

# Monitoramento e gestão ambiental da piscicultura em tanques-rede em reservatórios

*Fernanda Garcia Sampaio<sup>1</sup>*  
*Marcos Eliseu Losekann<sup>2</sup>*  
*Alfredo José Barreto Luiz<sup>3</sup>*  
*Marcos Corrêa Neves<sup>4</sup>*  
*Célia Maria Dória Frasca-Scorvo<sup>5</sup>*  
*Geraldo Stachetti Rodrigues<sup>6</sup>*

Resumo - A estratégia mais adequada e eficiente para manter o ritmo atual de crescimento da aquicultura no Brasil é a adoção de sistemas de produção mais competitivos e sustentáveis. Dessa forma, a aquisição de dados em alta frequência temporal e a descoberta de possíveis relações entre os parâmetros ambientais e os sistemas de produção de peixes em tanques-rede podem-se tornar ferramentas para a melhoria da gestão dos empreendimentos, diminuindo possíveis impactos ambientais. Apresentam-se ferramentas já consolidadas em outras cadeias de produção e sua adaptação ao monitoramento ambiental da aquicultura em reservatórios. Geotecnologias, como imagens de satélite e Sistema de Informações Geográficas (SIG) estão sendo utilizadas para estudar a relação entre a qualidade da água no sistema aquícola e as condições do seu entorno. Nesse sentido, aspectos de uso e ocupação do solo, manejo dos sistemas agropecuários e condições meteorológicas e de relevo estão sendo avaliados com vistas a compreender sua influência no sistema de produção de peixes em tanques-rede. Assim, métodos quantitativos de análises dos dados, incluindo modelos matemáticos, serão aplicados na busca de melhor compreensão sistêmica dos processos biogeoquímicos diretamente envolvidos com a produção de peixes em tanques-rede. Apresenta-se ainda a adequação de um procedimento integrado para avaliar os impactos, verificar as Boas Práticas de Manejo (BPM) e a gestão ambiental da aquicultura. As ferramentas apresentadas são parte de um projeto em execução. Espera-se que os avanços e os resultados obtidos possam subsidiar, com bases científicas e tecnológicas, a elaboração de políticas públicas e estratégias de gestão, e fazer parte de processos de monitoramento, prevenção e redução de impactos ambientais.

Palavras-chave: Aquicultura. Parque aquícola. Meio ambiente. Qualidade da água. Sustentabilidade.

## INTRODUÇÃO

A produção mundial de peixes apresentou crescimento extremamente acentuado nos últimos anos, consolidando-se como um setor de grande importância econômica

e participando de maneira significativa no suprimento das necessidades proteicas da humanidade. Em 2009, a produção aquícola global foi de, aproximadamente, 55 milhões de toneladas, contribuindo significativa-

mente para a produção de pescado mundial (FAO, 2010). A representatividade mundial, somada à importância estratégica da aquicultura no campo da segurança alimentar, aponta para um futuro promissor do setor.

<sup>1</sup>Zootecnista, D.Sc., Pesq. EMBRAPA Meio Ambiente, Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna -SP. Correio eletrônico: fernanda.sampaio@embrapa.br

<sup>2</sup>Zootecnista, M.Sc., Pesq. EMBRAPA Meio Ambiente, Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna-SP. Correio eletrônico: marcos.losekann@embrapa.br

<sup>3</sup>Eng<sup>a</sup> Agr<sup>o</sup>, Pós-Doc, Pesq. EMBRAPA Meio Ambiente, Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna-SP. Correio eletrônico: alfredo.lui@embrapa.br

<sup>4</sup>Eng<sup>a</sup> Eletricista, D.Sc., Pesq. EMBRAPA Meio Ambiente, Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna-SP. Correio eletrônico: marcos.neves@embrapa.br

<sup>5</sup>Zootecnista, M.Sc., Pesq. APTA - Polo Regional do Leste Paulista, Caixa Postal 1, CEP 13910-000 Monte Alegre do Sul-SP. Correio eletrônico: cfrasca@apta.sp.gov.br

<sup>6</sup>Ecólogo, Pós-Doc, Pesq. EMBRAPA Meio Ambiente, Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna-SP. Correio eletrônico: geraldo.stachetti@embrapa.br

O Brasil, com suas características indiscutivelmente favoráveis e tantas vezes propaladas, trilhou caminhos semelhantes. Com as atuais políticas públicas voltadas ao setor pesqueiro e aquícola, o País atingiu em 2010 a marca de 1.264.765 t de produção de pescado, sendo que 479 mil toneladas foram provenientes da aquicultura e, destas, 394 mil toneladas oriundas somente da aquicultura continental (BRASIL, 2012). Paralelo ao desenvolvimento e à intensificação da aquicultura, cresce a necessidade de monitoramento dos recursos hídricos, visando a melhora nos processos de gestão e acompanhamento dos procedimentos efetivados, o que se traduziria ainda em contribuição ao processo de licenciamento e adequação ambiental. Apesar de a aquicultura ser uma atividade produtiva que utiliza os recursos hídricos, ao contrário de outras atividades agropecuárias e industriais, colabora com sistemas de controle de qualidade da água por necessitar de monitoramento (TIAGO; GIANESELLA, 2002). Estes autores salientam ainda que a adoção de práticas responsáveis de administração e de BPM deve ser sempre considerada, na busca por instrumentos de gestão do recurso hídrico. Instrumentos de gestão que consideram os aspectos contidos em códigos de conduta técnica e empresarial, responsáveis com o meio ambiente e a sociedade, além de contemplar aspectos técnicos voltados à economicidade, contribuem para o desenvolvimento sustentável.

Políticas públicas como a de cessão de águas da União, embasada no Decreto nº 4.895, de 25 de novembro de 2003 (BRASIL, 2003), que dispõe sobre a autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água para fins de aquicultura, podem ser consideradas instrumentos que mais contribuem para o desenvolvimento da piscicultura em tanques-rede instalados em reservatórios. Nesse sentido, o desenvolvimento de um arcabouço legal tornou viável a instalação de sistemas produtivos em águas públicas federais. Este arcabouço é caracterizado por estudos que contemplam diretrizes sociais,

econômicas e ambientais, levando em consideração a capacidade de suporte do corpo hídrico, sendo, posteriormente, demarcadas as áreas favoráveis ao cultivo em tanques-rede.

