

Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água

Comments on the water quality classification of water bodies

Enéas Souza Machado^{1*} , Heloise Garcia Knapik² , Camila de Carvalho Almeida de Bitencourt³ 

RESUMO

Previsto na Lei nº 9.433/97 e em legislações estaduais de recursos hídricos, o enquadramento de corpos de água segundo seus usos preponderantes tem sido aplicado em diversas bacias hidrográficas brasileiras. Por ser de uso relativamente recente, pairam muitas dúvidas em detalhes de sua efetiva aplicação. Isso posto, o presente trabalho apresenta uma sugestão de metodologia que vem sendo aplicada pelos autores, compreendendo os diversos passos citados na Resolução CNRH nº 91/08. A metodologia não se pretende definitiva e visa contribuir para a aplicação da importante ferramenta do enquadramento.

Palavras-chave: enquadramento; qualidade da água; curvas de permanência de cargas.

ABSTRACT

The classification of water bodies according to designated uses is a tool present in the 9.433/97 federal law and has been applied in several Brazilian hydrographic basins. Due to its relatively recent application, there are many doubts about the details of its implementation. The paper suggests a methodology that is being used by the authors, comprising the steps foreseen in Conselho Nacional de Recursos Hídricos's (CNRH) Resolution nº 91/08. Although it is not a definitive methodology, it aims to contribute to the debate about the use of this relevant management tool of water resources.

Keywords: water body classification; water quality; load duration curves.

INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), promulgada pela Lei Federal nº 9.433/97 (BRASIL, 1997), dispõe de uma série de objetivos, fundamentos, diretrizes gerais e instrumentos para a implantação da gestão de recursos hídricos no Brasil. Conhecida também como Lei das Águas, tem como objetivos assegurar à atual e às futuras gerações disponibilidade de água em quantidade e qualidade necessárias, promover a utilização racional e integrada dos recursos hídricos e a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Entre os instrumentos de gestão estabelecidos, encontra-se o enquadramento de corpos d'água em classes, segundo os usos preponderantes da água, que visa indicar a meta de qualidade hídrica em função da classificação por tipo de uso, de acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 (BRASIL, 2005). Essa meta deve ser de longo prazo, pois o instrumento também é de planejamento e contempla estudos de diagnóstico, prognóstico, proposta de enquadramento e programa de efetivação, conforme

procedimentos gerais descritos na Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 91 (BRASIL, 2008). Dessa forma, o instrumento busca assegurar às águas qualidades compatíveis com os usos mais exigentes a que forem destinadas e, simultaneamente, diminuir os custos de combate à poluição.

Esse instrumento consiste em enquadrar os corpos d'água em classes de acordo com o uso preponderante, sendo que cada classe tem uma série de parâmetros de qualidade da água a serem atendidos, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05. A classificação é realizada em cinco grupos: Classe Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4. A Classe Especial representa os usos mais exigentes, ou seja, aqueles que requerem melhor qualidade da água, como a proteção e a preservação da vida aquática; o outro extremo, a Classe 4, expressa os usos menos exigentes, como a navegação e a harmonia paisagística.

São muitos os mecanismos por trás da elaboração do diagnóstico e prognóstico do enquadramento, fazendo-se necessário entender a relação das variáveis existentes dentro dessas etapas, como a vazão de referência, os parâmetros de qualidade, os meios de estimativa de cargas

¹Instituto das Águas do Paraná - Curitiba (PR), Brasil.

²Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná - Curitiba (PR), Brasil.

³Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos - Curitiba (PR), Brasil.

*Autor correspondente: smeneas@gmail.com

Recebido: 10/06/2017 - Aceito: 11/12/2017 - Reg. ABES: 181252

poluidoras, a construção dos cenários e os modelos representativos dos processos de absorção de cargas pelos corpos hídricos.

Embora a figura do enquadramento esteja presente nas regulamentações brasileiras desde os anos 1960, somente após cerca de uma década da promulgação da Lei nº 9.433/97 é que aparecem os primeiros estudos sobre o tema no âmbito dos Comitês de Bacia Hidrográfica. Pode-se dizer, com certeza, que persistem muitas dúvidas, tanto na definição do enquadramento como na sua efetivação. Quais parâmetros utilizar, qual será a vazão de referência, como encarar a poluição difusa, o cálculo dos recursos necessários na efetivação — a falta de custos unitários adequados para a remoção de cargas, por exemplo —, e o monitoramento da sua efetivação são algumas das questões relevantes em aberto.

Ainda, o envolvimento de múltiplos atores sociais nos processos decisórios da gestão de recursos hídricos, como é o caso da atuação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, torna-os suscetíveis a falhas como ausência de informação, transparência e desconhecimento do objeto da decisão, as quais, se não contornadas, podem gerar um ambiente de desconfiança entre os membros e falta de compromisso com as decisões aprovadas (TORRES *et al.*, 2016).

Nesse contexto, o presente trabalho resulta da experiência dos autores no enquadramento de cursos de água em bacias hidrográficas brasileiras, em especial no estado do Paraná, e visa contribuir para a discussão e o aprimoramento da elaboração e implantação desse instrumento. A seguir, é apresentada uma metodologia de enquadramento que inclui as etapas de diagnóstico, cenarização, programa de efetivação e acompanhamento do enquadramento, as quais se mostraram eficientes em suas aplicações, bem como as lacunas ainda encontradas.

