

# Diretrizes para a elaboração e execução de programas de monitoramento da qualidade da água em pequenos reservatórios hidrelétricos

Submissão: 13/03/14

Revisão: 03/06/14

Aprovação: 09/12/14

**Daniela Maimoni Figueiredo**  
**Rúbia Cruz-Fantin**

**RESUMO:** Este trabalho visa apontar diretrizes, métodos e critérios para a elaboração e execução de programas de monitoramento da qualidade da água em pequenos reservatórios hidrelétricos, nas fases de diagnóstico (estudos de impacto ambiental), instalação (incluindo o enchimento do reservatório) e operação. Para tanto, foram explicitados alguns conceitos que formam a base para a compreensão e apresentados critérios para a seleção das variáveis físicas, químicas e biológicas a serem avaliadas, dos locais de coleta e da periodicidade das amostragens, baseados no conhecimento das condições naturais e antrópicas da bacia hidrográfica e na inter-relação com outros programas ambientais do empreendimento hidrelétrico. Foi apontada ainda a importância da reavaliação periódica destes programas e a necessidade de objetividade, visando maior eficiência no atendimento as demandas da sociedade, do empreendedor, dos órgãos de controle ambiental e das legislações pertinentes, bem como a otimização dos recursos financeiros. O programa bem planejado e executado certamente subsidiará a avaliação, a eliminação e/ou mitigação dos impactos ambientais inerentes aos empreendimentos hidrelétricos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pequenos reservatórios, Limnologia, Indicadores, Gestão dos Recursos Hídricos.

**ABSTRACT:** This paper aimed at indicating guidelines, methods and criteria for the elaboration and implementation of programs to monitor water quality in small hydroelectric reservoirs, during the stages of diagnosis (environmental impact assessments), installation (including filling the reservoir) and operation. For this purpose we explained some concepts that form the basis for understanding and presented criteria for the selection of physical, chemical and biological variables to be assessed, sampling sites and frequency of sampling, based on knowledge of the natural and anthropogenic conditions of the watershed and on the interrelationship with other environmental programs of the hydroelectric project. The importance of periodical reassessment of these programs and the need for objectivity, seeking greater efficiency to meet the demands of society, entrepreneurs, environmental control agencies and of relevant legislation, as well as the optimization of financial resources were also highlighted. A well-planned and implemented program will certainly provide additional information for the assessment, elimination and/or mitigation of environmental impacts inherent to hydropower projects.

**KEY WORDS:** Small reservoirs, Limnology, Indicators, Water Resources Management.

## INTRODUÇÃO

A produção de energia em pequenas hidrelétricas no Brasil apresentou um aumento expressivo nos últimos anos, principalmente nas regiões norte e centro-oeste, que ainda possuem muitos rios com potencial energético. Esta forma de geração de energia, mesmo sendo considerada renovável e limpa, causa modificações no rio principal e outros ambientes aquáticos associados, como tributários menores, áreas úmidas, a montante e principalmente a jusante deste rio. Os impactos destes empreendimentos, que tendem a ser menores do que em grandes em-

preendimentos hidrelétricos, são bem conhecidos e documentados na literatura e em estudos para atendimento aos órgãos de controle ambiental. Estes impactos são, em sua maioria, distintos em relação às duas fases principais do empreendimento, *instalação*, que inclui a construção da usina e o enchimento do reservatório, e *operação*, podendo ser agravados com a instalação de várias usinas em sequência num mesmo rio. Além disso, na fase de *diagnóstico*, que compõe os Estudos de Impacto Ambiental (EIAs) ou outros estudos menos complexos para a obtenção da licença de instalação, também podem ser detectados impactos provocados por outras atividades humanas sobre o rio

e outros ambientes aquáticos associados, localizados na área de influência do futuro empreendimento.

A identificação, a avaliação e o dimensionamento destes impactos, incluindo os pré-existentes na bacia hidrográfica, são parte integrante da gestão ambiental da hidrelétrica, pois subsidiam a tomada de decisão no sentido de mitigar, cessar ou compensar tais alterações, garantindo não só o atendimento às legislações e aos órgãos de controle ambiental, como também os usos múltiplos da água, inclusive a própria geração de energia elétrica. Para tanto, o dimensionamento espacial e temporal das amostragens da qualidade da água e a seleção das variáveis físicas, químicas e biológicas são fundamentais para que se obtenham os dados necessários que irão respaldar a gestão ambiental, mais especificamente, dos recursos hídricos, tanto do empreendimento quanto da bacia hidrográfica como um todo.

Inúmeras publicações estão disponíveis sobre o monitoramento de grandes reservatórios hidrelétricos, mas são escassos documentos técnicos que apontem diretrizes para o monitoramento da qualidade da água em pequenos reservatórios, considerando a recente expansão destes corpos d'água em várias regiões do Brasil e a importância destes ambientes artificiais, que são parte da bacia hidrográfica e, portanto, integrantes do sistema de gerenciamento dos recursos hídricos, de acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433 de 1997).

Neste contexto, o presente trabalho visa apontar diretrizes, métodos e critérios para a realização do monitoramento da qualidade da água em pequenos reservatórios hidrelétricos, bem como alguns conceitos que formam a base para a compreensão destes estudos. Tem-se o intuito com este trabalho de contribuir com o aumento da eficiência, da melhoria e da objetividade do monitoramento, visando subsidiar futuros protocolos por parte dos consultores e gestores públicos e privados envolvidos com a gestão ambiental de empreendimentos hidrelétricos.

Vale destacar que neste trabalho foram considerados como pequenos reservatórios aqueles que apresentam tempo de residência médio de dois até 40 dias, classificados como ambientes intermediários pela Resolução Conama 357/05, independente da quantidade de energia elétrica gerada.

## LIMNOLOGIA OU QUALIDADE DA ÁGUA?

A Limnologia é uma ciência, cujas bases conceituais foram lançadas em 1901 por Forel, com a

publicação na Suíça da obra *Limnologia Geral*. A origem da palavra *limnos* é grega e significa lago. Esse pesquisador, ao medir algumas características físicas e químicas da água e observar o ambiente aquático, descobriu que cada lago tem suas próprias características e funciona como um *microcosmo* (ESTEVES, 2011).

Atualmente, os limnólogos estudam não somente lagos, mas todos os ambientes aquáticos continentais (não marinhos), como rios, riachos, lagoas, pântanos, águas subterrâneas, banhados, lagoas costeiras, reservatórios, açudes, áreas alagáveis e nascentes (ESTEVES, 2011) como um ecossistema, procurando compreender sua estrutura e funcionamento nas dimensões espacial, temporal e antrópica. Em suma, é a ciência que estuda as variáveis físicas, químicas e biológicas e suas inter-relações no interior de um corpo hídrico, bem como as inter-relações desse corpo com a vizinhança (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2000).

Neste sentido, a limnologia insere-se como uma ciência fundamental para a efetiva gestão ambiental de empreendimentos hidrelétricos, pois fornece as bases para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos nas diferentes fases do empreendimento e no âmbito da bacia hidrográfica, através da geração de conhecimentos sobre: i) as condições físicas, químicas e biológicas da água; ii) o funcionamento dos ecossistemas aquáticos e iii) os fatores da bacia hidrográfica que controlam estas variações dos corpos d'água, sejam esses naturais ou antrópicos (FIGUEIREDO, 2007).