Seguindo esta orientação, o Reservatório de Furnas foi objeto de estudo técnico-científico para delimitação de parques aquícolas nos anos de 2006 e 2007. Os estudos realizados pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) resultaram na demarcação de áreas propícias para a produção de peixes em tanques-rede, e os dados resultantes deste trabalho foram compilados no relatório de identificação de áreas tecnicamente adequadas para a instalação de parques aquícolas (MINAS GERAIS, 2007). Além dos dados levantados durante os estudos, o documento aponta o monitoramento limnológico como principal ferramenta para garantir a manutenção da aquicultura no Reservatório. Salienta, ainda, o uso dos dados limnológicos como ferramenta importante para quantificar diversos impactos ligados a uma eventual não conformidade dos níveis operacionais com a capacidade de suporte estimada.

Com o intuito de atender à legislação vigente, é necessário informar quais medidas poderão ser tomadas para manutenção dos padrões de qualidade da água estabelecidos pela Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005), que impõe limites para os parâmetros físico-químicos e teores de substâncias potencialmente prejudiciais para cursos d'água destinados à aquicultura.

Fernandes et al. (2001), ao discursarem sobre os princípios fundamentais para o monitoramento dos impactos ambientais da aquicultura, apontam para a importância das bases científicas para subsidiar o desenvolvimento de programas de monitoramento. A Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2009), sobre o monitoramento ambiental da aquicultura, aponta que o monitoramento sem uma política efetiva de gestão ambiental pode-se tornar uma ferramenta inútil, elevando a burocracia para o desenvolvimento do setor, servindo, em alguns

casos como barreira comercial.

Nesse sentido, um dos grandes questionamentos sobre a sustentabilidade da aquicultura é a falta de métodos para compreender seus possíveis impactos ambientais (BOYD et al., 2003). Além disso, o monitoramento de parâmetros limnológicos essenciais à produção aquícola tem sido realizado com coletas espaçadas no tempo por dias ou semanas, o que não permite o acompanhamento detalhado das variações desses parâmetros em intervalos menores, de horas ou minutos, cuja ocorrência já pode ser detectada (NOVO et al., 2006; ALCÂNTARA, 2007; MAGINA et al., 2009; ALCÂNTARA; NOVO; STECH, 2011; LOPES; MAGINA; ALVES, 2011).

Desse modo, para diminuir as preocupações ambientais é necessário desenvolver um conjunto mínimo de indicadores de importante representação para o monitoramento ambiental da aquicultura brasileira, o qual possa servir de base para a construção de um plano de monitoramento e gestão ambiental. Dentre as recomendações para conseguir um desenvolvimento sustentável da aquicultura, destacam-se o aumento e a melhoria das ferramentas de monitoramento, incluindo mecanismos de medições contínuas das condições ambientais, tais como temperatura, pH, turbidez e oxigênio dissolvido (OD), o que possibilita aos produtores responderem rapidamente às condições desfavoráveis e tomarem medidas que possam ser decisivas para o sucesso da atividade. Portanto, além de cumprir as exigências legais, o monitoramento é ainda uma ação de grande interesse para o produtor aquícola, uma vez que permitirá maximizar sua produção por meio de uma melhoria na sua gestão, reafirmando seu compromisso com a qualidade ambiental.

Ainda não existe um conjunto mínimo de indicadores, o qual possibilite o monitoramento ambiental da aquicultura, de forma efetiva, objetiva e economicamente viável. A identificação e a seleção de indicadores que possam ser associados ao manejo da aquicultura também resultariam em ferramentas de gestão e de adequação

nas práticas adotadas, promovendo o desenvolvimento da aquicultura como atividade produtiva sustentável no País.

Portanto, para o atendimento dos parâmetros de qualidade da água destinada à aquicultura, o monitoramento contínuo em alta frequência de variáveis físico-químicas e biológicas de qualidade da água, associado a outras técnicas de monitoramento que se baseiem no desempenho zootécnico, na avaliação de biomarcadores fisiológicos e na dinâmica de contaminantes nos diferentes sistemas, pode contribuir para um efetivo controle e gestão ambiental dos empreendimentos aquícolas.

Segundo Boyd et al. (2008), existem diversos conflitos possíveis entre aquicultura e outras atividades humanas, dentre estas destaca-se a ocupação urbana e agrícola do solo nas proximidades ou em competição com a aquicultura. Outro conflito, especificamente citado por esses autores, é com relação ao uso de agrotóxicos nas lavouras próximas aos reservatórios, onde se desenvolve a produção aquícola, como possível causa de mortalidade dos peixes. Andreu-Sánchez et al. (2012) levantam o aspecto da importância de conhecer bem as atividades agrícolas desenvolvidas em regiões próximas às áreas de produção aquícola, especialmente os produtos químicos utilizados, de forma que estabeleçam estratégias de segurança que, diante dos mecanismos de absorção de agrotóxicos pelos peixes, previnam sua contaminação. As imagens obtidas por sensores a bordo de satélites permitem, além desse monitoramento do uso do solo no entorno das áreas de produção aquícola, o resgate de alguns parâmetros dos corpos d'água. Isso se obtém via sensores específicos para dados relacionados com a qualidade da água, inclusive com possibilidade de coleta em alta intensidade de amostras no tempo. Essa oportunidade para a tomada de decisões, no que se refere ao uso das águas, está-se tornando viável, uma vez que os sensores e estações automáticas oferecem hoje uma enorme gama de opções

de parâmetros que podem ser investigados, tais como: temperatura, condutividade, turbidez e pH (REIS, 2005).

Em função das questões anteriormente mencionadas, está em execução o Projeto "Desenvolvimento de Sistema de Monitoramento para Gestão Ambiental da Aquicultura no Reservatório de Furnas, MG – suporte para a consolidação de indicadores para o plano de monitoramento e gestão ambiental da aquicultura", com o objetivo geral de desenvolver um modelo para monitoramento e avaliação de impactos na criação de peixes em tanques-rede, assim como a adoção de BPM para a gestão ambiental de parques aquícolas.

## FERRAMENTAS

### Monitoramento em alta frequência

A aquisição de dados realizados em campanha de campo convencional é, muitas vezes, insuficiente para detectar variações nos ecossistemas aquáticos, impossibilitando a compreensão de fenômenos e estudos conclusivos. Além disso, o monitoramento de variáveis em campo pode-se tornar ineficiente em função da frequência necessária e dimensões da área investigada (LIMA et al., 2006). Uma alternativa é o monitoramento contínuo efetuado por plataformas automáticas de coleta de dados (PCD). Estes sistemas são formados por um coletor de dados e conjuntos de sensores e fonte de energia (bateria elétrica e painel solar). A memória de armazenamento do coletor de dados registra as medidas dos sensores em uma frequência predeterminada. Nos sistemas PCD mais simples, os registros armazenados são transferidos do sistema por leitura da memória do coletor de dados em operações periódicas efetuadas localmente. Também existem sistemas que incorporam a capacidade de transmissão de dados, usando rádio, a estrutura da telefonia celular ou mesmo satélites orbitais. Parâmetros mais comuns de qualidade das

águas medidos pelas PCD são: pH, OD, condutividade, clorofila, turbidez e temperatura. Os sensores podem ser individuais ou combinados (sondas multiparâmetros).