METODOLOGIA DE ENQUADRAMENTO

As bases para estudos de enquadramento são estipuladas em duas resoluções federais: a Resolução nº 357 do CONAMA (BRASIL, 2005) e a Resolução nº 91 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2008). A Resolução nº 357/05 indica as classes de qualidade ambiental de rios conforme seus usos preponderantes e estabelece os limites dos diversos parâmetros. Já a Resolução CNRH nº 91/08 apresenta as etapas a serem seguidas em um estudo de enquadramento.

O primeiro passo consiste na seleção dos rios a serem estudados de forma mais detalhada para o enquadramento, sendo que os demais serão definidos como Classe 2 por força da Resolução CONAMA nº 357/05. Nas bacias do estado do Paraná, tem-se optado por priorizar o enquadramento de todos os afluentes de ordem imediatamente inferior ao curso d'água principal, dos mananciais destinados ao abastecimento público, dos rios que cruzam áreas urbanas e dos rios receptores de efluentes domésticos e industriais, além dos rios que já têm suas classes

previamente definidas: aqueles que cruzam áreas indígenas e áreas de conservação de proteção integral.

Identificação dos usos atuais e futuros

Feita a seleção dos cursos d'água a serem enquadrados, devem-se definir seus usos atuais e futuros. Nessa etapa se verifica a necessidade de um cadastro de captações e lançamentos de efluentes o mais completo possível, o que é bastante raro nos órgãos gestores estaduais. Essa pesquisa deve ser complementada por reuniões com membros dos comitês e outros agentes locais que possuam melhor conhecimento do uso local dos recursos hídricos. Tal medida mostrou-se efetiva e contribuiu de forma bastante satisfatória para a Proposta de Atualização do Enquadramento da Bacia do Paraná 3 (AGUASPARANÁ, 2016) e para outras propostas de enquadramento em bacias do Rio Grande do Sul, como o Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí (SEMA, 2011), em que a população foi convidada a apontar em mapas detalhados a localização de usos atuais e futuros não identificados por meio dos dados públicos existentes.

Os mananciais futuros para abastecimento público são identificados mais facilmente, já que as empresas municipais ou estaduais normalmente os têm selecionados. O mesmo acontece com as estações de tratamento de efluentes domésticos, as quais geralmente estão previstas nos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSBs) e no planejamento estratégico das empresas de esgotamento sanitário. A cenarização quantitativa de efluentes industriais, a piscicultura e os dejetos oriundos da criação de animais devem ser objeto de extrapolações cuidadosas dessas cargas, com base em estatísticas anteriores e tendências verificadas na economia da bacia.

Diagnóstico da qualidade da água atual

O diagnóstico da qualidade da água é uma das etapas iniciais do enquadramento e ajuda a identificar pontos críticos de qualidade e, assim, elencar conformidades e desconformidades com o enquadramento proposto. Nem sempre a malha de monitoramento qualitativo do órgão gestor é eficiente, seja em termos de quantidade de estações ou de periodicidade das coletas. Deve-se também fazer uso de outros dados de qualidade da água, especialmente aqueles coletados pelas empresas de saneamento junto às suas captações e lançamentos, bem como as declarações anuais de uso exigidas nas outorgas de lançamento ou nos licenciamentos ambientais.

Percebe-se que há uma tendência de elaboração dos diagnósticos com base apenas em dados secundários, os quais são analisados por meio de estatísticas simplificadas, tais como mínimas, médias e máximas apresentadas em um único gráfico. Raros são os estudos que fazem uso de técnicas mais avançadas de análise de dados, tais como gráficos *boxplot*, utilizados no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Benevente (IEMA, 2015). Outra tendência observada é

realizar o diagnóstico a partir da porcentagem de violação dos parâmetros na Classe 2.

Enquadramento preliminar em função dos usos preponderantes e prognóstico

Uma vez conhecidos os rios a serem enquadrados e seus usos atuais e futuros, pode-se enquadrá-los preliminarmente conforme o disposto na Resolução CONAMA nº 357/05 em função dos usos preponderantes. Essa etapa permite a identificação de conflitos de uso e incompatibilidade da qualidade da água exigida num mesmo rio por diferentes usos, o que normalmente exige a divisão do rio em trechos com diferentes classes. Nessa fase, é importante considerar que o enquadramento é um instrumento de planejamento baseado na qualidade exigida pelo uso, e não na qualidade apresentada pelo rio atualmente.

Essa etapa apresenta o problema, citado por Barclay *et al.* (2016), da incompatibilidade entre a classificação baseada em usos futuros e a qualidade real da água, havendo influência preponderante do uso e ocupação do solo. Assim, o enquadramento preliminar pode ser enganoso. Busca-se compensar tal deficiência com a elaboração de cenários prospectivos, que levem em consideração a alteração do uso do solo, e, assim, subsidiem a definição do enquadramento com base nas alterações que podem ocorrer na bacia. No estado do Paraná, a base para a construção dos cenários são as variáveis desenvolvidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná (ÁGUASPARANÁ, 2010), além dos próprios diagnósticos dos Planos de Bacia. Os cenários buscam elaborar projeções para o que pode ocorrer na bacia, sem precisão detalhada, levando em conta aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Modelagem matemática, monitoramento e representatividade dos parâmetros