Tendo em vista que os ecossistemas aquáticos possuem suas próprias características físicas, químicas e biológicas, quando então se pode considerar que uma água é de qualidade? O que é *qualidade da água*? Para a compreensão deste conceito, é preciso ter como premissa que qualidade é uma condição relativa, ou seja, a qualidade da água é relativa ao uso requerido pelo homem. A água deve apresentar determinadas condições e/ou ter um padrão de variação destas condições dentro de uma faixa aceitável para que possa servir a um uso específico (FIGUEIREDO, 2009).

Os padrões de qualidade são estabelecidos em legislações de cada setor usuário da água. Com relação às águas superficiais, que inclui os rios e reservatórios na área de influência das hidrelétricas, a Resolução nº 357 de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente-Conama rege no Brasil estes padrões, definindo a qualidade adequada para vários usos da água, através da qualificação dos corpos d'água ou segmento de um rio em cinco classes de uso preponderante: Especial, 1, 2, 3 e 4.

Neste sentido, muitos programas para monitoramento em hidrelétricas incluem ou confundem limnologia com qualidade da água e outros distinguem ambos, mas são tratados num mesmo programa, em geral denominado *limnológico e da qualidade da água*. Mas esta diferenciação no nome não é tão importante, o fundamental é que os dois aspectos sejam abordados em diagnósticos ou na execução dos Planos Básicos Ambientais de hidrelétricas das fases de instalação e construção, para que tanto a compreensão dos ambientes aquáticos como sistemas funcionais e produtivos, com estrutura e metabolismo próprios, com fluxo energético e teias alimentares complexas, quanto a verificação da adequação da qualidade da água aos padrões da legislação de acordo com a classe e os usos requeridos sejam contemplados e avaliados nas dimensões espacial e temporal que devem abranger um programa de monitoramento.

### BACIA HIDROGRÁFICA E RELAÇÕES COM OS RESERVATÓRIOS

O monitoramento da qualidade da água é parte integrante do sistema de gerenciamento dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica. Com isso, independente da fase em que se encontra o empreendimento hidrelétrico, a avaliação dos ecossistemas aquáticos deve sempre ter a bacia hidrográfica como unidade de estudo e gestão, conforme definido pela Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) e preconizado em vários estudos.

Um diagnóstico deve fornecer uma importante base de dados que sirva tanto para a avaliação de impactos nos EIAs como comparativo para as fases seguintes do empreendimento hidrelétrico, construção e operação. O primeiro passo é definir os limites da bacia hidrográfica a ser considerada como parte integrante e afetada pelo empreendimento. Isso depende não só do tamanho do reservatório, como também da quantidade de energia que será gerada (que pode implicar em complexidade da obra e da usina), da localização do reservatório na bacia e no contínuo do rio, das condições socioeconômicas do entorno (áreas de conservação, território indígena, áreas urbanas, etc), da ordem do rio que será barrado, da ocorrência de usos da água prioritários (abastecimento público e dessedentação animal) e de outros empreendimentos hidrelétricos, da ocorrência de eventos de cheia e secas extremas, entre outros.

Após a definição da área da bacia de drenagem, o planejamento e a elaboração do diagnóstico, que

será parte integrante do EIA e que servirá como base para a posterior elaboração do programa de monitoramento da qualidade da água das fases de construção e operação de empreendimentos hidrelétricos, deve contemplar no âmbito da bacia hidrográfica, os seguintes aspectos: i) identificação de impactos pré-existent na bacia; ii) análise das variações sazonais e espaciais das condições físicas, químicas e biológicas da água; iii) identificação dos fatores controladores destas variações, sejam estes naturais e/ou relacionados a atividades humanas na bacia; iv) definição de indicadores ambientais; v) a comparação com padrões da legislação.

Todos estes aspectos devem sempre estar baseados em uma visão holística sobre o funcionamento dos ecossistemas lóticos (BARBOSA; ESPÍNDOLA, 2003), uma vez que os pequenos reservatórios são sistemas semiabertos, principalmente os de pequeno porte, pois os rios transportam água, sedimento, nutriente e organismos a estes ambientes em quantidade e em qualidade que dependerão da bacia hidrográfica.

O reservatório em si é um coletor e digestor das entradas e dos efeitos existentes nas bacias hidrográficas, cujos efeitos incluem os processos internos físicos, químicos e biológicos e suas consequências dentro do reservatório (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2000). A chegada ao reservatório de resíduos difusos ou pontuais de atividades humanas, também podem ser retidos, transformados e/ou transportados para jusante. A maior ou menor conexão com o rio principal, ou seja, se o sistema será mais aberto ou mais fechado, dependerá basicamente do tempo de residência (TR) neste ambiente.

O TR, também conhecido como tempo de retenção, é a razão entre o volume do reservatório e as vazões afluentes ao mesmo (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2000), teoricamente é o tempo de renovação da água do reservatório, que influencia de forma relevante o metabolismo do novo ecossistema e sobre a qualidade da água, podendo oscilar de acordo com a morfologia do reservatório, altura da tomada d'água, período hidrológico, operação do reservatório e entrada do rio principal ou de outros tributários.

De qualquer maneira, forma-se um novo ambiente, distinto da condição anterior de rio, com comportamento semiaberto, no caso de pequenos reservatórios, sujeito ao controle maior ou menor do rio principal e com características similares até nitidamente distintas deste rio, de acordo não só com o TR, mas com a época do ano, a fase do reservatório (enchimento, estabilização ou estabilizado), a mor-

fologia do reservatório e a variável física, química ou biológica que está sendo analisada.

Por outro lado, o novo reservatório influencia e conecta-se ao rio a jusante de onde está localizado na bacia (FIGUEIREDO, 2007), através da saída de água das turbinas, vertedouros ou outros dispositivos, podendo influenciar as condições da qualidade da água deste rio num trecho relativamente pequeno, no caso dos reservatórios de pequeno porte.

### DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS

As relações entre os rios e reservatórios e suas respectivas bacias hidrográficas geram variações limnológicas e da qualidade da água que são dinâmicas espacial e temporalmente. Estas variações podem interferir tanto nos usos múltiplos da água requeridos pela população local, inclusive na geração de energia elétrica, quanto no funcionamento e estrutura dos ecossistemas aquáticos (rio ou reservatório). Com isso, a definição de quais variáveis devem ser medidas para que se detecte a amplitude destas oscilações, bem como as possíveis interferências antrópicas e os fatores controladores das mesmas, é um desafio, que deve levar em conta a importância de cada variável física, química ou biológica, no sentido de se evitar análises desnecessárias ou deixar de medir variáveis importantes. Estas variáveis deverão fornecer as respostas solicitadas pelo empreendedor, pela sociedade e pelos órgãos de controle ambiental,

#### Parâmetros e Variáveis Físicas e Químicas

O termo parâmetro é definido como “atributo, variável ou propriedade física numa série de variáveis ou propriedades que juntas caracterizam ou determinam o comportamento de um sistema” e o termo variável como sendo quantidade que pode assumir qualquer valor numa série de valores, e que, portanto, não é constante” (ART, 2001). Com isso, parâmetro torna-se um termo mais apropriado quando se tem um padrão de referência, como é o caso dos estudos de qualidade da água, onde se tem um padrão na legislação a ser comparado, sendo que este termo é o mais utilizado em consultorias e órgãos gestores, mesmo que incluam estudos limnológicos. Já variável é um termo mais apropriado para a limnologia, sendo muito aplicado nos estudos acadêmicos. Neste sentido, ao longo deste texto foram adotados os dois termos, de acordo com o conceito acima.

