

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA**

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL E
NEGÓCIOS NO SETOR ENERGÉTICO**

MARIANA BORIN DA SILVA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA POLUIÇÃO DIFUSA NA
QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS DE USINAS
HIDROELÉTRICAS**

**SÃO PAULO
2012**

MARIANA BORIN DA SILVA

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA POLUIÇÃO DIFUSA NA QUALIDADE DA
ÁGUA DE RESERVATÓRIOS DE USINAS HIDROELÉTRICAS

Monografia apresentada ao Instituto de
Eletrotécnica e Energia da Universidade de
São Paulo como requisito parcial para
obtenção do título de especialista em Gestão
Ambiental e Negócios no Setor Energético

Orientador: Prof. Dr. Lineu Belico dos Reis

SÃO PAULO
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Mariana Borin da

Estudo da influência da poluição difusa na qualidade da água de reservatórios de usinas hidroelétricas. / Mariana Borin da Silva; orientador Lineu Belico dos Reis. – São Paulo, 2012.

50 p. il.; 30cm.

Monografia (Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) Instituto de Eletrotécnica e Energia Universidade de São Paulo.

1. Poluição difusa 2. Qualidade da água 3. Reservatório. 4. Usinas hidrelétricas 4. Impactos ambientais I. Título.




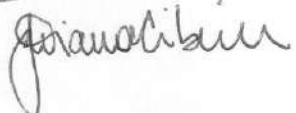
Universidade de São Paulo
Instituto de Eletrotécnica e Energia

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL E NEGÓCIOS NO SETOR ENERGÉTICO

ATA DE DEFESA – MONOGRAFIA

CANDIDATO: Mariana Borin da Silva

Aos cinco dias do mês de junho de 2012, às 17h00 realizou-se no Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo a defesa de monografia da aluna Mariana Borin da Silva, nível especialização, intitulado: **“Estudo da influência da poluição difusa na qualidade da água de reservatórios de usinas hidroelétricas”**, sendo a banca constituída pelos Professores: Lineu Belico dos Reis – Orientador e Presidente da Comissão Examinadora e Juliana Cibim (IEE/USP).

Manifestação dos membros da banca:	Assinatura	Conceito
Prof. Lineu Belico dos Reis		(A)
Prof. Juliana Cibim		(A)
O candidato foi considerado (Aprovado / Reprovado)		(A)

AGRADECIMENTO

Agradeço:

Ao Professor Lineu Belico dos Reis pela orientação e dedicação dispensada no auxílio para a concretização dessa monografia;

À AES Tietê pelo apoio técnico e financeiro;

À amiga Adriana Trojan, pelos ensinamentos, incentivo e apoio na realização do curso;

À minha família, pelo carinho e companheirismo.

RESUMO

SILVA, M.B. **Estudo da influência da poluição difusa na qualidade da água de reservatórios de usinas hidroelétricas.** Monografia de especialização – Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012. 47 f.

Esta monografia buscou avaliar o impacto da poluição difusa na qualidade da água de reservatórios hidroelétricos, utilizando-se como estudo de caso a Usina Hidroelétrica de Barra Bonita. Foram levantadas as principais atividades antrópicas geradoras de carga difusa e posteriormente identificados os impactos na geração de energia hidroelétrica provenientes dessas cargas. Através de dados analisados da Usina Hidroelétrica de Barra Bonita constatou-se que a poluição difusa tem importante influência na operação deste, ou seja, foi comprovado o real impacto dessa poluição na geração de energia. A partir da observação desses resultados, foram propostas medidas mitigadoras que devem ser incentivadas para o aumento da vida útil dessas usinas e para a manutenção do ecossistema aquático e terrestre.

Palavras-chave: Poluição difusa, qualidade da água, usina hidroelétrica, reservatório.

ABSTRACT

SILVA, M.B. The influence of diffuse pollution on water quality of hydroelectric plants reservoirs. Specialization monography - Environmental Management and Energy Sector Business of the Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

This study aimed to evaluate the impact of diffuse pollution on water quality of hydroelectric reservoirs, using as case study Barra Bonita Hydropower Plant. The main human activities that generate diffuse load were raised and then identified impacts from these charges on hydropower generation. Through data analysis of Barra Bonita Plant was found that diffuse pollution has a significant influence on hydropower operation, in other words, was verified the real impact of this pollution on energy generation. From the observation of these results were proposed mitigation measures that should be encouraged to increase the useful life of these plants and the maintenance of aquatic and terrestrial ecosystems.