A simulação matemática da qualidade é uma importante ferramenta para o planejamento e o gerenciamento de bacias hidrográficas, que permite, entre outras aplicações, a melhor compreensão da variação da qualidade de água ao longo do tempo e do espaço, bem como dos impactos de lançamentos de cargas poluidoras e de possíveis melhorias trazidas pela implementação de medidas de despoluição hídrica (KNAPIK *et al.*, 2014). Vários pesquisadores têm utilizado diferentes modelos de qualidade da água para tal fim (GOMES & SIMÕES, 2014; TEODORO *et al.*, 2013; KNAPIK *et al.*, 2009), com uma abordagem metodológica que, associada ao efetivo monitoramento da qualidade da água, produz resultados com aplicação prática na definição dos Planos de Bacias, como, por exemplo, o Plano de Bacias da Bacia do Alto Iguaçu (PR) (AGUASPARANÁ, 2007) e o Plano de Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (SP) (COMITÊ PCJ, 2011). Trata-se, portanto, de uma ferramenta fundamental para o diagnóstico da real condição de enquadramento de um rio, bem como o prognóstico de permanência dentro dessa classe, tendo em vista aspectos físicos, químicos e

biológicos intrínsecos a cada bacia hidrográfica e, principalmente, os múltiplos usos de seus recursos. Ainda, permite avançar no suporte às tomadas de decisão na consolidação do enquadramento e na outorga de efluentes (CARVALHO & KAVISKI, 2009), por meio da otimização da alocação de cargas em função da capacidade de assimilação do corpo hídrico. Um dos modelos mais utilizados na simulação da qualidade da água é o QUAL2E, agora em sua nova revisão, denominada QUAL2K (CHAPRA & PELLETIER, 2003).

Contudo, na prática, ainda se faz necessária maior capacitação dos membros dos Comitês de Bacias a fim de que a simulação matemática, tanto para o diagnóstico e prognóstico da qualidade de água quanto para a implementação, acompanhamento e otimização de medidas de despoluição hídrica, seja, de fato, utilizada no suporte às tomadas de decisão em recursos hídricos. A experiência de Torres *et al.* (2016) mostra que, embora a modelagem matemática e a análise multicritério possuam boa estrutura técnica, essas ferramentas devem ser trabalhadas junto aos membros dos Comitês de Bacias. Como destacam os autores, a vantagem está na simplificação da informação repassada aos respectivos membros, que, assim, podem ter melhor embasamento na escolha das ações a serem implementadas em determinada bacia, respeitando as especificidades locais e adequando-se às diferentes condições técnicas, econômicas e ambientais.

Ainda, quando se fala em modelagem de qualidade da água, duas questões voltam ao cenário desafiador da gestão de recursos hídricos colocada em prática:

- um monitoramento representativo do rio em estudo, uma vez que dados são necessários para ajustar qualquer tipo de modelo que se aplique para a simulação da condição de escoamento/decaimento de poluentes em um corpo aquático;
- a representatividade dos parâmetros de qualidade da água utilizados nos planos de monitoramento e nos modelos empregados para a simulação matemática em conformidade com a legislação brasileira no que concerne ao enquadramento de corpos d'água.

Paralelamente ao uso de modelos matemáticos de qualidade da água, a análise probabilística por meio de curvas de probabilidade de excedência de determinada concentração tem sido utilizada, neste caso, com base na frequência de dados observados em campo. Essa é uma forma de analisar a incompatibilidade entre a qualidade da água e o enquadramento legal de corpos d'água e que pode, por meio da condensação da informação, orientar o processo decisório dos Comitês de Bacias e, conseqüentemente, o gerenciamento integrado da água em uma bacia hidrográfica (CUNHA & CALIJURI, 2010).

Cunha *et al.* (2012) indicam que o uso de curvas probabilísticas, construídas a partir de dados monitorados em campo, pode tanto indicar a necessidade de ações prioritárias para melhorar a qualidade da água em relação a alguma variável, no caso de excedência de probabilidade

máxima tolerável, como permitir a eliminação ou diminuição da frequência de monitoramento de certos parâmetros, quando, por exemplo, a probabilidade de inconformidade for nula ou apresentar valores baixos ao longo do tempo. Esses dois resultados podem, dessa maneira, contribuir para a maior eficácia do plano de monitoramento, otimizando a aplicação de recursos e direcionando o processo decisório no que concerne à gestão de qualidade da água, em especial em bacias com expressiva heterogeneidade espacial e temporal.

O conceito de probabilidade de excedência também vem sendo utilizado a partir de resultados da modelagem matemática de qualidade da água, ou de forma integrada a eles. Brites (2010), por exemplo, desenvolveu um conceito interessante sobre a utilização de metas progressivas de qualidade da água, estabelecendo uma relação entre vazão e concentração da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) por meio de curvas de permanência.

Em aplicação recente das curvas de permanência de concentração, também na Bacia do Alto Iguaçu, Ferreira *et al.* (2016) defendem o uso da modelagem em regime não permanente para a simulação da qualidade da água como subsídio ao enquadramento. De acordo com os autores, bacias urbanas requerem análise mais detalhada em virtude da dinâmica de uso e ocupação do solo, que pode induzir a distintos processos de poluição. Dessa maneira, o maior detalhamento das curvas de permanência em função da modelagem em regime não permanente, de acordo com os resultados obtidos, permite maior flexibilidade no gerenciamento dos recursos hídricos, com significativa melhora no detalhamento em comparação à simulação em regime permanente realizada na maioria dos modelos utilizados em gestão de recursos hídricos.