As PCD têm sido usadas para estudos em ambientes aquáticos em vários locais do País, coletando dados em alta frequência. Novo et al. (2009) utilizaram dados de concentração de clorofila, coletados diariamente durante um ano, para correlacionar com informação de imagens de satélite (índice de vegetação normalizado), para o Reservatório do Funil (Resende, RJ), obtendo bons resultados. Alcântara (2007) combinou o uso do monitoramento em alta frequência oferecido por uma PCD com a análise espaço-temporal oferecida pelas imagens do sensor MODIS para estudar o fluxo de sedimentos na planície de inundação de Curuaí, na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas. A Agência Nacional de Águas (ANA) vem realizando monitoramento hidrometeorológico em 283 estações com capacidade de telemetria em sua rede de coleta de dados usando o enlace por satélites, que visam o monitoramento em tempo real e a disponibilização de dados<sup>7</sup>.

Para fins do monitoramento da aquicultura, a coleta de dados em alta frequência, de características físicas, químicas e biológicas da água que afetam diretamente a criação de peixes, é fundamental para o aumento da eficiência, avaliação de riscos da atividade e compreensão das inter-relações entre a produção e o ambiente. Muitos eventos de variação temporal rápida correm o risco de ser ignorados em esquemas amostrais com períodos longos entre as coletas, impossibilitando associações entre causas e efeitos. A coleta da temperatura local, da água e do ar, de forma contínua por uma PCD, por exemplo, permite por meio de ferramentas estatísticas avaliar o risco para a atividade, associando as informações de alta frequência com dados de séries históricas de temperatura do ar de estações meteorológicas próximas, contribuindo, assim, para o planejamento de um sistema produtivo adequado.

<sup>7</sup>Consultar o site: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/redehidro.aspx>

Uma ferramenta que será testada durante a execução do projeto é o uso do Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental (Sima). O Sima foi desenvolvido por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e instituições parceiras. Trata-se de uma PCD autônoma que fica fundeada, registrando medidas limnológicas e meteorológicas em alta frequência, com enlace por satélite, para transmissão dos registros. Ao conhecer os excelentes resultados obtidos com o uso deste sistema no monitoramento dos recursos hídricos, propõe-se agora adaptá-lo ao monitoramento ambiental da aquicultura. E, considerando a obrigatoriedade de monitoramento, é evidente a importância desta ferramenta para a gestão dos empreendimentos aquícolas. Acrescenta-se ainda que ferramentas computacionais que disponibilizem o acesso dinâmico on-line via Web à informação atualizada e aos métodos de baixo custo, trariam ao produtor uma forma fácil e rápida de verificar, em um único local, se suas práticas atuais atendem às BPM. Assim, faz-se possível aperfeiçoar outras ferramentas de monitoramento e efetivá-las em função da alta frequência de dados monitorados pelo Sima.

Para uso do Sima, com o objetivo de monitorar a aquicultura em tanque-rede em reservatórios, além do uso da plataforma principal que coleta dados meteorológicos e limnológicos, foi proposta a adaptação de PCD adjacentes, mais simples, que colem os dados limnológicos com sonda multiparâmetros e a temperatura da água em diferentes profundidades. Este arranjo de PCD permite ampliar a cobertura espacial do monitoramento para uma área e investigar a variabilidade espacial de parâmetros. O conjunto de PCD será fundeado e operado em uma área do Reservatório de Furnas selecionada pela equipe do Projeto.

Inicialmente, deverá ser delimitada a área objeto de estudo com base em parâmetros socioeconômicos, ambientais e produtivos. Durante o ano de 2012, a equipe do Projeto percorreu todo o perímetro do Reservatório de Furnas, realizando campanhas de campo para diagnóstico da

piscicultura. A execução desta etapa foi coordenada por pesquisadores da EPAMIG e da Embrapa Meio Ambiente. Dentre as atividades executadas foram georreferenciados os produtores e amostrada a qualidade limnológica do empreendimento com uso de sonda multiparâmetro. Também foram coletados dados de quantidade e tamanho dos tanques-rede, número de produtores, espécie cultivada, acesso ao local, possíveis conflitos de uso da água, outras atividades desenvolvidas pelo produtor e principais atividades agrícolas do entorno (Fig. 1).

Após compreender a distribuição atual dos produtores ao longo do Reservatório foram definidos os principais atributos a ser considerados para o local exato de fundeio do Sima e posterior monitoramento do local de produção selecionado. Os atributos foram definidos no I Workshop do Projeto realizado na Embrapa Meio Ambiente, no mês de novembro de 2012. Participaram do Workshop representantes do MPA, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (Emater-MG), EPAMIG, UFMG, Inpe, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta) - Polo Regional Leste Paulista, Embrapa Meio Ambiente e Associação de Produtores de Capitólio,

MG. Os atributos definidos foram: número e tamanho dos tanques-rede/biomassa, proximidade a parques aquícolas, número de produtores, características limnológicas, acesso e infraestrutura local, distribuição espacial dos tanques-rede e influência do entorno. Com base nestas características, duas regiões propícias ao fundeio do Sima foram pré-selecionadas no entorno dos Parques Guapé I e IV, no Rio Grande, no município de Guapé e no entorno dos Parques Sapucaí I, II e III, no Rio Sapucaí, próximo aos municípios de Carmo do Rio Claro e São José da Barra, MG. Para escolha definitiva da área será necessária uma visita in loco para confirmação das características selecionadas, avaliação da viabilidade de fundeio e verificação dos mapas de hidrodinâmica nos braços selecionados.

