

AValiação DO EFEITO DA PISCICULTURA EM SISTEMAS AQUÁTICOS EM ASSIS E CÂNDIDO MOTA, SÃO PAULO, POR INDICADOR DE QUALIDADE DA ÁGUA E ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Fabiano dos Santos Simões e Maria Josefa dos Santos Yabe

Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, CP 6001, 86057-970 Londrina - PR, Brasil

Altair B. Moreira e Márcia Cristina Bisinoti*

Departamento de Química e Ciências Ambientais, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rua Cristóvão Colombo, 2265, 15054-000 São José do Rio Preto - SP, Brasil

Recebido em 15/8/06; aceito em 25/4/07; publicado na web em 5/10/07

ASSESSMENT OF FISH FARMING EFFECTS ON AQUATIC SYSTEMS IN ASSIS AND CANDIDO MOTA, SÃO PAULO, BY USING A WATER QUALITY INDEX AND MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS. In this work, the impact of fish farming activities on the Queixada, Macuco and Pari-Veado Rivers in the Paranapanema watershed was evaluated. Physical, chemical and microbiological parameters were quantified in these aquatic systems followed by application of multivariate statistical analysis (MSA) and water quality index (WQI) tools. Watersheds where fish farming activities are predominant presented WQI ≥ 52 indicating good quality, whereas MSA demonstrated bad quality for these aquatic bodies. The results showed that the degradation in this watershed follows the fish farming activity. The MSA index is more restricted than the "National Foundation Sanitation" (NFS) index routinely used to infer water quality.

Keywords: water quality index (WQI); multivariate statistical analysis; fish farming activities.

INTRODUÇÃO

Durante séculos a humanidade tratou a natureza como uma fonte inesgotável de bens de consumo que poderiam ser utilizados e explorados sem limites. Dentre estes, a água se destaca como um dos mais preciosos, desempenhando um papel ecológico decisivo com respeito à existência e à qualidade de vida. Do total de água disponível no planeta, apenas 2,5% é composto por água doce, e menos de 1% é acessível do ponto de vista econômico¹⁻³. O crescimento urbano desordenado com o desenvolvimento econômico, agrícola, industrial e tecnológico foram os principais responsáveis pela degradação da qualidade das águas de rios, lagos e reservatórios⁴⁻⁷.

A poluição varia de um recurso hídrico para outro em função do tipo de uso e ocupação do solo. Dentre as várias fontes de contaminação das águas, a proveniente da criação de peixes tem chamado a atenção de pesquisadores no mundo todo. Segundo Silva⁸, o lançamento de efluentes provenientes das atividades de piscicultura nos rios, sem que haja um tratamento prévio, aumenta os níveis de fósforo e nitrogênio, que estão presentes nas rações que alimentam os peixes. Cabe ainda considerar que a adição de ração ocorre diariamente. Além disso, a qualidade das águas é bastante afetada pela introdução de matéria orgânica, principalmente durante os períodos de despesca⁹. Wu *et al.*¹⁰ também encontraram aumento significativo na concentração das espécies fósforo e nitrogênio, bem como decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido, essencial para a manutenção da vida aquática. Estes mesmos autores discutiram o incremento de cobre nos recursos hídricos, devido à adição de sulfato de cobre aos tanques de peixes.

A aquíicultura, em franco desenvolvimento, impõe-se como atividade pecuária, ou como, considerada por muitos, um apêndice do setor pesqueiro e abrange desde a criação de peixes (piscicultura), camarões (carcinicultura), rãs (ranicultura) até de

moluscos – ostras e mexilhões (malacocultura). Segundo a Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca (SEAP/ PR), no período de 1992 a 2002, a produção da aquíicultura nacional aumentou 825%, enquanto que o da mundial cresceu 142%⁵. Em 2002, a produção total da aquíicultura nacional foi de aproximadamente 235.640 t, sendo que o produto oriundo da piscicultura representou 67,1% desse total, com 158.058 t⁶. A rápida expansão desta atividade ocorreu devido ao crescimento da população, com aumento *per capita* no consumo do alimento e ampliação nas atividades de lazer. Como consequência, destaca-se a diminuição no número de indivíduos de algumas espécies nativas de peixes através da pesca, bem como da qualidade dos recursos hídricos⁷.

Segundo o Instituto de Pesca e Agência Paulista de Tecnologia de Agronegócios (APTA), no período de 2002/2003, a criação de peixes ao longo das sub-bacias dos rios Queixada e Macuco, objetos de estudo deste trabalho, era praticada por aproximadamente 200 piscicultores em 300 espelhos d'água⁶. O crescente aumento da atividade de piscicultura torna necessária maior investigação da qualidade das águas destas sub-bacias. Cabe ressaltar que há no mínimo 50 parâmetros que caracterizam a qualidade das águas, porém a quantificação destes representa um alto investimento para as agências de controle ambiental. Desta maneira, o emprego das ferramentas de gestão ambiental tem se mostrado uma excelente alternativa.

Dentre as ferramentas de gestão destaca-se o emprego de indicadores de qualidade da água (IQA). A elaboração de um IQA deve considerar apenas as variáveis ambientais críticas que afetam determinado recurso hídrico, em função do tipo de uso e ocupação do solo. O primeiro IQA utilizado foi desenvolvido pela "National Foundation Sanitation (NFS)" dos Estados Unidos e baseia-se na análise de 9 parâmetros: coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido, os quais são indicadores de poluição por efluentes domésticos^{11,12}. Após esta proposta, vários au-

*e-mail: bisinoti@ibilce.unesp.br

tores¹³⁻²¹ estudaram outras formas de se calcular o IQA através de médias aritméticas e geométricas.