A Resolução 357 de 2005 do Conama contém uma lista com inúmeros parâmetros físicos, químicos e biológicos, com seus respectivos valores máximos permitidos, de acordo com a classe a qual pertence o corpo d'água superficial. A coleta da água para análise laboratorial de todos os parâmetros mencionados nesta lista em todos pontos de amostragem definidos para o monitoramento torna oneroso economicamente programas limnológicos e da qualidade da água em hidrelétricas, além de serem analisados parâmetros desnecessários que não atendem aos objetivos destes programas. Por outro lado, existem variáveis, como condutividade elétrica, dureza total, Demanda Química de Oxigênio, que fornecem respostas importantes do ponto de vista limnológico, inclusive indicando alterações por atividades humanas, com custo relativamente baixo, mas que não constam como parâmetros nesta legislação.

Os órgãos ambientais, os consultores independentes e os empreendedores já perceberam que esta lista não precisa ser inteiramente seguida em todo o monitoramento e que outras variáveis devem ser incluídos. Existem *as variáveis básicas* que devem ser avaliadas em qualquer programa de monitoramento e que dão respostas importantes, tanto do ponto de vista limnológico quanto da qualidade da água, quais sejam: temperatura da água, pH, condutividade elétrica, cor verdadeira, turbidez, oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrato, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, sólidos totais dissolvidos e suspensos, clorofila, coliformes totais e *Escherichia coli*.

Os termos de referência apresentados pelos órgãos ambientais ou propostos por consultores dos empreendedores muitas vezes solicitam a lista completa mencionada na legislação na fase de diagnóstico, especialmente em ambientes que ainda não se tem nenhuma base de dados secundários. Mas muitas variáveis são excluídas ainda nesta fase, pelo fato dos técnicos locais possuírem um conhecimento sobre a bacia hidrográfica. Como exemplo, podem ser citados o cianeto, compostos orgânicos voláteis e alguns metais pesados, geralmente oriundos de atividades humanas específicas que podem não ocorrer na bacia, tornando desnecessário seu monitoramento, sob o risco de aumentar sem justificativa técnica plausível, os custos do programa de monitoramento.

Na fase de diagnóstico alguns metais pesados podem ser avaliados somente no sedimento, sítio onde podem se acumular, mesmo quando sua origem é

duvidosa na bacia. Por exemplo, regiões onde ocorre intenso uso de agrotóxicos, que tem em alguns tipos metais pesados em sua formulação, podem carrear para longas distâncias estes elementos que tendem a se acumular no sedimento, principalmente nos reservatórios hidrelétricos, onde a diminuição da velocidade da água favorece sua retenção. Neste caso, a legislação possível de comparação dos padrões aceitáveis é a Resolução nº 454 de 2012 do Conama, que vem sendo adotada, mesmo tendo em seu enunciado o título: “*Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referências para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional*”.

Com o diagnóstico em mãos, é possível realizar uma avaliação prévia das variáveis medidas, quais foram indicadores importantes, quais são complementares a estes indicadores e quais são totalmente desnecessários, que não estão relacionados a nenhum aspecto natural ou de atividade antrópica na bacia e não tem relação com a realidade da área, nem mesmo após a construção ou operação da hidrelétrica.

No monitoramento nas fases de construção e operação da hidrelétrica, convém realizar uma escolha das variáveis realmente necessárias, que deve ser baseada: i) nos dados gerados na fase de diagnóstico; ii) no conhecimento da bacia hidrográfica; iii) na integração com outros programas ambientais; iv) nos dados secundários (estudos já realizados) existentes na bacia.

Quanto à integração com os programas ambientais que podem subsidiar a escolha das variáveis a serem monitoradas nos ecossistemas aquáticos, vale destacar os estudos: i) *geologia*, que influenciam inúmeras variáveis químicas da água, como pH, alcalinidade, condutividade elétrica e concentração de metais; ii) *geomorfologia*, as altitudes, desníveis, serras, planícies, escarpas influenciam na morfologia do leito do rio, que por sua vez pode alterar determinadas características físicas, químicas e biológicas da água; iii) *solos*, que tem forte influência sobre variáveis como concentração de sólidos, turbidez, cor, condutividade elétrica, dureza, alcalinidade da água e pH; iv) *usos do solo e da água*, que implicam no aporte de resíduos de atividades humanas, inclusive efluentes domésticos e industriais e resíduos agrícolas, alterando DBO, DQO, coliformes, nitrogênio, fósforo, óleos e graxas, agrotóxicos e metais pesados; v) *áreas conservadas*, nestas bacias as condições limnológicas e da qualidade da água são regidas principalmente pela sazonalidade de chuvas, condições geológicas e interações com as matas ciliares ou áreas úmidas de entorno, sendo que neste caso, convém uma análise de variáveis básicas,

no mínimo; vi) *hidrologia*, a sazonalidade na vazão dos rios, tanto líquida quanto sólida, influencia na concentração de sólidos suspensos e sedimentáveis, cor verdadeira, turbidez, ferro e fósforo.

### Parâmetros e Variáveis Biológicas

O monitoramento das comunidades bióticas em rios e reservatórios sujeitos a exploração energética fornecem importantes respostas do metabolismo e estrutura dos ecossistemas aquáticos, apresentando variações espaço-temporais que podem indicar alterações provocadas por este uso da água em suas diferentes fases e outros usos da água e do solo que ocorrem na bacia.

A comunidade planctônica possui alto valor potencial na avaliação das características hidrodinâmicas do ambiente, pois responde rapidamente as mudanças ambientais, principalmente em alterações no fluxo de escoamento da água, concentração de partículas e na disponibilidade de alimento (MATSUMURA-TUNDISI, 1999).

É comum a solicitação ou a proposição, em todas as fases do licenciamento da hidrelétrica, do monitoramento das comunidades de fitoplâncton e zooplâncton, e mais recentemente, tem-se incluído os macroinvertebrados bentônicos e macrófitas aquáticas.

Em pequenos reservatórios é pouco comum a formação de ambientes que se tornem eutróficos na fase de enchimento, pela liberação de nutrientes da biomassa afogada, uma vez que novos mecanismos de controle ambiental, como estudos de modelagem da qualidade da água, estão sendo usados para prever, mitigar e/ou evitar estas fases críticas, aliado ainda ao curto tempo de residência da água (TR). Com isso, é pouco provável que ocorra uma proliferação excessiva do fitoplâncton nesta fase, mas é importante monitorar principalmente as cianobactérias caso ocorram captações para abastecimento a jusante.

Já em reservatórios formados em áreas urbanas e/ou industrializadas, o monitoramento do fitoplâncton, com ênfase às cianobactérias, deve ser contínuo, considerando o potencial em haver problemas de eutrofização causado pelo uso da água na diluição dos resíduos destas áreas.

O monitoramento do fitoplâncton pode ser realizado através de avaliações diretas da densidade e taxonomia de organismos, o que requer um especialista, ou indireta, através da análise de clorofila *a*, laboratório, ou medições instantâneas com sondas

portáteis capazes de quantificar clorofila a, clorofíceas e cianofíceas. O controle de florações, segundo Fernandes et al. (2009) pode ser feito através aplicação de algicidas, medida bastante controversa, redução e manipulação da entrada de nutrientes, quebra da estratificação térmica, redução do tempo de retenção e biomanipulação.