Keywords: Diffuse pollution, water quality, hydroelectric plant, reservoir

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição porcentual das categorias do Índice da Qualidade da Água (IQA) em 2010 em função da época do ano.....	10
Figura 2 - Funcionamento da água de lastro em embarcações.....	17
Figura 3 - Navio descarregando água de lastro	17
Figura 4 - Desenho esquemático do funcionamento de uma usina hidroelétrica	20
Figura 5 - Limpeza de macrófitas em usina hidroelétrica	21
Figura 6 - Limpeza na eclusa da usina hidroelétrica de Nova Avanhandava.....	23
Figura 9 - Esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios com indicação dos principais problemas decorrentes.....	25
Figura 10 - Visão geral da situação em que se encontra uma das placas do trocador de calor (a), visão geral de uma das laterais abertas do radiador, em que se pode observar acúmulo de lama nos tubos de troca térmica (b).....	27
Figura 11 - Porcentagem de gastos com o mexilhão zebra nos EUA por setor afetado.....	28
Figura 12 - Mexilhão Dourado fixado em toda a parede da Eclusa da Usina Hidroelétrica de Ibitinga.....	29
Figura 13 - Tubulação de água (a), grade da tomada d'água (b) em manutenção para retirada do mexilhão dourado.	30
Figura 14 - Mapa do Estado de São Paulo, com a localização das UHEs do rio Tietê.....	32
Figura 15 - Vista geral da UHE Barra Bonita	33
Figura 16 - Limpeza das tubulações do sistema de resfriamento principal da UG01	38
Figura 17 - Limpeza dos filtros do sistema de resfriamento principal da UG01.....	38
Figura 18- Guincho em operação de retirada de vegetação.....	39
Figura 19 - Limpeza das grades de tomada d'água da UG01.....	39
Figura 20 - Retirada de vegetação das grades de tomada d'água da UG01	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Contribuição específica dos poluentes pontuais e difusos	10
Tabela 2 - Quantificação das tipologias de ocupação no reservatório da UHE Barra Bonita..	33

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	7
2.	Poluição Difusa	9
2.1.	Definição.....	9
2.2.	Principais atividades geradoras de carga difusa.....	11
2.2.1.	Agricultura.....	11
2.2.2.	Pecuária	12
2.2.3.	Urbanização	14
2.2.3.1.	Deposição atmosférica	14
2.2.3.2.	Deposição no solo	14
2.2.4.	Transporte hidroviário	16
2.3.	Aspectos legais	18
3.	Impacto da qualidade da água na Geração Hidroelétrica	20
3.1.	A geração hidroelétrica	20
3.2.	Impactos da poluição difusa na geração	21
3.2.1.	Plantas aquáticas.....	21
3.2.2.	Lixo.....	22
3.2.3.	Sedimentação.....	24
3.2.4.	Corrosão	26
3.2.5.	Organismos invasores.....	28
4.	Estudo de caso: Usina Hidroelétrica Barra Bonita	32
4.1.	A Usina Hidroelétrica de Barra Bonita e seu reservatório.....	32
4.2.	Diagnóstico da qualidade da água.....	34
4.3.	Relato de manutenção	37
5.	Medidas mitigadoras	41
6.	Considerações Finais	45
	Referências	47

1. INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos engloba, entre outras ações, a caracterização ambiental, a avaliação dos impactos das atividades localizadas na área de influência, a investigação da capacidade de suporte do corpo receptor, especialmente no caso de descarga de efluentes, o monitoramento ambiental e a retroalimentação do processo de gestão como um todo, de forma a permitir um aperfeiçoamento do sistema adotado, visando à sustentabilidade e garantindo seus usos múltiplos.

Essa capacidade de suporte dos rios pode ser alterada por intervenção humana, de forma concentrada ou de forma dispersa. De forma concentrada, como, por exemplo, pelo lançamento de efluentes que estejam acima de padrões estabelecidos pela legislação, em nosso caso, brasileira. De forma dispersa ou difusa, como no uso de fertilizantes no solo. Um dos problemas de poluição dos cursos d'água é o consumo do oxigênio dissolvido pelos processos de estabilização da matéria orgânica realizados por bactérias decompositoras. Portanto, a forma com que o homem usa e ocupa o solo tem implicação direta na qualidade da água (Von Sperling, 1996).