No desenvolvimento de um IQA é imprescindível a minimização do chamado efeito eclipse, o qual ao agregar inúmeras variáveis em um único número pode produzir uma atenuação negativa de uma das variáveis frente às demais consideradas para este cálculo. Um IQA representativo poderá ser empregado pelos órgãos governamentais competentes para gerenciar a qualidade das águas de uma bacia hidrográfica. Os rios Macuco e Queixada são de grande importância econômica para a região de Assis-SP, localizados na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do médio Paranapanema^{11,12}. A produção de peixe na região de Assis é intensa e o maior agravante é a falta de um monitoramento dos parâmetros físico-químicos nos corpos aquáticos receptores.

Frete a estas constatações, e à necessidade de conhecimento detalhado do impacto da piscicultura sobre os recursos hídricos, este artigo teve como principal objetivo avaliar o estado de degradação das sub-bacias dos rios acima citados, empregando o IQA utilizado inicialmente pela NFS. Por fim, a interpretação da qualidade das águas foi obtida empregando-se uma das ferramentas da análise estatística multivariada, a análise de componentes principais (ACP).

PARTE EXPERIMENTAL

Área de estudo e amostragem

A área de estudo localiza-se na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo de número 17. Esta é composta por 42 municípios e possui uma área de drenagem de 16.829 km², na qual o Rio Paranapanema e seus afluentes são os principais recursos hídricos. O uso do solo é principalmente agrícola e envolve culturas de cana-de-açúcar, soja e milho. As águas são empregadas para abastecimento doméstico e industrial, geração de energia elétrica, irrigação de plantações e recepção de efluentes domésticos e industriais. Por outro lado, as principais atividades da região são as usinas de açúcar e álcool, curtumes e frigoríficos e, em menor proporção, as atividades de piscicultura. É importante mencionar que a cidade de Assis possui 92.962 habitantes e capta 100% dos efluentes domésticos, porém, apenas 45% é tratado e o restante é despejado nos córregos Fortuninha e Jacu^{11,12}.

As sub-bacias dos rios Queixada, Pari-Veado e Macuco (Figura 1) localizam-se entre as cidades de Assis, Cândido Mota, Platina, Echaporã e o Rio Paranapanema. Foram amostrados 15 pontos de coleta, sendo 8 na sub-bacia do rio Queixada e 7 na do Macuco. Com relação à bacia do Pari-Veado, que não apresenta atividade de piscicultura e recebe efluentes estritamente domésticos, foram utilizados os resultados obtidos por Rezende¹³, visando comparar com as duas sub-bacias estudadas contemplando 5 locais de amostragem conforme descritos na Tabela 1, todos localizados na região do Médio Paranapanema. Os locais de coleta (Figura 1) foram estabelecidos com base em mapas e visitas de reconhecimento utilizando GPS SAD-69. As coletas tiveram início em maio de 2003 e término em maio de 2005, com frequência bimestral, prevendo-se um total de 12 coletas para cada ponto de amostragem. O monitoramento teve início nas nascentes e prosseguiu ao longo dos cursos dos rios, até a desembocadura no rio Paranapanema em todas as coletas.

As amostras de água foram coletadas usando-se garrafas de polietilenotereftalato de 500 e 1000 mL. A amostragem foi subsuperficial, a uma distância aproximada de 2 m da margem. As amostras de água foram coletadas, armazenadas e preservadas

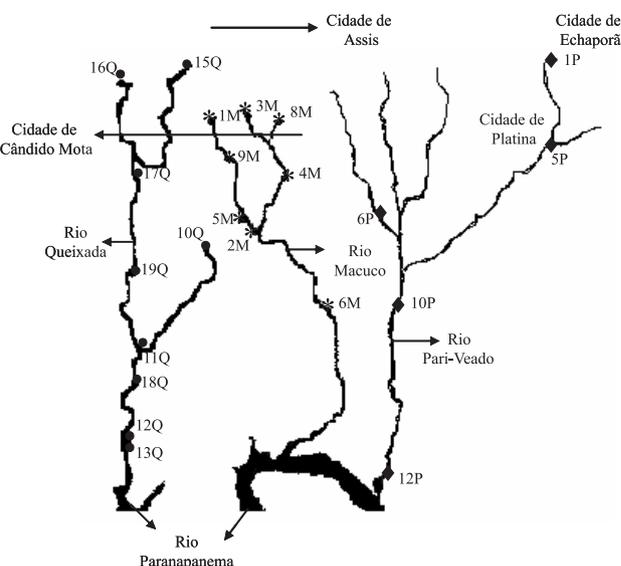


Figura 1. Sub-bacias dos rios Macuco, Queixada e Pari-Veado, indicando os pontos de amostragem. No ponto 3M estão localizados pequenos produtores (até 1 ha/10.000 m² de espelho de água). Nos pontos 2M, 4M, 5M, 9M, 11Q, 12Q, 17Q, 18Q e 19Q estão localizados médios produtores (de 1 a 5 ha/de 10.000 a 50.000 m² de espelho de água). No ponto 10Q estão localizados grandes produtores (maior que 5 ha/50.000 m² de espelho de água). Os pontos 1P, 5P, 6P, 10P e 12P recebem apenas influência da urbanização e foram obtidos por Rezende¹³

seguinte-se as exigências estabelecidas pela Norma Brasileira (NBR) 9896²²⁻²⁴.