### Sistema de Informações Geográficas

Uma definição recorrente para Sistema de Informações Geográficas (SIG) em publicações relacionadas com o assunto foi apresentada por Burrough (1986): “conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real”. Câmara e Medeiros (1998), a partir da



Fernanda Garcia Sampaio

Figuras 1 - Produtores de tilápia do Nilo em tanques-rede no Reservatório de Furnas, próximo aos municípios de Carmo do Rio Claro e São José da Barra, MG

análise de vários conceitos de SIG, indicam que as principais características desse sistema são:

- integrar, numa base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- oferecer mecanismos para combinar as várias informações, por meio de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

A Figura 2 mostra dois exemplos de aplicação de SIG com dados para o Reservatório de Furnas. Na Figura 2A, aparece os limites das duas sub-bacias que alimentam o Reservatório. Esses limites foram estabelecidos a partir de processamento de um modelo digital de elevação para a área. Na Figura 2B aparece uma combinação de informações. A linha em azul representa o limite da lâmina d'água do Reservatório de Furnas. Os polígonos em azul representam as áreas de influência de parques aquícolas. Os símbolos + em vermelho representam a localização de aquicultores. Dez linhas fechadas na cor preta, espaçadas de 500 m,

foram plotadas para auxiliar na avaliação da distância entre os produtores e os limites do Parque Aquícola Sapucaí I.

### Monitoramento da água por sensoriamento remoto

Medidas feitas *in situ*, sejam por amostras coletadas em campanhas de campo, sejam registradas continuamente por uma PCD, são muito importantes, mas frequentemente não existem pontos de observações suficientes para estudos mais específicos e que envolvam grandes extensões de área. Uma alternativa para levantar dados de qualidade da água que cobre extensas áreas é a utilização de informações complementares, derivadas do sensoriamento remoto, tanto por plataformas orbitais quanto por aerotransportadas.

As características das imagens de sensoriamento remoto oferecem possibilidades interessantes para o monitoramento de corpos d'água. Hellweger et al. (2007) dizem que o uso de imagens de satélite para a estimativa da qualidade da água oferece três vantagens significativas sobre a amostragem *in situ*. Como primeira vantagem têm-se as imagens de satélite que oferecem uma cobertura espacial contínua e permite estimativas sinóticas, em grandes áreas. A segunda vantagem é a cobertura global de

satélites que permite avaliar a qualidade da água em áreas remotas e inacessíveis. A terceira vantagem são os registros temporais que formam um banco com imagens históricas (dados disponíveis a partir da década de 1970). Pode-se acrescentar a esta lista, a vantagem do custo, já que séries históricas de alguns satélites estão disponíveis na internet, livremente. Existem também desvantagens significativas de estimativas realizadas com informações de satélite. Em primeiro lugar, a capacidade de distinguir entre os vários constituintes da água é limitada. Segundo, a profundidade de amostragem é restrita a uma camada superficial, variando de acordo com a clareza da água. Em terceiro lugar, as resoluções espacial e temporal podem ser inadequadas e não são controláveis.

A resposta espectral da água à radiação incidente é função dos constituintes orgânicos e inorgânicos (JENSEN, 2000). A água pura apresenta uma resposta espectral baixa, para os comprimentos de onda entre 400 e 500 nm, a reflectância é de 5%, aproximadamente, e vai decrescendo até atingir 1% por volta de 700 nm (GALO et al., 2002). A presença de sedimentos inorgânicos eleva a reflectância da água, em função da quantidade e do tipo de material em suspensão. A elevação é mais

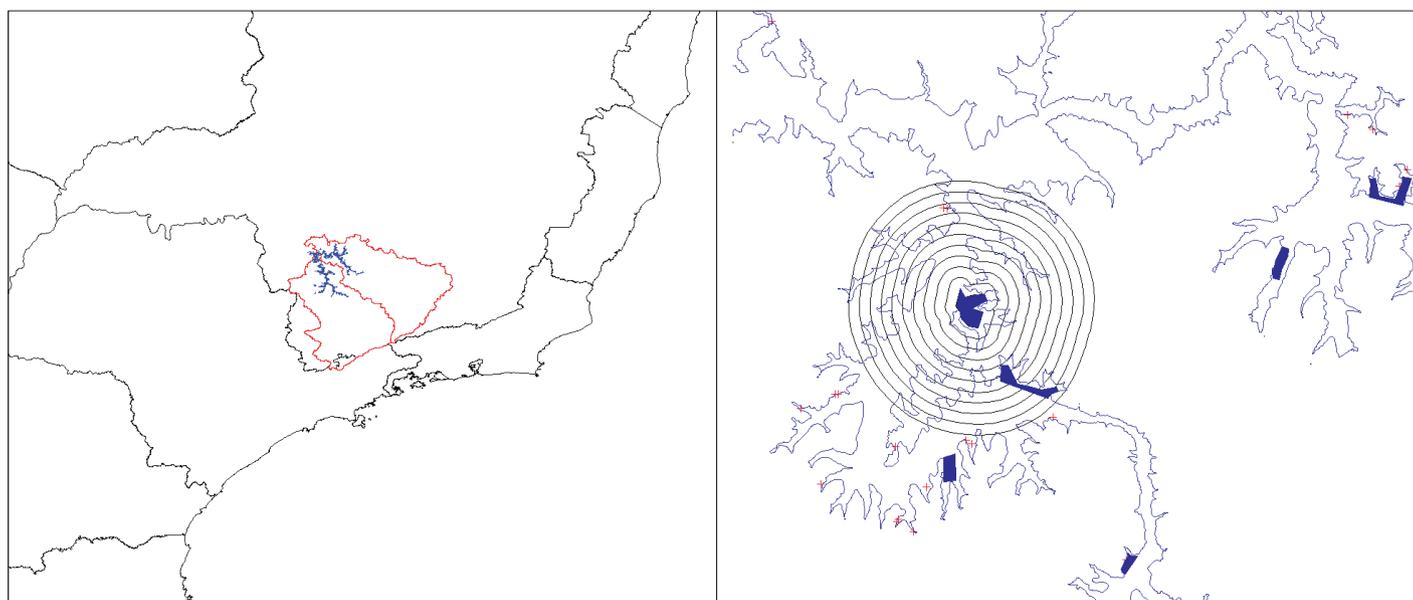


Figura 2 - Exemplos de uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG)

NOTA: Figura 2A - Limites das duas sub-bacias hidrográficas (em vermelho) de captação do Reservatório de Furnas. Figura 2B - Polígonos dos parques aquícolas (áreas em azul), aquicultores (cruz em vermelho) e linhas espaçadas de 500 m (linhas pretas).

acentuada nos comprimentos de onda em torno dos 700 nm. A Figura 3 mostra diferentes concentrações de sedimentos em suspensão do Rio Grande na confluência com um afluente de margem direita (banda 3 do sensor TM do Landsat5). O aumento da concentração de clorofila na água

provoca um decréscimo da reflectância nas regiões do espectro correspondente ao comprimento de onda azul e vermelho e um aumento no comprimento de onda verde. Já a matéria orgânica dissolvida na água, provoca um aumento da reflectância na região do amarelo.