Processos como erosão, lixiviação e modificação da cobertura vegetal, independente da ação humana, ocorrem de forma natural, mas quando o homem transforma o ambiente, esses processos são acentuados, sendo consequências imediatas do mau uso deste solo (Silva et al, 2007). Boa parte da quantidade e da qualidade da água é afetada pelo uso indiscriminado do solo e pela contaminação por nutrientes, esgotos e produtos tóxicos em função do crescimento desordenado e da falta de fiscalização por parte de órgãos públicos competentes, ou seja, o manejo sustentável destes recursos ambientais não é realizado.

Atividades inadequadas no entorno de uma bacia hidrográfica podem ultrapassar a capacidade de suporte e a resiliência do ambiente aquático, gerando consequências indesejáveis, dentre elas: crescimento excessivo de algas, sedimentação descontrolada, infestação de macrófitas aquáticas, produção de odores, mortalidade de peixes e redução da capacidade de navegação.

Além disso, a qualidade da água de um rio tem extrema importância para o bom aproveitamento do potencial de uma central hidroelétrica. A produção de energia elétrica pode ser diretamente afetada pela poluição aquática, diminuindo o potencial de geração de uma usina por conta de poluentes já citados. Este tema é raramente aprofundado visto que o maior

enfoque é sobre os impactos ambientais causados pela instalação de hidroelétricas, e não o quanto a poluição da água pode prejudicar sua operação.

Em um país como o Brasil, que possui mais de 70% de sua matriz de geração de energia elétrica composta por fontes hídricas, é fundamental o aprofundamento de estudos relacionados à preservação dos aproveitamentos hidroelétricos existentes (ANEEL, 2011).

Neste sentido, o presente estudo visa caracterizar a influência da poluição na qualidade da água de reservatórios hidroelétricos. Porém, considerando que a **poluição pontual** (esgotos e efluentes) já é fundamentada e conhecida por empreendedores e órgãos governamentais, pretende-se realizar um diagnóstico ambiental da situação da **poluição difusa** (origem indefinida) e seu impacto na operação de centrais hidroelétricas, e através desta análise **qualitativa**, fornecer suportes para a sua mitigação.

Este trabalho baseia-se em pesquisa bibliográfica dos diversos temas que permeiam a poluição difusa. No capítulo seguinte será apresentada a definição de poluição difusa, relatando as principais atividades geradoras de carga difusa e em seguida serão levantados os impactos diretos na produção de energia elétrica ocasionados por essa poluição. Além disso, apresenta como estudo de caso a Usina Hidroelétrica de Barra Bonita, localizada no rio Tietê, Estado de São Paulo e ao final traz propostas de medidas de controle da poluição.

Importante ressaltar que não é intenção dessa pesquisa realizar o tratamento aprofundado de cada assunto, mas sim definir um panorama geral que possa servir de base para futuros estudos específicos.

2. POLUIÇÃO DIFUSA

Neste capítulo apresenta-se detalhadamente a definição de poluição difusa e apontam-se as principais atividades consideradas como fontes. Estima-se hoje, que de 30 a 50% dos solos da Terra estejam afetados por poluentes provindos de fontes difusas, os quais atingem os cursos d'água gradativamente (Loague et al., 1998).

2.1. Definição

A poluição difusa pode ser definida como aquela gerada pelo escoamento superficial da água, em área urbana ou rural, e que provém de atividades que depositam poluentes, de forma esparsa, sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica (Tomaz, 2006).

Segundo Porto (2005), a poluição difusa possui 5 características:

- Lançamento intermitente de carga poluidora;
- Os poluentes são transportados por áreas extensas;
- As cargas poluidoras não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem, pois o mesmo é desconhecido;
- O controle da poluição difusa deve ser focado em ações sobre a área geradora e não somente sobre o efluente lançado;
- Há dificuldade no estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento do efluente, uma vez que a carga poluidora varia com a intensidade e duração do evento meteorológico e da extensão da área de produção. Com isso, a correlação vazão *versus* carga poluidora é praticamente impossível de ser estabelecida.

