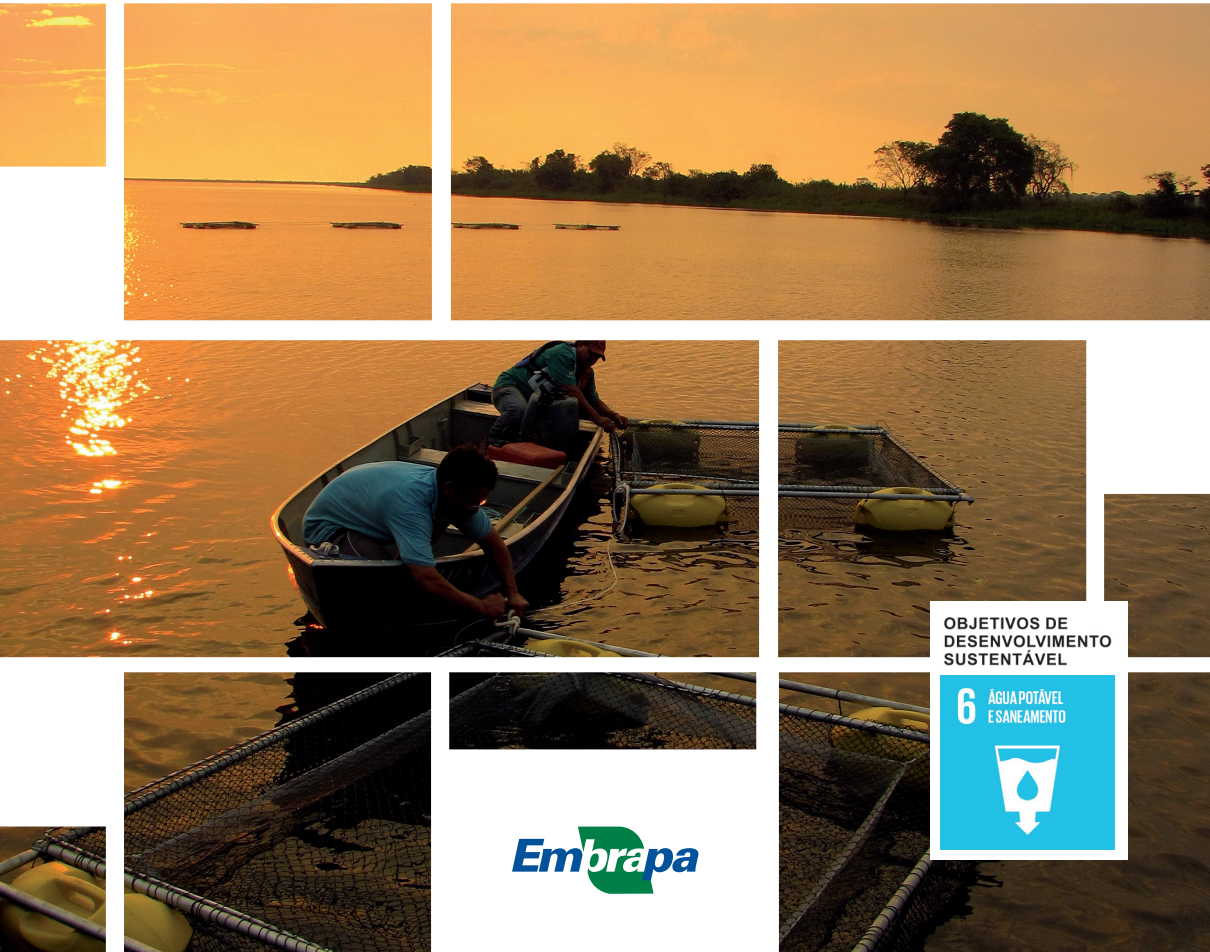


Metodologia de biomonitoramento aplicada a reservatórios com tanques-rede de piscicultura



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

6 ÁGUA POTÁVEL
E SANEAMENTO



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

DOCUMENTOS 128

Metodologia de biomonitoramento aplicada a reservatórios com tanques-rede de piscicultura

*Mariana Silveira Guerra Moura e Silva
Artur Jordão de Magalhães Rosa
Ana Maria Cirino Ruocco
Everton Santos Dias
Josilaine Taeco Kobayashi*

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2021

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

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/
SAC: 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, Ricardo A. A. Pazianotto,
Maria Cristina Tordin, Daniel Terao, Victor Paulo
Marques Simão, Geraldo Stachetti Rodrigues,
Vera Lucia Ferracini e Marco Antonio Gomes*

Revisão de texto
*Eliana de Souza Lima e Victor Paulo Marques
Simão*

Normalização bibliográfica
*Victor Paulo Marques
Simão*

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Gabriel Pupo Nogueira

Foto da capa
Saulo Coelho / Embrapa

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

Metodologia de biomonitoramento aplicada a reservatórios com tanques-rede de
piscicultura / Mariana Silveira Guerra Moura e Silva... [et al.]. – Jaguariúna:
Embrapa Meio Ambiente, 2021.
PDF (27 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Meio Ambiente, 1516-4691 ; 128).

1. Qualidade da água. 2. Biomonitoramento. 3. Tanques-rede. 4. Piscicultura.
I. Silva, Mariana Silveira Guerra Moura e. II. Rosa, Artur Jordão de Magalhães. III.
Ruocco, Ana Maria Cirino. IV. Dias, Everton Santos. V. Kobayashi, Josilaine Taeco.
VI. Série.

