; BOYD, C. E.; SILAPAJARN, O. **Physical and Chemical Characteristics of pond water and bottom in channel catfish ponds in west-central Alabama**. Auburn: Agricultural Experiment Station, Auburn University, 2004. 44 p. (Bulletin, 655).
- TALLING, J. F.; DRIVER, D. Some problems in the estimation of chlorophyll-a in phytoplankton. In: DOTY, M. S. (Ed.). **Proceedings of the conference primary production measurement, marine and fresh water**. Honolulu: Atomic Energy Commission; University of Haway, 1963. TID-76633, p. 142–146.
- TUCKER, C. S.; HARGREAVES, J. A. **Environmental best management practices for aquaculture**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2008. 608 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780813818672>.

VALENTI, W. C.; KIMPARA, J. M.; PRETO, B. L.; MORAES-VALENTI, P. Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. **Ecological Indicators**, v. 88, p. 402-413, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.068>.

VENTUROTI, G. P.; VERONEZ, A. C.; SALLA, R. V.; GOMES, L. C. Variation of limnological parameters in a tropical lake used for tilapia cage farming. **Aquaculture Reports**, v. 2, p. 152-157, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2015.09.006>.

WINTON, R. S.; CALAMITA, E.; WEHRLI, B. Reviews and syntheses: Dams, water quality and tropical reservoir stratification. **Biogeosciences**, v. 16, p. 1657-1671, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-16-1657-2019>.

ZANIBONI-FILHO, E.; PEDRON, J. S.; RIBOLLI, J. Opportunities and challenges for fish culture in Brazilian reservoirs: a review. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 30, e302, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s2179-975x12617>.

Embrapa

Meio Ambiente

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



**PÁTRIA AMADA
BRASIL**
GOVERNO FEDERAL