Diferentemente da poluição concentrada, causada por fonte pontual, e que possui descarga contínua e conhecida para um corpo d'água, como nos casos de descarte de efluentes industriais e esgoto municipal doméstico, a poluição difusa vem de uma área extensa, e é de difícil quantificação, como é o caso da poluição que chega ao leito do rio proveniente das ruas de uma cidade pelas chuvas.

A Tabela 1 ilustra qual a importância na participação das fontes difusas frente às fontes pontuais levando em conta alguns parâmetros importantes de análise da qualidade da água.

Tabela 1 - Contribuição específica dos poluentes pontuais e difusos

Parâmetros	% devido as fontes pontuais	% devido as fontes difusas
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	30	70
Fósforo Total	34	66
Nitrogênio Kjeldahl Total	10	90
Chumbo	43	57
Cobre	59	41
Cádmio	84	16
Zinco	30	70

Fonte: Adaptado de EPA (1984) in Novotny (1999).

A migração de poluentes até as águas depende de mecanismos que influenciam na persistência e na mobilidade dos compostos. Esses mecanismos podem ser: degradação, dispersão atmosférica, escoamento superficial, infiltração e absorção pelas plantas e por organismos. Esses mecanismos dependem também de condições ambientais (clima, solo, relevo, entre outros) e das propriedades químicas do composto (Padua, 2009).

A Figura 1 (CETESB, 2011) evidencia o comportamento da poluição difusa no Estado de São Paulo. Através dela constata-se que no período seco há uma melhora na qualidade das águas, principalmente quanto ao aumento das categorias Boa e Ótima e diminuição da Regular, indicando que as cargas difusas podem causar, no período chuvoso, maior impacto negativo na qualidade das águas do que o incremento das vazões para a diluição dos poluentes.

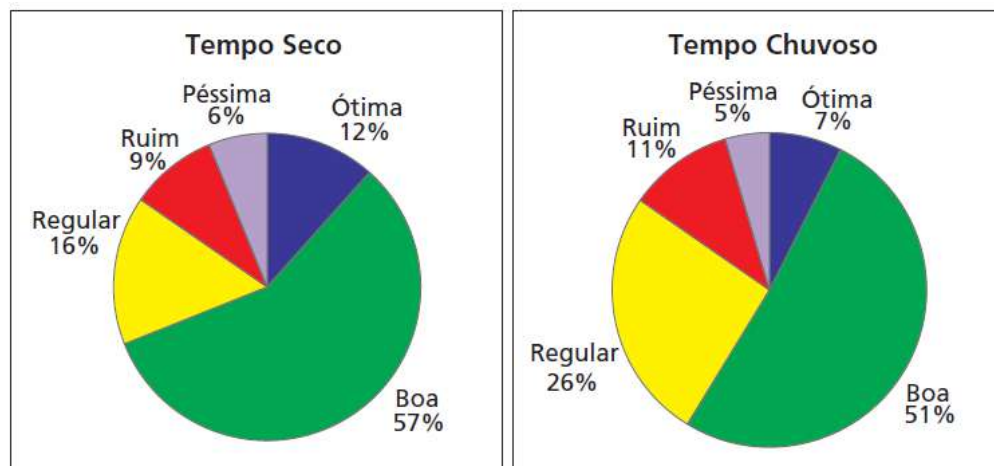


Figura 1 - Distribuição porcentual das categorias do Índice da Qualidade da Água (IQA) em 2010 em função da época do ano.

Fonte: CETESB, 2011.

2.2. Principais atividades geradoras de carga difusa

As principais atividades geradoras de poluição dos recursos hídricos no Estado de São Paulo são os lançamentos de efluentes líquidos domésticos e industriais, assim como a carga difusa de origem urbana e agrícola (CETESB, 2010).

As fontes difusas de poluição, especialmente a agricultura, têm sido objeto de atenção em muitos países devido à dificuldade de se estabelecer procedimentos de avaliação de impactos ambientais e de adotar padrões aceitáveis, como antes ocorreu com as fontes pontuais (Simis et al., 1998).

2.2.1. Agricultura

Os nutrientes são elementos químicos naturais essenciais para o crescimento das plantas, sendo os mais significativos o nitrogênio, o fósforo e o potássio. Tais nutrientes presentes no ambiente aquático, principalmente o nitrogênio e fósforo, podem provocar toxicidade do mesmo, além da eutrofização (aumento de algas provocado pelo excesso de nutrientes) acelerada dos corpos d'água, afetando humanos e animais (Pinharanda; Simas, 2010).