CDD (21. ed.) 333.91

Autores

Mariana Silveira Guerra Moura e Silva

Bióloga, doutora em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Artur Jordão de Magalhães Rosa

Zootecnista, doutor em Genética, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

Ana Maria Cirino Ruocco

Bióloga, doutora em Zoologia, bolsista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Everton Santos Dias

Biólogo, doutor em Entomologia, bolsista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Josilaine Taeco Kobayashi

Bióloga, mestre em Ecologia, auditora ambiental da AECOM do Brasil LTDA, Belo Horizonte, MG.

Apresentação

Considerada como símbolo de modernização e da habilidade humana em controlar e utilizar recursos da natureza, a construção de grandes represas no Brasil cresceu consideravelmente entre as décadas de 30 e 70. Cerca de metade das represas construídas tem a finalidade de acumular água para projetos de irrigação e acredita-se que estas contribuam com 12 a 16% da produção mundial de alimentos. Dentre as várias utilizações, a prática do cultivo de peixes em fazendas aquícolas vem se destacando por ser o setor que mais tem crescido em produção alimentar. No Brasil, a principal espécie de peixe cultivada em tanques-rede é a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Apesar da importância para a economia e qualidade de saúde da população, sabe-se que a prática da aquicultura gera conflitos de opiniões, principalmente em relação a aspectos ecológicos, no que diz respeito ao aprimoramento das técnicas de cultivo e sua estruturação. É sabido que uma parcela relativamente importante da ração é perdida, e grande parte da matéria orgânica fica disponibilizada no ecossistema aquático, tanto na coluna de água quanto depositada no sedimento, principal habitat da fauna bentônica.

Sendo assim, faz-se necessário o monitoramento da água, de modo que o impacto ambiental no entorno do ambiente de produção seja o menor possível. O acompanhamento de variáveis físicas e químicas da qualidade de água deve ser adaptado para o ambiente de produção aquícola, selecionando-se os parâmetros que tem influência direta da aquicultura. Além disso, o biomonitoramento tem grande potencial na avaliação da qualidade da água em reservatórios, conferindo uma maior robustez e perenidade na detecção

de alterações na qualidade da água, servindo também como alerta no caso de prevenção à mortandade de peixes cultivados.

Este documento apresenta as metodologias empregadas nos reservatórios de Ilha Solteira e Chavantes, para avaliação da qualidade da água e do sedimento em áreas aquícolas com tanques-rede. Tal pesquisa é parte do Projeto BRS Aqua, Plano de Ação “Protocolo de Biomonitoramento em reservatórios com atividade de aquicultura baseado em insetos aquáticos”, cujo objetivo final é a proposição de um protocolo de biomonitoramento para as áreas estudadas e está relacionado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS 6), meta 6.3: “Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo 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”.

Marcelo A. B. Morandi
Chefe-geral
Embrapa Meio Ambiente

Sumário

| | |
|--|----|
| Introdução..... | 10 |
| Avaliação da qualidade da água | 11 |
| O biomonitoramento | 11 |
| Onde amostrar | 13 |
| Quando amostrar | 15 |
| O que coletar e como proceder..... | 15 |
| Padrões de qualidade de água para criação de peixes | 15 |
| Métodos de coleta | 17 |
| Equipamentos para análise da água..... | 17 |
| Métodos de coleta – amostradores de sedimento | 18 |
| Amostrador com substrato artificial | 18 |
| Amostrador de fundo tipo draga..... | 19 |
| Amostras de sedimento..... | 20 |
| Acondicionamento de amostras e processamento em laboratório..... | 21 |
| Métricas biológicas e índices bióticos | 23 |
| Conclusões | 24 |
| Agradecimentos..... | 24 |
| Referências | 25 |

Introdução

Segundo o último balanço publicado em fevereiro de 2020 pela Associação Brasileira da Piscicultura - Peixe BR (2020), a aquicultura do País cresceu 4,9%, chegando a 758.006 toneladas, com receita de cerca de R\$ 5,6 bilhões por ano. De acordo com a mesma entidade, o crescimento acumulado da produção chega a 31% nos últimos seis anos, tornando o Brasil o 4º maior produtor de tilápia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) no mundo.

A piscicultura realizada em tanque-rede vem se expandindo no Brasil. Destaca-se o total de 140.952 toneladas de peixes produzidos em apenas dois dos reservatórios da União, Ilha Solteira (SP/MS) e Chavantes (SP/PR), no ano de 2019 (Peixe BR). As vantagens deste tipo de criação em relação aos viveiros escavados são: o menor custo de instalação, o aproveitamento de recursos hídricos já existentes (tais como lagos e represas), a baixa incidência de problemas, como o mau sabor indesejado da carne (off flavour), e a maior proteção contra predadores naturais (Ono; Kubitzka, 2003).

Entretanto, dentre os maiores desafios encontrados na aquicultura no Brasil estão o aumento da produção, aliado à redução de perdas e custos, além da diminuição dos impactos ambientais negativos que podem ser gerados por esta atividade.

Atualmente, a Embrapa, em parceria com universidades nacionais e internacionais, institutos federais e institutos de pesquisa, está investindo em monitoramento, pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias aliadas a Boas Práticas de Manejo (BPM) com o propósito de subsidiar as atividades de aquicultura no País. O objetivo é ajudar os aquicultores no aumento da produtividade, reduzindo perdas e custos de produção, além de auxiliar na implementação de práticas sustentáveis, evitando ou, ao menos, minimizando danos ambientais oriundos dessa atividade (Rotta; Queiroz, 2003; Souza et al., 2014). Na Embrapa Meio Ambiente (Jaguariúna, SP) o Projeto Componente “Manejo e Gestão Ambiental da Aquicultura”, desenvolvido no âmbito do Projeto BRS Aqua (Ações estruturantes para o fortalecimento da pesquisa, do desenvolvimento e da inovação em aquicultura na Embrapa), vem a ser um dos maiores projetos sobre aquicultura em andamento no Brasil, e que busca atender a alguns destes objetivos.