Além da avaliação dos constituintes da água, existem outras possibilidades para aplicação do sensoriamento remoto em estudos hídricos, como: identificação e definição de corpos d'água; avaliação da profundidade da água e temperatura da superfície da água. A Figura 4 mostra um



Figura 3 - Diferentes concentrações de sólido em suspensão no Rio Grande - Represa de Furnas, MG

NOTA: Registrado pela banda 3 do sensor TM do satélite Landsat 5, em 16/1/1988.

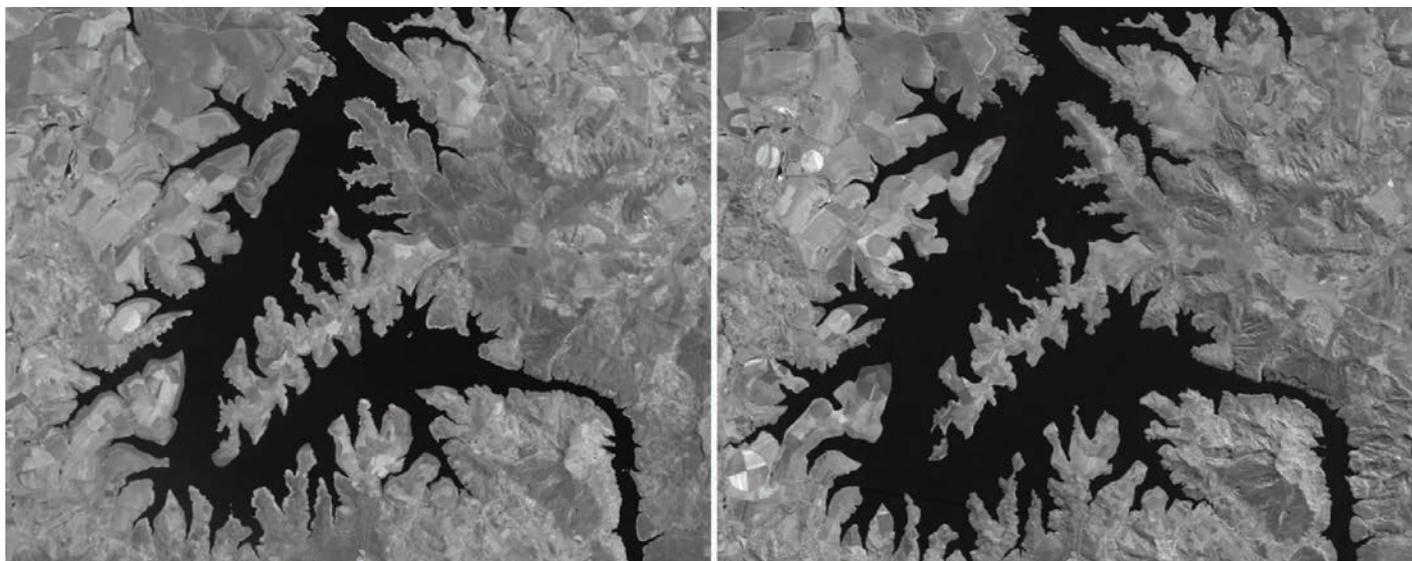


Figura 4 - Rio Sapucaí - Represa de Furnas, MG

NOTA: Registrado pela banda 4 do sensor TM, do satélite Landsat 5, em dois momentos: 20/2/2001 (esquerda) e 19/8/2003 (direita).

pequeno trecho do Rio Sapucaí em duas datas distintas, ilustrando o uso de imagens de satélite para estudos de depleção de corpos hídricos.

### **Avaliações zootécnica e ambiental**

Outro foco do monitoramento é correlacionar o desempenho zootécnico com parâmetros da qualidade da água, sedimentos e da fauna macrobentônica para proposição de BPM. Após o fundeio do Sima e sondas adjacentes aos locais selecionados, recomenda-se o acompanhamento dos sistemas de produção de peixes em tanques-rede para avaliar as práticas de manejo empregadas pelos piscicultores. O acompanhamento diário nos horários de alimentação e as observações visuais quanto ao comportamento e sinais externos sobre características de deficiência como sobras de ração, além da ocorrência de mortalidade, são também fatores muito importantes na melhora do manejo e diminuição de possíveis impactos. Somadas as avaliações de desempenho zootécnico e ambiental, torna-se prudente fazer o levantamento de dados para o cálculo do custo de produção, com a finalidade de verificar a viabilidade econômica e a rentabilidade do empreendimento.

Também, é importante que, além da avaliação dos parâmetros da qualidade de água em alta frequência, medidas pelo Sima, ocorra a coleta dos parâmetros de qualidade da água de maneira convencional, ou seja, medições em intervalos de tempo maiores (dias ou semanas), para serem comparados com a série mais detalhada de dados do próprio Sima. Além disso, é recomendável que outras variáveis ambientais sejam coletadas e integradas às análises limnológicas e zootécnicas, tais como: sedimentos e o uso de biomarcadores e bioindicadores com a fauna biótica e a fauna macrobentônica.

Portanto, à medida que os dados forem sendo obtidos as análises podem ser realizadas de forma integrada, considerando as possíveis interações entre as variáveis

medidas. Dessa maneira, é possível estabelecer correlações e inferências, a fim de fornecer maior robustez ao sistema de monitoramento ambiental.

### **Indicadores da adoção de Boas Práticas de Manejo**

Reconhecida a necessidade de metodologias que tornem possível o monitoramento e a avaliação dos impactos ambientais, e que contribuam para o desenvolvimento e adoção de BPM na aquicultura, propõe-se o Sistema de Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de Atividades do Novo Rural (Apoia-NovoRural) (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003; RODRIGUES, 2009; RODRIGUES et al., 2010) como instrumento de gestão ambiental para o setor.

Com o objetivo de focar as especificidades da aquicultura, bem como o contexto especial de promoção da gestão ambiental em parques aquícolas, organizou-se um Módulo complementar para BPM da piscicultura em tanques-rede, que consta de 68 indicadores, incluídos em dez critérios de análise, nas dimensões Organização espacial, Qualidade das águas, Qualidade dos sedimentos e Nutrição e sanidade (Quadro 1).