A maioria dos solos apresenta deficiências destes nutrientes para o crescimento potencial das plantas. Com isso a produção agrícola lança mão do uso intensivo de adubos, agrotóxicos, fertilizantes e outros fatores de produção, que podem comprometer a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

Ainda segundo Pinharanda e Simas (2010) a principal causa de poluição originada por fontes difusas são os nitratos de origem agrícola. A alta solubilidade dos nitratos permite que sejam facilmente arrastados pelas águas das chuvas ou das irrigações e infiltrados nos solos.

Esse arraste é facilitado pela falta de cobertura vegetal do solo, que acelera as taxas de mineralização e aumenta os riscos de infiltração e transporte de nitratos e fosfatos no solo. Em condições de solo coberto a vegetação promoveria a sua retenção biológica.

Os produtos agrotóxicos para o combate a pragas, fungos e ervas daninhas podem ser divididos no geral, em: fungicidas, herbicidas e inseticidas. Depois de serem aplicados sobre o solo e/ou plantas, os agrotóxicos são submetidos a uma série de complexos processos

biológicos e não biológicos que podem implicar na degradação ou transporte através dos solos e da água (Padua, 2009).

A grande variedade de moléculas com distintas propriedades confere aos agrotóxicos diferentes graus de persistência ambiental, mobilidade e potencial tóxico. A evolução dos agrotóxicos no meio ambiente se desenvolve por três vertentes: adsorção pelo solo, migração e degradação. Quando o agrotóxico entra em contato com o solo, uma parcela liga-se por adsorção as partículas do solo (matéria orgânica) e outra é dissolvida e mistura-se a água presente entre as partículas do solo (Merten; Minella, 2002).

A retirada da cobertura vegetal original aliada a um manejo inadequado, seria responsável pela perda de grande parte da biodiversidade, deixando o ecossistema mais vulnerável pela diminuição de sua resiliência potencializando um processo natural de erosão e assoreamento dos cursos de água.

Estima-se que o Brasil perde, por erosão laminar (superfície do solo), cerca de 500 milhões de toneladas de terra anualmente (Azevedo, 2004).

Com a perda de solo (camada orgânica fértil) provocada pela erosão, faltam componentes para suprir as necessidades nutricionais das plantas, logo, a necessidade de fertilizantes para a cultura agrícola não cessa.

2.2.2. Pecuária

Outra fonte importante de contaminação das águas refere-se à poluição causada pelas atividades de pecuária em sistemas de confinamento, como a suinocultura, a pecuária de leite e da carne e a avicultura. Os problemas causados por essas atividades tendem a crescer no Brasil, devido, principalmente, ao crescimento do consumo interno e da exportação de carne de aves e suínos. Entre as atividades de pecuária, a que representa maior risco à contaminação das águas é a suinocultura, devido à grande produção de efluentes altamente poluentes produzidos e lançados ao solo e nos cursos de água sem tratamento prévio.

Muitas das atividades pecuárias existentes espalham seus efluentes no terreno ou armazenam em pequenas lagoas, onde se verifica um aumento significativo da carga orgânica. Assim no período das chuvas, poderão ser arrastadas porcentagens significativas da carga em fósforo e nitrogênio produzida por estas atividades (Pinharanda; Simas, 2010).

O material produzido por sistemas de criação é rico em nitrogênio, fósforo e potássio, e seu material orgânico apresenta uma alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). São o fósforo e a alta DBO que causam grandes impactos ao ecossistema aquático de superfície, sendo o fósforo responsável pelo processo de eutrofização das águas e a DBO pela redução do oxigênio disponível.

Já o nitrogênio oferece mais risco de contaminação da água subterrânea quando lixiviado. A utilização de dejetos de suínos como fertilizantes orgânicos também pode contribuir para a contaminação dos recursos hídricos se as quantidades aplicadas forem superiores à capacidade do solo e das plantas absorverem os nutrientes presentes nesses resíduos. Dessa forma, poderá haver contaminação das águas superficiais pelo deflúvio quando a capacidade de infiltração da água no solo for baixa e contaminação das águas subterrâneas quando a infiltração da água no solo for elevada (Merten; Minella, 2002).