Avaliação da qualidade da água

Diante da crescente demanda de sustentabilidade econômica, ambiental e social, vários procedimentos para avaliar um conjunto de indicadores ambientais e no contexto da produção aquícola estão sendo validados e disponibilizados há muitos anos (Rotta; Queiroz, 2003).

Um dos fatores mais importantes, diretamente relacionado com o sucesso da produção, é a avaliação da qualidade da água onde os tanques-rede são instalados. Diversos métodos estão disponíveis para isso. Podemos citar como exemplo o uso de sondas multiparâmetros para mensurar fatores abióticos como pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos totais e turbidez; além da coleta de amostras de água para análises químicas para determinação de fósforo total, nitrogênio total e metais pesados; e também da identificação de organismos da biota aquática como indicadores da qualidade da água.

O biomonitoramento

A avaliação físico-química de qualidade de água realizada por sondas multiparâmetros, citada no item anterior, é bem conhecida, porém ela é limitada, pois reflete os parâmetros da condição físico-química da água no momento exato de amostragem. Assim, variações que podem ter acontecido ao longo do dia ou entre os dias de coleta não são mensuradas e avaliadas. Nesse sentido, quando as amostragens ocorrem semanalmente, quinzenalmente ou mensalmente, as variações da condição físico-química da qualidade da água nos intervalos entre os dias da coleta são perdidas.

Embora existam alguns recursos tecnológicos que nos permitem aferir os parâmetros físico-químicos da água com uma frequência maior (dataloggers que se acoplam a sondas) (Figueiredo; Green, 2019), esses aparatos tecnológicos ainda são caros e elevam os custos de monitoramento, o que dificulta sua aplicação em larga escala. Além disso, o uso de sondas está restrito, em sua maioria, a captar os parâmetros da superfície e da coluna d'água. Muitas vezes as sondas não conseguem mensurar os parâmetros do compartimento do sedimento de fundo dos reservatórios, onde se acumulam poluentes orgânicos e inorgânicos.

Eventualmente, esses poluentes podem ser ressuspensos para a coluna d'água, alterando sua qualidade e causando alterações na composição de espécies de organismos aquáticos, seja por meio do aumento da toxicidade, ou depleção de oxigênio dissolvido, o que pode levar à morte dos animais (Silva et al., 2016). No entanto, sem uso de equipamento de aferições contínuas essas informações deixam de ser mensuradas. Como o emprego de novas tecnologias para monitoramento contínuo ainda possui alto custo aos aquicultores, sugere-se a inclusão do compartimento bentônico para obtenção de um monitoramento satisfatório na avaliação da qualidade da água em reservatórios. Dessa forma, além de contribuímos com o conhecimento para a manutenção do equilíbrio ecológico do ecossistema aquático, auxiliaremos o piscicultor a aplicar métodos de baixo custo e de avaliação contínua para manter a boa qualidade de água, o que se refletirá na qualidade do peixe produzido.

Desde a década de 70, macroinvertebrados bentônicos vem sendo utilizados em programas de biomonitoramento de qualidade de água (Firehock; West, 1995). Os macroinvertebrados bentônicos são organismos que vivem no substrato do fundo de riachos, rios, lagos e lagoas, estando presentes em praticamente todos os ambientes aquáticos. A maior parte da diversidade é composta por insetos aquáticos (que desenvolvem ao menos um estágio da vida dentro da água), moluscos, anelídeos e crustáceos. Estes organismos são importantes componentes na cadeia trófica, além de alguns serem importantes agentes na decomposição foliar; também compõem a dieta de outros invertebrados e vários vertebrados, como os peixes. O uso desses organismos na avaliação da qualidade da água, o chamado biomonitoramento, consiste na avaliação da resposta de variáveis biológicas para monitorar mudanças no ambiente, geralmente causadas por ações humanas (Rosenberg; Resh, 1993; Buss et al., 2003).

O uso dos organismos bentônicos para biomonitoramento da qualidade de água é vantajoso, pois a amostragem e a análise qualitativa utilizam equipamentos simples e de baixo custo (em contraste com equipamentos automáticos para medição de parâmetros físico-químicos). A taxonomia (identificação dos organismos) é bem conhecida para alguns grupos e há muitos métodos de análise de dados disponíveis, sendo conhecidas as diferentes formas que os organismos respondem aos diversos tipos de poluentes e diversas asso-

ciações. Dentre as desvantagens, o método envolve uma estratégia de coleta relativamente exaustiva, e é necessário certa estrutura laboratorial e expertise técnica para identificação dos organismos, além da utilização de métodos estatísticos apropriados.

Os organismos considerados bioindicadores são categorizados pela sua sensibilidade ou tolerância à presença de variação de contaminação nos ambientes aquáticos (Bonada et al., 2006), apresentando alterações na abundância e comportamento, refletindo os efeitos do estresse ambiental (Barbour et al., 1996; Ferreira et al., 2011). É possível adequar o biomonitoramento a estudos experimentais com diferentes tipos de perturbações, pois esses organismos são amplamente distribuídos em todos os tipos de ambientes aquáticos, e os ciclos de vida longos permitem avaliar os efeitos de perturbações regulares ou intermitentes ao longo do tempo. Por outro lado, diferentes espécies respondem de maneira particular aos diversos poluentes (Rosenberg; Resh, 1993).

A proposta desse documento é descrever a metodologia de biomonitoramento empregada no projeto BRS Aqua, realizado em áreas de piscicultura em tanques-rede, localizados em reservatórios da União, com intuito de indicar uma padronização para outros monitoramentos de atividades no âmbito da aquicultura. Sendo assim, a seguir são abordados os tópicos: seleção de pontos, tipos de substrato, profundidade e equipamentos de coleta.