Métodos analíticos e equipamentos

Para cada local de amostragem foram determinados os seguintes parâmetros físico-químicos e microbiológicos indicadores da qualidade da água: nitrogênio total - Nt (método espectrofotométrico, com digestão ácida, posterior reação com nitroprussiato de sódio e quantificação no λ de 660 nm); nitrato (método espectrofotométrico, usando ácido fenoldissulfônico e quantificação no λ de 410 nm); nitrito (método espectrofotométrico com sulfanilamina/n(1-naftil) etilenodiamina e quantificação no λ de 543 nm); fósforo total - Ft (método espectrofotométrico com digestão ácida da amostra, posterior tratamento com antimônio tartarato de potássio e quantificação no λ de 660 nm); temperatura - T (em campo, com termômetro de coluna de mercúrio); oxigênio dissolvido - Od (em campo com oxímetro, da marca Wissenschaftlich-Technische-Werkstätten - WTW, modelo Oxi 340i); demanda bioquímica de oxigênio - DBO (incubadora BOD acoplada com equipamentos para medida de DBO, modelo Oxi-top[®], Merck); alcalinidade - Alc (método titulométrico na presença de fenoftaleína e metilorange como indicadores, e ácido sulfúrico 0,01 mol L⁻¹ como solução titulante); condutividade - cd (condutímetro marca Micronal, modelo B330); Sólido total - St (método gravimétrico); sólidos totais dissolvidos - Std (método gravimétrico após filtração); turbidez - Tb (método colorimétrico com o uso de turbidímetro marca Hach, modelo 2100 N); pH (potenciômetro marca Tecnal modelo TEC2); cobre - Cu (espectrometria de absorção atômica com chama, Shimadzu, modelo 6601 e quantificação no λ de 324,7 nm); cor - cor (método comparativo em discos calibrados com soluções de platina/cobalto) e, coliformes fecais - Cf (técnica de tubos múltiplos, NMP - Número Mais Provável). Todos os parâmetros foram determinados em triplicata, seguindo as recomendações dos métodos oficiais²⁴.

Tabela 1. Descrição dos pontos de coleta localizados nas sub-bacias do Macuco, Queixada e Pari-Veado

| Pontos | Descrição dos Pontos | Coordenadas Geográficas | Altitude (m) |
|-------------------------|--|-------------------------------|--------------|
| Sub-bacia do Macuco | | | |
| 01 | Nascente Água do Macuco | S 22° 44'01,1"W 050° 26'27,7" | 501 |
| 02 | Encontro Água do Macuco com Afluente principal | S 22° 47'10,8"W 050° 25'00,0" | 418 |
| 03 | Nascente Água da Aguiinha | S 22° 43'42,6"W 050° 25'21,2" | 512 |
| 04 | Afluente da junção da Água da Aguiinha e Água do Paraíso | S 22° 45'37,9"W 050° 24'01,4" | 430 |
| 05 | Encontro da Água das Pedras com afluente principal | S 22° 46'50,1"W 050° 25'28,9" | 423 |
| 06 | Afluente principal após Água do Bacião e final da atividade de piscicultura | S 22° 49'57,1"W 050° 22'25,0" | 373 |
| 08 | Nascente Água do Paraíso | S 22° 43'48,8"W 050° 24'30,0" | 486 |
| 09 | Água do Macuco após horta municipal | S 22° 45'04,0"W 050° 25'47,1" | 492 |
| Sub-bacia do Queixada | | | |
| 10 | Nascente Água do Almoço | S 22° 47'50,7"W 050° 26'28,1" | 457 |
| 11 | Encontro da Água do Almoço com afluente principal | S 22° 50'51,5"W 050° 28'21,6" | 393 |
| 12 | Afluente principal antes de São Benedito | S 22° 54'13,6"W 050° 29'02,3" | 370 |
| 13 | Afluente principal após São Benedito | S 22° 54'21,2"W 050° 29'09,1" | 365 |
| 17 | Encontro Água da Pinguela com afluente principal | S 22° 45'28,0"W 050° 28'34,9" | 426 |
| 18 | Água do Queixada após atividade de piscicultura | S 22° 51'48,5"W 050° 28'44,2" | 382 |
| 19 | Encontro da Água Nova com afluente principal | S 22° 48'18,2"W 050° 28'42,6" | 405 |
| Sub-bacia do Pari-Veado | | | |
| 01 | Nascente localizada em Echaporã, que dá origem ao Pari-Veado, localizada em propriedade particular com difícil acesso, represada para dessedentação de animais e usos antrópicos | S 22° 26'25,3"W 050° 11'48,7" | 680 |
| 05 | Localizado em Platina, predomina o uso agropecuário, principalmente pastagens. Recebe influência urbana | S 22° 38'13,0"W 050° 12'05,5" | 450 |
| 06 | Localizado em Cândido Mota, predomina o uso agropecuário, recebe efluentes domésticos e agroindustriais da cidade de Assis e Cândido Mota | S 22° 46'10,7"W 050° 19'58,5" | 400 |
| 10 | Localizado no município de Palmital, predomina o uso agropecuário, influência urbana e agroindustrial. | S 22° 48'51,3"W 050° 18'48,7" | 370 |
| 12 | Localizado no município de Cândido Mota após represamento passagem da hidroelétrica | S 22° 52'52,9"W 050° 19'50,0" | 364 |

Ferramentas de gestão ambiental empregadas

Análise estatística multivariada

Modelos estatísticos utilizando análises de componentes principais²⁵⁻²⁷ são interessantes para caracterizar a bacia através da evolução dos parâmetros estudados, como os componentes dos ciclos naturais na bacia de drenagem, estabelecendo-se um modelo de rio. Entre os métodos de reconhecimento de padrões, está o de análise de componentes principais, que são combinações lineares das variáveis originais. As novas variáveis são usadas para avaliar os dados através de algum tipo de projeção geométrica ou representação.