Os indicadores são construídos em matrizes de ponderação, nas quais dados quantitativos obtidos em campo e laboratório são traduzidos em índices de impacto, segundo funções de utilidade multiatributo (escala normalizada de 0 a 1, com o valor da linha de base de conformidade ambiental padronizado em 0,7) (Gráfico 1). Os indicadores relativos às BPM são verificados no campo junto aos produtores, conforme observação da proporção de adoção e conformidade com recomendações técnicas (AYROZA, 2011).

Os indicadores específicos de qualidade ambiental e dos recursos naturais permitem verificação de índices múltiplos, sejam estes relativos:

- a) ao impacto ambiental, isto é, a variação no estado do ambiente por implantação da aquicultura;

- b) à adequação do recurso natural para a produção aquícola, isto é, a fonte de água e o tipo de substrato;
- c) à qualidade do manejo e efetividade das boas práticas, isto é, a qualidade do recurso produtivo;
- d) aos indicativos da conformidade com a Legislação Ambiental aplicável, ou seja, da geração de resíduos ou poluentes liberados.

Esses índices são balizados segundo recomendações técnicas definidas na literatura e padrões estabelecidos na Legislação Ambiental.

Em um exemplo de estudo de caso, realizado em empreendimento aquícola no Reservatório de Furnas, a título de teste de aplicabilidade metodológica, observou-se particular sensibilidade dos indicadores da dimensão qualidade do sedimento, como explicativos de impactos negativos resultantes de deficiências nas práticas de arraçamento (Gráfico 2). Com base nesse tipo de análise integrada, as recomendações de manejo e de adoção tecnológica tornam-se mais consistentes ou mais efetivas, favorecendo a tomada de decisão e a correção do manejo.

Com essas características do módulo complementar Apoia-Aquicultura, as análises de desempenho ambiental permitem ao produtor averiguar quais atributos podem estar desconformes com seus objetivos de adoção de BPM e uso dos recursos naturais. Aos extensionistas e agentes de assistência técnica, o sistema de indicadores facilita a comunicação da interação entre fatores produtivos e de manejo, promovendo uma visão integrada para a recomendação tecnológica. Para os agentes públicos e tomadores de decisão, o sistema representa uma base documentada e analítica das condições de operação das áreas aquícolas, favorecendo o monitoramento e a adoção de medidas de fomento e controle, visando à gestão ambiental integrada dos empreendimentos.

QUADRO 1 - Conjunto de dimensões, critérios e indicadores constantes do Sistema de Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de Atividades do Novo Rural, Módulo complementar Apoia-Aquicultura (continua)

Dimensões e critérios	Indicadores
Organização espacial	
Condições gerais de implantação	1 Distância dos mercados/infraestrutura viária 2 Facilidade de acesso à água/aos tanques 3 Proximidade de fontes poluentes 4 Existência de conflitos de usos múltiplos 5 Hidrodinâmica local 6 Condição de abrigo
Características locacionais dos tanques-rede	7 Tipo de reservatório 8 Área de diluição/Adensamento dos tanques 9 Disposição dos tanques-rede 10 Profundidade mínima anual 11 Relevo de fundo
Formato e dimensões dos tanques-rede	12 Formato dos tanques-rede 13 Relação área/Superfície lateral 14 Tipo e dimensão da malha/Rede 15 Sistema de fixação
Infraestrutura operacional e equipamentos	16 Laboratórios/Instrumentação para análise de qualidade da água 17 Armazenamento de combustíveis 18 Armazenamento de rações e suplementos 19 Armazenamento de produtos terapêuticos 20 Atracadouro 21 Plataformas e balsas 22 Embarcações, máquinas e implementos
Qualidade da água	23 Transparência 24 Oxigênio dissolvido 25 Coliformes fecais 26 DBO <sub>5</sub> 27 pH 28 Nitrato 29 Nitrito 30 Nitrogênio amoniacal total 31 Fósforo 32 Turbidez 33 Clorofila a 34 Condutividade 35 Poluição visual da água 36 Impacto potencial de pesticidas
Qualidade dos sedimentos	37 Matéria orgânica 38 pH 39 Fósforo 40 K trocável 41 Mg (e Ca) trocável 42 H + Al (Acidez potencial) 43 Soma de bases 44 CTC 45 Volume de bases

(conclusão)

Dimensões e critérios	Indicadores
Manejo, nutrição e sanidade Manejo e operações	46 Planejamento e gestão do ciclo produtivo
	47 Procedimentos de recebimento e estocagem dos peixes
	48 Procedimentos de vacinação e profilaxia
	49 Procedimentos de classificação e repicagem
	50 Frequência e temporalidade de limpeza e reparos
	51 Procedimentos de desinfecção
	52 Descarte ou destinação de material incrustante
	Arraçoamento
54 Frequência e horário de arraçoamento	
55 Periodicidade do acompanhamento biométrico	
56 Controle da quantidade de alimento e cálculo do consumo	
57 Ajuste do tipo da ração	
58 Controle de predadores e competidores	
Sanidade animal	59 Controle e registro da origem de formas jovens
	60 Controle e registro de sintomas aparentes
	61 Controle e registro de sintomas comportamentais
	62 Registro de uso de produtos terapêuticos/profiláticos
	63 Controle e registro de peixes mortos
	64 Procedimento de descarte ou destinação de peixes mortos
	Despesa e qualidade do produto
66 Procedimento de despesca dos tanques-rede	
67 Práticas de jejum e eliminação do off-flavor	
68 Aspecto do produto final	

NOTA: DBO<sub>5</sub> - Demanda bioquímica do oxigênio; CTC - Capacidade de troca catiônica.