A comunidade de macroinvertebrados bentônicos também é considerada um importante bioindicador, pois é capaz de refletir as alterações ambientais inerentes a instalação e operação de empreendimentos hidrelétricos, como por exemplo no fluxo, composição do sedimento e qualidade da água, assim como as preexistentes na bacia de drenagem (RESH; JACKSON, 2001; BRANDIMARTE et al., 1999).

O diagnóstico e o monitoramento de espécies invasoras, especialmente o mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) e o berbigão asiático (*Corbicula fluminea*), também é um aspecto relevante a ser considerado no escopo dos estudos, planos e programas ambientais de hidrelétricas, pois segundo Santos et al. (2012) esses são responsáveis por significativos impactos ambientais e econômicos nesse tipo de empreendimento e outros, principalmente na bacia do rio Paraná e região sudeste. A detecção desses organismos pode ser feita através da análise do sedimento, substratos naturais e artificiais e do plâncton (formas larvais).

Com relação às macrófitas aquáticas, em alguns rios com potencial energético não ocorrem estas plantas ou se ocorrem são comumente de hábito anfíbio, dependentes do ambiente terrestre e pouco significativas do ponto de vista do ecossistema aquático e da geração de energia. Estas condições ocorrem principalmente em reservatórios pouco ramificados (com reduzido perímetro) e com curto TR.

Mesmo considerando a retirada da vegetação inundada, pode ainda haver incremento de nutrientes do solo e restos vegetais e da serapilheira, pois a retirada dificilmente é completa, que levam a um incremento temporário e relativamente rápido, de acordo com o TR, dos nutrientes, podendo criar condições também temporárias para a proliferação destas plantas que, posteriormente, podem desaparecer ou se restringir a poucas áreas do reservatório.

Desta forma, é importante que em qualquer etapa do monitoramento, seja considerado como um dos objetivos, no mínimo, a observação da ocorrência e identificação taxonômica destas plantas. Em locais favoráveis, onde haja potencial de ocorrência destas

plantas ou que as mesmas já ocorram nas proximidades ou mesmo no local, é importante avaliar alguns atributos da comunidade, como biomassa, diversidade e riqueza.

Do ponto de vista microbiológico, vale adotar o sugerido na legislação quanto a análise de *Escherichia coli*, bactérias exclusivamente fecais, em detrimento da termotolerantes, cuja importância é questionável quando se analisa também os coliformes totais, que incluem ambas as bactérias. Excetuando as *E. coli*, os coliformes totais comumente ocorrem em quantidade expressiva, mesmo em ambientes conservados e com restritos usos da água, pois são bactérias de vida livre da água e do solo, atuantes no processo de decomposição da matéria orgânica. A análise tanto dos coliformes totais quanto das *E. coli* deve ser prioritária em qualquer monitoramento, pois traz indicações importantes do uso da água que ocorre na bacia e se a mesma pode ser utilizada como fonte de abastecimento ao canteiro de obras ou a outros fins requeridos pela população local com o futuro reservatório, como balneabilidade.

### Fases de construção e operação

Comumente adota-se monitorar as mesmas variáveis nas fases de construção e operação, mesmo considerando que essas apresentam impactos distintos que podem ou não ser permanentes.

As atividades inerentes à fase de construção da maioria dos empreendimentos hidrelétricos, tanto de pequeno quanto de médio portes, provocam uma série de modificações nos ambientes aquáticos, indicando a necessidade de monitoramento de algumas variáveis principais, quais sejam: i) *movimentação de terra, explosões de rochas, tráfego de veículos, retirada da mata ciliar*: aumento no aporte de sedimento aos rios, provocando alteração na cor verdadeira, turbidez, sólidos, transparência da água e comunidade bentônica; ii) *infra estrutura logística dos trabalhadores (escritórios, alojamentos)*: geração de resíduos líquidos, que mesmo com sistema de tratamento, se forem lançados no rio, podem provocar aumento na ocorrência de bactérias coliformes, DBO e nutrientes nitrogenados e fosforados; iii) *oficinas e lavadores de máquinas*: geração de resíduos líquidos, que se não for devidamente tratado, retido e destinado ao reúso, pode levar a ocorrência de óleos e graxas, dureza, alcalinidade e surfactantes na água, provocando ainda aumento da DQO; iv) *desvio do canal do rio*: morte da comunidade bentônica no local no canal

desviado e seco, eventualmente de plantas aquáticas que colonizem substrato rochoso ou margens do rio; v) *enchimento do reservatório*: a inundação da biomassa vegetal, mesmo com retirada total ou parcial, sempre leva a algum incremento de nutrientes nitrogenados e fosforados, sólidos, consumo de oxigênio, aumento da DBO, DQO, condutividade elétrica e ferro, e redução do pH; magnitude do incremento dependerá basicamente do tamanho da área inundada, da quantidade e tipo de vegetação afogada e do tempo de residência do reservatório.

Quanto ao oxigênio dissolvido, pode ocorrer anoxia, e o início da camada anóxica dependerá da profundidade do reservatório, do tempo de residência e da quantidade e qualidade da biomassa afogada. Reservatórios mais profundos, mesmo após a estabilização, apresentam anoxia ou hipoxia no fundo (ESTEVES, 2011; BELLANGER et al., 2004), o que não significa que não atendem ao padrão da legislação, pois essa condição é inerente a este ambiente.

Na fase de operação da usina, o reservatório, na maioria das vezes, ainda não se encontra estabilizado do ponto de vista limnológico. Nesta fase as variáveis monitoradas não precisam necessariamente ser as mesmas da fase anterior. Por exemplo, surfactantes podem não ter mais nenhuma fonte antrópica, exceto se houver outras que não estejam relacionadas ao empreendimento.

Outras variáveis devem ser monitoradas nas diferentes profundidades do reservatório, que podem ser os básicos citados anteriormente. Além disso, podem ser inclusos ferro total e dissolvido, sólidos suspensos e dissolvidos, dureza e sílica, dependendo das características geoquímicas da região, ou seja, se a bacia disponibiliza estes compostos aos rios, pois estes em altas concentrações podem causar problemas de incrustação e/ou corrosão por abrasão nas instalações da usina, inclusive nas turbinas. No caso específico do ferro e pH, em determinadas condições de oxigenação, pode ocorrer corrosão por acidez e proliferação de ferro bactérias, que incrustam nas instalações da usina e causam posterior corrosão (JUNK; MELLO, 1990).

Especificamente em relação ao pH, este tende a ser baixo em muitos rios cujas nascentes estão localizadas nos planaltos e chapadões areníticos do Brasil central, às vezes menores do que 5,0, como por exemplo os localizados no estado de Mato Grosso, especificamente nas partes alta e média das bacias do Juruena, Teles Pires, Guaporé, das Mortes, Cabaçal, Juba e Casca, onde estão instaladas ou em construção e planejamento inúmeras hidrelétricas de pequeno e

médio portes (SEMA, 2009). O pH baixo pode ser agressivo ao concreto e mesmo às turbinas em uma hidrelétrica, cuja avaliação na fase de diagnóstico pode implicar na adoção de medidas que minimizem seu efeito corrosivo sobre as instalações. Segundo Biezok (1972) citado por Dias et al. (2011) a intensidade relativa de danos causados ao concreto (agressividade) pela água com pH entre 5,5 e 4,5 é forte.