A solução multidimensional representa a configuração dos objetos em um gráfico, com tantos eixos quanto o número de descritores (variáveis) em estudo. Os descritores são usados para descrever ou qualificar os objetos e são características físicas, químicas ou biológicas do objeto de interesse. Neste estudo, as variáveis são as concentrações dos parâmetros analisados e os objetos são as amostras em cada ponto de coleta no decorrer das estações do ano. Com a dimensionalidade reduzida, os novos eixos permitem uma representação ótima da maior variabilidade da matriz de dados multidimensional. Outros dados que sejam obtidos de um conjunto de amostras da mesma região podem ser inseridos no modelo e avaliados quanto às suas características.

A questão é definir quantas componentes poderiam ser eventu-

almente significantes na interpretação dos dados, uma vez que as componentes principais sucessivas correspondem a frações cada vez menores da variância total. Diante disto, o objetivo neste estudo foi discriminar os pontos de amostragem nas bacias em aglomerados de pisciculturas e de efluentes domésticos, verificar a contribuição das espécies químicas características e definir as relações existentes entre os padrões físico-químicos.

Os resultados foram avaliados através da técnica estatística de análise multivariada com aplicação da análise de componentes principais (ACP)²⁵⁻²⁷, empregando o programa MATLAB, versão 7.0. Os valores são apresentados como média \pm EDP (estimativa do desvio padrão, $n = 3$)²⁵⁻²⁷.

Índice de Qualidade da Água (IQA)

Para o cálculo do IQA foi utilizado um programa de computador no MS-DOS doado pela CETESB (Companhia de Saneamento Ambiental e Tecnologia do Estado de São Paulo), porém o mesmo cálculo pode ser realizado em qualquer computador com ambiente Windows, empregando planilhas de Excel para tratamento dos parâmetros físico-químicos, conforme descrito por Pesce e Wunderlin¹⁶. O IQA é determinado pelo produtório ponderado da qualidade de água correspondente aos parâmetros temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias a 20 °C), coliformes fecais, nitrogênio total, resíduo

total e turbidez. Cada parâmetro produz uma curva. A forma de cada curva relaciona o valor do parâmetro na sua unidade normal e o valor na escala 0-100, sintetizadas em um conjunto de curvas médias, bem como o peso relativo de cada parâmetro^{11,12}.

O IQA é uma média harmônica ponderada de um conjunto de indicadores específicos, permitindo inclusão ou exclusão de parâmetros, para estabelecer uma melhor relação entre a qualidade de água e o índice apresentado. O IQA é calculado a partir de um produtório demonstrado na Equação 1.

$$IQA = \prod_{i=1}^N q_i^{w_i} \quad (1)$$

onde: N é o número de parâmetros utilizados no cálculo do IQA, q_i é o valor do parâmetro i em uma escala de 0 a 100 e w_i é o peso atribuído ao parâmetro i , obtido a partir de equações extraídas das curvas individuais dos parâmetros do IQA.

O IQA pode ser utilizado para qualificar as águas utilizadas na piscicultura.

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas que, indicada pelo IQA em uma escala de 0 a 100, é classificada para abastecimento público, segundo a gradação: 80-100 – qualidade ótima, 52-79 – qualidade boa, 37-51 – qualidade aceitável, 20-36 – qualidade ruim e 0-19 – qualidade péssima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a identificação dos pontos de amostragem, o primeiro número refere-se aos pontos de coleta conforme descritos na Tabela 1. A letra representa a bacia (M - Macuco; P - Pari-Veado e Q - Queixada), ao lado direito da letra os números de 1 a 12 indicam o mês de coleta, e o último número (3, 4, ou 5) o ano da coleta.

Para a Bacia do rio Macuco o emprego da análise de componentes principais aos resultados obtidos no período monitorado demonstraram que as componentes principais (CP) 1 e 2 explicam 33,8% da variância do conjunto de dados. As amostras relativas à maioria das nascentes (pontos de coleta 1M, 3M e 8M) agrupam-se, devido à menor influência de alcalinidade, turbidez, condutividade, sólidos totais e dissolvidos, indicando que recebem pouca interferência das atividades antrópicas definidas por estes parâmetros. A amostra 1M123, atípica, representa uma nascente destacada pela maior influência dos parâmetros representados na CP1, sendo estes os de maior correlação. Esta região é fortemente agrícola e sem mata ciliar, o que pode modificar a condição natural da nascente em período de chuvas. Pode-se observar no Material Suplementar através da análise da dispersão obtida entre as CP1 e CP2; CP1 e CP3 na Bacia do rio Macuco e CP1 e CP2 na Bacia do rio Queixada que as amostras coletadas nos meses mais quentes (novembro a março) apresentaram maior influência da temperatura e turbidez, sendo o último parâmetro uma consequência do arraste de sólidos devido às chuvas.