A modelagem matemática, contudo, depende de parâmetros que efetivamente indiquem a condição física, química e biológica do corpo hídrico. A DBO, em conjunto com o oxigênio dissolvido (OD), tem sido o primeiro e principal parâmetro utilizado para o enquadramento no Brasil devido à preponderância de efluentes domésticos em nossos rios. Apenas alguns planos, como o Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Tocantins e Araguaia (ANA, 2009), estabelecem parâmetros por sub-bacias com base no uso do solo, a principal fonte de poluição. Já o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (ANA, 2010) e o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande (ANA, 2013) estabelecem o monitoramento de parâmetros prioritários de acordo com os valores acima do limite da Classe 2 observados na etapa do diagnóstico da qualidade da água.

As concentrações de DBO e OD, de acordo com Shanahan *et al.* (1998), são os parâmetros considerados como as principais variáveis de estado em modelos mundialmente utilizados, como o Qual2e (BROWN & BARNWELL, 1987), e modelos nacionais, como o Qual-UFMG (VON SPERLING, 2007). A análise da DBO, contudo, é subjetiva, com limitações e de difícil interpretação (COMBER *et al.*, 1996). Diferenças de até 20% são aceitáveis em ensaios interlaboratoriais

(APHA, 1998), carregando, assim, incertezas do processo analítico para os limites das classes de enquadramento previstos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Adicionalmente, o ensaio da DBO apresenta tempo de processamento elevado (cinco dias) e caráter biológico, ou seja, pode sofrer interferência de substâncias tóxicas ou inibidoras presentes no ambiente, o que dificulta seu uso como parâmetro de fiscalização e controle.

Ainda assim, a maioria dos estudos de modelagem da qualidade da água utiliza a simulação da concentração de DBO como subsídio ao enquadramento de corpos d'água (SILVA *et al.*, 2017; TEODORO *et al.*, 2013). KNAPIK *et al.* (2014), por exemplo, desenvolveram um modelo de matéria orgânica em rios, considerando, além do conjunto DBO-OD, parâmetros como o carbono orgânico como parâmetro de monitoramento e variável de estado na simulação do conteúdo orgânico em modelos de qualidade da água. Apesar de a análise do carbono orgânico ser menos subjetiva e mais rápida quando comparada à determinação da DBO, ainda não existem limites de classes em função da concentração do carbono orgânico total ou da fração dissolvida em relação ao enquadramento de corpos d'água.

Na questão da análise probabilística por meio de curvas de permanência e concentração de excedência, são considerados, além da DBO, parâmetros como turbidez, fósforo total, coliformes termotolerantes, OD e nitrato (GUIMARÃES *et al.*, 2016). Nesse sentido, pode-se destacar o fósforo total, nutriente presente tanto nas cargas pontuais (efluentes domésticos e alguns tipos de efluentes industriais) quando nas difusas, caso do seu uso intenso na atividade agrícola e nos dejetos pecuários.

O fósforo é um parâmetro que deve ser estudado com atenção, principalmente no caso de rios que alimentam reservatórios e, assim, correm risco de eutrofização. A quantificação de fósforo, principalmente na carga difusa, ainda é bastante discutida, pois depende de um conjunto de elementos que influenciam no processo de escoamento superficial da bacia, tais como: frequência, intensidade e duração das chuvas; tipo e manejo do solo; declividade do terreno; cobertura vegetal; e propriedades geológicas, conforme destacado por Corrêa *et al.* (2015). Já no que se refere às fontes pontuais, a grande preocupação está na efetiva remoção desse nutriente em estações de tratamento de efluentes, o que demanda tecnologias e procedimentos sofisticados como a utilização de membranas, de custo de operação e manutenção elevados, o que se traduz na "resistência" dos operadores de saneamento em implantá-los.

Entre os estudos que buscam determinar os elementos que influenciam no aporte da carga de fósforo em rios e reservatórios destaca-se o realizado na bacia do reservatório Guarapiranga, em São Paulo (GOMES *et al.*, 1998). Os resultados obtidos por seu autor foram utilizados para a estimativa de cargas de alguns planos de bacia e propostas de enquadramento, entre eles o Plano de Recursos Hídricos e do Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (ANA, 2015), além da Atualização do Enquadramento

da Bacia do Paraná 3 (AGUASPARANÁ, 2016). No caso de bacias com usos do solo urbano e rural intensivos (bacia do rio Tibagi, no estado do Paraná), estudos ainda bastante simplificados (COPEL, 2012) apontam para a preponderância de fósforo de origem rural na ordem de 60% da concentração medida nos rios, com os restantes 40% divididos igualmente entre fontes pontuais de efluentes domésticos e industriais.

Cabe aqui um rápido comentário sobre o que dispõe a Resolução CONAMA nº 357/05 a respeito da zona de mistura. De acordo com a Resolução, os parâmetros de qualidade da água podem ter seus limites excedidos no trecho da zona de mistura, o que pode trazer sérias implicações tanto para a outorga de efluentes quanto para o enquadramento. Estudos de dispersão desenvolvidos por Barreto (2016) mostram que a zona de mistura pode ter extensão excessiva. A zona de mistura é função das características do efluente e do corpo receptor, bem como dos coeficientes de difusividade lateral e vertical. Por exemplo, para o rio Barigui, afluente do rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba, com extensão total de 67 km, a zona de mistura, para o caso de um único lançamento, pode ter extensões de 19 a 3.700 m. Já para o rio Tibagi, com extensão total de 550 km, a mistura completa, também para um único lançamento, pode ter extensão de 21 a 13.400 m.