Onde amostrar?

Para selecionar os pontos de coleta é necessário que alguns fatores sejam avaliados criteriosamente, visto que o tipo de substrato atua na regulação e na abundância dos organismos aquáticos (Minshall; Minshall, 1977 citado por Kikuchi, 1996). Além disso, outras características devem ser observadas como: ambiente lântico (de águas paradas), ambientes lóticos (de água corrente), área litorânea (das margens) e na área pelágica (área aberta do ecossistema aquático; mais distante da margem), além dos braços dos rios (quando for o caso). Se o objetivo do estudo for a caracterização da fauna local, o ideal é que haja coletas em todos esses ambientes (lânticos e lóticos) e com diferentes tipos de substratos (rochoso, com cascalho, com areia, com folhiço), pois a fauna bentônica varia de acordo com as características desses microhabitats.

Uma das formas de se determinar os pontos de coleta para uma avaliação de impactos na qualidade da água em áreas de aquicultura está na divisão da malha amostral em pontos equidistantes, abrangendo a área total da produção, e a definição de, pelo menos, um ponto controle fora da área de influência da área de produção da piscicultura (Matos et al., 2019). No Projeto Protocolo de Biomonitoramento (Projeto BRS Aqua), o layout de amostragem foi centrado na área de produção aquícola, com pontos a montante da área de produção (um ponto com três pseudoréplicas, que correspondem a réplicas não independentes estatisticamente), pontos nas linhas de tanques-rede (dois pontos com três pseudoréplicas cada um) e pontos a jusante da área de produção (um ponto com três pseudoréplicas). Além destes pontos, foram estabelecidos dois pontos de coleta em rios de contribuição ao braço dos reservatórios de Ilha Solteira (SP/MS) e Chavantes (SP/PR), onde estão instaladas as pisciculturas (três pseudoréplicas em cada um dos pontos de rio) (Figura 1).



Imagem: Google Earth

Figura 1. Ilustração dos pontos de coleta, tendo o reservatório de Ilha Solteira – Rio Formoso como exemplo. Destaque para a área de produção (linhas de tanques-rede dentro do círculo vermelho). RF 1 – Rio Formoso 1; FM – Formoso montante; FT 1 – Formoso tanque 1; FT 2 – Formoso tanque 2; FJ – Formoso jusante; RF 2 – Rio Formoso

Quando amostrar?

A variação espacial e temporal observada na natureza pode dificultar a interpretação dos dados e comparações. A Cetesb (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) recomenda que as campanhas de coleta se concentrem no período seco para programas de monitoramento, já que as alterações relacionadas às chuvas podem atuar nos índices de maneira similar aos impactos antrópicos (Cetesb, 2012).

No caso do Projeto Protocolo de Biomonitoramento, as coletas foram feitas trimestralmente, ou seja, quatro vezes ao ano, por dois anos. A intenção foi coletar no início e fim dos períodos de seca e chuva, e o acompanhamento por dois anos justifica-se para evitar que algum ano atípico (por exemplo, verão seco como o ocorrido em 2014 na região da Ilha Solteira) possa influenciar a interpretação dos resultados obtidos pelo monitoramento realizado.

O que coletar e como proceder?

As coletas dos organismos e a mensuração dos parâmetros físico-químicos devem ser padronizadas. Nesse sentido, é ideal que protocolos sejam estabelecidos e seguidos rigorosamente para obter dados que possam ser comparados entre si (entre os diferentes locais de coleta na mesma campanha), com eventuais novas amostragens na mesma região. Isto também facilitaria a realização de uma possível metanálise “a posteriori”, ou seja, integração de resultados de dois ou mais estudos independentes, desenvolvidos em locais diferentes ou o mesmo local em períodos diferentes, com o objetivo de desenvolver um protocolo de monitoramento ainda mais robusto e aplicável a diversos ambientes (Čehovin et al., 2018; Johnston; Bauer, 2020).

Padrões de qualidade de água para criação de peixes

Kubitza (2003) afirma que a faixa ideal de temperatura para o cultivo de tilápias está entre 27 e 32 °C, e quanto ao oxigênio dissolvido, apesar de o ideal ser acima de 4 mg/L (Arana, 1997), a tilápia tolera concentrações abaixo deste valor (Kubitza, 2000; El-Sayed et al., 2008).

Boyd (2003) estabeleceu padrões de qualidade de água para prevenir impactos negativos dos efluentes da aquicultura nas águas a jusante. Boyd e Gautier (2000) estabeleceram faixas ideais para parâmetros de qualidade de água para criação de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). Tais faixas foram definidas considerando-se o bem estar do peixe e seu desenvolvimento ótimo. Dentre as variáveis físico-químicas com tais limites e/ou faixas, segue a tabela abaixo (Tabela 1):

Tabela 1. Variáveis de qualidade de água e suas faixas recomendadas para a criação de tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*).

| Variável | Faixa recomendada* |
|------------------------------------|--------------------|
| pH | 6,0 a 9,0 |
| Sólidos totais em suspensão (mg/L) | < 50,0 |
| Fósforo total (mg/L) | < 0,3 |
| Nitrogênio amoniacal total (mg/L) | < 3,0 |
| DBO ₅ (mg/L) | < 30 |
| Oxigênio dissolvido (mg/L) | > 5,0 |

* Recomendação da Global Aquaculture Alliance (Boyd; Gautier, 2000).