Os pontos de amostragem 2M, 4M, 5M, 6M e 9M (dispersão das CP1 e CP2 da Bacia do rio Macuco) representam os locais de maior impacto sobre a bacia do rio Macuco, com maior influência de alcalinidade, condutividade, sólidos totais e dissolvidos e turbidez. O local de amostragem 4M recebe influência da urbanização (cidade de Cândido Mota). Os locais 9M e 5M, na seqüência da bacia, recebem a influência das atividades de piscicultura a montante. Por outro lado, o local de coleta 2M é impactado pela urbanização, agricultura e atividade de piscicultura a montante. O local 6M, localizado mais a jusante tem sido mais destacado pelas variáveis na CP1, por estar somando a influência de todo tipo de atividade antrópica ao longo da bacia.

Uma alta correlação entre os parâmetros condutividade e alcalinidade pode ser explicada devido à introdução de íons (espéci-

es de carbono como HCO_3^-) ao meio aquático por duas fontes principais: o uso de calcário nos tanques de piscicultura, que tem como objetivos manter a vida das plantas aquáticas como zooplânctons (fonte de alimento para os peixes) e esterilizar o leito seco de berçários de alevinos. A espécie HCO_3^- é predominante na faixa de pH do meio aquático, de 5,5 a 7,5, contribuindo para a geração de alcalinidade. É importante salientar, que a urbanização contribui para a introdução de espécies de nitrogênio e fósforo, através de uma diversidade de atividades. Estes compostos quando em altas concentrações nos recursos hídricos aceleram a produtividade primária das algas, gerando problemas de eutrofização e, como consequência, a geração de alcalinidade. As transformações de nitrogênio através da assimilação pelas algas na coluna d'água e a desnitrificação na superfície do sedimento promovem o consumo de H^+ ²⁸.

Ao avaliar a dispersão das CP1 e CP3 da Bacia do rio Macuco pode se observar que as nascentes (1M, 3M e 8M) sofrem pouca influência dos parâmetros: alcalinidade, condutividade, sólidos totais dissolvidos e turbidez, confirmando o que já havia sido observado através da análise da dispersão das CP1 e CP2 para a mesma bacia. Os parâmetros coliformes fecais e sólidos totais descritos na CP3 (à direita) separam as amostras 4M, 6M e 9M nos meses mais quentes e de maior índice pluviométrico (de novembro a março). O local 4M recebe águas da bacia de drenagem de área urbana. O local 9M está a jusante de uma grande área de produção de hortaliças, que utiliza fertilizantes e agrotóxicos para controle de pragas, enquanto o local 6M recebe a influência de toda a bacia, através de pesqueiros e atividades urbanas e agrícolas. Os parâmetros DBO, fósforo e temperatura separam principalmente as amostras dos locais de coleta 5M, 4M e 2M relacionados a uma provável lixiviação do solo devido à época de colheita, quando o solo se encontra descoberto.

Da mesma forma que na bacia do Macuco, a amostra da nascente da bacia do rio Queixada (10Q) é separada das demais amostras coletadas (11Q, 12Q, 13Q, 17Q, 18Q e 19Q) devido a uma menor influência dos parâmetros estudados e discriminados na dispersão dos CP1 e CP2. Estas amostras são deslocadas para a esquerda na CP1, devido à maior influência do parâmetro oxigênio dissolvido. Novamente, a alcalinidade, junto com condutividade, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais, cor e turbidez, com elevada correlação separam as amostras, com maior influência destes parâmetros, mais à direita na CP1. As amostras 11Q, 12Q, 13Q, 17Q, 18Q e 19Q se destacam devido à influência principal da alcalinidade e condutividade, com origem na atividade de piscicultura, o que era esperado em função do forte impacto sofrido neste local por tais atividades. Devido ao fato desta bacia não receber grande interferência da urbanização, as atividades agropecuárias e de piscicultura são as mais importantes. Conforme discutido anteriormente, o tratamento dos tanques é responsável pelo grau de degradação destas águas. A análise das amostras nas CP1 e CP2 na bacia do rio Queixada ilustra uma dispersão das amostras na diagonal, por influência das mesmas variáveis, à direita na CP1 e acima na CP2, com separação apenas do grupo de nascentes. Conclui-se, portanto, que a bacia do Queixada sofre maior impacto das atividades de piscicultura que a do Macuco.

O ponto 10Q é importante porque representa quase 50% do volume total de água da bacia do Queixada. A nascente dá origem a uma represa utilizada para a produção de peixes. Essa nascente sofre interferência da atividade antrópica desde o seu início. O ponto 10Q104 apresentou-se atípico em relação aos demais, porque no dia da coleta a represa estava com nível mais baixo para preparação do cultivo de peixe, quando sulfato de cobre e calcário são adicionados e agem como algicida e esterilizante.

Durante os anos de 1999 e 2000, Rezende monitorou parâmetros físico-químicos na bacia do rio Pari-Veado¹³. Considerando-se que

a bacia do Pari-Veado é paralela às bacias do Macuco e Queixada (Figura 1) e que não possui atividades de piscicultura implantadas, foi escolhida para estudos comparativos neste artigo. Os nove parâmetros empregados na determinação do IQA (T, pH, Ft, Nt, coliformes fecais, DBO, turbidez, sólidos totais e oxigênio dissolvido) nas três bacias foram utilizados para a análise estatística, resultando em uma dispersão de amostras nas CP1 e CP2 bastante interessante. As CP 1 e 2 explicam 76,2% da variância do conjunto de dados para a Bacia do rio Pari-Veado, com o local 1P, uma nascente preservada por gramíneas de pastagem no seu entorno, evitando o assoreamento e impactos da atividade pecuária. A nascente destacou-se das demais amostras analisadas na bacia e apresentou o menor impacto. O local 6P (afluente do rio Jacu) é depositário de esgoto “tratado” das cidades de Assis e Cândido Mota e aparece separado com maior influência de DBO, Nt, St, turbidez e Cf (PC1) em relação aos outros locais amostrados. Nos pontos 5P, 10P e 12P, oxigênio dissolvido e pH aparecem como duas variáveis importantes à direita na CP2, separando-os devido à capacidade de autodepuração do rio e oxigenação pela declividade e movimentação das águas.