No Brasil, não se conhece metodologia padrão para a determinação da extensão da zona de mistura, sendo adotado o conceito de mistura instantânea. Outros países possuem critérios, alguns dos quais bastante simplificados. O estado da Flórida (FLORIDA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2012), nos Estados Unidos, por exemplo, limita o comprimento da zona de mistura a 800 m ou 10% do comprimento total do curso de água, entre outras restrições.

A simulação matemática mostra que, em muitos casos, mesmo que se promovam melhorias significativas nas estações existentes para um horizonte futuro, a carga lançada ainda resultará em concentrações de DBO nos cursos de água acima de 10 mg/L, ou seja, com qualidade compatível com a Classe 4 da Resolução CONAMA nº 357/05. Embora não seja ilegal, essa classificação enfrenta resistência dos Comitês de Bacias por representar a pior qualidade. Ao analisar as bacias com propostas de enquadramento aprovadas no Brasil, observa-se que poucas apresentam rios em Classe 4, embora saiba-se que a qualidade das águas, principalmente em regiões urbanas, é bastante precária. O aparecimento de Classe 4 nos enquadramentos efetuados em bacias do estado do Paraná se deve ao nível de detalhamento obtido, utilizando-se mais de uma centena de trechos de rios, especialmente em áreas urbanas, onde se tem a soma de cargas difusas e pontuais de origem doméstica e industrial.

Como medida paliativa para eliminar, no longo prazo, a Classe 4 das bacias do estado do Paraná, tem sido proposta a utilização de limites de concentração da DBO de mistura quando da emissão de novas outorgas de lançamento de efluentes. Tal procedimento foi adotado pelo Comitê da Bacia do Paraná 3 (região do reservatório de Itaipu).

A Resolução do Comitê que define o enquadramento contém uma cláusula proibindo lançamentos que conduzam a uma DBO de mistura superior a 20 mg/L no curto prazo e 15 mg/L no médio e longo prazos (AGUASPARANÁ, 2016).

PROGRAMA PARA EFETIVAÇÃO DO ENQUADRAMENTO

O Programa para Efetivação do Enquadramento trata de ações e obras que levem à qualidade da água compatível com a classe em que o rio foi enquadrado. As cargas pontuais que eventualmente excedem a capacidade assimilativa do corpo hídrico são facilmente identificáveis, embora não facilmente eliminadas, mesmo na meta final de enquadramento. Há um enorme passivo ambiental na área de efluentes domésticos que pode exigir décadas para ser eliminado, principalmente nos dias atuais, em que a capacidade de investimento das empresas estatais e municipais vem caindo de forma assustadora. Cabe lembrar que melhorias de eficiência em estações existentes não elevam a receita das companhias, o que dificulta a tomada de empréstimos em fontes como o Ministério das Cidades.

Mesmo que houvesse recursos para a eliminação do passivo ambiental das cargas domésticas, restaria a contribuição das cargas difusas provenientes dos meios urbano e rural. No setor urbano, temos as “lavagens” da bacia após eventos pluviométricos, que carregam óleos e graxas, sedimentos e resíduos sólidos para os cursos de água. No setor agrícola, há uma enorme contribuição de cargas, especialmente de fósforo, que podem levar à eutrofização de reservatórios situados a jusante. Com o advento do plantio direto foram abandonadas as práticas conservacionistas adotadas por muitos estados brasileiros em décadas passadas. No estado do Paraná, o programa de conservação de água e solo está sendo retomado (PARANÁ, 2016).

Enfim, em uma perspectiva realista, o Plano para Efetivação do Enquadramento pode se tornar uma peça de ficção, seja pela falta de recursos financeiros para solucionar o passivo ambiental do saneamento, seja pelo ainda baixo engajamento das prefeituras e do meio rural, seja pela inexperiência em estabelecer e desenvolver ações que contribuam para a efetivação do enquadramento.

O MONITORAMENTO DA EFETIVAÇÃO DO ENQUADRAMENTO

Historicamente, no Brasil, apesar de uma quantidade razoável de bacias ter o enquadramento aprovado, não há registros de seu acompanhamento e real efetivação. De qualquer forma, sabe-se que a melhor maneira de medir o sucesso da efetivação do enquadramento é por meio da evolução da qualidade da água. Embora o insumo básico para isso sejam dados de monitoramento, a determinação dos locais e a frequência de

amostragem, bem como a escolha dos parâmetros a serem analisados, são difíceis de obter, pois envolvem a questão da representatividade e dos custos. Além disso, existe a questão da análise, do tratamento e da interpretação dos dados obtidos.

Do ponto de vista da rede de monitoramento, a utilização de ferramentas de estatística multivariada pode ser útil, visto que programas de monitoramento são dispendiosos. Segundo Nonato *et al.* (2007), com essas técnicas é possível otimizar a rede de amostragem proposta, a frequência de amostragem e o número de parâmetros analisados. Três técnicas de estatística multivariada foram aplicadas com esse objetivo para dados de monitoramento da Bacia do Alto Iguaçu por França (2009) e Almeida (2013), com resultados interessantes sobre a redução de pontos de amostragem e parâmetros de maior representatividade em cada ponto. Na prática, o que se observa é que os Programas para Efetivação buscam estabelecer uma rede de monitoramento baseada no valor mínimo de uma estação por 1.000 km². Tal índice foi adotado pela Comunidade Europeia por orientação da Diretiva Quadro da Água, publicada em 1998 pela Agência Europeia de Meio Ambiente, e vem sendo utilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA) no Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil (ANA, 2012) e por órgãos estaduais de saneamento, como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

No que se refere à interpretação dos dados, a metodologia aqui apresentada é baseada na utilização de curvas de permanência de vazões e cargas recomendada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2007). Curvas de permanência de cargas têm sido bastante utilizadas por pesquisadores dos Departamentos de Hidráulica e Saneamento das Universidades de São Paulo e Federal do Paraná (BRITES *et al.*, 2007; KNAPIK *et al.*, 2009).