Além dos limites estabelecidos e apresentados na Tabela 1, no Brasil é também utilizada a Resolução Conama 357 – Classe 2 (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005), para nortear a qualidade da água a ser mantida no entorno da atividade aquícola. Esta Classe estabelece limites de variáveis físicas e químicas da água para usos da água, dentre eles a aquicultura. Assim, um empreendimento aquícola poderá devolver ao corpo hídrico águas de qualidade igual ou superior à Classe 2. A Classe 2 se refere a águas que podem ser destinadas, dentre outros usos, para a aquicultura e à proteção das comunidades aquícolas.

Métodos de coleta

Equipamentos para análise da água

Para a coleta de água utilizamos uma garrafa de Van Dorn (Figura 2A), nas regiões de superfície e profunda da coluna de água. Cada amostra foi vertida em um bêquer de 2 litros e em seguida uma fração foi retirada com uma seringa de 15 ml, imediatamente filtrada em filtro de acetato de celulose com malha de 0,45 micrômetros de abertura, acondicionada em tubo cônico tipo Falcon com capacidade para 15 ml, e mantida sob refrigeração para posterior análise de cátions e ânions no laboratório. As amostras foram então colocadas em tubos de 12 ml no equipamento de cromatografia líquida, e o volume de injeção de amostra foi de 20 μ L.

A transparência da água foi medida através do disco de Secchi (Figura 2B) e os demais parâmetros (oxigênio, pH, turbidez, condutividade, temperatura da água), foram obtidos através de um medidor multiparâmetros (Horiba® modelo U52) (Figura 2C). Os limites de detecção desse equipamento são os seguintes: temperatura (sensor platina) – 10 a 55 °C; pH (eletrodo de vidro) – 0 a 14 pH; oxigênio dissolvido (método polarográfico) – 0 a 50 mg/L; condutividade elétrica – 0,000 a 0,999 mS/cm; turbidez (led 30 *scattering* método) 0 a 800 NTU; e potencial de oxirredução – 2000 a 2000 mv.

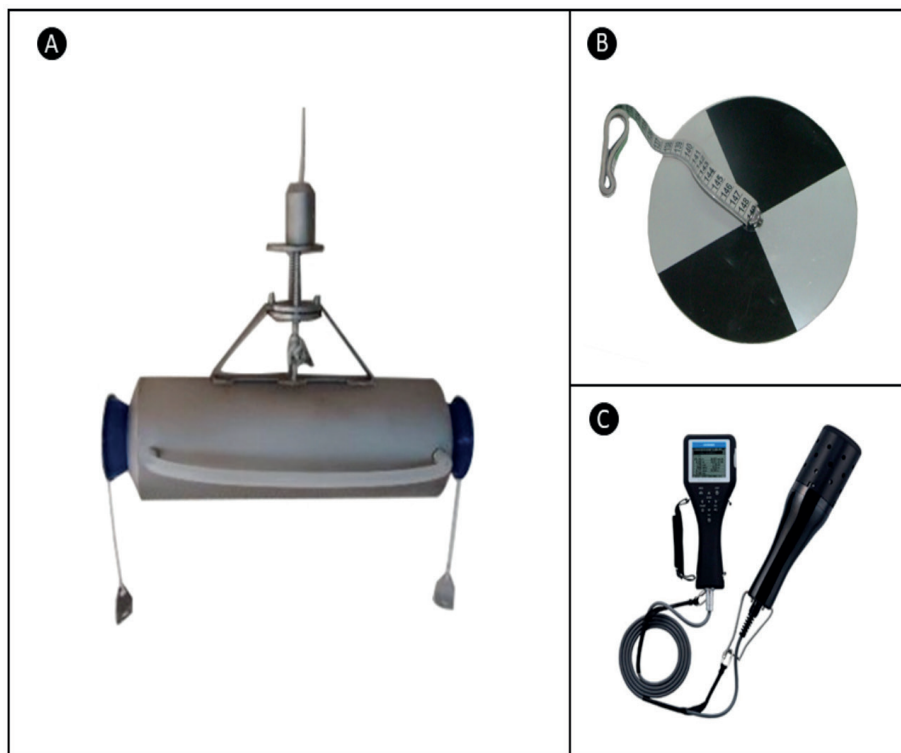
Imagens.: www.analyser.com.br

Figura 2. Equipamentos para análise da água. 2A. Garrafa de Van Dorn para amostragem de água (modificada de www.interjet.com.br); 2B: Disco de Secchi, para medição da transparência da água (modificada de www.lognature.com.br); 2C: Sonda multiparâmetros Horiba U52 (modificada de www.analyser.com.br).

Métodos de coleta – Amostradores de sedimento

1) Amostrador com substrato artificial: em geral utiliza-se materiais extraídos do próprio local, como pedras, folhas e galhos, ou externos ao local, como pedra brita, argila expandida, tijolos e bucha vegetal, colocadas dentro de uma espécie de cesto. A vantagem desse amostrador é a padronização do substrato e a possibilidade de colonização em locais de difícil acesso, tais como rios ou lagos profundos. A desvantagem reside no fato dos substratos serem mais propícios à colonização de alguns grupos de macroinvertebra-

dos; e uma outra desvantagem é o risco de vandalismo em áreas públicas. Um exemplo de coletor com substrato artificial utilizado em viveiros escavados com produção de tilápia é apresentado na Figura 3. No caso do projeto BRS Aqua, um dos objetivos era conhecer a fauna bentônica colonizadora do sedimento de fundo dos reservatórios. Para isso, foi utilizada a draga como coletora de sedimento natural, a fim de se evitar uma possível seletividade na amostragem dos organismos.



Fotos: Mariana Siveira G. M. Silva

Figura 3. Coletor com substrato artificial composto de folhas de taboa, pedras, bucha vegetal e brita, envoltos por saco de fruta de 5 kg.