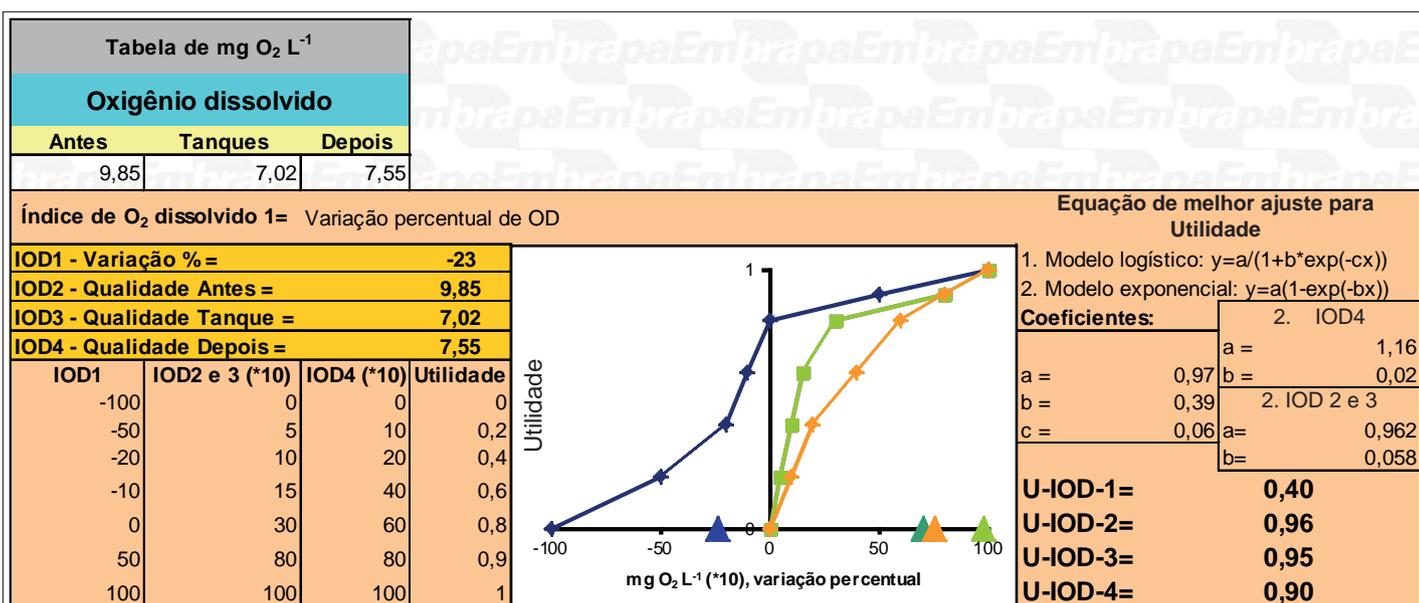


Gráfico 1 - Exemplo de matriz de ponderação do módulo complementar Apoiar-Aquicultura

NOTA: Apresenta o indicador oxigênio dissolvido, medido a montante, nos tanques-rede, e a jusante do sentido da corrente d'água; e os quatro índices de desempenho ambiental associados, referentes ao impacto ambiental (variação percentual entre montante e jusante); à qualidade do recurso (montante); à qualidade do manejo (tanque); e à conformidade com a legislação (jusante).

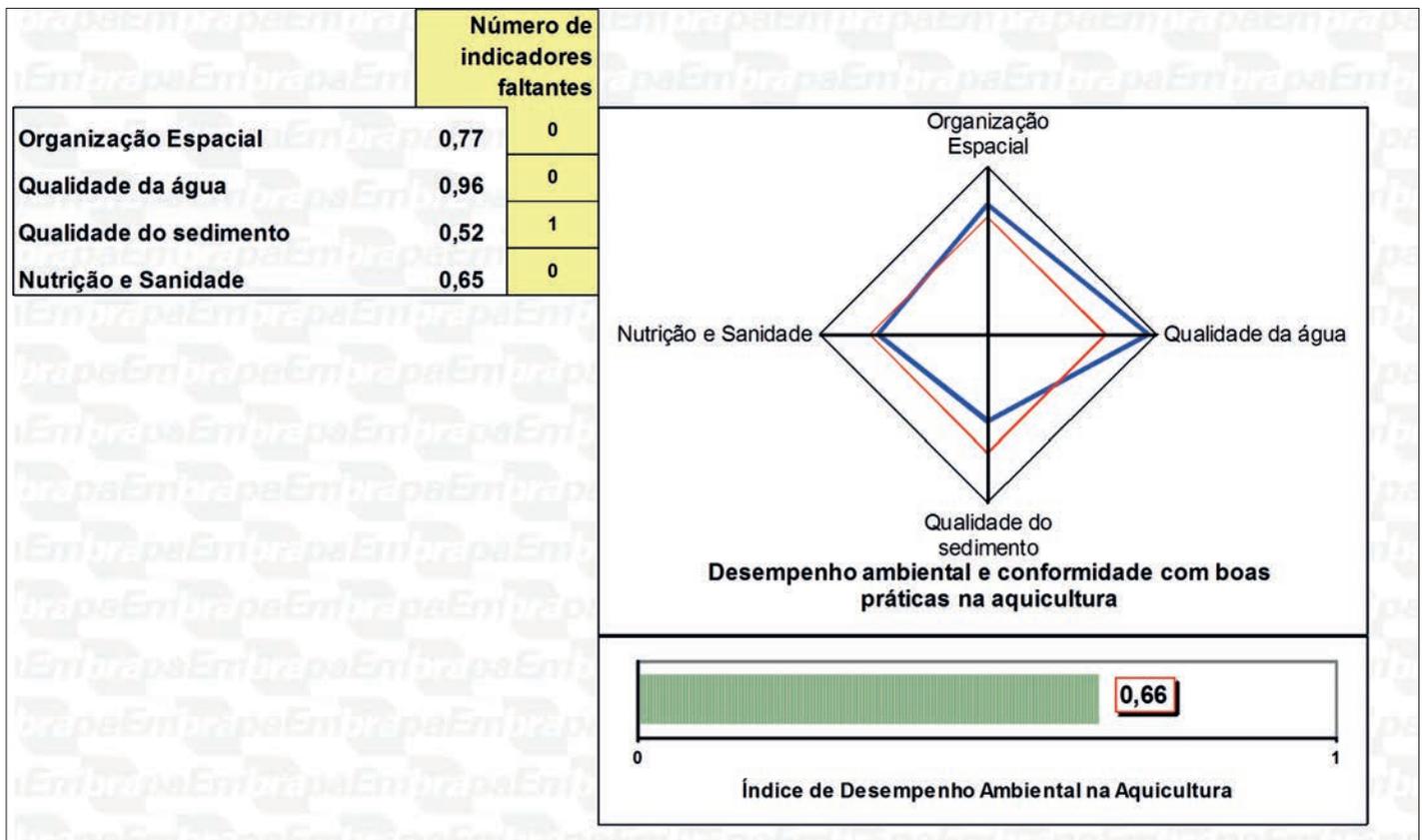


Gráfico 2 - Exemplo de resultado do módulo complementar Apoia-Aquicultura

NOTA: Apresenta os índices de desempenho ambiental nas diferentes dimensões de análise e o índice integrado do empreendimento aquícola.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geração de conhecimento nacional, com a adaptação de equipamentos sofisticados para o monitoramento em tempo real dos parâmetros limnológicos e meteorológicos dos sistemas de produção aquícolas, poderá viabilizar uma melhora nos processos de gestão e monitoramento ambiental da aquicultura. Com o crescimento acelerado dos sistemas de produção em tanques-rede no Brasil, torna-se inevitável a criação de um modelo para a gestão ambiental da aquicultura adaptável e aplicável a esta realidade. Além dessas vantagens, a geração de subsídios para a reavaliação de práticas de manejo utilizadas na aquicultura poderá compor uma base de dados sobre os aspectos físicos, químicos e biológicos relacionados com a qualidade da água. Dessa forma, espera-se que a piscicultura em tanques-rede disponha de ferramentas úteis para o monitoramento ambiental da atividade, contribuindo para