Por outro lado, rios que drenam regiões cársticas podem apresentar elevados valores de dureza total e cálcio, que tem elevado potencial em causar problemas de incrustação de sais nas instalações hidráulicas (GENTIL, 2007). Este tipo de corrosão também pode ser provocado por excesso de sílica e sólidos suspensos na água em regiões com solos arenosos e extremamente degradados, que aportam aos rios grande quantidade de sedimento grosseiro, ou em rios onde naturalmente há grande transporte de sedimento pela corrente.

Normalmente não são feitas avaliações das variáveis monitoradas quanto à necessidade ou não de serem mantidas em todas as fases do empreendimento, o que pode ocasionar custos desnecessários ou mesmo deixar de ser analisado uma variável importante, que venha a ter alguma importância com a instalação de novos empreendimentos ou eventos na bacia. É recomendável, neste sentido, que periodicamente seja feita uma análise técnica de cada variável monitorada, se o mesmo tem importância como indicador de padrões ou de impactos que ocorrem na bacia e no reservatório, ou se o mesmo vem se mantendo constante ao longo dos anos, quase não detectável ou ausente, podendo ser retirado do pacote de análises.

A avaliação de agrotóxicos em bacias nas quais ocorre atividade agrícola deve levar em conta o período de aplicação destes produtos, devido à dificuldade de detecção desses compostos, considerando que podem ser rapidamente volatilizados, transportados para jusante, degradados em moléculas menores ou complexados ao sedimento (FIGUEIREDO et al., 2012). A retenção desses compostos pelas matas ciliares, a rápida infiltração no solo e a retenção nas áreas alagadas marginais também podem contribuir para a dificuldade de detecção analítica na água. Neste contexto, análise do sedimento pode ser um indicador mais eficiente dos agrotóxicos em relação a água.

Em solos tropicais o comportamento e a degradação de pesticidas foram pouco estudados até o momento. Em Mato Grosso, alguns resultados indicam que a presença de solos com matéria orgânica, como ocorre nas *veredas* [e matas ciliares], reduz o transporte



destes pesticidas tanto para jusante quanto para a água subterrânea, segundo Laabs et al. (2000) citado por Wantzen et al. (2011). É provável que o pesticida se complexa a matéria orgânica do solo, ficando retido por longo tempo e/ou degradando.

Como é importante o monitoramento de agrotóxicos em áreas agrícolas, visando garantir usos múltiplos da água do rio e do reservatório de geração de energia elétrica, convém realizar estudos mais detalhados, de cunho acadêmico, sobre o destino destes compostos nos corpos d'água superficiais e a real necessidade do empreendedor deste setor precisar investir recursos nas análises de agrotóxicos, que são dispendiosas em relação as outras variáveis monitoradas. Se o uso destes compostos é de responsabilidade do setor agrícola, mesmo considerando que a responsabilidade pela água e usos múltiplos seja do empreendedor das hidrelétricas, pode ser adotada uma forma de responsabilidades compartilhadas, evitando conflitos e oneração de apenas um setor usuário.

As previsões de impacto ambiental nas fases de enchimento e operação tem a modelagem como uma importante ferramenta, pois modelos matemáticos podem ser utilizados para entender melhor o comportamento do sistema e antecipar eventos, quantificando os impactos de um determinado distúrbio antes que ele aconteça, possibilitando assim a tomadas de medidas preventivas (FRAGOSO et al., 2009).

## PERIODICIDADE DAS AMOSTRAGENS

Uma das principais condições naturais que rege a maioria das características físicas, químicas e biológicas dos ecossistemas aquáticos brasileiros, é a variação do nível e volume de água dos rios que, por conseguinte, são controlados pela sazonalidade das chuvas. As regiões norte, nordeste e centro-oeste do Brasil estão sujeitas a uma sazonalidade das precipitações, com dois períodos bem distintos, chuva e estiagem, cuja duração e intensidade variam em cada região ou mesmo em cada Estado. Com isto, a definição da periodicidade das amostragens do monitoramento limnológico em hidrelétricas deve sempre considerar esta sazonalidade e ter como um dos objetivos verificar quais variáveis estão mais sujeitos a variação hidrológica anual.

Dependendo das condições da bacia hidrográfica, algumas variáveis podem estar sujeitas ao fator de diluição da água na época da chuva e outros ao fator de concentração. Isso comumente ocorre para alguns íons. De maneira geral, observa-se aumento nos re-

sultados de cor verdadeira, turbidez, série de sólidos e fósforo e diminuição da transparência da água na época da chuva, quando há um aporte de materiais da bacia de drenagem aos rios que interferem nestas variáveis (FIGUEIREDO, 2007; PAGIORO et al., 2005). Em bacias com matas ciliares conservadas e funcionais, a alteração destas variáveis ocorre em menor magnitude, mas pode haver incremento expressivo da cor devido ao aporte de substâncias húmicas das matas ciliares e/ou de áreas úmidas do entorno.

Em bacias urbanas, a sazonalidade de chuvas pode provocar uma alteração mais expressiva destas variáveis, principalmente de sólidos suspensos e turbidez, resultantes dos resíduos destas áreas. As concentrações de nutrientes costumam ser altas ao longo do ano (TUCCI, 1999).

Com isto, na fase de diagnóstico de empreendimentos hidrelétricos devem ser feitas amostragens, no mínimo, nas épocas de chuva e estiagem na região. Porém, convém mencionar que o início das chuvas costuma ser uma das fases mais críticas do ponto de vista da qualidade da água e de alterações limnológicas. Devido à estiagem, há um acúmulo de material orgânico das áreas de entorno aos rios de uma bacia que, com as primeiras chuvas fortes são transportados aos rios em grande quantidade e, comumente, com grande rapidez, provocando bruscas alterações no ecossistema aquático, cuja intensidade e tipo dependerão do menor o maior grau de conservação da bacia, especificamente do estado de conservação das matas ciliares.

Os estudos da fase de construção muitas vezes costumam complementar a escassez de amostragens realizadas no diagnóstico e tendem a ter maior periodicidade nas coletas, em geral trimestrais. Além desta frequência, deve-se programar amostragens extras em eventos importantes da obra, como desvio do canal do rio, quando ocorrem expressivas alterações limnológicas.

Em bacias relativamente conservadas, não urbanas e/ou industrializadas, algumas vezes é realizado intenso monitoramento em ambas as fases, com periodicidade mensal. Certamente, as variações serão discretas entre meses de um mesmo período hidrológico, podendo gerar uma imensa base de dados onerosos e com pouca aplicação prática, que num monitoramento menos frequente permitiria obter as mesmas respostas e alcançar os objetivos propostos.

Com isso, convém que um programa de monitoramento nas fases de construção e operação considere



sempre a possibilidade de reavaliações de tempos em tempos da periodicidade adotada, que pode ser ampliada ou reduzida, dependendo da resposta dos dados, da dinâmica da bacia e da fase do empreendimento.

Especificamente na fase de enchimento do reservatório, é importante aumentar o número de amostragens e diminuir o intervalo entre as mesmas, de acordo com o TR. É importante sempre se ter uma amostragem antes deste evento e algumas logo depois, cujo intervalo e quantidade dependerão do TR, no intuito se obter uma base de dados desta fase crítica do ambiente aquático e verificar as principais variáveis indicadoras da estabilização limnológica.

### ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO

As fases de enchimento e estabilização de um reservatório são consideradas críticas do ponto de vista da qualidade da água e do gerenciamento. Straškraba; Tundisi (2000) utilizaram o termo envelhecimento como sinônimo de estabilização, denominado também de sucessão por Odum (1988), para descreverem as rápidas alterações e a deterioração da qualidade da água que ocorrem durante os primeiros anos de formação de um reservatório de grande porte.

Com isso, durante o enchimento e posterior a este evento, é importante acompanhar a evolução do reservatório até a sua estabilização limnológica, que no caso de pequenos reservatórios, pode ocorrer em algumas semanas ou meses ou mesmo em poucos dias, dependendo do TR, do regime hidrológico, da morfologia do reservatório e da quantidade e tipo de biomassa que foi inundada.

Atualmente é comum, antes do enchimento, a realização de estudos de modelagem para quantificar a biomassa passível de afogamento com a menor implicação possível na qualidade da água, com ênfase no oxigênio dissolvido e DBO. Esse é um requisito previsto no termo de referência para obtenção das licenças ambientais de empreendimentos hidrelétricos do estado de Mato Grosso. Os resultados podem subsidiar a elaboração do PBA (Plano Básico Ambiental) para esta fase, quanto a definição das estações de coleta e periodicidade. Esses estudos nesta fase são importantes para garantir a adequação da água aos usos múltiplos do reservatório e a jusante e subsidiar a gestão ambiental do empreendimento.

As variáveis relacionadas principalmente a hidrologia e conexão com o rio tendem a se estabilizar mais rapidamente, pois dependem da sedimentação de materiais trazidos pelo rio, que ao alcançarem o

novo ambiente, ficam retidos devido a diminuição da velocidade da água e aumento do TR (FIGUEIREDO, 2007). A transparência de Secchi e os sólidos em suspensão são os principais indicadores desta primeira etapa da estabilização. Não significa que isto ocorra em todos os reservatórios de pequeno e médio porte. Muitas vezes o TR é tão curto, que não é possível observar claramente esta etapa, outras vezes o rio mantém sempre forte conexão com o reservatório, dificultando a sedimentação de material que logo é exportado a jusante. Além disso, a tomada d'água em maiores profundidades, aliado ao curto TR, tende a desestabilizar a coluna d'água, diminuindo as taxas de sedimentação e dificultando a observação da efetiva estabilização destas variáveis (FANTIN-CRUZ, 2012).

Concomitantemente ou logo após, as variáveis relacionadas aos produtos liberados na decomposição da matéria orgânica lábil, como DBO, condutividade elétrica, nitrogênio amoniacal, carbono orgânico dissolvido, sólidos dissolvidos, oxigênio dissolvido, cor verdadeira, tendem a se estabilizar (FIGUEIREDO; BIANCHINI-JR, 2008).

### LOCAIS DE COLETA

A escolha dos locais de amostragem de água para a elaboração e execução do Plano Básico Ambiental de limnologia e qualidade da água em empreendimentos hidrelétricos deve considerar se o local é representativo da área de drenagem que se pretende amostrar, se é sensível a captação dos possíveis impactos do empreendimento hidrelétrico ou de outros que ocorreram na bacia e se representa os diferentes ecossistemas aquáticos que estão localizados na área de influência do empreendimento.

Antes da formação do reservatório, as amostragens podem ser feitas somente na sub superfície da água (entre 0 e 30cm de profundidade), de preferência no meio do rio, mas se não for possível, às vezes devido a alta velocidade da corrente ou leito muito rochoso, a amostragem pode ser feita nas margens, desde que não seja em local de remanso. Rios muito turbulentos e com alta velocidade tendem a ser mais homogêneos numa seção transversal pouco sinuosa.

As amostragens sub superficiais deverão ser mantidas em todos os locais de coleta de rio e reservatório no gradiente longitudinal nas fases de construção e operação da hidrelétrica. A definição da estação de coleta implica em apenas um local a ser amostrado, não sendo comum a adoção de réplicas ou trélicas

neste tipo de avaliação limnológica e da qualidade da água devido aos seguintes fatores principais: i) aumento expressivo dos custos; ii) variabilidades podem ser obtidas em monitoramentos de longo prazo, que comumente são os realizados nestes programas ambientais; iii) realização das análises em laboratórios com sistema de gestão da qualidade implementado e preferencialmente com acreditação ISO IEC 17025 que garantem resultados mais confiáveis, iii) resultados obtidos com apenas uma amostragem em cada estação de coleta atendem aos objetivos do programa, especificamente no que concerne a detecção de alterações provocadas pelo empreendimento hidrelétrico, mas podem deixar a desejar quando são necessárias análises mais aprofundadas do ponto de vista limnológico quando foram realizadas poucas amostragens. Vale destacar que muitos trabalhos de cunho acadêmico (teses e dissertações) têm utilizado dados de programas ambientais com boas respostas, mas comumente em estudos de longo prazo (mais de três anos). De maneira geral, a escolha dos locais de amostragem irá depender dos seguintes aspectos:

### Fase de Diagnóstico

Conforme o tamanho do empreendimento são necessárias amostragens tanto na área de influência direta quanto indireta, nesse caso incluindo drenagens a montante e a jusante do empreendimento. Em empreendimentos menores, muitas vezes não precisam de muitos pontos de coleta para a caracterização limnológica inicial dos rios. Geralmente em empreendimentos com apenas um rio principal e sem tributários na AID (Área de Influência Direta), são implantadas três estações de coleta, uma a montante, outra no local do futuro reservatório e uma a jusante do futuro barramento.

É importante sempre alocar estações de coleta onde tiverem estações fluviométricas, recomendação comumente feita por órgãos ambientais e agências de energia elétrica e água, visando a integração com dados quantitativos. Em rios com mais de um empreendimento (sistema em cascata), a estação de coleta a jusante de um reservatório pode ser a mesma de montante do reservatório logo abaixo, não havendo necessidade de duplicidade de amostragens, mesmo na fase de diagnóstico.

Se houver algum uso da água específico na área de drenagem de entorno, como balneário, captação para abastecimento público, lançamento de efluente ou aquicultura torna-se importante o acompanhamento

da qualidade da água para o uso requerido e a implantação de uma estação de coleta no local, visando identificar os responsáveis por possíveis mudanças na qualidade da água que afete estes usos, que muitas vezes não tem relação com as futuras atividades da hidrelétrica.

### Fase de Construção

Nesta fase a localização das estações de coleta pode ser a mesma do diagnóstico, podendo ser acrescida alguma próxima ao local de maior concentração das atividades do canteiro de obras e/ou de possíveis lançamentos dos efluentes gerados, que pode ser no rio principal ou tributários. Mas é importante que seja feita uma reavaliação do monitoramento do diagnóstico, no sentido de verificar se as estações são representativas da área de drenagem que se pretende amostrar e se atendem aos objetivos do monitoramento. Dependendo da obra, pode ser alocada uma estação de coleta a jusante da confluência do canal de desvio no rio, se não for próxima a estação de jusante já demarcada.