2) Amostrador de fundo tipo Draga: é constituída por duas conchas metálicas (em aço inox) de tamanho variável com hastes flexionáveis por dobradiças através de duas barras cruzadas presas ao cabo de aço estendido até a embarcação. As conchas são lançadas abertas e presas por uma corda. Após o equipamento atingir o fundo (substrato dos rios profundos ou lagos) o mensageiro (peso preso na corda) é liberado e bate na trava da draga que funciona como gatilho para o fechamento desta, de modo que o material coletado fique preso dentro das conchas. Por fim, o equipamento é puxado de volta e o sedimento coletado é retirado e acondicionado em sacos ou potes plásticos. Esse método é o ideal para rios e lagos com elevada profundidade, devido à grande extensão do cabo usado para puxar a draga. Na Figura 4 são apresentados três tipos de draga: Draga de Ekman (B), Draga de Petersen (C) e Draga de Van Veen (D).

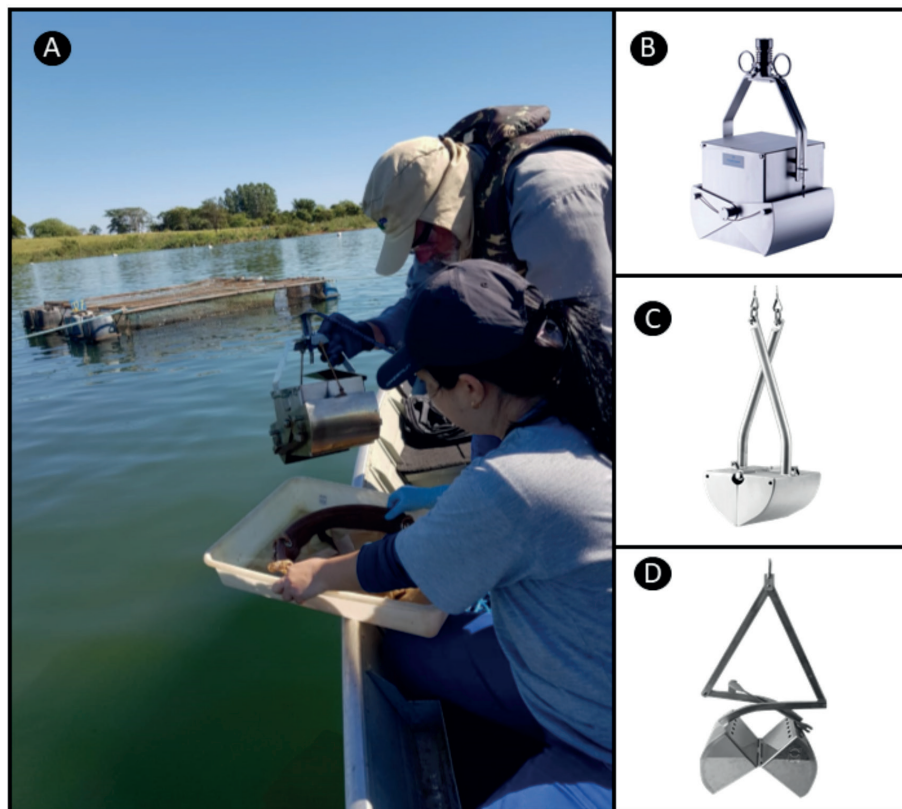


Foto A: Mariana Silveira G. M. Silva; Imagens B, C, D - didaticasp.com.br

Figura 4. Coleta de sedimento do fundo, onde A: Equipe da Embrapa Meio Ambiente realizando amostragem operando uma Draga de Ekman no Reservatório de Chavantes; B: Draga de Ekman; C: Draga de Van Veen; D: Draga de Petersen (imagens B e C modificadas de “indalo.com.es” e imagem D modificada de “didaticasp.com.br”).

Amostras de sedimento

No monitoramento dos reservatórios de Chavantes e Ilha Solteira, as amostragens de sedimento foram realizadas em réplicas para análise da comunidade zoobentônica, com o auxílio de uma draga de Ekman (área = 0,225 m²) (Figura 4B). Para estudos de biologia molecular e determinação de matéria orgânica, metais e granulometria, foi coletada em cada ponto de amostragem apenas uma amostra para cada estudo.

Em campo a amostra coletada foi imediatamente lavada em redes com abertura de malha 0,25 mm, acondicionadas em potes plásticos (500 ml) e preservadas em formol 4% (para análises da comunidade de zoobentos) ou álcool 96°GL (para análises de biologia molecular). As amostras obtidas para análises de matéria orgânica, metais e granulometria, assim que coletadas, foram diretamente acondicionadas em potes plásticos (1000 g), livres de peneiragem e fixação.

Acondicionamento de amostras e processamento em laboratório

O material coletado foi levado para análise em laboratórios da Embrapa Meio Ambiente (Jaguariúna, SP). No Laboratório de Ecossistemas Aquáticos (LEA), as amostras de sedimento para análise da comunidade zoobentônica foram novamente lavadas em peneira (malha = 0,25 mm), sendo substituído o formol 4% por álcool 80%. As amostras obtidas para análise de biologia molecular foram preservadas no refrigerador e posteriormente triadas.

Ambas as amostras de zoobentos e biologia molecular foram analisadas com o auxílio de um microscópio estereoscópico com aumento de até 80X, e os organismos identificados até o menor nível taxonômico possível, com auxílio de chaves taxonômicas. Existem chaves de identificação taxonômica conhecidas para cada grupo/táxon, e alguns dos caracteres morfológicos mais usados na identificação são: a morfologia da boca, a antena, e o formato das brânquias e das patas. No projeto, as chaves utilizadas foram: Simone (2006); Domínguez e Fernández (2009); Mugnai et al. (2010). Os macroinvertebrados bentônicos foram identificados ao menor nível taxonômico possível, sendo alguns grupos identificados ao nível de gênero (ex: família Chironomidae) (Figura 5).