seu desenvolvimento de forma sustentável, ou seja, que tenha condições de expandir-se como atividade economicamente viável, gerando renda e empregos e, atendendo à legislação vigente, com preservação do meio ambiente.

## AGRADECIMENTO

Ao Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) pelo apoio na execução do Projeto. E as equipes da EPAMIG, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (Emater-MG), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta) - Polo Regional Leste Paulista e a Eletrobrás Furnas pelo apoio ao desenvolvimento das atividades. Este Projeto foi financiado pelo MPA.

## REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E.H. de. **Análise da turbidez na planície de inundação de Curuaí (PA,**

**Brasil) integrando dados telemétricos e imagens MODIS/terra.** 2006. 220f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

ALCÂNTARA, E.H. de; NOVO, E.M.L. de M.; STECH, J.L. **Novas tecnologias para o monitoramento e estudo de reservatórios hidrelétricos e grandes lagos.** Rio de Janeiro: Parêntese, 2011. 328p.

ANDREU-SÁNCHEZ, O. et al. Acute toxicity and bioconcentration of fungicide tebuconazole in zebra fish (*Danio rerio*). **Environmental Toxicology**, v.27, n.2, p.109-116, Febr. 2012.

AYROZA, L.M. da S. (Coord.). **Piscicultura.** Campinas: CATI, 2011. 246p. (CATI. Manual Técnico, 79).

BOYD, C.E. et al. **Best management practices for channel catfish farming in Alabama.** Montgomery: Alabama Catfish Producers, 2003. 38p.

BOYD, C.E. et al. **Best management practices for responsible aquaculture.** Washington: USAID, 2008. 47p.

- BRASIL. Decreto nº 4.895, de 25 de novembro de 2003. Dispõe sobre a autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União para fins de aquicultura, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 26 nov. 2003.
- BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura – Brasil 2010**. Brasília, 2012. Disponível em: <[http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes\\_e\\_Estatisticas/BoletimEstatisticoMPA2010.pdf](http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes_e_Estatisticas/BoletimEstatisticoMPA2010.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2012.
- BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon, 1986. 194p.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA-SPI; Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 434p.
- CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005.
- FAO. Fisheries and Aquaculture Department. **Environmental impact assessment and monitoring in aquaculture: requirements, practices, effectiveness and improvements**. Rome, 2009. 648p. (FAO. Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 527).
- FAO. Fisheries and Aquaculture Department. **The state of world fisheries and aquaculture 2010**. Rome, 2010. 197p.
- FERNANDES, T.F. et al. The scientific principles underlying the monitoring of the environmental impacts of aquaculture. **Journal of Applied Ichthyology**, v.17, n.4, p.181-193, Aug. 2001.
- GALO, M. et al. Uso do sensoriamento remoto orbital no monitoramento da dispersão de macrófitas nos reservatórios do complexo Tietê. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v.20, p.7-20, 2002. Número especial.
- HELLWEGER, F.L. et al. Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.61, n.3, p.437-448, Nov. 2004.
- JENSEN, J.R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.
- LIMA, I.B.T. de et al. Localização de áreas de monitoramento telemétrico em ambientes aquáticos da Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v.36, n.3, p.331-334, 2006.
- LOPES, E.S.S.; MAGINA, F. de C.; ALVES, M.L. Sistema automático de alerta da qualidade da água do rio Paraíba do Sul: uma aplicação do SISMA DEN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p.1233-1239.
- MAGINA, F.C. et al. Rede de plataformas de coleta de dados para monitoramento automático da qualidade da água do rio Paraíba do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p.4755-4763.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior. **Estudo técnico-científico visando a delimitação de parques aquícolas nos lagos das usinas hidroelétricas de Furnas e Três Marias-MG**. Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <[http://ecologia.icb.ufmg/~rpcoelho/Parques\\_Aquicolas/website/pdfs/relatorios\\_consultores/05\\_tm\\_socioeconomia.pdf](http://ecologia.icb.ufmg/~rpcoelho/Parques_Aquicolas/website/pdfs/relatorios_consultores/05_tm_socioeconomia.pdf)>. Acesso em: nov.2012.
- NOVO, E.M.L. de M. et al. Integração de dados do sistema automático de monitoramento de variáveis ambientais (SIMA) e de imagens orbitais na avaliação do estado trófico do Reservatório da UHE Funil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p.4797-4804.
- NOVO, E.M.L. de M. et al. Seasonal changes in chlorophyll distributions in Amazon floodplain lakes derived from MODIS images. **Japanese Journal of Limnology**, v.67, n.1, p.1-9, 2006.
- REIS, B.J. dos. O rio Paraíba do Sul é monitorado por satélite. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**. Desafios e perspectivas para a meteorologia do século XXI, São José dos Campos, v.29 n.2, p.76-81, jul. 2005.
- RODRIGUES, G.S. Indicadores de sustentabilidade, avaliação de impactos e gestão ambiental de atividades rurais. **Informe Agropecuário**. Gestão ambiental na agricultura, Belo Horizonte, v.30, n.252, p.80-89, set./out. 2009.
- RODRIGUES, G.S.; CAMPANHOLA, C. Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividades do Novo Rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.4, p.445-451, abr. 2003.
- RODRIGUES, G.S. et al. Integrated farm sustainability assessment for the environmental management of rural activities. **Environmental Impact Assessment Review**, Amsterdam, v.30, n.4, p.229-239, July 2010.
- TIAGO, G.G.; GIANESELLA, S.M.F. Recursos hídricos para a aquicultura: reflexões temáticas. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 1., 2002, Indaiatuba. **Anais...** Belém: ANPPAS, 2002.

18,6 cm x 5 cm