A curva de permanência de vazões é uma ferramenta tradicional da hidrologia, construída a partir de séries hidrológicas (diárias, mensais ou anuais) de um curso d'água em dada localização, utilizando a frequência acumulada dessas séries. A curva relaciona valores de vazão, do mais alto para o mais baixo, com a porcentagem do tempo em que os valores foram alcançados ou excedidos. Em estudos de qualidade da água, associa-se o conceito de curva de permanência com as concentrações por meio da construção de curvas de permanência de cargas.

As curvas de permanência de cargas máximas são constituídas para cada trecho de rio multiplicando-se as vazões de dada estação fluviométrica pela concentração máxima de um parâmetro da classe em que o trecho de rio foi enquadrado; são função da variação de vazão ao longo do curso de água e também de eventuais mudanças de classe em um mesmo corpo hídrico, e para cada tipo de constituinte (DBO, coliformes etc.). Mediante o monitoramento contínuo ao longo do Programa para Efetivação, pode-se inferir a evolução da qualidade da água comparando o valor de dada carga com a curva de permanência. Como exemplo, a Figura 1 apresenta a curva de cargas máximas de

DBO para a estação de Porto Amazonas, no rio Iguaçu (PR), acrescida dos resultados de amostragens dos anos de 2007 a 2011.

Uma plotagem de carga medida que fica acima da curva de permanência indica violação do enquadramento. Ainda, utilizando-se a curva de permanência de cargas, adicionada à divisão de frequências de vazões (Figura 2), podem-se inferir outras conclusões interessantes para caracterizar o tipo de poluição no curso de água ao longo do tempo. Obtendo-se amostras em todo o espectro de vazões, pode-se examinar se o não atendimento à classe aparece em todas as condições de vazão ou apenas em condições de baixa ou alta vazão. O não atendimento em condições de baixa vazão mostra a existência de fontes pontuais de poluição, enquanto o não atendimento no trecho de alta vazão evidencia poluição por fontes não pontuais (Quadro 1; Figura 2),

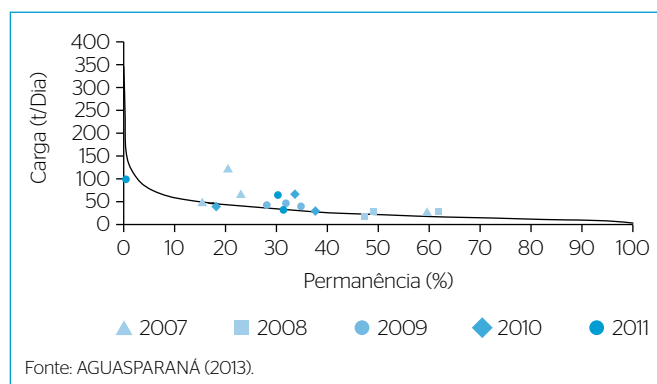


Figura 1 - Curva de permanência da carga de demanda bioquímica de oxigênio admissível para o rio Iguaçu em Porto Amazonas - Classe 2, com resultados de amostragens.

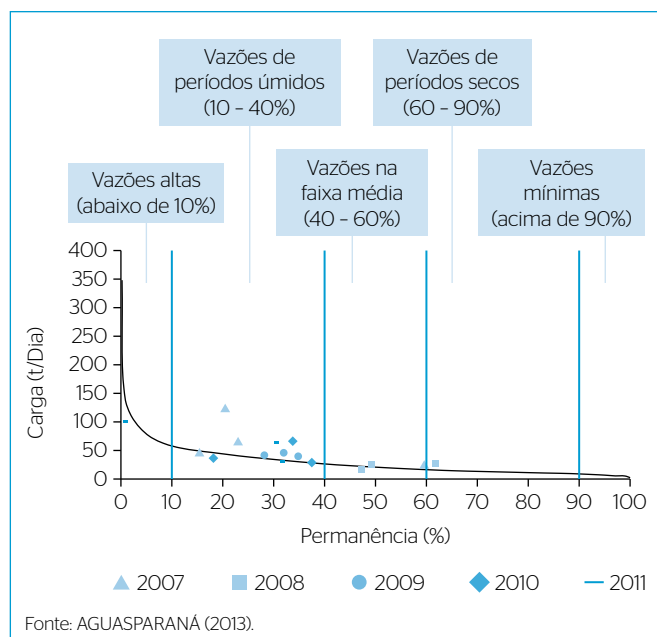


Figura 2 - Curva de cargas no rio Iguaçu, em Porto Amazonas.

o que oferece um retrato bastante razoável do comportamento da qualidade da água no trecho a montante naquela seção do rio.

No estado do Paraná, a vazão adotada para a verificação da efetivação do enquadramento tem sido $Q_{70\%}$, correspondente a condições de períodos secos e de vazões mínimas, cujas fontes de poluição são as pontuais e os lançamentos *in situ* (Quadro 1).

Quadro 1 - Exemplo das áreas de origem e considerações das condições hidrológicas.