### Fase de Construção-Enchimento

Nesta etapa, convém a implantação de uma estação de coleta localizada no corpo central do reservatório, que geralmente corresponde ao local de maior profundidade, mais próximo da barragem do que da *cabeceira* do reservatório, onde sejam realizadas coletas pelo menos no meio e fundo da coluna d'água, principalmente em hidrelétricas onde a tomada d'água é no fundo visando, neste caso, conhecer a qualidade da água que passará pelas turbinas. Nestas profundidades não necessariamente precisam ser analisadas as mesmas variáveis da superfície, mas pelo menos as básicas, exceto bactérias do grupo coliformes e clorofila (item 3.1.). Quanto aos coliformes é convencional a análise apenas na superfície da água onde são realizados os principais usos múltiplos, que requerem padrão de qualidade para o parâmetro, como captação para abastecimento, balneabilidade e dessedentação animal. Em relação a clorofila, por ser um pigmento fotossintetizante, ocorre dentro das células dos produtores primários (fitoplâncton) que estão distribuídas nas camadas superficiais onde há maior disponibilidade de luz. É comum ocorrer nesta etapa anoxia (ausência de oxigênio) no fundo, com aumento de DBO e DQO devido ao incremento de matéria orgânica lábil e/ou refratária presente na vegetação inundada, mesmo com a retirada quase total da biomassa vegetal.

Outro aporte destes materiais e de compostos inorgânicos que também podem demandar oxigênio provém do solo inundado. Estas alterações provocam ainda incremento da condutividade elétrica, cor verdadeira, turbidez e sólidos dissolvidos no hipolimnio (FIGUEIREDO; BIANCHINI-Jr, 2008), que podem persistir na fase de operação, mas em menor magnitude, pois a conectividade sedimento-coluna d'água diminui e os aportes de matéria orgânica ou inorgânica que podem alterar estas variáveis que passam a provir principalmente da coluna d'água e do rio principal.

### Fase de Operação

Comumente se mantém os mesmos locais de coleta da fase anterior, mas é importante sempre fazer uma reavaliação dos locais de coleta, pois nesta fase as atividades do canteiro de obras cessam e alguns locais de coleta podem ser suprimidos ou acrescidos.

Dependendo do volume de água exportado pelo reservatório e das características do leito do rio, outros pontos mais a jusante são necessários, além daquele já existente próximo a barragem, com o intuito de avaliar a amplitude espacial dos efeitos da saída da água com alta velocidade das turbinas e vertedouro sobre a qualidade da água da água e sobre a comunidade bentônica, especialmente, que é a mais afetada pela desestabilização do leito.

A qualidade da água liberada a jusante é resultado das transformações ocorridas no reservatório, da ocorrência e duração da estratificação térmica e da posição vertical da tomada d'água (NALIATO et al. 2009), além do TR, pois quando este é muito pequeno ou se reduz na época de chuva, há maior exportação de substâncias e materiais que entram no reservatório pelo rio principal, havendo pouco tempo para os processos de sedimentação e transformação metabólica destes compostos (FANTIN-CRUZ, 2012).

Recomenda-se que em reservatórios com profundidade máxima na zona limnética, local mais adequado para a análise do perfil da coluna d'água, de até 10m, sejam realizadas amostragens pelo menos na superfície e fundo; entre 10-20 metros na superfície, meio e fundo e acima de 20m, entre 4-6 profundidades e/ou perfil com sonda de metro em metro. Estes pontos de coleta devem ser reavaliados após um ano de monitoramento, pois as variações ao longo da coluna d'água podem ser expressivas ou não, indicando a necessidade de aumento ou diminuição dos pontos de coleta no gradiente vertical.

Quando ocorrem outros usos da água no reservatório, como balneabilidade, convém manter um monitoramento próximo a este local somente para avaliação das bactérias coliformes, seguindo os critérios mencionados na Resolução nº 274 do Conama.

Em reservatórios alongados e com TR entre 20-40 dias, é importante ter uma estação de coleta na área que compreende o ecótono rio-reservatório, pois é um ambiente que geralmente apresenta processos metabólicos mais intensos em relação a zona limnética, por ser o primeiro *locus* de captação e sedimentação de materiais de montante, formando uma zona de amortecimento (remanso), com ambiente distinto de montante e de jusante e que comumente “caracteriza-se por apresentar uma quantidade de indivíduos e espécies maior do que nos ecossistemas adjacentes” (HENRY, 2003). Por estas condições, este ambiente é favorável ainda ao estabelecimento de macrófitas aquáticas enraizadas nas margens ou no centro, dependendo da profundidade.

A instalação de equipamentos de monitoramento de alta frequência por telemetria são importantes ferramentas capazes de acompanhar em tempo real uma série de variáveis, além de otimizar a logística a locais de difícil acesso. No entanto, essa tecnologia devido ao valor agregado para instalação e manutenção ainda não é uma realidade para boa parte dos empreendimentos de pequeno a médio porte, mas há uma tendência na ampliação de seu uso tanto no setor público como privado. A quantidade e a rapidez com que os dados são obtidos favorecem a aplicação de modelos matemáticos para obtenção de cenários em tempo real. Como exemplo temos a Agência Nacional de Águas que realiza monitoramento hidrometeorológico através de estações telemétricas automáticas que transmitem os dados coletados em diversas Regiões Hidrográficas Brasileiras em tempo real utilizando Plataformas de Coletas de Dados - PCDs e satélites brasileiros (ANA, 2014).

### CONCLUSÕES

O monitoramento limnológico e da qualidade da água, em qualquer etapa do licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos, deve ser baseado nas diferentes dimensões do corpo d'água e nas particularidades da bacia hidrográfica objeto do estudo, as quais servirão de subsídio para a determinação das variáveis a serem monitoradas, da localização estratégica das estações de coleta e da periodicidade do monitoramento. O tempo de duração do diagnóstico

deve incluir no mínimo um ciclo hidrológico completo; da fase de construção as amostragens devem ocorrer em todo o período de obras, com ênfase ao desvio do rio e enchimento; na fase de operação deve ocorrer indefinidamente, com maior periodicidade logo após o enchimento até a completa estabilização do reservatório.

O monitoramento das condições físicas, químicas e biológicas deve ser flexível e passar por reavaliações periódicas, uma vez que as mesmas vão sendo modificadas pelas atividades inerentes ao empreendimento e/ou por outras ações antrópicas na bacia de drenagem, em um processo dinâmico, o qual deve ser acompanhado continuamente. Além disso, algumas variáveis selecionadas durante o diagnóstico podem não servir como indicadores de nenhuma situação, alteração ou evento nas fases de construção e operação, podendo ser retirada da lista das variáveis.

Neste contexto, o conhecimento técnico em limnologia e da bacia hidrográfica, bem como a integração com outros programas ambientais e empreendimentos hidrelétricos localizados na mesma área de interesse, torna-se fundamental para o planejamento, a execução e a manutenção de programas eficazes de monitoramento limnológico e da qualidade da água em reservatórios de pequeno porte, com otimização dos recursos financeiros, que subsidie a eliminação e/ou mitigação dos impactos ambientais inerentes a essa atividade e atenda as condicionantes dos órgãos de controle ambiental e as legislações pertinentes.

### AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao professor doutor Ibraim Fantin da Cruz (DESA/UFMT) pela colaboração.

### Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA). 2014. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/informacoeshidro.aspx>. Acesso em: 19 de julho de 2014.
- ART, H. W. 2001. **Dicionário de Ecologia e Ciências Ambientais**. São Paulo: UNESP – Melhoramentos.
- BELLANGER, B., S. HUON, P. STEINMANN, F. CHABAUX, F. VELASQUEZ, V. VALLES, K. ARN, N. CLAUSER, A. MARIOTTI. 2004. Oxidic-anoxic conditions in the water column of a tropical freshwater reservoir (Peña-Larga dam, NW Venezuela). *App. Geochem.* 19: 1295-1314.
- BARBOSA, D.S.; ESPÍNDOLA, E.L.G. 2003. Algumas Teorias Ecológicas Aplicadas a Sistemas Lóticos" In: BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E.L.G. *Limnologia Fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu*. Rima: São Carlos, p xvi-xxii.
- BRANDIMARTE, A.L.; ANAYA, A.L., SHIMIZU, G.Y. 1999. Comunidade de invertebrados bentônicos nas fases pré-e-pós enchimento em reservatórios: Um estudo de caso no reservatório de aproveitamento múltiplo do rio Mogi-Guaçu (SP). p. 375- 408. In: HENRY, R. (Ed) *Ecologia de reservatórios: Estrutura, função e aspectos sociais*. FAPESP/FUNDIBIO, Botucatu, 800p.
- DIAS, N.S.; FERREIRA NETO, M.; COSME, C.R.; GHEYI, H.R. 2011. Qualidade da água na agricultura. In: DIAS, N.S.; SILVA, M.R.F.; GHEYI, H.R. (org.) **Recursos Hídricos: usos e manejos**. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 31-62 p.
- ESTEVES, F.A. 2011. *Fundamentos de Limnologia*, Interciência: Rio de Janeiro, 790p.
- FANTIN-CRUZ, I. 2012. Efeitos da formação e operação de um reservatório de pequena regularização na alteração da qualidade da água e do regime hidrológico na planície de inundação do Pantanal. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH. Porto Alegre, RS. 85p.
- FERNANDES, V. O.; CAVATI, B.; OLIVEIRA, L. B.; SOUZA, B. 2009. Ecologia de cianobactérias: fatores promotores e consequências das florações. *Oecol. Bras.* 13(2), pp. 247-258.
- FIGUEIREDO, D. M. 2007. Padrões Limnológicos e do fitoplâncton nas fases de enchimento e estabilização dos reservatórios do APM Manso e AHE Jauru (Estado de Mato Grosso, Tese. Universidade Federal de São Carlos, SP. 264p.
- FIGUEIREDO, D.M.; BIANCHINI-JR., I. 2008. Limnological patterns of the filling and stabilization phases in the Manso multiple-use reservoir (MT). *Acta Limnol. Bras.*, vol. 20, nº 4. 277-290 p.
- FIGUEIREDO, D. M. 2009. Limnologia e qualidade das águas superficiais das sub-bacias alta e média". In: FIGUEIREDO, D.M. E SALOMÃO, F.X.T. *Bacia do Rio Cuiabá, uma abordagem socioambiental*. Cuiabá, MT: Entrelinhas: EdUFMT, 2009. p.114-125.
- FIGUEIREDO, D.M.; DORES, E.F.G.C; PAZ, A.R.; SOUZA, C.F. 2012. Availability, uses and management of water in the Brazilian Pantanal. In: IORIS, A.A.R. *Tropical wetland management*. Ashgate Publishing. England. 59-98 p.
- FRAGOSO JR, C.R.; FERREIRA, T.F.; MOTTA MARQUES, D. 2009. *Modelagem Ecológica em Ecossistemas. Aquáticos*. Oficina de Textos. 304p.
- GENTIL, V. 2007. *Corrosão*. Editora LTC. 5a edição, Rio de Janeiro.
- HENRY, R. 2003. Os ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos: conceitos, tipos, processos e importância. Estudo de aplicação em lagoas marginais ao rio Paranapanema na zona de sua desembocadura na represa Jurumirim". In: Henry, R. (org.) *Ecótonos nas Interfaces dos Ecossistemas Aquáticos*. Rima: São Carlos, p1-28.

JUNK, W. J.; MELLO, J. A. S. 1990. Nunes de. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estud. av.**, São Paulo, v. 4, n. 8, Apr. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S01030141990000100010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01030141990000100010&lng=en&nrm=iso)>.accession 30 July 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S01030141990000100010>.

MATSUMURA-TUNDISI, T. 1999. Diversidade de zooplankton em represas do Brasil. In: HENRY, R. **Ecologia de reservatórios**. São Paulo: FAPESP/FUNDIBIO. p.41-54.

NALIATO, D.A.O.; NOGUEIRA, M.G.; PERBICHE-NEVES, G. 2009. Discharge pulses of hydroelectric dams and their effects in the downstream limnological conditions: a case study in a large tropical river (SE Brazil). *Lakes; Reser.: Res. and Manag.*, Vol.14, 301-314p.

ODUM, E. P. 1988. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Guanabara. 434p.

PAGIORO, T.A.; THOMAZ, S.M.; ROBERTO, M.C. 2005. Caracterização limnológica abiótica dos reservatórios. In: RODRIGUES, L.; THOMAZ, S.M.; AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C. *Biocenoses em reservatórios-padrões espaciais e temporais*. São Carlos: RiMa. 17-38 p.

RESH, H.V.; JACKSON, J.K. 2001. Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. In: ROSENBERG, D.M.; RESH, V.H. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Kluwer Academic Publishers, 195-233p.

SANTOS, S.B., THIENGO, S.C., FERNANDEZ, M.A., MIYAHIRA, I.C., GONÇALVES, I.C.B., XIMENES, R.F., MANSUR, M.C.D.; PEREIRA, D. 2012. Espécies de moluscos límnicos invasores no Brasil. In *Moluscos límnicos invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle* (M.C.D. Mansur, C.P. Santos, D. Pereira, I.C.P. Paz, M.L.L. Zurita, M.T.R. Rodriguez, M.V. Nehrke; P.E.A. Bergonci, orgs.). Redes Editora, Porto Alegre, 412p.

SEMA-SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. 2009. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso-PERH-MT. Cuiabá: KCM Editora. 182 p.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. 2000. Gerenciamento da qualidade da água de represas. In: TUNDISI, J. G. ed. *Diretrizes para o gerenciamento de lagos*. ILEC/IEE: São Carlos, V9. 280p.

TUCCI, C.E.M. Água no meio urbano. 1999. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. *Águas doces no Brasil-capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras. 475-508 p.

WANTZEN, K.M.; CUNHA, C.N.; SIQUEIRA, A.J.B. 2011. Cerrado stream valleys and their vegetation: Structure, impacts by erosion, and recuperation strategies. In: JUNK, W.J.; Da SILVA, C.J.; CUNHA, C.N.; WANTZEN, K.M. *The Pantanal: Ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland*. Sofia-Moscou: Pensoft, p143-165.

**Daniela Maimoni Figueiredo** Doutora, Consultora e Gerente Geral – Aquarense S/S Ltda. Professora Colaboradora do Mestrado em Rec. Hídricos-UFMT: [dani\\_figueiredo@uol.com.br](mailto:dani_figueiredo@uol.com.br)

**Rúbia Cruz-Fantin** Doutoranda no Programa de Física Ambiental – UFMT, Consultora e Gerente Técnica – Aquarense S/S Ltda: [rubiafantin@uol.com.br](mailto:rubiafantin@uol.com.br)