A dispersão das amostras nas CP1 e CP2 das três bacias (Macuco, Queixada e Pari-Veado) em um só conjunto de dados traz resultados interessantes onde, apenas o local 6P da bacia do Pari-Veado destacou-se pela maior influência de DBO, Nt, Ft, St, turbidez e Cf, parâmetros relacionados à urbanização (presença de esgotos). Este local é usado para disposição final do esgoto urbano tratado, modificando, portanto, com grande intensidade, suas características naturais, onde existe uma correlação elevada e grande similaridade entre as variáveis: fósforo e nitrogênio; nitrogênio, fósforo e sólidos totais; coliformes fecais e DBO.

Ainda com relação ao tratamento estatístico das CP1 e CP2 para as três bacias fica evidente que as amostras destacam as características de esgoto urbano e promotor de eutrofização. Com base nos parâmetros avaliados e no tratamento estatístico realizado conclui-se que o impacto ambiental proveniente da urbanização é caracterizado pela DBO, enquanto a atividade agrícola é caracterizada pela presença de nitrogênio e fósforo e a atividade de piscicultura é diagnosticada por alcalinidade e turbidez.

O IQA foi aplicado da mesma forma como criado pela EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), considerando ambientes de clima temperado. As variáveis consideradas para o cálculo receberam pesos que podem não ser os mais adequados para cursos hídricos em clima tropical. Ainda, devem ser consideradas as características físico-químicas de cada corpo d'água, bem como o tipo de uso e ocupação do solo. Avaliando-se o IQA nas três bacias estudadas (Tabela 2), todos os locais de amostragem (com exceção do ponto 6P na Bacia do Pari-Veado) em todas as coletas apresentaram valores maiores que 53 (qualidade boa a ótima, para alguns meses de coletas). Isto demonstra que mesmo com a mudança significativa de alcalinidade, condutividade, turbidez, pH, DBO e sólidos totais dissolvidos a qualidade destes recursos hídricos ainda se mantém. Comparando-se os resultados obtidos pelo estudo estatístico de análise multivariada com os obtidos com aplicação do IQA observa-se que a avaliação de ACP distingue quais os parâmetros que provocam maior impacto em cada ponto de coleta. Desta maneira, como as nascentes são pouco impactadas, segundo ACP, são consideradas áreas de boa qualidade. Os pontos de coleta 4M e 5M (Bacia do Macuco) e 6P (Pari-Veado) são afetados pela urbanização. Por outro lado, os pontos 2M, 9M, 10Q, 11Q, 12Q, 13Q, 17Q, 18Q e 19Q são afetados pelas atividades de piscicultura e os pontos 5P, 10P e 12P na bacia do Pari-Veado são afetados também pela urbanização.

A Tabela 2 ainda mostra que a aplicação do IQA para as áreas de mananciais pode ser uma boa alternativa, uma vez que não sofrem grande interferência dos parâmetros indicadores de contaminação e, desta maneira, as duas ferramentas empregadas se complementam, sendo que a qualidade destas águas varia de qualidade boa a ótima. Para os outros locais de amostragem, o IQA indica qualidade boa a ótima para todos os outros pontos (com exceção do ponto 6P na Bacia do Rio Pari-Veado, que recebe efluentes domésticos). Por outro lado, a ferramenta estatística possibilita o destaque de outros impactos, sendo os grupos separados por parâmetros específicos: grupo 1 por demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, sólidos totais, turbidez e coliformes; grupo 2: pH e oxigênio dissolvido; grupo 3: alcalinidade, condutividade, turbidez, cor, fósforo total e sólidos totais e dissolvidos e grupo 4: alcalinidade, condutividade, turbidez, cor, fósforo total e sólidos totais e dissolvidos.

Estas observações indicam que a interferência das atividades de piscicultura sobre os sistemas aquáticos estudados pode ser classificada empregando-se um novo IQA, que contemple os parâmetros que foram agrupados através das componentes principais. Este tipo de abordagem leva em consideração o tipo de uso e ocupação do solo no cálculo do IQA e, para a avaliação da qualidade da água, elimina um dos grandes problemas na sua aplicação, segundo a NFS, que é o efeito eclipse. Tal efeito, como discutido anteriormente, faz com que o peso atribuído a uma determinada variável não represente a realidade ambiental.

Estas divergências são um indicativo que o emprego do IQA utilizado pela NFS da maneira como proposto na década de 70 não é uma ferramenta adequada a todos os recursos hídricos disponíveis. Por outro lado, estudos contemplando as características dos corpos aquáticos devem ser levados em consideração na escolha dos parâmetros físico-químicos que irão compor o índice a ser empregado para a avaliação da qualidade dos recursos hídricos. Isto destaca a dificuldade na elaboração de um IQA, uma vez que este índice sintetiza em um único número, que representa a qualidade da água, uma realidade complexa, onde inúmeras variáveis ambientais podem influenciar.