Fonte de contribuição	Divisões na curva de duração				
	Vazões altas	Vazões de períodos úmidos	Vazões na faixa média	Vazões de períodos secos	Vazões mínimas
Fonte pontual				M	A
Lançamentos <i>in situ</i> (tratamento local – por exemplo: fossa séptica)			A	M	
Áreas riparianas (mata ciliar, <i>wetland</i> etc.)		A	A	A	
Águas pluviais: áreas impermeáveis		A	A	A	
Extravasamento de ETE de redes compostas (águas pluviais e efluentes)	A	A	A		
Águas pluviais de cabeceira de bacia	A	A	M		
Erosão das margens	A	M			

ETE: estação de tratamento de efluentes.

Nota: potencial relativo da importância da fonte de origem para contribuir com cargas em dada condição hidrológica (A: altas; M: médias).

Fonte: USEPA (2007).

O Programa para Efetivação da Atualização do Enquadramento está focado principalmente na redução de cargas pontuais. No caso de bacias contaminadas com poluição tipicamente pontual, o programa, ao adotar a vazão $Q_{70\%}$, poderá garantir que sejam aceitas vazões inferiores por até 30% do tempo e que, portanto, o curso de água fique fora do enquadramento.

Novas revisões devem levar à redução da vazão de referência para o monitoramento do enquadramento à medida que forem alcançadas melhorias na qualidade da água e levantados novos dados. A poluição difusa, ainda praticamente desconhecida no monitoramento dos rios brasileiros, deverá ser mais bem entendida e monitorada.

CONCLUSÕES

Nota-se que, apesar de o Brasil ter avançado nos últimos anos na gestão de recursos hídricos por bacias hidrográficas, por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos, muitas questões ainda devem ser elucidadas sobre as melhores metodologias a serem aplicadas em cada caso.

No que se refere especificamente ao enquadramento, nota-se que há certa comodidade na elaboração de diagnósticos, na definição dos parâmetros-base e na elaboração de cenários. Um dos grandes desafios é construir um programa de efetivação realmente eficaz, bem como um programa de acompanhamento das ações, pois vê-se que os poucos enquadramentos aprovados no Brasil não dispõem de documentos que mostrem sua evolução, o que é bastante preocupante.

Sendo o enquadramento um dos instrumentos diretamente ligados à questão de qualidade e quantidade da água — já que deve estar vinculado à concessão de outorgas e licenças ambientais —, é de suma importância que se dê mais atenção à sua aplicação.

Buscou-se, neste trabalho, levantar as metodologias que vêm sendo utilizadas na elaboração de propostas de enquadramento e que demonstram obter resultados interessantes, mas espera-se,

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). (2009) *Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia*: relatório síntese. Brasília: ANA. 256 p.

_____. (2010) *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Plano de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce*. Brasília: ANA.

_____. (2012) *Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil*: 2012. Brasília: ANA. 264 p.

_____. (2013) *Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Verde Grande*. Brasília: ANA. 182 p.

_____. (2015) *Plano de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba*. Brasília: ANA. 73 p.

ALMEIDA, C.C. (2013) *Análise Crítica de Parâmetros de Qualidade da Água: Estudo de Caso da Bacia do Alto Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). (1998) *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 20. ed. Washington, DC.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation.
- BARCLAY, J.R.; TRIPP, H.; BELLUCCI, C.J.; WARNER, G.; HELTON, A.M. (2016) Do waterbody classifications predict water quality. *Journal of Environmental Management*, v. 183, p. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.071>
- BARRETO, N.P. (2016) *Proposta de metodologia para definição de zona de mistura no estado do Paraná*. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BRASIL. (1997) *Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília.
- BRASIL. (2005) Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de águas superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes. Brasília.
- BRASIL. (2008) Conselho Nacional de Recursos Hídricos. *Resolução nº 91, de 5 de novembro de 2008*. Dispõe sobre os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais e subterrâneos. Brasília.
- BRITES, A.P.Z. (2010) *Enquadramento dos corpos de água através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica*. 174f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BRITES, A.P.Z.; PORTO, M.F.A.; FERNANDES, C.S. (2007) Proposta de uma ferramenta de auxílio para aplicação do enquadramento dos corpos d'água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. *Anais...* São Paulo.
- BROWN, L.C.; BARNWELL JR., T.O. (1987) *The enhanced stream water quality models QUAL2 and QUAL2E-UNCAS: Documentation and user manual*. Estados Unidos: U.S. Environmental Protection Agency.
- CARVALHO, R.C.; KAVISKI, E. (2009) Modelo de auxílio à tomada de decisões em processos de despoluição de bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 14, n. 4, p. 17-27. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v14n4.p17-27>
- CHAPRA, S.C.; PELLETIER, G. (2003) *QUAL2K: A modeling framework for simulation of river and stream water quality – Documentation and User's Manual*. Medford: Civil and Environmental Engineering Department, Tufts University. 121 p.
- COMBER, S.D.W.; GARDNER, M.J.; GUNN, A.M. (1996) Measurement of absorbance and fluorescence as potential alternatives to BOD. *Environmental Technology*, v. 17, n. 7, p. 771-776. <https://doi.org/10.1080/09593331708616444>
- COMITÊ PCJ. (2011) *Plano das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá*. Piracicaba: Agência de Bacias PCJ.
- COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (COPEL). (2012) *Programa para redução de nutrientes na bacia hidrográfica do Tibagi*. Curitiba: Companhia Paranaense de Energia.
- CORRÊA, G.P.; CUNHA, C.L.N.; BITENCOURT, C.C.A. (2015) Determinação do Coeficiente de Exportação de Fósforo em Áreas Agrícolas. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 12., 2015, Brasília. *Anais...* Brasília. Disponível em: <http://www.evolvedoc.com.br/silusba/detalhes-2089_determinacao-do-coeficiente-de-exportacao-de-fosforo-em-areas-agricolas>. Acesso em: jan. 2017.
- CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C. (2010) Análise probabilística da ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos: estudo de caso do rio Pariquera-Açu (SP). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 15, n. 4, p. 337-346. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522010000400006>
- CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C.; MEDIONDO, E.M. (2012) Integração entre curvas de permanência de quantidade e qualidade de água como ferramenta para a gestão eficiente dos recursos hídricos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 17, n. 4, p. 369-376. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522012000400003>
- FERREIRA, D.M.; FERNANDES, C.V.S.; KAVISKI, E. (2016) Curvas de permanência de qualidade de água como subsídio para o enquadramento de corpos d'água a partir da modelagem matemática em regime não permanente. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 3, p. 479-492. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011615143>
- FLORIDA Department of Environmental Protection. (2012) *Mixing zones in surface waters*. Florida Administrative Code. Flórida: Florida Department of Environmental Protection.
- FRANÇA, M.S. (2009) *Análise multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da Bacia do Alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos*. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- GOMES, F.C.; SIMÕES, S.J.G. (2014) Simulação de Modelagem Qualitativa para Avaliação Preliminar da Qualidade da Água na Bacia do Ribeirão das Perdizes em Campos do Jordão/SP, como subsídio ao enquadramento. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 3, p. 309-326. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n3.p309-326>
- GOMES, M.C.A.D.A.; PEREZ, L.S.N.; CURCIO, R.L.S. (1998) *Avaliação da poluição por fontes difusas afluentes ao reservatório Guarapiranga*. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo.
- GUIMARÃES, B.O.; REIS, J.A.T.; MENDONÇA, A.S.F.; AKABASSI, L. (2016) Análise probabilística de parâmetros de qualidade da água para suporte ao processo de enquadramento de cursos d'água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 4, p. 807-815. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016143190>
- INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ (AGUASPARANÁ). (2007) *Plano das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira*. Curitiba: AGUASPARANÁ.