Foto: Mariana Silveira G. M. Silva

Figura 5. Montagem de lâmina para identificação de gênero de Chironomidae (Diptera) em microscópio estereoscópico.

As amostras de água foram encaminhadas para o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (LBA) para a determinação da concentração de cátions e ânions no material dissolvido. O objetivo destas análises era avaliar a qualidade da água de superfície e a 10 m de profundidade, próximo ao sedimento de fundo, a fim de relacioná-la com a comunidade macrobentônica presente nos pontos de coleta. As amostras de água foram filtradas com uso de membrana filtrante de celulose com malha de $0,45 \mu\text{m}$, e colocadas em tubos Falcon de 15 ml. Após coleta das amostras em campo, estas foram mantidas em refrigeração e transportadas ao laboratório em caixas de isopor com gelo. Os íons foram determinados com equipamento de cromatografia líquida (Cromatógrafo de Íons, modelo 831, Metrohm), segundo o Método Técnico do LBA 004. Os limites de detecção para cátions, de acordo com a metodologia utilizada é de 50 ppb para lítio, sódio, amônio, potássio, cálcio e magnésio; para os ânions, os limites de detecção são de 10 ppb para fluoreto, cloreto, nitrito, brometo, nitrato e sulfato; e de 30 ppb para fosfato.

As amostras de sedimento foram encaminhadas ao Laboratório de Qualidade de Solo (LQS) para determinação de granulometria (porcentagem de areia, argila e silte) (Claessen et al., 1997; Camargo et al., 2009), bem como teores de matéria orgânica, e ao Laboratório Central Analítica Inorgânica para determinação de metais, segundo o método 3051 da agência ambiental dos Estados Unidos (US EPA), que utiliza um método de extração por microondas, e é projetado para simular a extração usando aquecimento convencional com ácido nítrico (HNO_3), ou alternativamente, ácido nítrico e ácido clorídrico (HCl) (Estados Unidos, 2007). O objetivo destas análises era avaliar a qualidade do sedimento a 10 m de profundidade, de modo a relacionar as características físicas e químicas do sedimento com a comunidade macrobentônica. Os limites de detecção para metais/íons no sedimento (expressos em mg/L, medidos na solução de leitura) são: P = 0,004; K = 0,001; Cu = 0,0024; Cd = 0,0013; Ni = 0,0005, sendo o limite de quantificação (LQ) a menor concentração da substância em exame que pode ser medida, utilizando um determinado procedimento experimental (Atomic..., 1995).

Métricas biológicas e índices bióticos

A qualidade da água e do sedimento também pode ser avaliada através de medidas biológicas, por meio da avaliação da estrutura da comunidade biológica instalada nesses compartimentos do ecossistema aquático. Deste modo, faz-se um balanço das espécies colonizadoras, qualificando e quantificando os espécimes coletados. Em caso de impacto ou desequilíbrio ecológico, espécies tolerantes predominam e aumentam em abundância; já as espécies sensíveis diminuem de número. No caso da comunidade macrobentônica, existem métricas que fazem a proporção entre grupos sensíveis e tolerantes. Por exemplo: Tanitarsini/Chironomidae (usa dados de densidade destes dois grupos, sendo que a tribo Tanitarsini é mais sensível em relação aos outros Chironomidae); riqueza de táxons sensíveis (utiliza o número de táxons sensíveis comparativamente entre os locais de coleta); índices bióticos, como por exemplo Shannon-Wiener (H') que calcula a diversidade biológica em uma amostra; equitabilidade (por ex: Pielou) que calcula a equidade de táxons em uma amostra. Algumas destas medidas são utilizadas pela Cetesb para qualificar as águas de reservatórios de abastecimento (Cetesb, 2012). No caso dos índices bióticos, são atribuídos scores ou pontos que depois se

somam para resultar na classificação final, em uma faixa de qualidade de água que pode ir de ruim a muito boa.

No caso do presente estudo, as métricas usadas foram: riqueza taxonômica (número de táxons presentes na amostra), diversidade de Shannon-Wiener, equitabilidade de Pielou e densidade de organismos (número de espécimes presentes na amostra por unidade de área/volume do amostrador). A comparação para avaliar a qualidade da água será entre os pontos de rio (considerado o “branco” ou área sem interferência da aquicultura) e a região de produção de tilápias (pontos de montante, tanque e jusante).

Conclusões

A expansão da aquicultura brasileira em reservatórios da União vem gerando emprego e renda; porém seu desenvolvimento deve ser conduzido de maneira sustentável. Para tanto, é necessário que haja monitoramento da qualidade da água e do ecossistema aquático de modo geral. O biomonitoramento vem a atender e complementar as análises por variáveis físicas e químicas de qualidade de água, na medida em que contempla o sedimento de fundo dos reservatórios em sua análise. Este compartimento frequentemente acumula e deposita diferentes tipos de poluentes, provenientes ou não do sistema de produção aquícola.

O monitoramento da qualidade da água e do sedimento deve seguir protocolos padronizados de coleta e processamento de amostras, para subsídio a políticas públicas na área de meio ambiente, bem como para comparação entre diferentes áreas de produção aquícola, de maneira que a atividade se mantenha e prospere junto com a boa condição ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos produtores Sandro More - Piscicultura More, e Michael Itagaki - Piscicultura Puro Peixe, pelo acolhimento e por permitir a realização deste trabalho em suas propriedades. Ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), à Secretaria de Aquicultura e Pesca (SAP) do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento do Brasil

(Mapa), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) pelo apoio financeiro ao projeto “Ações estruturantes e inovação para fortalecimento das cadeias produtivas da Aquicultura no Brasil” (BRS Aqua).