O IQA da NFS pode ser importante na avaliação preliminar de um recurso hídrico, porém o emprego da análise das componentes principais para escolha das variáveis ambientais mostrou-se promissor e complementar nesta área. Mesmo que não sejam detectados problemas ambientais a partir de atividades como a piscicultura, um estudo estatístico detalhado demonstra impacto crescente a partir da influência de diversos parâmetros. O impacto vai sendo intensificado e com o tempo, estas bacias podem se tornar inviáveis para os seus usos múltiplos, incluindo a captação de água para potabilização como recurso primário.

Trabalho recente publicado por Silva e Jardim²¹ retrata este problema e apresenta uma nova abordagem para o emprego de IQA. Os autores obtiveram um novo IQA através do emprego de apenas duas variáveis analíticas, amônia e oxigênio dissolvido, empregando o conceito de operador mínimo. Este conceito elimina o desfavorável efeito eclipse já discutido anteriormente. Neste trabalho foi demonstrado que para o Rio Atibaia (SP), cujo principal problema ambiental refere-se aos efluentes domésticos, a matéria orgânica foi representada no IQA em função do OD e a amônia indicou a toxicidade para a vida aquática. Portanto, com a determinação destas duas variáveis foi possível caracterizar os pontos estudados e os resultados foram similares ao IQA proposto pela NFS, em que foi necessário quantificar 9 parâmetros.

É importante ressaltar que o desenvolvimento de IQA é de extrema importância como ferramenta de gestão para as Agências de Controle Ambiental. Isto se deve à simplicidade, rapidez e redução

Tabela 2. Valores de IQA calculados para os pontos de coletas localizados nas sub-bacias dos rios Macuco, Queixada e Pari-Veado

| Pontos | IQA | Qualidade calculada* | ACP |
|-------------------------|-------|----------------------|---|
| Sub-bacia do Macuco | | | |
| 01 | 72-82 | Boa/Ótima | Área mais preservada |
| 02 | 61-76 | Boa | Maior impacto: alcalinidade, condutividade, turbidez, sólidos totais e dissolvidos |
| 03 | 69-76 | Boa | Área mais preservada |
| 04 | 67-79 | Boa | Maior impacto: alcalinidade, condutividade, turbidez, DBO, Ft, T e sólidos totais e dissolvidos |
| 05 | 61-77 | Boa | Maior impacto: alcalinidade, condutividade, turbidez, DBO, Ft, T e sólidos totais e dissolvidos |
| 06 | 64-79 | Boa | Maior impacto: alcalinidade, condutividade, turbidez, DBO, Ft, T e sólidos totais e dissolvidos |
| 08 | 69-83 | Boa/Ótima | Área mais preservada |
| 09 | 60-79 | Boa | Maior impacto: alcalinidade, condutividade, turbidez, sólidos totais e dissolvidos |
| Sub-bacia do Queixada | | | |
| 10 | 62-90 | Boa/Ótima | Área mais preservada |
| 11 | 56-75 | Boa | Maior impacto: alcalinidade, condutividade, turbidez, cor, Ft e sólidos totais e dissolvidos |
| 12 | 54-81 | Boa/Ótima | Maior impacto: alcalinidade, condutividade, turbidez, cor, Ft e sólidos totais e dissolvidos |
| 13 | 56-77 | Boa | Maior impacto: alcalinidade, condutividade, turbidez, cor, Ft e sólidos totais e dissolvidos |
| 17 | 55-73 | Boa | Maior impacto: alcalinidade, condutividade, turbidez, cor, Ft e sólidos totais e dissolvidos |
| 18 | 57-73 | Boa | Maior impacto: alcalinidade, condutividade, turbidez, cor, Ft e sólidos totais e dissolvidos |
| 19 | 57-77 | Boa | Maior impacto: alcalinidade, condutividade, turbidez, cor, Ft e sólidos totais e dissolvidos |
| Sub-bacia do Pari-Veado | | | |
| 01 | 57-63 | Boa | Área preservada |
| 05 | 63-79 | Boa | Maior impacto: pH, oxigênio dissolvido |
| 06 | 27-40 | Ruim/Aceitável | Maior impacto por DBO, Nt, St, turbidez e coliformes (depósito de esgoto das cidades de Assis e Cândido Mota) |
| 10 | 53-77 | Boa | Maior impacto: pH, oxigênio dissolvido |
| 12 | 59-74 | Boa | Maior impacto: pH, oxigênio dissolvido |

*A classificação do IQA em uma escala de 0 a 100 para águas de abastecimento público, segundo a CETESB é: 80-100 – Qualidade Ótima, 52-79 – Qualidade Boa, 37-51 – Qualidade Aceitável, 20-36 – Qualidade Ruim e 0-19 – Qualidade Péssima.

de custos para monitoramento da qualidade da água. Este trabalho demonstra que a qualidade dos recursos hídricos impactados pela urbanização pode ser avaliada por um indicador que contemple os parâmetros DBO, OD e St em seu monitoramento. Por outro lado, os parâmetros turbidez e alcalinidade compõem os indicadores para a avaliação dos efeitos da atividade de piscicultura.

CONCLUSÕES

Os IQA obtidos para as bacias com maior concentração de atividade de piscicultura (Bacia do Queixada e Macuco) foram maiores que 53, indicando qualidade boa para a maioria dos pontos e em todas as coletas, mesmo com a mudança significativa de alcalinidade, condutividade e sólidos totais dissolvidos, observados com o emprego de ACP. Conclui-se que o IQA da NFS é muito abrangente e não consegue diferenciar os tipos de uso e ocupação do solo em integração com o sistema aquático.

Isto demonstra a necessidade inerente do desenvolvimento de ín-

dices de qualidade da água específicos para cada recurso hídrico e que excluam efeitos indesejáveis nos quais um parâmetro físico-químico mascare o efeito de outro. Conclui-se que a utilização de IQA é imprescindível para o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos devido aos baixos custos, bem como sua importância para a tomada de decisão em recursos hídricos ainda pouco estudados. O IQA representa uma ferramenta de gestão ambiental imprescindível para os órgãos públicos, sendo necessária uma investigação mais detalhada que indique caso a caso qual o melhor indicador ambiental. Para o caso específico das bacias do Macuco, Queixada e Pari-Veado observa-se que o IQA proposto pela NFS descreve de maneira satisfatória a qualidade da água, sendo que a especificação em função do tipo de uso e ocupação do solo, discriminando o impacto pela piscicultura, pode ser mais bem inferida empregando ACP.

MATERIAL SUPLEMENTAR

As Figuras de 1S a 5S, referentes ao emprego da Análise

Estatística Multivariada por ACP aos resultados obtidos para os rios das sub-bacias do Macuco, Queixada e Pari-Veado encontram-se disponíveis gratuitamente em <http://quimicanova.s bq.org.br>, na forma de arquivo PDF.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Pesquisa em Ciências-CEPECI da Fundação Educacional do Município de Assis (FEMA/SP), ao Fundo Estadual de Recursos Hídricos-FEHIDRO pelo apoio e financiamento para que este projeto fosse realizado, ao Instituto de Pesca de Assis-IPA e à Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) pela doação do computador e software para realização do cálculo do IQA e, por fim, aos assessores da Química Nova e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, processos 05/51242-8 e 07/50461-3).

REFERÊNCIAS

1. Silva, A. K. P.; Flores, L. C.; Galdeano, M. M.; Do Val, P. T.; *Reuso de água e suas implicações jurídicas*, Ed. Navegar: São Paulo, 2003.
2. Tundisi, J. G.; *Água no século XXI: enfrentando a escassez*, Rima: São Carlos, 2005.
3. Bressan, S. A.; *Gestão das águas*, Ciência & Ambiente: Santa Maria, 1990.
4. Manahan, S. E.; *Environmental Chemistry*, Lewis Publishers: Boca Raton, 7th ed., 2000.
5. Silva Filho, J. D. S.; *O Peixe não Evolui e Exige Maior Controle sobre os Custos de Produção*, IPTA-Instituto de Pesca, 2000.
6. www.pesca.sp.gov.br, acessada em Julho 2005.
7. Murphy, K. J.; Dickinson, G.; Thomaz, S. M.; Bini, L. M.; Dick, K.; Greaves, K.; Kennedy, M. P.; Livingstone, S.; McFerran, H.; Milne, J. M.; Oldroyd, J.; Wingfield, R. A.; *Aquatic Botany* **2003**, *77*, 257.
8. Silva, N. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil, 2003.
9. Wu, R. S. S.; Lam, K. S.; MackKay, D. W.; Lau, T. C.; Yam, V.; *Mar. Environ. Res.* **1994**, *38*, 115.
10. Hudson-Edwards, K. A.; Macklin, M. G.; Jamieson, H. E.; Brewer, P. A.; Coulthard, T. J.; Howard, A. J.; Turner, J. N.; *Appl. Geochem.* **2003**, *18*, 221.
11. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB); *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo*, São Paulo, 2004.
12. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB); *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo*, São Paulo, 2005.
13. Rezende, D. M. M.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Maringá, Brasil, 2001.
14. Flores, J. C.; *Water Res.* **2000**, *34*, 1107.
15. House, M. A.; Ellis, J. B.; *Water Sci. Technol.* **1987**, *19*, 145.
16. Pesce, S. F.; Wunderlin, D. A.; *Water Res.* **2000**, *34*, 2915.
17. Sanchez, E.; Colmenarejo, M. F.; Vicente, J.; Rubio, A.; Garcya, M. G.; Travieso, L.; Borja, R.; *Ecological Indicators* **2007**, *7*, 315.
18. Chang, N.-B.; Chen, H. W.; Ning, S. K.; *J. Environ. Manage.* **2001**, *63*, 293.
19. Stambuk-Gilvanovic, N.; *Water Res.* **1999**, *33*, 3423.
20. Yli-Viikari, A.; Hietala-Koivu, R.; Huusela-Veistola, E.; Hyvonen, T.; Perala, P.; Turtola, E.; *Ecological Indicators* **2007**, *7*, 150.
21. Silva, G. S.; Jardim, W. F.; *Quim. Nova* **2006**, *29*, 689.
22. Instituto Adolfo Lutz, Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz; *Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos*, Ed. Rebocho, D. D. E., 3^o ed., Secretaria do Estado da Saúde de São Paulo, 1985.
23. ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas; *NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores*, Rio de Janeiro, Jun. 1987.
24. Clesceri, L. S.; Greenberg, A. E.; Eaton, A. D.; *Standard Methods for the Examination of water and waste water*, 20th ed., APHA: Washington, 1998.
25. Scarmínio, I.; *Tese de Doutorado*, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 1989.
26. Beebe, K. R.; Kowalski, B. R.; *Anal. Chem.* **1987**, *59*, 100/A.
27. Legendre, L.; Legendre, P.; *Numerical Ecology*, Elsevier: Amsterdam, 1983.
28. Sampson, C. J.; Brezonik, P. L.; Weir, E. P.; *Adv. Chem. Ser.* **1994**, *237*, 121.