- _____. (2010) *Plano Estadual de Recursos Hídricos - PLERH*. Curitiba: AGUASPARANÁ.
- _____. (2013) *Finalização do Plano das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira. Relatório Técnico - Produto 10*. Curitiba: AGUASPARANÁ. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/COALIAR/Publicacoes/plano_de_bacias/finalizacao_plano.pdf>. Acesso em: mar. 2019
- _____. (2016) *Proposta de Atualização do Enquadramento da Bacia do Paraná 3*. Curitiba: AGUASPARANÁ. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/pagina-239.html>>. Acesso em: nov. 2016.
- INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IEMA). (2015) *Enquadramento dos Corpos de Água e Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente*. Vitória: Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
- KNAPIK, H.G.; FERNANDES, C.V.S.; AZEVEDO, J.C.R. (2014) Aplicabilidade de técnicas de espectroscopia e da concentração de carbono orgânico dissolvido na caracterização da matéria orgânica em rios urbanos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 4, p. 214-225. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n4.p214-225>
- KNAPIK, H.G.; FERNANDES, C.V.S.; AZEVEDO, J.C.R.; FRANÇA, M.S.; PORTO, M.F.A. (2009) Estratégia para consolidação de metas progressivas de qualidade da água: Estudo de Caso do Enquadramento do rio Iguaçu. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande.
- NONATO, E.A.; VIOLA, Z.G.G.; ALMEIDA, K.C.B.; SCHOR, H.H.R. (2007) Tratamento estatístico dos parâmetros da qualidade das águas da bacia do Alto Curso do Rio das Velhas. *Química Nova*, v. 30, n. 4, p. 797-804. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000400008>
- PARANÁ. (2016) *Decreto nº 4.966, que institui o Programa Integrado de Conservação de Solo e Água do Paraná*. Paraná: Governo do Estado do Paraná.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA (SEMA). (2011) *Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí*. Porto Alegre: SEMA.
- SHANAHAN, P.; HENZE, M.; RAUCH, W.; REICHERT, P.; SOMLYODY, L.; VANROLLEGHEM, P. (1998) River water quality modeling II: problem of the art. *Water Science and Technology*, v. 39, n. 11, p. 245-252. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00661-1](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00661-1)
- SILVA, M.M.A.P.M.; FARIA, S.D.; MOURA, P.M. (2017) Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 1, p. 133-143. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017134420>
- TEODORO, A.; IDE, C.N.; RIBEIRO, M.L.; BROCH, S.A.O.; SILVA, J.B. (2013) Implementação do conceito Capacidade de Diluição de Efluentes no modelo de qualidade de água QUAL-UFMG: estudo de caso do rio Taquarizinho (MS). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, n. 3, p. 275-288. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522013000300010>
- TORRES, C.J.F.; MEDEIROS, Y.D.P.; FREITAS, I.M.D.P. (2016) Training watershed committee members to aid on the decision-maker process for the execution program of the framework of the water bodies. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 2, p. 314-327. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p314-327>
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2007) *An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs*. EPA 841-B-07-006. Estados Unidos: U.S. Environmental Protection Agency.
- VON SPERLING, M. (2007) *Estudos e modelagem da qualidade da água*. Belo Horizonte: Editora UFMG. 592 p.