Referências

- ARANA, L. V. **Princípios químicos de qualidade da água em aquicultura**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1997. 166 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. **Associação Brasileira de Piscicultura**: Peixe Br. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/>. Acesso em: 1 jul. 2020.
- ATOMIC spectroscopy detection limits. In. PERKINELMER. **Atomic spectroscopy**: a guide to selecting the appropriate technique and system. 2013. Disponível em: https://www.perkinelmer.com/PDFs/Downloads/BRO_WorldLeaderAAICPMSICPMS.pdf. Acesso em: 1 jul 2020.
- BARBOUR, M. T.; GERRITSEN, J.; GRIFFITH, G. E.; FRYDENBORG, R.; MCCARRON, E.; WHITE, J. S.; BASTIAN, M. L. A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 15, n. 2, p. 185-211, 1996.
- BONADA, N.; PRAT, N.; VINCENT H.; RESH, V. H.; STATZNER, B. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. **Annual Review of Entomology**, v. 51, p. 495-523, 2006.
- BOYD, C. E. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. **Aquaculture**, v. 226, p. 101-112, 2003.
- BOYD, C.; GAUTIER, D. Effluent composition and water quality standards. **Global Aquaculture Advocate**, v. 3, p. 61-66, 2000.
- BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, n. 2, p. 465-473, 2003.
- CAMARGO, O. A. de; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos**. Campinas: IAC, 2009. 77 p. (Boletim Técnico IAC, 106).
- ČEHOVIN, G.; BOSNJAK, M.; MANFREDA, K. L. Meta-analyses in survey methodology: a systematic review. **Public Opinion Quarterly**, v. 82, n. 4, p. 641-660, 2018.
- CETESB. **Protocolo para o biomonitoramento com as comunidades bentônicas de rios e reservatórios do estado de São Paulo**. São Paulo, 2012. 133 p.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPq. Documentos, 1).
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 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 mar. 2005. Seção 1, p. 58.

DOMÍNGUEZ, E.; FERNÁNDEZ, H. R. **Macroinvertebrados bentônicos sudamericanos: sistemática y biología**. Tucumán: Fundación Miguel Lillo, 2009. 656 p.

EL-SAYED, A. L-F. M.; KAWANNA, M. Optimum water temperature boosts the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared in a recycling system. **Aquaculture Research**, v. 39, p. 670-672, 2008.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Method 3051A**: microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 2007. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>. Acesso em: 23 set. 2020.

FERREIRA, W. R.; PAIVA, L. T.; CALLISTO, M. Development of a benthic multimetric index for biomonitoring of a neotropical watershed. **Brazilian Journal of Biology**, v.71, n.1, p. 15-25, 2011.

FIGUEIREDO, R. de O.; GREEN, T. R. **A conservação de bacias e os desafios para a sustentabilidade da agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019. 19 p. il. color. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 120).

FIREHOCK, K.; WEST, J. A brief history of volunteer biological water monitoring using macroinvertebrates. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 14, n. 1, p. 197-202, 1995.

JOHNSTON, R. J.; BAUER, D. M. Using meta-analysis for large-scale ecosystem service valuation: progress, prospects, and challenges. **Agricultural and Resource Economics Review**, v. 49, n. 1, p. 23-63, 2020.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí: Acqua & Imagem, 2000. 316 p.

KUBITZA, F. **Qualidade de água no cultivo de peixes e camarões**. Jundiaí: Acqua & Imagem, 2003. 229 p.

KIKUCHI, R. M. **Composição e distribuição das comunidades animais em um curso de água corrente (Córrego Itaúna, Itatinga-SP)**. 1996. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.

MATOS, F. T.; ROSANOVA, C.; BUENO, G. W.; PINHO, E.; HONDA, R. T.; AKAMA, A. Avaliação do índice de estado trófico como ferramenta para o monitoramento de atividades aquícolas em reservatórios continentais. In: SAMPAIO, F. G.; SILVA, C. M. da; TORIGOI, R. H.; MIGNANI, L.; PACKER, A. P. C.; MANZATTO, C. V.; SILVA, J. L. da. (Ed.). **Estratégias de monitoramento ambiental da aquicultura: portfólio de resultados do monitoramento ambiental da aquicultura em águas da União**. São Paulo: Instituto de Pesca: APTA, 2019. p. 31-32.

MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de identificação de macroinvertebrados do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Technical Books, 2010. 176 p.

ONO, E.; KUBITZA, F. **Cultivo de peixes em tanques-rede**. 3. ed. Jundiaí: Acqua & Imagem, 2003. 112 p.

ROSENBERG, D. M.; RESH, V. H. **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates**. New York: Chapman and Hall, 1993. 488 p.

ROTTA, M. A.; QUEIROZ, J. F. de. **Boas práticas de manejo (BPMs) para a produção de peixes em tanques-redes**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 27 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 47).

SILVA, M. S. G. M. e; GRACIANO, T. S.; LOSEKANN, M. E.; LUIZ, A. J. B. Assessment of benthic macroinvertebrates at Nile tilapia production using artificial substrate samplers. **Brazilian Journal of Biology**, v. 76, n. 3, p. 735-742, 2016.

SIMONE, L. R. L. **Land and freshwater molluscs of Brazil**. São Paulo: Fapesp, 2009. 390 p.

SOUZA, G. da S.; ALVES, E. R. de A.; GARAGORRY, F. E. Parcerias de sucesso entre a EMBRAPA e instituições de excelência na pesquisa em métodos quantitativos. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 31, n. 1, p. 61-75, 2014.

Embrapa

Meio Ambiente

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL