

**UNIDADE 3**  
**GERENCIAMENTO DA QUALIDADE DE**  
**ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS**

## CURRÍCULO RESUMIDO



Professora Jocylaine Nunes Maciel, formada em Engenharia Ambiental pela Faculdade União das Américas - UNIAMÉRICA e Mestre em Energia pela Universidade Federal do ABC - UFABC. Tem experiência na área de Ecologia, com ênfase em Ecologia de Ecossistemas de Reservatórios, atuando seguintes temas: Qualidade de Água - Interface com as Bacias Hidrográficas, Estudos Limnológicos de Longo Período, Sedimentologia, Gestão Ambiental, Gestão de Recursos Hídricos, Tratamento de Águas Residuárias, Meio Ambiente e Energias (renováveis e não-renováveis). Atualmente é coordenadora do curso de Engenharia Ambiental da UNIAMÉRICA - Foz do Iguaçu – PR.

## Sumário

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>05</b>
<b>LISTA DE TABELA.....</b>	<b>05</b>
<b>GERENCIAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS.....</b>	<b>06</b>
<b>1 GERENCIAMENTO.....</b>	<b>07</b>
<b>2 PLANO AMBIENTAL DE CONSERVAÇÃO E USO DO ENTORNO DE RESERVATÓRIO ARTIFICIAL – PACUERA.....</b>	<b>09</b>
2.1 Instrumentação de Gestão Ambiental (Zoneamento e Uso Múltiplo).....	09
2.2 Benefícios da Implantação.....	12
2.3) Dificuldade de Implantação.....	13
2.4) Forma de Implantação do PACUERA.....	14
<b>3 TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO DA ÁGUA PARA GERENCIAMENTO.....</b>	<b>16</b>
3.1 Monitoramento Convencional das Variáveis Limnológicas.....	16
3.2 Sondas e Equipamentos de Medição.....	18
3.3 Monitoramento em Tempo Real.....	20
3.4 Vantagens e Desvantagens do Diferentes Tipos de Monitoramento.....	22
<b>4 MODELOS ECOLÓGICOS E MATEMÁTICOS COMO FERRAMENTAS PARA O GERENCIAMENTO.....</b>	<b>24</b>
4.1 Índices de Estado Trófico.....	24
4.2 Índices de Qualidade da Água em Reservatórios.....	28
4.3 Índices de Biodiversidade.....	32
4.4 Noções Básicas sobre Modelos Hidrodinâmicos de Qualidade de Água (bi e tridimensional).....	35
<b>5 TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS.....</b>	<b>37</b>
5.1 Preventiva.....	37
5.1.1 Planos de Contingência.....	37

# Qualidade de Água em Reservatórios

5.2 Corretiva.....	39
5.2.1 Medidas de Controle de Eutrofização.....	39
5.2.1.1 Controle de Macrófitas Aquáticas.....	40
5.2.1.2 Controle de Algas.....	43
<b>6. MEDIDAS DE CONTROLE EXTERNAS PARA RESTAURAÇÃO DE RESERVATÓRIOS.....</b>	<b>45</b>
6.1 Bacia Hidrográfica Como Unidade de Planejamento.....	45
6.2 Manejo do Uso e ocupação do Solo.....	45
6.3 Conceitos Básicos Sobre Planos de Bacia Hidrográfica.....	47
<b>REFERÊNCIA.....</b>	<b>51</b>
<b>GLOSSÁRIO.....</b>	<b>57</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reservatório Área Urbana

Figura 2 - Reservatório Área Rural com Mata Ciliar

Figura 3 - Imagem simplificada do PACUERA da Usina Hidrelétrica de Passo São João - RS

Figura 4 - Desenho Esquemático Simplificado das Etapas da Concepção e Aprovação do PACUERA

Figura 5 - Sonda Multiparâmetro

Figura 6 - Reservatório Artificial

Figura 7 - Exemplos de Sensores para Medição de Variáveis Limnológicas

Figura 8 - Exemplos de Sondas em Bóias com Sensores para Monitoramento da Qualidade da Água em Tempo Real

Figura 9: Biodiversidade em Ecossistemas Aquáticos

Figura 10: Exemplos das Consequências da Eutrofização em Ecossistemas Aquáticos

Figura 11 - Bacia Hidrográfica

Figura 12 - Proposta de Enquadramento para Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vantagens e Desvantagens dos Diferentes Tipos de Monitoramento da Qualidade da Água

Tabela 2 – Classificação do Estado Trófico para Reservatórios Segundo Índice de Carlson Modificado – IET

Tabela 3 - Peso das Variáveis Limnológicas Utilizadas para o Cálculo do IQAR

Tabela 4 – Qualificação do Reservatório em Função do Valor do IQAR

Tabela 05 - Faixas e/ou Índices de Qualidade de Água segundo os Níveis de Comprometimento

Tabela 6 – Principais Índices Utilizados para o Cálculo da Diversidade Biológica

Tabela 7 - Principais Modelos Hidrodinâmicos de Qualidade de Água

Tabela 8 - Métodos Empregados no Controle de Macrófitas

# Qualidade de Água em Reservatórios

## GERENCIAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS

Figura 1 - Reservatório Área Urbana



Fonte: Disponível em : <http://www.mananciais.org.br/>

Figura 2 - Reservatório Área Rural com Mata Ciliar



Fonte: Disponível em : <http://jie.itaipu.gov.br>

## 1 GERENCIAMENTO

Os reservatórios artificiais ocupam aproximadamente 7.500 km<sup>3</sup> de águas represadas em todo planeta (TUNDISI & STRASKRABA, 2000). No Brasil, devido à significativa utilização da água para múltiplos usos (geração de energia elétrica, navegação, recreação, turismo, corpo receptor de dejetos domésticos, pesca, irrigação, entre outros) o país foi conduzido à construção de muitos reservatórios artificiais.

O gerenciamento destes ecossistemas é de fundamental importância para o desenvolvimento sustentado desses ambientes e de todo seu entorno. Neste contexto, nota-se que quanto mais são intensificados os usos do reservatório e sua bacia de contribuição, mais relevante se torna a realização do monitoramento desses ambientes, de tal modo que permita a caracterização e avaliação das águas, a fim de garantir padrões aceitáveis de utilização e orientações para o manejo e gerenciamento desses sistemas naturais.

A gestão ambiental integra em seu significado: a *política ambiental* (conjunto de princípios doutrinários no que concerne a regulamentação, uso, controle, proteção, e conservação do ambiente), o *planejamento ambiental* (que é o estudo prospectivo que visa à adequação do uso, controle e proteção do ambiente às aspirações sociais e/ou governamentais expressas formal ou informalmente em uma política ambiental, através da coordenação, compatibilização, articulação e implantação de projetos de intervenções estruturais e não estruturais) e o *gerenciamento ambiental* (que é o conjunto de ações destinado a regular o uso, controle, proteção e conservação do meio ambiente, e a avaliar a conformidade da situação corrente com os princípios doutrinários estabelecidos pela política ambiental) (LICENCIAMENTO AMBIENTAL, 2012).

Essa diferenciação conceitual será importante para aprendermos a próxima lição onde será estudada uma importante ferramenta para a gestão do entorno dos

## Qualidade de Água em Reservatórios

reservatórios artificiais, o PACUERA (Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial), sendo este um documento norteador da forma como será realizado o gerenciamento desses ambientes.



## 2 PLANO AMBIENTAL DE CONSERVAÇÃO E USO DO ENTORNO DE RESERVATÓRIO ARTIFICIAL – PACUERA

### 2.1 Instrumentação de Gestão Ambiental (Zoneamento e Uso Múltiplo)

O desenvolvimento das atividades humanas em muitas situações pode ocasionar a degradação do meio ambiente onde estão sendo realizadas, sejam elas relacionadas a qualquer tipo de recurso ambiental – *atmosfera, ecossistemas aquáticos e interfaces, estuários, mar, solo, subsolo e elementos da biosfera*.

A gestão ambiental ou as práticas de gestão ambiental visam ordenar as atividades humanas realizadas no meio ambiente para que estas originem o menor impacto possível. As atividades de gestão vão desde a seleção de técnicas ao exercício do cumprimento da legislação ambiental até a otimização de recursos financeiros e humanos.

Uma importante ferramenta de gestão ambiental é o zoneamento ambiental. Segundo o IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, o *“zoneamento ambiental, como uma ferramenta de planejamento integrado, aparece como uma solução possível para o ordenamento do uso racional dos recursos, garantindo a manutenção da biodiversidade, os processos naturais e serviços ambientais ecossistêmicos”*.

A Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº6.938/1981), estabelece em seu artigo 9º, inciso II, o zoneamento ambiental como um dos instrumentos da referida política, o qual é regulamentado pelo Decreto nº4297/2002, onde ficam estabelecidos os critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil – ZEE. Essas legislações fomentam o reconhecimento e importância dessa ferramenta de gestão ambiental no país, especialmente para a proteção de recursos naturais.

Os reservatórios são importantes ecossistemas artificiais com muitos usos múltiplos (HENRY, 1999). São ecossistemas aquáticos de extrema importância estratégica,

# Qualidade de Água em Reservatórios

uma vez que são utilizados para diversos e variados usos que interferem na qualidade da água, nos mecanismos de funcionamento e na sucessão das comunidades aquáticas nos rios e bacias hidrográficas (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

O Brasil, por sua riqueza hídrica, alimenta sua matriz energética<sup>1</sup> elétrica principalmente por usinas hidrelétricas – sistema hidrotérmico<sup>2</sup>. A concepção de uma usina hidrelétrica implica, em boa parte dos casos, na construção de reservatórios para o represamento das águas para fins de geração de energia elétrica. No entanto, a construção desses reservatórios pode ocasionar impactos positivos e negativos a toda sua área de influência – direta ou indiretamente afetada.

Dentre os principais impactos provocados pela construção de reservatórios, podem-se citar como positivos (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008):

- I. Produção de energia (hidroeletricidade);
- II. Fonte de água potável para sistemas de abastecimentos;
- III. Representativa diversidade biológica;
- IV. Proteção contra cheias, etc.

Os impactos negativos podem ser atribuídos a:

- I. Perda de biodiversidade (alteração de ambiente lótico para lêntico);
- II. Perda do poder de depuração enquanto corpo receptor de efluentes orgânicos e eventuais compostos tóxicos;
- III. Perda de terras agrícolas;
- IV. Possíveis conflitos sociais decorrentes da necessidade de desapropriação de terras;

---

<sup>1</sup> *Matriz Energética: Apresentação e descrição de todas as fontes de energia utilizadas e exploradas em um determinado local (região, cidade, estado, país).*

<sup>2</sup> *Sistema hidrotérmico: sistema de geração de energia elétrica composto por usinas hidrelétricas e térmicas. Veja mais informações em: <http://www.ons.org.br/home/index.aspx>*

### V. Perdas na biodiversidade terrestre, etc.

Considerando os impactos, especialmente os negativos gerados pela construção dos reservatórios, no Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), bem como os outros órgãos ambientais vem desenvolvendo e aprimorando cada vez mais as resoluções, normativas e portarias ambientais específicas, muitas delas, com a finalidade de minimizar o impacto negativo desses empreendimentos ou ainda a resolução de conflitos pelo uso dos recursos naturais.

Exemplo disso é dada à importância dos reservatórios artificiais e seus impactos ao meio ambiente – *sejam eles positivos ou negativos*, uma das exigências legais para a implantação de Usinas Hidrelétricas é a aprovação de um Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial (PACUERA), o qual deve estabelecer um conjunto de diretrizes e proposições com o objetivo de disciplinar a conservação, recuperação, o uso e ocupação do entorno dos reservatórios artificiais respeitados os parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA nº302 de 20 de março de 2002, e em outras normas pertinentes (ECOLOGY BRASIL, 2009).

A referida resolução dispõe sobre *“os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno”*. Para efeito de aplicação da referida resolução, dentre outras definições importantes apresentadas por ela, temos:

**I - Áreas de Preservação Permanente – APP:** *“a área marginal ao redor do reservatório artificial e suas ilhas, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas”;*

**II - Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial - PACUERA:** *“o conjunto de diretrizes e proposições com o objetivo de*

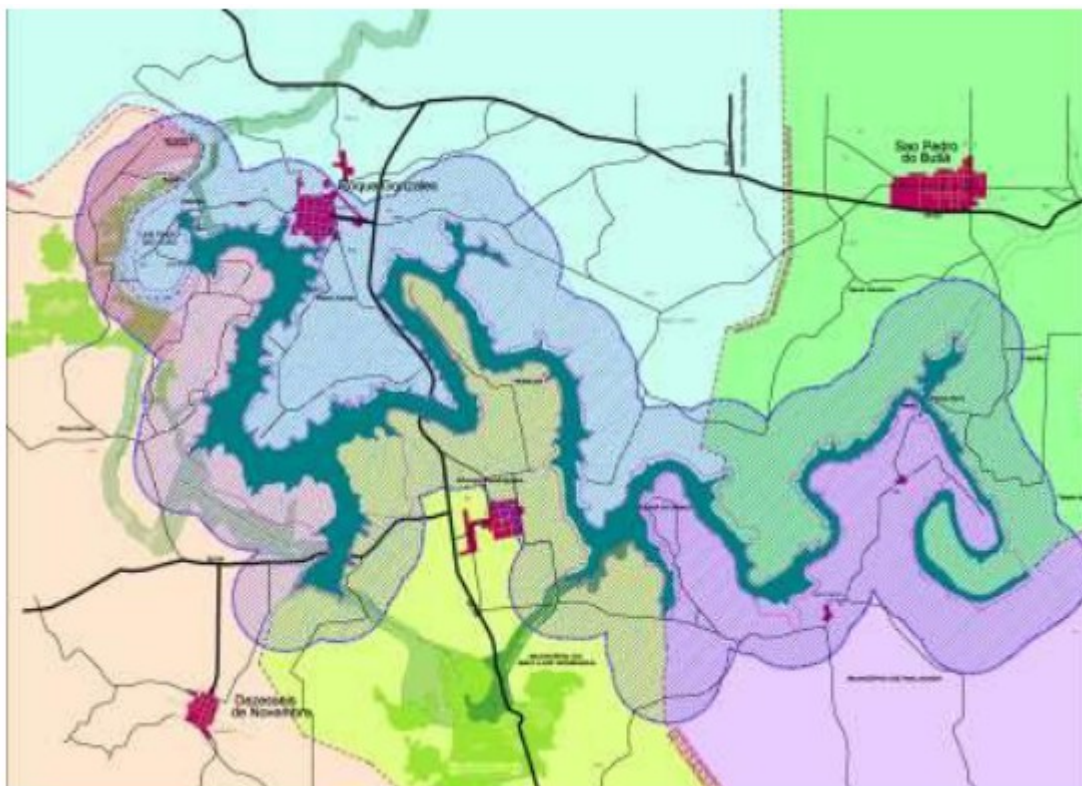
## Qualidade de Água em Reservatórios

*disciplinar a conservação, recuperação, o uso e ocupação do entorno dos reservatórios artificiais respeitados os parâmetros estabelecidos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis”.*

Outros dois aspectos importantes apresentados na resolução CONAMA nº302/2002 dizem respeito a: (i) artigo 3º, §1º, “*a largura mínima da APP, em projeção horizontal, no entorno dos reservatórios artificiais, a ser medida a partir do nível máximo normal, como **trinta metros** para os reservatórios artificiais situados em áreas urbanas consolidadas e **cem metros** para áreas rurais*” e, (ii) artigo 4º, §1º que “*cabe ao órgão ambiental competente aprovar o PACUERA, considerando o plano de recursos hídricos, quando houver, sem prejuízo do procedimento de licenciamento ambiental*”.

A seguir é apresentado na Figura 3 uma imagem do PACUERA da Usina Hidroelétrica Passo São João – Rio Grande do Sul, com a finalidade de demonstrar sua aplicabilidade como instrumento de gestão de reservatórios artificiais.

Figura 3 - Imagem Simplificada do PACUERA da Usina Hidrelétrica de Passo São João - RS



Fonte: Disponível em : <http://samuelquintana.blogspot.com.br/2010/11/pacuera-de-usina-hidroeletrica-passo.html>

### 2.2 Benefícios da Implantação

O PACUERA por se tratar de um *conjunto de diretrizes e proposições que objetivam disciplinar a conservação, recuperação, o uso e ocupação do entorno dos reservatórios artificiais*, mostra-se benéfico no que tange ao planejamento e a gestão das áreas circunvizinhas aos reservatórios. Vale destacar sua relevância quanto à busca pelo aproveitamento racional dos recursos naturais e cênicos da região do empreendimento, por meio da integração das necessidades dos moradores locais, ao desenvolvimento regional, atendendo as atuais premissas ambientais, em consonância com as atividades relacionadas ao empreendimento (ENERGIA SUSTENTÁVEL DO BRASIL, 2010).

De acordo com Soares (2009) em sua pesquisa realizada sobre a análise do escopo

dos planos ambientais elaborados para o entorno dos reservatórios do setor elétrico e a identificação das principais dificuldades das empresas desse setor para elaboração do PACUERA, constatou-se que é inquestionável a importância desses planos para a gestão ambiental dos empreendimentos do setor elétrico. Nesse trabalho, a autora sugere ainda que os estudos devam apresentar como escopo mínimo: (I) o diagnóstico socioambiental da área de influência, (II) a avaliação dos usos potenciais, (III) o zoneamento dos usos e, (IV) o estabelecimento de diretrizes para as diversas zonas.

### 2.3 Dificuldade de Implantação

Conforme relatado nos itens anteriores (1.1. Instrumentação e gestão ambiental - zoneamento e uso múltiplo e 1.2. Benefícios da implantação) quanto a importância e os benefícios de implantação do PACUERA, como ocorre com todo instrumento disciplinador, este plano apresenta algumas dificuldades de implantação. Vejamos na sequência algumas delas:

- I. **Quanto à Legislação Ambiental:** considerando que boa parte das normas vigentes, a exemplo daquelas que disciplinam as áreas de preservação permanente em margens de rios, reservatórios e ilhas (CONAMA nº302/2002) e que vêm sustentando as ações fiscalizadoras dos órgãos públicos, são posteriores à instalação e/ou início da operação de grande parte das usinas, impondo dificuldades a seus gestores (SUBCOMITÊ DE MEIO AMBIENTE – GRUPO TRABALHO 10 – SCMA – G10, 2011);
- II. **Quanto a Tipo de Uso e Ocupação do Entorno:** em grande parte do perímetro das margens dos reservatórios localizados em todo país, parte destes localizam-se em áreas com grande concentração populacional, e que decorrente do histórico de ocupação das margens realizadas pelas sociedades - desenvolvimento urbano dessas áreas na busca por lazer e turismo, atividades de irrigação e possibilidade de exploração de outras

atividades econômicas – consolidou as ocupações dessas margens (SCMA – GT10, 2011), ou seja, em muitos casos ocorreu a consolidação da ocupação do entorno antes ou mesmo durante a execução dos seus respectivos PACUERAs, sendo, no entanto importante destacar que deve ser considerado o uso e ocupação atual desses locais;

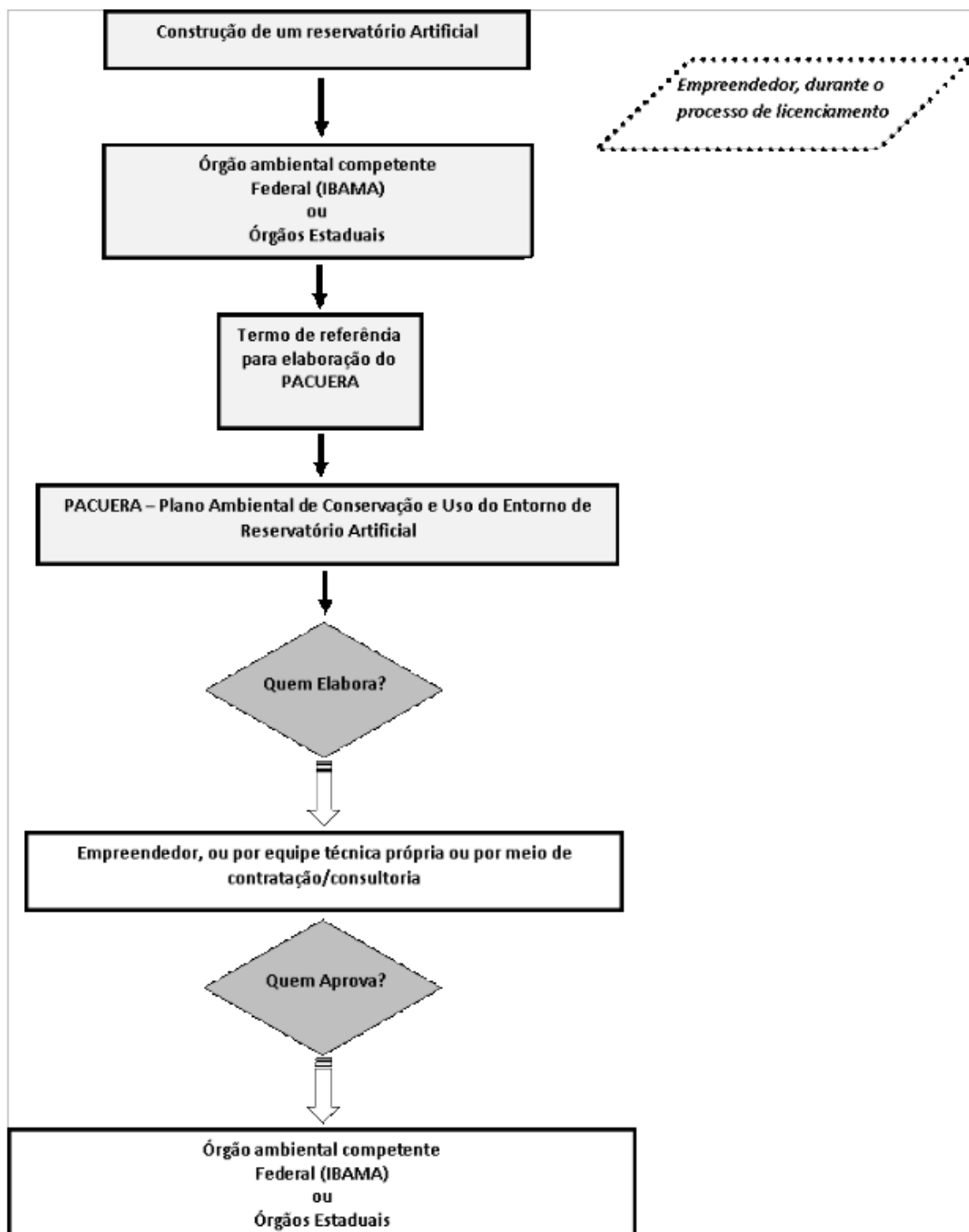
- III. **Quanto a Aspectos Técnico - Administrativos:** existem dificuldades das empresas na elaboração do PACUERA quanto a definição do escopo do plano, bem como na abrangência dos estudos que são agravados pela ausência de normatização sobre o assunto, no convencimento do corpo gerencial da empresa no que concerne à importância na elaboração do plano e por fim, na participação dos vários atores envolvidos no processo (SOARES, 2009).
  
- IV. **Quanto as Áreas de Preservação Permanente – APP:** há resistência das empresas para o desenvolvimento dos planos envolvendo os empreendimentos em operação, principalmente no que concerne à manutenção da APP no entorno dos reservatórios, com definição a princípio da largura das faixas de proteção (ver item i) (SOARES, 2009).

### 2.4 Forma de Implantação do PACUERA

Conforme mencionado, o PACUERA é uma das exigências legais para a implantação de Usinas Hidrelétricas e é de significativa relevância no que tange a disciplinar a conservação, recuperação, o uso e ocupação do entorno do reservatório artificial. Nesse sentido, segue apresentado na Figura 4 um diagrama esquemático simplificado sobre os procedimentos para a implementação de um PACUERA, desde a sua necessidade de elaboração até a aprovação final.

# Qualidade de Água em Reservatórios

Figura 4 - Desenho Esquemático Simplificado das Etapas da Concepção e Aprovação do PACUERA



Fonte: Nota do autor



## 3 TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO DA ÁGUA PARA GERENCIAMENTO

Figura 5 - Sonda Multiparâmetro



Fonte: Disponível em <http://www.agsolve.com.br>

Figura 6 - Reservatório Artificial



Fonte: Disponível em [:http://www.mananciais.org.br](http://www.mananciais.org.br)

### 3.1 Monitoramento Convencional das Variáveis Limnológicas

O monitoramento é uma importante ferramenta na avaliação do funcionamento de ecossistemas aquáticos continentais, águas costeiras ou oceânicas. Além disso, é uma forma de suporte às pesquisas nesses ambientes, pois auxilia na detecção de problemas como fontes de contaminação e poluição e as alterações biológicas (no

# Qualidade de Água em Reservatórios

plâncton, bentos ou nécton) que podem ocorrer em função das alterações nas suas respectivas bacias hidrográficas (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

O monitoramento convencional da qualidade da água em reservatórios parte inicialmente da elaboração de um plano de amostragem que deverá determinar em seu escopo mínimo os seguintes componentes:

**1º) Objetivos do Monitoramento:** visa à realização de estudos ecológicos, ou o acompanhamento das variáveis para uso pré-determinado (abastecimento público, balneabilidade, geração de energia elétrica) ou ainda o cumprimento de legislação ambiental (exemplo a Resolução CONAMA n° 357/2005);

**2º) Procedimentos Metodológicos:** determinações de quais variáveis limnológicas serão estudadas, em quais profundidades do corpo hídrico, quais os equipamentos ou procedimentos laboratoriais serão utilizados para análise das amostras (análise por titulação, sensores ópticos ou eletrônicos, eletrodos, etc.);

**3º) Frequência de Observação:** qual a periodicidade das amostragens – diária, quinzenal, mensal, trimestral, semestral, anual – que terá uma relação direta com o item “(i) objetivo do monitoramento”;

**4º) Abrangência Espacial:** a quantidade de estações e onde (especialmente) estas serão alocadas (exemplo: entrada, no meio e na saída do reservatório).

Depois de realizado esse planejamento inicial e/ou preliminar, a etapa subsequente e complementar à realização do monitoramento convencional da qualidade da água é a definição de aspectos relacionados a:

**1º) Coleta:** procedimentos para coleta de água (exemplo: profundidade 20 cm, ou fundo do corpo hídrico – definido no plano de amostragem);

**2º) Armazenamento da Amostra:** a amostra deve, dependendo da variável analisada permanecer em baixas temperaturas, ou em temperatura ambiente, em

alguns casos deve ser adicionados reagentes para conservação – definido na metodologia de análise (comumente empregado o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*);

**3º) Análises Laboratoriais:** as análises laboratoriais vão depender da variável analisada, por exemplo, os procedimentos laboratoriais adotados podem ser ou análise por titulometria (comumente empregado o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*) ou medição por equipamentos digitais (eletrodos, sensores);

**4º) Análise e Interpretação dos Resultados:** após os conclusão dos procedimentos anteriores, o gestor terá os resultados das análises, sendo que essas informações lhe fornecerão subsídios para suporte técnico a tomadas de decisões.

Embora tenham sido descritas anteriormente algumas etapas para realização do monitoramento, os gestores responsáveis por essas ações em suas empresas e/ou instituições serão determinantes sobre o roteiro ou estratégia de monitoramento, que em geral estão de acordo com as necessidades ou demandas das suas instituições.

Por exemplo, a implementação de uma rede de monitoramento de um corpo hídrico utilizado para abastecimento público impõe necessidades metodológicas diferentes da água para geração de energia, uma vez que no primeiro caso a água deve atender a um padrão de potabilidade (Portaria nº2914/2011, do Ministério da Saúde), diretamente relacionada às condições encontradas no ponto de captação, à forma de tratamento e posterior distribuição para a população, e necessita de condições distintas da qualidade da água para geração de energia elétrica (geralmente relacionada a conservação das máquinas e turbinas).

## 3.2 Sondas e Equipamentos de Medição

O monitoramento da qualidade da água é uma importante ferramenta de gestão dos recursos hídricos, pois auxilia na caracterização e avaliação de um corpo hídrico. De

## Qualidade de Água em Reservatórios

posse dessas informações, o gestor poder direcionar as medidas de controle ou mitigação dos possíveis impactos que estejam alterando as características físicas, químicas ou biológicas das águas da bacia hidrográfica em que se encontra inserida. As análises de qualidade de água vêm passando por uma série de alterações metodológicas, com o intuito principal de facilitar as análises e principalmente agilizar as saídas dos resultados dessas avaliações. Nesse sentido, as tecnologias de medição de variáveis limnológicas vêm sofrendo significativo avanço visto especialmente na utilização de novos equipamentos de medição, como as sondas paramétricas ou multiparâmetros.

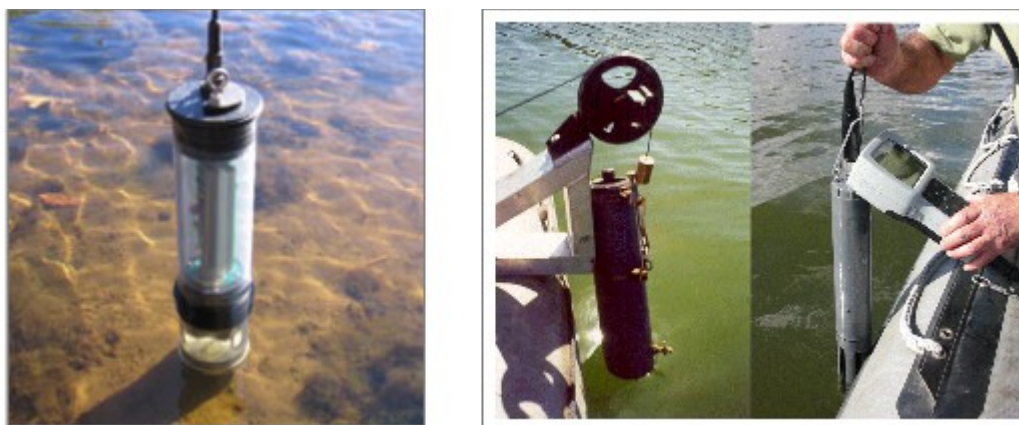
O uso de sondas multiparamétricas para monitorar corpos hídricos (rios, lagos/lagoas, reservatórios) tem como objetivo principal indicar rapidamente eventuais alterações nas variáveis físico-químicas e em alguns casos biológicas, da água.

As sondas podem ser de dois tipos, as fixas e as de tecnologia de perfilamento automático, que por meio de telemetria permite às empresas, aos órgãos reguladores/gestores e às agências competentes realizar o controle e o monitoramento ambiental em tempo real, e acompanhar as possíveis alterações (sazonais ou temporais) nos corpos hídricos, objeto de avaliação.

A quantidade de variáveis que podem ser analisadas pelas sondas é distinta uma da outra, dependendo do modelo, marca e fabricante, podendo variar de parâmetros mais simples – *temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, sais* – às mais sofisticadas – *chegam a mensurar 25 parâmetros* (AGSOLVE, 2012). Veja a seguir alguns modelos de sondas multiparamétricas (Figura 7).

# Qualidade de Água em Reservatórios

Figura 7 - Exemplos de Sensores para Medição de Variáveis Limnológicas



Fonte: Disponível em <http://www.agsolve.com.br/>

No entanto, é importante ressaltar que devido a existência de diferentes tipos e modelos, métodos de calibração específicos são necessários. Em outras palavras, isso quer dizer que os resultados das variáveis analisadas podem sofrer influências devido a essas distintas formas de calibração.

Um exemplo é a variável oxigênio dissolvido (variável de grande importância para estudos de ecossistemas aquáticos), que pode ser analisada pelo método de *Winkler* ou sonda com uso de membranas ou eletrodos. Dessa forma, observa-se que as sondas automáticas têm métodos específicos de medição, que vão variar conforme seu fabricante.

Essa informação deve ser de conhecimento do gestor durante a análise e interpretação dos resultados obtidos, de forma a conduzir a ações eficientes e condizentes com o objetivo do monitoramento, seja ele diagnosticar o ambiente, conservar e/ou recuperar.

### 3.3 Monitoramento em Tempo Real

Como temos estudado nos itens anteriores, o monitoramento da qualidade da água é uma importante ferramenta de subsídio para gestão de recursos hídricos. No entanto, em algumas situações há necessidade de práticas de monitoramento que

## Qualidade de Água em Reservatórios

avaliem em um menor espaço de tempo as variáveis limnológicas, em relação à campanhas de campo para posterior análise em laboratório e/ou mesmo quando da utilização de sondas que avaliem a qualidade da água no momento que as campanhas estão sendo realizadas.

Nesse sentido, uma das tendências mais atuais de monitoramento avançado de ecossistemas aquáticos é o monitoramento em tempo real. Esse tipo de monitoramento envolve as seguintes tecnologias (TUNSIDI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008):

- *Uso de sensores de alta qualidade para medidas físicas, químicas e biológicas na água;*
- *Armazenamento de dados;*
- *Transmissão de dados por meios eletrônicos via satélite ou por internet;*
- *Acoplamento de sensores de qualidade de água com medições climatológicas.*

As estações de monitoramento que utilizam dessa tecnologia podem produzir dados de perfis verticais na coluna d'água a determinados intervalos de tempo, acoplados a medidas contínuas de parâmetros climatológicos – geralmente radiação solar, temperatura do ar, vento (direção e força), umidade relativa e precipitação (Figura 8). Nesse sentido, o que tem se observado é que essa tecnologia vem avançando significativamente para as práticas de gestão em reservatórios, pois possibilita realizar previsões e respostas mais rápidas a fenômenos naturais e a impactos causados em decorrência das atividades humanas, como a eutrofização, poluição, descarga de substâncias tóxicas e material em suspensão (TUNSIDI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

## Qualidade de Água em Reservatórios

Figura 8 - Exemplos de Sondas em Bóias com Sensores para Monitoramento da Qualidade da Água em Tempo Real



Fonte: Disponível em <http://www.clean.com.br/>

No Brasil, alguns empreendimentos do setor hidroelétrico já vêm explorando a tecnologia de monitoramento em tempo real, como no caso do rio Madeira, onde o consórcio Santo Antônio Energia, responsável pela obra, vem monitorando continuamente a qualidade da água por meio de três estações, uma a montante (rio acima) e as outras duas a jusante (rio abaixo) do local onde está sendo construída a barragem, conhecida como cachoeira de Santo Antônio.

Segundo a empresa que instalou o equipamento, as sondas forneceram dados sobre: temperatura da água, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio, pH (potencial hidrogeniônico), ORP (potencial de óxido-redução), sólidos dissolvidos e turbidez (ODEBRECHT, 2012).

### 3.4 Vantagens e Desvantagens do Diferentes Tipos de Monitoramento

Nos itens anteriores foram estudados os diferentes tipos de monitoramento da qualidade da água, no entanto, cada uma dessas formas de monitorar a água apresenta vantagens e desvantagens, que o gestor deve levar em consideração no momento de empregar as técnicas em sua rede de monitoramento.

Pode-se dizer que é possível diferenciar as técnicas de monitoramento da qualidade da água em dois grupos principais: I) monitoramento sistemático tradicional, que

## Qualidade de Água em Reservatórios

envolve o monitoramento convencional e II) monitoramento automático, que diz respeito ao emprego de sondas e equipamentos de medição (tempo real ou não).

A Tabela 1 apresenta resumidamente algumas dessas vantagens e desvantagens das técnicas apresentadas anteriormente.

Tabela 1: Vantagens e Desvantagens dos Diferentes Tipos de Monitoramento da Qualidade da Água

<b>Tipo de monitoramento (características)</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Sistemático Tradicional/Convencional “Permite acompanhar a evolução das condições da qualidade das águas ao longo do tempo, fornecendo séries temporais de dados”	<ul style="list-style-type: none"><li>• Maior abrangência em termos de parâmetros</li><li>• Maior abrangência em termos de área de estudo (distribuição das estações de amostragem)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Geralmente dispendioso e demanda muito tempo</li><li>• Defasagem em tempo entre a coleta e o resultado de análise</li><li>• Menor possibilidade na detecção de dados atípicos</li></ul>
Sistema Automático (sondas e equipamentos de medição) “Realização de uma avaliação contínua da qualidade da água, o que permite detectar alterações instantâneas, tornando possível agilizar as providências necessárias.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Maior possibilidade na detecção de dados atípicos</li><li>• Resultados em tempo real</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Número limitado de parâmetros analisados</li><li>• Impossibilidade de coleta de dados quando o equipamento sofre algum dano mecânico ou elétrico</li></ul>

Fonte: Adaptado de INEA, 2012.



## 4 MODELOS ECOLÓGICOS E MATEMÁTICOS COMO FERRAMENTAS PARA O GERENCIAMENTO

Figura 9: Biodiversidade em Ecossistemas Aquáticos



Fonte: Disponível em: <http://naturezaecologica.com/por-que-e-importante-biodiversidade-de-agua-doce/>

### 4.1 Índices de Estado Trófico

Um dos mais expressivos impactos qualitativos em rios, lagos e represas é a **eutrofização** (Figura 10) que afeta, com maior ou menor intensidade, praticamente todos os ecossistemas aquáticos continentais (TUNSIDI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Figura 10: Exemplos das Conseqüências da Eutrofização em Ecossistemas Aquáticos



Fonte: [http://biocarthagenes.blogspot.com.br/2011\\_07\\_01\\_archive.html](http://biocarthagenes.blogspot.com.br/2011_07_01_archive.html)

O estado trófico é um conceito que se refere ao estado nutricional, ou seja, a quantidade de nutrientes presentes em determinado corpo d'água, utilizado principalmente para avaliar a presença desses nutrientes em lagos/lagoas, reservatório/represas.

No entanto, pode-se dizer que o estado trófico não seria apenas uma quantificação da concentração de nutrientes nesses ambientes, mas envolve a determinação de outros parâmetros que levam a elaboração de um **índice de estado trófico**, a partir de uma matriz e vários indicadores.

Além disso, os índices podem ser usados de forma a facilitar a interpretação dos dados obtidos no monitoramento uma vez que estes “*resumem em um único ou em poucos valores o conjunto de informações obtidas*” (DUARTE, *et. al.*, 2008).

Segundo Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008) os diversos critérios para definir o estado trófico de uma massa de água referem-se aos seguintes parâmetros:

- *Concentração de nutrientes;*
- *Carga alóctone e autóctone de nutrientes inorgânicos;*
- *Taxa de consumo de oxigênio hipolimnético;*
- *Produção primária de fitoplâncton;*
- *Clorofila a;*
- *Transparência ao disco de secchi, e;*
- *Outros critérios.*

Entre os principais métodos para medição do índice de estado trófico - IET, o de Índice de Carlson (1977) é o mais utilizado, pois permite uma avaliação limnológica bastante aproximada do nível de enriquecimento nutricional de um corpo hídrico por nutrientes e seus efeitos relacionados ao aumento da proliferação de macrófitas aquáticas e algas (CETESB, 2012).

## Qualidade de Água em Reservatórios

Para determinação do IET utiliza-se de apenas três variáveis, sendo eles: transparência da água medida por meio do Disco de Secchi, clorofila “a” e fósforo total (RIBEIRO-FILHO, 2006). Historicamente, este índice foi proposto por Carlson e posteriormente modificado por Toledo *et. al.*, (1983).

Essa modificação foi proposta devido às necessidades de se adequar o índice às condições limnológicas dos reservatórios tropicais, que apresentavam as concentrações críticas permissíveis ou excessivas em relação à clorofila a, ao fósforo total e a transparência da água (disco de secchi) diferente das regiões temperadas (MERCADANTE & TUCCI, 2001).

Dentre as três variáveis citadas para o cálculo do Índice de Estado Trófico (transparência, clorofila a e fósforo total) comumente se realiza o cálculo apenas para a clorofila a e o fósforo total, uma vez que os valores de transparência muitas vezes não são representativos do estado de trofia, pois esta pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos (variável pouco estável) (CETESB, 2012).

Nesse sentido o Índice do Estado Trófico calculado segundo CARLSON, (1977), modificado por TOLEDO *et. al.*, (1983) para reservatórios tropicais e adaptado por LAMPARELLI (2004) para aplicação específica em ambientes lênticos, pode ser calculado das seguintes equações:

Equação 1

$$\text{IET (Tra)} = 10 \times (6 - \ln \text{Tra}) \div \text{Ln}2$$

Equação 2

$$\text{IET (Cl)} = 10 \times (6 - 0,92 - 0,34 \times \text{LnCl}) \div \text{Ln}2$$

Equação 3

$$\text{IET (P}_{\text{Total}}) = 10 \times (6 - 1,77 - 0,42 \times \text{LnP}_{\text{total}}) \div \text{Ln}2$$

Equação 4

# Qualidade de Água em Reservatórios

$$IET_{Médio} = \frac{IET(P_{Total}) + IET(CI)}{2}$$

Sendo:

**CI** = concentração de clorofila *a* medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$

**P<sub>total</sub>** = concentração de fósforo total medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$

**Ln** = logaritmo natural

Os limites estabelecidos para as diferentes classes de reservatórios estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação do Estado Trófico para Reservatórios Segundo Índice de Carlson Modificado - IET

Classificação do Estado Trófico - Reservatórios				
Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Secchi - S (m)	P-total - P ( $\text{mg.m}^{-3}$ )	Clorofila <i>a</i> ( $\text{mg.m}^{-3}$ )
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$S \geq 2,4$	$P \leq 8$	$CL \leq 1,17$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$2,4 > S \geq 1,7$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < CL \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$1,7 > S \geq 1,1$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < CL \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$1,1 > S \geq 0,8$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < CL \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$0,8 > S \geq 0,6$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < CL \leq 69,05$
Hipereutrófico	$IET > 67$	$0,6 > S$	$233 < P$	$69,05 < CL$

Fonte: CETESB, 2012.

Este índice propõe a classificação dos reservatórios em cinco categorias, de acordo com seu grau de trofia, sendo elas (CETESB, 2012; CARDOSO, 2011):

- **Ultraoligotrófico:** corpos de água limpos, com produtividade muito baixa. Apresenta concentrações de nutrientes insignificantes, não causando prejuízos aos usos múltiplos da água;
- **Oligotrófico:** corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água;

# Qualidade de Água em Reservatórios

- **Mesotrófico:** corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis na maioria dos casos;
- **Eutrófico:** corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral, afetados por atividades antrópicas, em que ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus múltiplos usos;
- **Hipereutrófico:** corpos de água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, podendo inclusive estar associados a episódios de florações de algas e de mortandade de peixes e causar consequências indesejáveis sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

## 4.2 Índices de Qualidade da Água em Reservatórios

Outro importante índice para avaliação da qualidade da água é o Índice de Qualidade de água de Reservatórios – IQAR, criado pelo Instituto Ambiental do Paraná – IAP, o qual visa conhecer as principais características ecológicas de cada reservatório, determinando em particular a qualidade das águas e sua tendência ao longo do tempo (IAP, 2012).

Para a seleção das variáveis utilizadas no cálculo do IQAR, foram considerados os objetivos do monitoramento, seu custo e eficácia quanto à avaliação da qualidade da água. As variáveis são: (I) déficit de oxigênio dissolvido, (II) fósforo total, (III) nitrogênio inorgânico total, (IV) demanda química de oxigênio, (V) transparência, (VI) clorofila *a*, (VII) tempo de residência, (VIII) profundidade média do reservatório e, (IV) densidade de cianobactérias (ANA, 2009).

## Qualidade de Água em Reservatórios

Para o cálculo do IQAR as variáveis selecionadas recebem pesos em função do seu nível de importância para a avaliação da qualidade da água do reservatório (Tabela 3).

Tabela 3 - Peso das Variáveis Limnológicas Utilizadas para o Cálculo do IQAR

<b>Parâmetro de Qualidade da Água</b>	<b>Peso (w)</b>
Déficit de Oxigênio dissolvido (%) <sup>1</sup>	17
Clorofila a (µg/L)	15
Fósforo total (PO <sub>2</sub> -mg/L) <sup>2</sup>	12
Profundidade Secchi (m)	12
Demanda química de oxigênio – DQO (mg/L) <sup>2</sup>	12
Tempo de residência (dias)	10
Nitrogênio inorgânico total (N-mg/L) <sup>2</sup>	8
Cianobactérias (nº de células /mL) <sup>3</sup>	8
Profundidade média (metros)	6

Nota: (1) média da coluna d'água; (2) média das profundidades I e II; e (3) concentração da profundidade I

Fonte: ANA, 2009.

Assim, o IQAR pode ser calculado pela seguinte Equação (5):

$$IQAR = \frac{\sum w_i \times q_i}{\sum w_i}$$

Sendo:

## Qualidade de Água em Reservatórios

$w_i$  = peso da variável  $i$ ;

$q_i$  = classe de qualidade em relação a variável  $i$  (pode variar de 1 a 6).

Depois de calculado o IQAR a partir dos seus valores a qualidade da água dos reservatórios pode ser classificada em seis faixas (Tabela 4):

Tabela 4 – Qualificação do Reservatório em Função do Valor do IQAR

<b>Valor do IQAR</b>	<b>Qualificação</b>
0 – 1,50	Não impactado a muito pouco degradado
1,51 – 2,50	Pouco degradado
2,51 – 3,50	Moderadamente degradado
3,51 – 4,50	Criticamente degradado a poluído
4,51 – 5,50	Muito poluído
> 5,51	Extremamente

Fonte: ANA, 2009

A partir dessas seis faixas e/ou índices a qualidade de água pode ser estabelecida, segundo seus níveis de comprometimento, sendo elas apresentadas na Tabela 5 (IAP, 2004):

Tabela 05 - Faixas e/ou Índices de Qualidade de Água segundo os Níveis de Comprometimento

<b>CLASSE I</b>	<b>Não impactado a muito pouco degradado</b>	Corpos de água saturados de oxigênio, baixa concentração de nutrientes, concentração de matéria orgânica muito baixa, alta transparência das águas, densidade de algas muito baixa, normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média;
-----------------	--	---

## Qualidade de Água em Reservatórios

<b>CLASSE II</b>	<b>Pouco degradado</b>	Corpos de água com pequeno aporte de nutrientes orgânicos e inorgânicos e matéria orgânica, pequena depleção de oxigênio dissolvido, transparência das águas relativamente alta, baixa densidade de algas, normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média;
<b>CLASSE III</b>	<b>Moderadamente degradado</b>	Corpos de água que apresentam um déficit considerável de oxigênio dissolvido na coluna d' água podendo ocorrer anoxia na camada de água próxima ao fundo em determinados períodos. Médio aporte de nutrientes e matéria orgânica, grande variedade e densidade de algumas espécies de algas, sendo que algumas espécies podem ser predominantes. Tendência moderada a eutrofização. Tempo de residência das águas considerável;
<b>CLASSE IV</b>	<b>Criticamente degradado a poluído</b>	Corpos de água com entrada de matéria orgânica capaz de produzir uma depleção crítica nos teores de oxigênio dissolvido da coluna d'água, aporte de consideráveis cargas de nutrientes, alta tendência a eutrofização, ocasionalmente com desenvolvimento maciço de populações de algas e/ou cianobactérias, ocorrência de reciclagem de nutrientes, baixa transparência das águas associada principalmente a alta turbidez biogênica. A partir desta Classe é possível a ocorrência de mortandade de peixes em determinados períodos de acentuado déficit de oxigênio dissolvido;



## Qualidade de Água em Reservatórios

<b>CLASSE V</b>	<b>Muito poluído</b>	Corpos de água com altas concentrações de matéria orgânica, geralmente com supersaturação de oxigênio dissolvido na camada superficial e baixa saturação na camada de fundo. Grande aporte e alta reciclagem de nutrientes. Corpos de água eutrofizados, com florações de algas e/ou cianobactérias que freqüentemente cobrem grandes extensões da superfície da água, o que limita a sua transparência;
<b>CLASSE VI</b>	<b>Extremamente poluído</b>	Corpos de água com condições bióticas seriamente restritas, resultante de severa poluição por matéria orgânica ou outras substâncias consumidoras de oxigênio dissolvido. Ocasionalmente ocorrem processos de anoxia em toda a coluna de água. Aporte e reciclagem de nutrientes muito altos. Corpos de água hipereutróficos, com intensas florações de algas e/ou cianobactérias cobrindo todo o espelho d'água. Eventual presença de substâncias tóxicas.

Fonte: IAP, 2004.

No entanto, existem algumas restrições quanto ao uso do IQAR, especialmente no que diz respeito à pontuação dada a algumas variáveis, em especial ao oxigênio dissolvido (CARDOSO, 2011). Exemplo disso é no que quando há um “*Bloom*” de algas, por exemplo, há elevadas concentrações de oxigênio, o que não garante uma boa qualidade da água, e o IQAR pode por sua vez apresentar valores não condizentes com as condições reais do ambiente, levando o gestor a interpretar erroneamente o sistema em estudo.

Assim, recomenda-se que o técnico responsável pela realização de estudos da qualidade da água, quando utilizar esse índice o faça com as devidas ressalvas e cuidados quanto a sua aplicação, decorrente da metodologia empregada para calcular o índice (peso das variáveis limnológicas).

## 4.3 Índices de Biodiversidade

O que é biodiversidade? Começamos esse item aprendendo o que é a biodiversidade. A mesma pode ser definida como a variedade e a variabilidade existente entre os organismos vivos e as complexidades ecológicas nas quais elas ocorrem, além disso, pode ser entendida como uma associação de vários componentes hierárquicos: espécies, populações, comunidade, ecossistema e genes em uma área definida (ODUM, 1988).

Portanto, a diversidade biológica significa a variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e ecossistemas aquáticos continentais, além dos complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade intraespecífica, entre espécies e de ecossistemas (CONVENÇÃO SOBRE A DIVERSIDADE BIOLÓGICA, 1992).

Para se avaliar a biodiversidade ou diversidade de um determinado ambiente ou ecossistema pode-se utilizar índices de diversidade. O conceito de diversidade de espécies possui dois componentes: **(I) riqueza**, também chamada de densidade de espécies, baseada no número total de espécies presentes e, **(II) uniformidade**, baseada na abundância relativa (ou em outra medida de importância) de espécies e no grau da sua dominância ou falta desta.

Os principais índices utilizados para avaliação da diversidade de espécies são apresentados na Tabela 6 (ODUM, 1988):

Tabela 6 – Principais Índices Utilizados para o Cálculo da Diversidade Biológica

<b>Nome</b>	<b>Equação</b>	<b>Variáveis</b>
Índice de Riqueza de Espécies (d) (Índice de	$d = \frac{S-1}{\log N}$	S = número de espécies N = número de indivíduos

## Qualidade de Água em Reservatórios

Margalef)		
Índice de Diversidade de espécies (H') ou Índice de Shannon-Weaver	$H' = -\sum p_i \times \text{Log}(p_i)$	H' = Índice de Shannon-Weaver (bits/ind <sup>-1</sup> )* $p_i = n_i/N$ $n_i$ = número de indivíduos da espécie i $N$ = número total de indivíduos
Índice de equidade	$E = \frac{H'}{\text{Log}_2 S}$	E = Equidade $H'$ = índice de Shannon-Weaver $S$ = número total de espécies
Índice de Simpson ou Índice de Dominância	$c = \sum n_i \times \frac{n_i(n_i - 1)}{N \times (N - 1)}$	c = Índice de Simpson $n_i$ = número total de cada espécie na amostra $N$ = número total de indivíduos na amostra

Fonte: ODUM, 1988.

**\*Nota 1:** A unidade "bits" é termo resultante da origem do índice (teoria de informação) é de difícil interpretação, sendo o valor absoluto do índice relativamente subjetivo. O mesmo assume maior significância quando da sua aplicação para estudar a diversidade biológica entre diferentes comunidades (os valores são comparados entre si para interpretação – entre as comunidades).

No entanto, é muito importante destacar que a interpretação dos índices requer cuidados. Por exemplo, ao se ter amostras de duas comunidades (comunidades 1 e 2), a primeira pode ser mais diversa quando se emprega determinado índice (ex. Shannon-Weaver), mas a situação pode se inverter quando se usa outro índice (ex. Simpson). Isso porque os principais componentes, riqueza e equidade, têm pesos diferentes dependendo do índice empregado. Para mais detalhes, consulte o texto "O que ganhamos confundindo riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade?", disponível on-line na revista Biota Neotropica, vol. 8, nº3, jul/set 2008.

## Qualidade de Água em Reservatórios

A diversidade de espécie refere-se à variedade de espécies de organismos vivos de uma determinada comunidade, habitat ou região, o que em outras palavras pode dizer que a diversidade de espécies pode ser considerada como um indicativo de integridade de comunidades em ambientes naturais.

A qualidade ambiental de um corpo hídrico é fator determinante sobre sua biota aquática. Dessa forma, pode-se dizer que a quantidade de nutrientes, luminosidade e oxigênio dissolvido são fatores que vão regular o crescimento animal e vegetal do ambiente aquático. O uso de índices de biodiversidade é importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, principalmente no que diz respeito a sua manutenção, preservação ou conservação. Alguns exemplos para utilização de índices biológicos em ambientes aquáticos:

- **Riqueza de espécies:** refere-se à abundância numérica de espécies de uma determinada área geográfica, região ou comunidade. Em termos gerais, ambientes naturais tendem a ter elevado número de espécies (alta diversidade);
- **Equidade, equitabilidade, igualdade:** refere-se ao padrão de distribuição de indivíduos entre as espécies, sendo proporcional a diversidade, exceto se houver codominância de espécie. Em ambientes naturais com menores ocorrências de intervenções antrópicas e/ou bons estados de conservação, os organismos tendem a ter uma distribuição mais uniforme, devido o ambiente estar equilibrado em suas funções vitais (produção, consumo, decomposição), no entanto, não exclui a possibilidade de predominância numérica de certas espécies. Dessa forma, é possível utilizar desses índices, mas com avaliação de outras variáveis como nicho ecológico, exigências nutricionais, ambientais, etc.;
- **Dominância:** refere-se à dominância de uma ou mais espécies em

uma determinada comunidade, habitat ou região. A dominância geralmente ocorre em ambientes alterados, favorecendo apenas algumas espécies, geralmente as mais resistentes ou com importantes estratégias de sobrevivência. Dependendo das espécies sobreviventes pode-se inferir sobre as possíveis relações de causa e consequência que estão perturbando o ecossistema.

Atualmente, o uso de índices de biodiversidade tem sido aplicado em diversas ações que objetivam desde a identificação de prioridades mundiais para a conservação - além dos índices de diversidade biológica, utiliza-se análise de graus de ameaças a essas regiões, ecorregiões entre outros critérios (Biodiversitas, 2012) – como para a composição de relatórios de sustentabilidade para diversas empresas e/ou instituições nacionais que busquem selos de qualidade em seus serviços.

#### **4.4 Noções Básicas sobre Modelos Hidrodinâmicos de Qualidade de Água (bi e tridimensional)**

Os modelos hidrodinâmicos de qualidade da água são *modelos que envolvem variáveis físicas, químicas e biológicas para estimar e prever a qualidade da água*. A concepção desses modelos envolve a elaboração de equações realizadas por meios computacionais de processos que afetam ou interferem na concentração de poluentes, nutrientes endógenos, até organismos planctônicos em corpos hídricos (lagos, lagoas, reservatórios, represas, rios, etc.).

Atualmente, existe uma série de modelos hidrodinâmicos de qualidade de água que podem ser utilizados para auxiliar no gerenciamento da qualidade da água. Alguns modelos são mencionados na Tabela 7:

# Qualidade de Água em Reservatórios

Tabela 7 - Principais Modelos Hidrodinâmicos de Qualidade de Água

<b>Modelo</b>	<b>Descrição e Aplicação</b>	<b>Dimensionalidade</b>
QUAL2E	Permite simular 15 variáveis de qualidade de água. Além disso, permite incorporar: descargas pontuais, tributários, captações, incrementos de vazão e poluentes relacionados a fontes difusas.	A estrutura conceitual do modelo consiste na idealização de um protótipo para um sistema hídrico unidimensional ramificado.
SisBAHIA	É um conjunto de modelos de transporte Euleriano, para simulação acoplada de até 11 parâmetros de qualidade de água e indicadores de eutrofização, como: sal, temperatura, OD-DBO, nutrientes compostos de nitrogênio e de fósforo e biomassa.	Esses modelos podem ser aplicados para escoamentos 2DH (bi-dimensional), ou em camadas selecionadas de escoamentos 3D (tridimensional).
CE-QUAL-W2	Esse modelo permite a simulação de até 21 variáveis de qualidade da água, tais como: DBO, OD, coliformes, sólidos orgânicos em suspensão, ferro, amônia, etc. O modelo tem sido aplicado em estuários, rios e reservatórios.	É um modelo bi-dimensional (longitudinal/vertical) e hidrodinâmico.

## Qualidade de Água em Reservatórios

DELFT 3D	O modelo Delft 3D contempla 3 módulos: Módulo I – Hidrodinâmico; Módulo II – Qualidade da água; Módulo III: Transporte de Sedimentos. Esse modelo pode ser utilizado em estudos de lançamento de esgotos, metais pesados e micropoluentes orgânicos, efeitos da dragagem no meio aquático, derramamento de óleo com frações de petróleos flutuantes e dispersos, etc.	É um modelo que permite simulações bi-dimensional e tri-dimensional.
----------	---	--

Fonte: RB Recursos Hídricos, 2006; SISBAHIA, 2012; DELTARES, 2009.

## 5 TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS

### 5.1 Preventiva

#### 5.1.1 Planos de Contingência

Um plano de contingência pode também ser chamado de planejamento de riscos, plano de continuidade de negócios ou plano de recuperação de desastres, com o objetivo principal de descrever as medidas a serem tomadas por uma empresa ou instituição, incluindo a ativação de procedimentos manuais, para fazer com que seus processos essenciais voltem a funcionar plenamente, ou em um modo mínimo aceitável o mais rápido possível, para evitar paralisações prolongadas que possam gerar mais prejuízos, tanto econômico como ambiental. Nesse contexto, é fundamental reconhecer a importância dos planos de contingência para qualquer empreendimento, sendo que esses instrumentos devem ser considerados no planejamento econômico e gerencial do referido.

De acordo com o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, por meio da resolução nº37/2004, define plano de contingência, no artigo 2º, parágrafo IV, como sendo “conjunto de ações e procedimentos que define as medidas que visam a continuidade do atendimento aos usos múltiplos outorgados, observando as vazões de restrição”.

Embora reservatórios artificiais sejam menos susceptíveis a desastres ambientais, como o mar (devido às intensas atividades de extração de petróleo e navegação-transporte de produtos) também estão sujeitos a impactos ambientais de grande magnitude. Um exemplo é o ocorrido na bacia do Rio Paraíba do Sul – SP, em função dos diversos acidentes que vinham ocorrendo na referida bacia, afetando entre outros usos da água para o abastecimento público, fez-se necessário a implantação de um programa de monitoramento para identificação, em curto espaço de tempo, da ocorrência de eventos extremos de poluição, visando à minimização dos seus efeitos, bem como a estruturação de um plano de atuação para a



## Qualidade de Água em Reservatórios

prevenção desses acidentes nas suas fontes conforme relata o Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente da COPPE/UFRJ, um dos idealizadores e participantes da implantação deste programa de monitoramento (LABHID, 2012).

Em caso onde há possível ocorrência de derramamento de óleo (relativamente comum em ambientes onde são desenvolvidas atividades como transporte de carga fluvial e marítima, extração de petróleo, etc.) há a necessidade de aplicação de técnicas adequadas de controle que visem inicialmente conhecer o cenário envolvido no acidente e, por conseguinte a definição das estratégias de combate e dimensionamento necessário para a resposta efetiva do controle do dano (DUARTE, 2012).

Inicialmente, uma das ações que devem ser direcionadas a contenção e remoção do produto no ambiente (rio, reservatório e mar) é a limpeza dos ambientes aquáticos atingidos. Durante o incidente, a avaliação preliminar do vazamento deve ser a primeira medida, orientando o desenvolvimento das ações iniciais de controle. Essas ações serão periodicamente reavaliadas em função de mudanças no deslocamento de manchas (quando ocorre) e das alterações no comportamento do óleo, provocadas pelo processo de intemperismo do óleo (CETESB, 2007).

De acordo com o aspecto e coloração da mancha de óleo na superfície, é possível estimar sua espessura e quantificar o volume derramado por determinada unidade de área, dando início às operações de resposta (operações de controle do incidente).

A eficiência da resposta está associada à seleção do equipamento e seu uso adequado e baseada no grau de contaminação pelo óleo, tipo de óleo, os tipos de substrato, além da sensibilidade das comunidades biológicas encontradas na área afetada e as condições das correntes, ondas e ventos. Os estragos provocados no ambiente e as ameaças a outras áreas podem ser reduzidos pelo uso de equipamentos de contenção e recuperação do óleo (EPA, 2006). Dentre os

equipamentos de contenção uns dos mais utilizados são as barreiras de contenção, que possuem a finalidade de conter derramamentos de petróleo e derivados, concentrando, bloqueando ou direcionando a mancha de óleo para locais menos vulneráveis ou mais favoráveis ao seu recolhimento (SZEWCZYK, 2012).

Nesse sentido, os planos de contingências são ferramentas estratégicas e de grande importância para a garantia de conservação e controle dos recursos naturais existentes e explorados pelo homem.

## 5.2 Corretiva

### 5.2.1 Medidas de Controle de Eutrofização

As medidas de controle da eutrofização podem ser divididas em dois grupos principais: i) medidas preventivas e ii) medidas corretivas.

- **MEDIDAS PREVENTIVAS (Aqueles de Atuação na Bacia Hidrográfica) – Ênfase na Redução das Fontes Externas**

Como será estudada na sequência, a bacia hidrográfica, ou melhor, o correto uso e ocupação de uma bacia hidrográfica têm uma importância fundamental para a manutenção qualidade da água da mesma.

Assim, no intuito de prevenir eventuais ocorrências de eutrofização e comprometimento da qualidade da água desta bacia, pode-se afirmar que as medidas preventivas são as mais eficientes e recomendadas, uma que buscam a redução do aporte (entrada) de nutrientes (nitrogênio e fósforo) por meio de atuação nas fontes externas. Dentre as estratégias utilizadas, podemos citar:

- I. Tratamento de esgotos;
- II. Tratamento de esgotos com tratamento terciário (visa remoção de nutrientes);
- III. Lançamento dos esgotos a pontos a jusante dos reservatórios e/ou represas (se possível com estudos de capacidade suporte);
- IV. Controle das águas pluviais (que por meio de ligações clandestinas pode

estar recebendo esgoto sem tratamento);

- V. Mata ciliar no entorno do reservatório e boas práticas no uso e ocupação na bacia hidrográfica

Lembrando ainda que é necessário verificar junto ao órgão ambiental correspondente, a necessidade de licença ambiental e outorga para implantação das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE).

- **MEDIDAS CORRETIVAS (aquelas de atuação no lago ou represa)** – comumente pelo emprego de distintos processos: mecânicos, químicos ou biológicos.

As medidas corretivas para serem adotadas podem incluir algumas das estratégias a seguir (VON SPERLING, 1995):

- I. Processos mecânicos: aeração do hipolímnio, desestratificação, remoção das águas profundas, remoção de macrófitas, remoção de algas;
- II. Processos químicos: uso de algicidas<sup>3</sup>, precipitação de nutrientes químicos;
- III. Processos biológicos: uso de peixes herbívoros, uso de cianófagos, biomanipulação (combinação de organismos vivos, comumente peixes que possam agir diretamente na cadeia alimentar).

Embora exista uma boa quantidade de métodos ou medidas corretivas de controle da eutrofização, recomenda-se sempre que possível dar maior atenção aos métodos preventivos do que de correção, uma vez que esses são usualmente mais eficazes e economicamente mais viáveis.

### 5.2.1.1 Controle de Macrófitas Aquáticas

As macrófitas aquáticas são plantas que apresentam grande capacidade de

<sup>3</sup> No entanto, quanto ao uso de algicidas é válido ressaltar quanto a sua proibição em águas de abastecimento público, em detrimento do rompimento da célula, sobretudo de cianobactérias que possuem potencial de produção e liberação de toxinas. A Portaria nº2914/2011 do Ministério da Saúde, Capítulo VI, artigo. 40º § 6º estabelece que “Em função dos riscos à saúde associados às cianotoxinas, é vedado o uso de algicidas para o controle do crescimento de microalgas e cianobactérias no manancial de abastecimento ou qualquer intervenção que provoque a lise das células”. O controle de algas será mais bem detalhado adiante.

## Qualidade de Água em Reservatórios

adaptação e amplitude ecológica, habitando ambientes variados de águas doce, salobra e salgadas, ambientes de água estacionária e corrente. São plantas importantes para o equilíbrio do meio aquático: sustentam elevado número de organismos, diminuem a turbulência, além de servir de substrato para a desova e refúgio de vários organismos aquáticos como peixes e insetos (MOURA, FRANCO & MATALLO, 2009).

O controle químico das macrófitas aquáticas tem sido realizado basicamente com o uso de herbicidas, sendo esse um método muito utilizado em todo o mundo. No Brasil, o único herbicida utilizado para controle de macrófitas aquáticas das espécies de *Egeria densa* e *Egeria najas* em reservatórios de hidrelétricas é o *fluridone*. Esse produto é registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (MOURA, FRANCO & MATALLO, 2009).

Do ponto de vista ambiental, o controle biológico seria o mais recomendável, pois possibilita a incorporação da biomassa de macrófitas aquáticas por animais herbívoros, como peixes e mamíferos, que podem ser aproveitados pelo homem. No Brasil, bons resultados foram obtidos com peixes como a carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella*), a tilápia (*Tilapia rendalli*) e o pacu (*Piaractus mesopotamicus*), (MOURA, FRANCO & MATALLO, 2009).

O controle mecânico envolve a coleta, o transporte e a deposição das plantas em locais adequados. No entanto, esse tipo de controle em geral torna o processo mais oneroso e com eficácia de curto prazo (dependendo da ocorrência de condições que favoreçam o crescimento das plantas) uma vez que em pouco tempo os reservatórios são novamente colonizados. Quanto a esse método, pode-se dizer que o mesmo é mais eficiente apenas em ambientes menores e mais rasos.

Thomaz & Bini (1998) apresentam alguns dos principais aspectos relacionados ao controle e o manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios, dentre eles:

- I. A manutenção de áreas íntegras de regiões litorâneas;

## Qualidade de Água em Reservatórios

- II. O cálculo dos riscos ambientais derivados das técnicas de manejo;
- III. O monitoramento de impactos de áreas sujeitas ao manejo;
- IV. A adoção de ações conjuntas de controle ou manejo e;
- V. A avaliação da necessidade de método específico de controle das macrófitas.

Ressalta-se ainda que aliado ao controle desses vegetais deve-se enfatizar a importância ecológica das macrófitas e os benefícios que esses vegetais trazem aos ambientes lânticos fazendo com que o manejo de macrófitas em reservatórios constitua-se normalmente em um desafio, para conciliar os aspectos positivos e negativos que esses organismos trazem aos ecossistemas aquáticos (Thomaz e Bini, 2005).

Com relação ao controle do crescimento de macrófitas aquáticas e a redução dos impactos negativos desse intenso crescimento, diversos procedimentos podem ser empregados, conforme menciona Pompêo (2008). A Tabela 8 descreve alguns deles:

Tabela 8 - Métodos Empregados no Controle de Macrófitas

<b><i>Métodos físicos</i></b>	<b><i>Métodos mecânicos</i></b>	<b><i>Métodos biológicos</i></b>	<b><i>Métodos químicos</i></b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Poda e coleta manual</li><li>• Aplicação de barreira/cobertura do sedimento</li><li>• Alterações no nível de água</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Poda e coleta</li><li>• “rotovation”</li><li>• Dragagem</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Carpa capim</li><li>• Fungos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fluridone</li><li>• Glyphosate</li><li>• Endothall</li><li>• Composto de cobre</li><li>• Diquat</li></ul>

# Qualidade de Água em Reservatórios

<ul style="list-style-type: none"><li>• Controle da bacia hidrográfica</li><li>• Tingir a coluna d'água</li></ul>			
---	--	--	--

**Fonte:** *Department of Ecology* (Washington, Estados Unidos da América – EUA) adaptado por Pompêo, 2004.

## 5.2.1.2 Controle de Algas

O controle de algas em ambientes aquáticos pode ser realizado através da aplicação de algicidas (produto químico utilizado para combater algas), sendo que o uso desse produto é proibido pela Portaria nº2914/2011, do Ministério da Saúde, em seu Capítulo VI - Dos Planos de Amostragem, artigo 40º, § 6º “*em função dos riscos à saúde associados às **cianotoxinas**, é vedado o uso de algicidas para o controle do crescimento de microalgas e cianobactérias no manancial de abastecimento ou qualquer intervenção que provoque a lise das células*”.

Todavia, o § 7º estabelece que “*as autoridades ambientais e de recursos hídricos definirão a regulamentação das excepcionalidades sobre o uso de algicidas nos cursos d'água superficiais*”.

No entanto, outras estratégias também podem ser utilizadas para o controle de algas em ecossistemas aquáticos, a citar:

- I. Controlar a entrada de nutrientes no ecossistema (rio, lago, reservatório, etc.);
- II. Reduzir o tempo de residência da água em reservatórios (medidas de gestão operacional);
- III. Colocar barreiras físicas – para dificultar a entrada de nutrientes oriundos principalmente de resíduos sólidos, efluentes domésticos,

## Qualidade de Água em Reservatórios

efluentes industriais, etc.

Outras técnicas para combate de algas em reservatórios são:

- I. *Aeração da coluna d'água*: considerando que o processo de estratificação do reservatório pode estimular o crescimento de algas nas camadas mais quentes e próximas a superfície, somado ao fato de que essa região é comumente mais rica em nutrientes, a aeração pode provocar a mistura das águas das diferentes camadas do reservatório, evitando a presença das zonas anaeróbias e acelerando os processos de remoção de fósforo e amônia, envolvidos diretamente na floração de algas;
- II. *Tratamentos químicos*: a aplicação de sulfato de cobre e alguns tipos de algicidas podem ser utilizados no controle do florescimento de algas. No entanto, esse tratamento em muitos casos não é recomendado devido aos custos e o manejo desses produtos; e conforme citado anteriormente, o uso de algicidas está regulamentado pela portaria do Ministério da Saúde;
- III. *Biomanipulação*: biomanipular significa aplicar um conjunto de técnicas para favorecer o crescimento de organismos que consomem as algas. Dentre as principais técnicas está o uso de zooplâncton (por exemplo, a *Daphnia sp.*), que são organismos predadores naturais de algas, com grande capacidade de reduzir a população algal. Ressalte-se que nestes casos é necessário estudos em pequena escala para verificar “in loco” as consequências da biomanipulação para os ecossistemas aquáticos em questão.

É importante o controle de algas em ambientes aquáticos, principalmente em reservatórios ou lagos/lagoas (ambientes lênticos) devido o efeito deletério que o excesso desses organismos pode trazer. Dentre eles podemos destacar o aumento de matéria orgânica particulada (fitoplâncton, zooplâncton, bactérias, protozoários,

## Qualidade de Água em Reservatórios

fungos e detritos), aumento de substâncias que alterem as características da água (conferir sabor e odor), aumento de pH, ocorrência de situações de anaerobiose seguida da mortandade de peixes, etc.

Nesse sentido, pode-se afirmar que assim como o controle de macrófitas e de eutrofização, as medidas preventivas são mais eficazes que as corretivas. Exemplo disso está no tratamento dos esgotos (poluição pontual) e no controle da poluição difusa, os quais são os mais recomendáveis, ou seja, controle da poluição advinda da bacia hidrográfica como será visto a seguir.

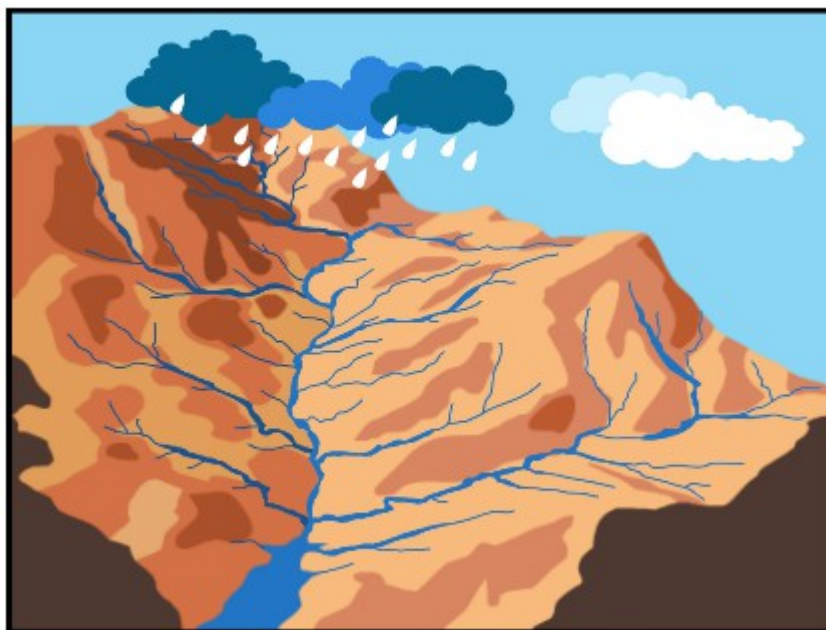


## 6 MEDIDAS DE CONTROLE EXTERNAS PARA RESTAURAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

### 6.1 Bacia Hidrográfica Como Unidade de Planejamento

A bacia hidrográfica, através da rede de drenagem fluvial, integra grande parte das relações causa-efeito que devem ser tratadas na gestão de recursos hídricos (Figura 11). Ainda que existam outras unidades político-administrativas a serem consideradas, como os municípios, estados, regiões e países, essas unidades não apresentam necessariamente o caráter integrador da bacia hidrográfica, o que poderia tomar a gestão parcial e ineficiente caso fossem adotadas (SETTI, *et. al.*, 2001).

Figura 11 - Bacia Hidrográfica



Fonte: Disponível em: <http://geoconceicao.blogspot.com.br/>

Tamanho e reconhecida a importância da bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento, que a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9433/97) estabelece como um de seus fundamentos, art.1º, parágrafo V “*A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos*”.

## 6.2 Manejo do Uso e Ocupação do Solo

O solo é um recurso natural de grande importância para a qualidade de vida do homem e dos demais organismos vivos. O mesmo possui distintas funções na ciclagem de nutrientes, no ciclo da água e também é importante para a sustentabilidade dos sistemas naturais, sendo ele um fator relevante para a determinação dos diferentes tipos de florestas.

O crescimento da população, associado à expansão das distintas atividades econômicas, tem resultado em contínuas e intensas pressões sobre os recursos naturais – ecossistemas aquáticos, terrestres e interfaces. A consequência dessas ações tem sido uma gradativa degradação do meio ambiente, como se observa nos casos de desmatamento, degradação dos solos, perda da diversidade biológica, poluição e assoreamento dos recursos hídricos, etc.

Quando se trata do estabelecimento de estudos ambientais, adota-se a bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento e/ou escala de planejamento, por este ser um sistema naturalmente delimitado, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e seus afluentes, onde o conjunto de interações ocorre nessa bacia de drenagem e pode ser mais bem interpretado.

O uso e a ocupação dos solos exercem significativa influência no escoamento superficial e na entrada de sedimentos no leito dos corpos hídricos, podendo alterar a qualidade (poluição difusa) e a disponibilidade da água, devido ao processo de assoreamento.

Os fatores que influenciam na entrada de sedimentos em bacias hidrográficas podem ser: i) as formas dos relevos, ii) os tipos de solos, iii) os climas e iv) os usos e ocupações irregulares. No entanto, dentre esses fatores a cobertura do solo tem influência mais decisiva, podendo, inclusive, influenciar disponibilidade e na qualidade da água, se considerados os condicionantes anteriormente citados.

Em outras palavras é correto afirmar que a cobertura do solo exerce um papel muito importante no auxílio da manutenção da qualidade da água, uma vez que, tem a função de dissipar a energia cinética do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, diminuindo a desagregação inicial das partículas de solo e, conseqüentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada – o que caso contrário, carregaria mais material ao corpo hídrico, o assoreando, por exemplo.

Nesse contexto, pode-se dizer que a cobertura do solo representa um obstáculo mecânico ao livre escoamento superficial da água, ocasionando diminuição da velocidade e da capacidade de desagregação e transporte de sedimentos (Vanzela, Hernandez & Franco, 2010) garantindo que esse material não chegue a quantidades elevadas aos corpos d'água a fim de comprometer tanto sua qualidade quanto a quantidade.

A adoção de práticas de conservacionistas de uso e ocupação do solo visa diminuir ou minimizar os efeitos dos principais processos erosivos (exposição do solo as adversidades climáticas e enxurradas) conciliando a exploração econômica com a preservação dos recursos naturais do solo e água (EMBRAPA, 2003).

As práticas conservacionistas podem ser divididas em: **(I) de caráter vegetativo:** florestamento e reflorestamento, manejo de pastagens, sombreamento, culturas em faixas, faixas ou cordões de vegetação permanentes, cobertura morta, etc., **(II) de caráter edáfico:** uso e manejo do solo de acordo com sua capacidade de uso, adubação verde, eliminação e controle do fogo, calagem, adubação química e orgânica, etc., e **(III) caráter mecânico:** distribuição racional de caminhos carregadores, preparo do solo e plantio em contorno, canais divergentes, canais escoadouros, terraços, etc. (CESAR, 2012). Em geral, a determinação das práticas conservacionistas vai depender dos objetivos do gestor, durante o correto ou requerido planejamento do uso e ocupação do solo, o qual deve estar em consonância com a preservação e conservação dos corpos hídricos.

## 6.3 Conceitos Básicos Sobre Planos de Bacia Hidrográfica

Segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, Lei nº9433/1997, o plano de bacia é um dos instrumentos de implementação da referida legislação.

A PNRH define Plano de Bacia Hidrográfica ou Plano de Recursos hídricos como “*planos diretores que visam a fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos*”. Acrescenta ainda que são planos de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos terão o seguinte conteúdo mínimo:

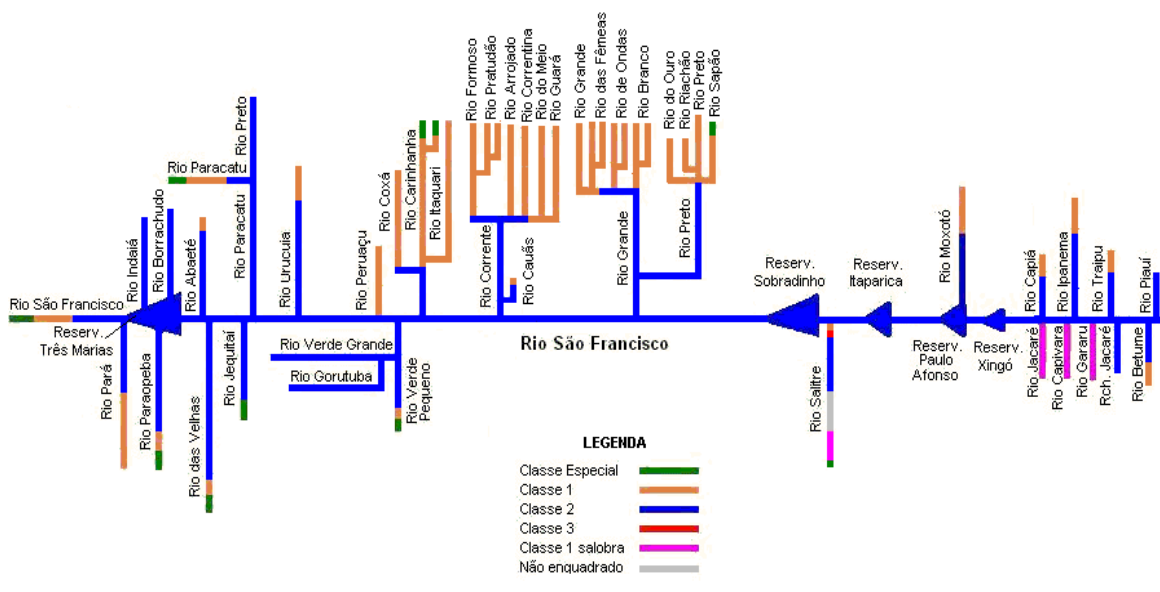
- *Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos;*
- *Análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo;*
- *Balço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais;*
- *Metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis;*
- *Medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados, para o atendimento das metas previstas;*
- *Prioridades para outorga de direitos de uso de recursos hídricos;*
- *Diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos;*
- *Propostas para a criação de áreas sujeitas à restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos.*

O enquadramento dos rios é outro importante instrumento da política nacional de recursos hídricos (PNRH, 9433/1997), sendo que este deve ser definido durante a

## Qualidade de Água em Reservatórios

elaboração do Plano de Recursos Hídricos. A seguir apresentamos, de maneira didática, uma proposta de enquadramento de corpos hídricos (Figura 12), realizado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (CBHSF, 2004). Sem dúvida, a apresentação da figura, nada mais é do que um exemplo simplificado, para melhor entendimento de como o enquadramento dos rios pode ser elaborado.

Figura 12 - Proposta de enquadramento para bacia hidrográfica do rio São Francisco



Fonte: CBHSF, 2004.

A referida figura ilustra o enquadramento realizado para os corpos hídricos de acordo com seus usos preponderantes. Notem que o corpo principal do rio São Francisco é predominantemente classificado como de Classe 2, que conforme dispõe a resolução CONAMA n° 357/2005, tem seus usos destinados a “a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) a proteção das comunidades aquáticas; c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000; d) a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) a aquicultura e a atividade de pesca”.

## Qualidade de Água em Reservatórios

Por fim, é válido destacar que os Planos de Recursos Hídricos são diagnósticos abrangentes desenvolvidos por bacias hidrográficas (nesse caso realizados pelos comitês de cada bacia e apoio técnico da agência de bacia – quando esta existir). O plano é um documento que deve conter uma análise da situação atual dos recursos hídricos, uma previsão do crescimento populacional, da modificação dos padrões de ocupação do solo e de produção, visando estabelecer metas de racionalização do uso e ações para o aumento da quantidade e usos prioritários e da melhoria da qualidade das águas disponíveis para atender aos usos de toda sociedade (MULTICURSO AGUA BOA, 2010).

## REFERÊNCIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Índice de Qualidade de Água em Reservatórios – IQAR.** Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndicelQAR.aspx>>. Acesso em: abr. 2005.

AGSOLVE. **Sondas Multiparâmetros: Utilidade e Diferentes Aplicações.** Disponível em: <[http://www.agsolve.com.br/suporte\\_dica.php?cod=5107](http://www.agsolve.com.br/suporte_dica.php?cod=5107)>. Acesso em: mai. 2012.

AGUABIO – Associação Guardiã das Águas. **Biodiversidade e Diversidade Biológica.** Disponível em: <[http://www.agua.bio.br/botao\\_d\\_P.htm](http://www.agua.bio.br/botao_d_P.htm)>. Acesso em: mai. 2012.

BRASIL. **Lei nº6.938, de 31 de agosto 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente Seus Fins e Mecanismos de Formulação e Aplicação, e dá outras Providências.** Diário Oficial da União. 2 set, 1981

BRASIL. **Resolução Conama nº302, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno.** Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2002.

BRASIL. Portaria do Ministério da Saúde nº2914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe Sobre os Procedimentos de Controle e de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e Seu Padrão de Potabilidade.** Ministério da Saúde, 2011.

CARNEIRO, T. G; LEITE, F. **Cianobactérias e Suas Toxinas.** *Revista Analytica.* n.32, 2008.

CARDOSO, E. T. S. **Avaliação do grau de trofia e da qualidade da água em um braço do reservatório de Itaipu – Brasil.** Dissertação (Mestrado em Energia) Universidade Federal do ABC, Santo André, 2011.

DELTARES. **Modelo Hidrodinâmico DELFT3D.** Disponível em: <<http://www.deltares.nl/en/cursus/318517/delft3d-basic-courses>>. Acesso em: mai. 2012.

DUARTE, M. A. C., CEBALLOS, B. S. O., KONIG, A., MELO, H. N. S., **O Índice do Estado Trófico de Carlson (IET) Aplicado em Corpos Aquáticos Lênticos no**

# Qualidade de Água em Reservatórios

**Nordeste do Brasil.** Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/peru/bracca161.pdf>> Acesso em: 22 set. 2008.

EMBRAPA. **Práticas de Conservação dos Solos e Recuperação de Áreas Degradadas.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. 29p.

ENERGIA SUSTENTÁVEL DO BRASIL. **Relatório Semestral de Atividades Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório – UHE Jirau Dezembro/2009 a Maio/2010.** Relatório técnico. São Paulo, 2010. 11 p.

HENRY, Raoul. **Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos.** Botucatu: FUNDIBIO: FAPESP, 1999.

IAP - Instituto Ambiental do Paraná. **Monitoramento da Qualidade das Águas dos Reservatórios do Estado do Paraná, no Período de 1999 a 2004.** Curitiba, 2004.

IBAMA – O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Zoneamento Ambiental.** Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas/zoneamento-ambiental> >. Acesso em mai.2012.

MERCADANTE, C. T. J.; TUCCI-MOURA, A. **Comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais.** São Paulo – SP. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 11, 1-14, 2001.

MULTICURSO AGUABOA. **Caderno de Conteúdos. Caderno de Bacias Hidrográficas.** Itaipu Binacional/Fundação Roberto Marinho, 2010.

ODEBRECHT. **Monitoramento da Qualidade da Água em Tempo Real.** Disponível em: < <http://www.odebrechtonline.com.br/materias/02701-02800/2778/?lang=pt>>. Acesso em: mai. 2012.

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

RB RECURSOS HÍDRICOS. **Modelos de Qualidade de Água.** Disponível em: < <http://www.rbrecursoshidricos.com/Qual2e.aspx>> . Acesso em: mai. 2012.

RIBEIRO FILHO, R. A. **Relações Tróficas e Limnológicas no Reservatório de Itaipu: Uma Análise do Impacto da Biomassa Pesqueira nas Comunidades Planctônicas.** Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos,



# Qualidade de Água em Reservatórios

Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SEMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Índice de Qualidade de Água dos Reservatórios – IQAR**. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=89>>. Acessado em: 27 abr. 2012.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G de M. & PEREIRA, I. de C. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica. Agência Nacional de Águas, 2001.

SISBAHIA. **Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental**. Disponível em: <<http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/>> Acesso em: mai. 2012.

SOARES, F. G. **Apresentação sobre PACUERA**. Oficina Pacuera – Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF. Brasília: 2009.

SUBCOMITÊ DE MEIO AMBIENTE – SCMA/ GRUPO DE TRABALHO DO USO DE BORDAS DE RESERVATÓRIOS – GT10. **Gestão do Uso e Ocupação das Bordas dos Reservatórios das Usinas Hidrelétricas das Empresas Eletrobrás – Diagnóstico e Proposição de Diretrizes**. Relatório técnico, v.1, 2011. 36 p.

TOLEDO Jr, A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J. **A Aplicação de Modelos Simplificados para a Avaliação de Processo de Eutrofização em Lagos e Reservatórios Tropicais**. In: Anais do 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Camboriú, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1983.

THOMAZ, SM. e BINI, LM. 1998. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios**. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 10, no. 1, p. 103-116.

THOMAZ, SM. e BINI, LM. 2005. **Macrófitas Aquáticas e Reservatórios: Um Dilema a Ser Resolvido**. Boletim SBL, no. 32, p. 8-9.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T & FRANCO, R. A. M. **Influência do Uso e Ocupação do Solo nos Recursos Hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis**. *Agriambi*. v.14, n.1, p.55–64, 2010.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

## GLOSSÁRIO

**Plâncton** – É o conjunto de organismos que têm pouco poder de locomoção e vivem livremente na coluna de água (pelágicos), sendo muitas vezes arrastados pelas correntes oceânicas.

**Bentos** – São aqueles organismos (animais) que vivem associados ao sedimento.

**Nécton** – É o conjunto dos animais aquáticos que se movem livremente na coluna de água, com o auxílio dos seus órgãos de locomoção (nadadeiras, cílios ou outros apêndices).

**Telemetria** – É uma tecnologia que permite a medição e comunicação de informações de interesse do operador ou desenvolvedor de sistemas. Baseia-se na transmissão remota (sem fio) de dados gerados em um determinado local, captados e armazenados por um receptor fisicamente afastado.

**Hipolimnético** – Pertencente a camada do hipolímnio (camada profunda de alguns lagos/reservatórios em que se observa processos de estratificação)

**Carga alóctone** – Carga de nutrientes que não tem sua origem no lugar onde existe (exemplo: bacia hidrográfica)

**Carga autóctone** - Carga de nutrientes que tem sua origem no lugar onde existe (dentro do lago, reservatório, etc.).

**Transporte Euleriano** – É um modelo de uso geral para simulação de transporte advectivo-difusivo com reações cinéticas de escalares dissolvidos ou partículas em suspensão na massa d'água. Esse tipo de transporte pode ser aplicado a escoamentos 2DH (duas dimensões hidrodinâmicas), ou em camadas selecionadas de escoamentos 3D (tridimensional).