Segundo Novotny (1999) o fósforo produzido por uma vaca leiteira é 18 kg por ano e desse montante uma porção significativa alcança o corpo d'água. Porém, as cargas de nutrientes não são os únicos poluentes associados à criação animal, há também o material orgânico, responsável pela depleção de oxigênio dissolvido e os patogênicos (como o *Cryptosporidium*) provenientes do manejo de animais, entre outros.

Substâncias orgânicas, tais como o leite, também podem afetar diretamente os níveis de oxigênio quando encontram seu caminho em água, com impactos subsequentes na vida aquática. Poluição a partir de bactérias no estrume animal pode causar problemas de saúde humana seja diretamente, quando da ingestão, ou indiretamente, através da contaminação de peixes (Pinharanda; Simas, 2010).

Além dos impactos já citados, podem-se destacar ainda os seguintes impactos ambientais como decorrentes da atividade pecuária (Novotny, 1999):

- a eliminação e/ou redução da fauna e flora nativas, devido ao desmatamento de áreas para o cultivo de pastagens;
- o aumento da degradação e perdas de nutrientes dos solos, em especial por conta pisoteio intensivo ocasionando a compactação do solo;
- a redução na capacidade de infiltração da água no solo devido à compactação;
- a contaminação dos cursos d'água e assoreamento dos recursos hídricos.

2.2.3. Urbanização

Como causas da poluição difusa, as que são mais relevantes para os meios urbanos são: aumento da população, transformações no uso dos solos e urbanização (Novotny, 1999).

Pode-se enumerar os principais poluentes em meios urbanos: sedimentos, sólidos flutuantes, carência de oxigênio, nutrientes, metais pesados, óleos e gorduras, microrganismos, outras substâncias tóxicas. Ainda, a atividade antrópica na bacia hidrográfica contribui significativamente para o aumento da produção de sedimentos, que são carregados pelos cursos d'água e depositados nos reservatórios.

A seguir são levantadas as principais fontes de poluição urbana, ou seja, aquelas diretamente geradas pelo homem em cidades.

2.2.3.1. Deposição atmosférica

A deposição atmosférica, ou seca, é formada pela deposição dos poluentes do ar sobre telhados, ruas e demais superfícies da área urbana. A chuva escorre sobre essas superfícies os carregando até os corpos d'água. Os poluentes em maior frequência são enxofre, metais, compostos orgânicos, fungos, pólen, solo, nutrientes, asfalto, cinzas e compostos químicos como óxidos, nitritos e nitratos, cloretos, fluoretos e silicatos.

As indústrias e os veículos são as principais fontes de poluição do ar, sendo que os veículos são responsáveis, principalmente, por óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos voláteis, e as indústrias, por material particulado e óxidos de enxofre.

2.2.3.2. Deposição no solo

A acumulação de poluentes no solo pode ser gerada por desgaste da pavimentação, resíduos gerados por veículos, resto de vegetação, dejetos de animais, lixo e partículas de solo como areia e argila. Esses materiais acumulam-se nas guias e sarjetas.

Desgaste do pavimento

Pedaços de asfalto, partículas de cimento e de qualquer outro material utilizado na pavimentação (asfalto ou concreto) soltam-se, devido ao desgaste, e são carregados pela chuva. A quantidade gerada dessas partículas é proporcional às condições dos pavimentos e às condições meteorológicas.

Veículos

Os veículos contribuem com o derrame de combustível, óleo lubrificante, fluido de freio, líquido refrigerante, partículas que se soltam com desgaste de freios e pneus, além de ferrugem, partículas de tinta e etc. Apesar de representarem menos do que 5% do total de poluentes, estes poluentes são os mais tóxicos e potencialmente prejudiciais à vida aquática. (Tucci, 2001).

Lixo

Estes podem ser caracterizados como: embalagens, matéria orgânica como cascas de fruta, dejetos de animais, folhas secas, grama cortada e lixos deixados pela população ou por descuido na coleta. A quantidade de lixo depende da densidade de ocupação das áreas, do movimento de pedestres e de veículos e, principalmente, da educação da população.

Erosão

A urbanização também leva a taxas aceleradas de erosão, principalmente devido a obras de construção civil. A erosão depende das características do solo, do clima, da topografia. Maiores taxas de erosão significam maior arraste e, portanto, maior quantidade de sedimentos que chegará aos cursos de água. Excesso de sedimentos é a mais visível forma de poluição gerada de forma difusa (Tucci, 2001).

2.2.4. Transporte hidroviário

O transporte hidroviário também contribui para a poluição difusa, pois além da contaminação de águas por lançamento de dejetos pelos tripulantes, derramamento durante a carga, descarga e limpeza dos tanques, ou ainda possíveis acidentes com cargas perigosas (combustíveis e cargas químicas), a navegação é responsável pelo traslado de um grande número de espécies de plantas e animais, de um lugar a outro do planeta, de forma intencional ou acidental (Di Castri, 1989), tanto pela incrustação no casco quanto pela água de lastro.

A incrustação é uma das mais agressivas formas de transferências de espécies exóticas (bioinvasão). Basta considerar que durante as viagens o casco é submetido às grandes influências de fluxos contínuos de água e grande resistência ao avanço e mesmo assim, os microrganismos conseguem se fixar e desenvolver na parte externa do casco. Deste modo, eles sobrevivem as mais variadas condições de temperatura e atrito imposto pelo movimento do navio, o que lhes confere uma grande resistência a adaptação a ambientes hostis. Admitindo que superaram as maiores dificuldades para se estabelecerem, poderão estar aptos para se proliferarem em qualquer ambiente ao redor do mundo, desde que haja as condições naturais favoráveis.

Além dos cascos dos navios existem outros pontos em que as espécies exóticas podem se fixar e se transferirem de um local para outro. Estes elementos são tubulações, correntes, âncoras e hélices (ONG Água de Lastro Brasil, 2009).

Apesar da incrustação em cascos de navios ter sido a via responsável pelo maior número de introduções entre as águas ao longo do tempo, pode-se dizer que, atualmente, a descarga de água de lastro é a mais importante via de introdução de espécies indesejáveis nos portos de todo o mundo e uma das grandes ameaças ao equilíbrio ecológico dos ambientes aquáticos (Silva & Souza, 2004; Darrigran & Damborenea, 2009).

Água de lastro é a água do mar/rio captada pela embarcação para garantir a segurança operacional do navio e sua estabilidade. Em geral, os tanques são preenchidos com maior ou menor quantidade de água para aumentar ou diminuir o calado dos navios durante as operações portuárias. Esse processo pode ser ilustrado de acordo com a Figura 2.

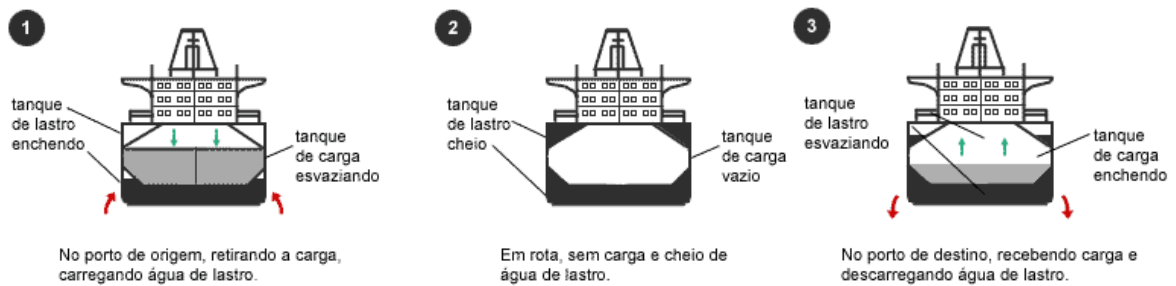


Figura 2 - Funcionamento da água de lastro em embarcações.

Fonte: ONG Água de Lastro Brasil, 2009

A Organização Marítima Internacional (OMI), agência especializada das Nações Unidas (ONU), que desde 1948 regulamenta o transporte e as atividades marítimas com relação à segurança, à preservação do meio ambiente e às matérias legais relacionadas, passou a considerar a água de lastro (Figura 3) como um dos temas mais importantes nas suas convenções.



Figura 3 - Navio descarregando água de lastro

Fonte: ONG Água de Lastro Brasil, 2009

Algumas ações políticas, técnicas e legais vêm sendo tomadas no sentido de reduzir este problema que já levou à introdução de várias espécies em diferentes regiões do globo, causando grandes impactos ambientais, sociais e econômicos (Silva et al., 2004).

2.3. Aspectos legais

A poluição difusa não está prevista na Resolução do CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento e que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Ela define carga poluidora como a quantidade de determinado poluente transportado ou lançado em um corpo de água receptor, então, como a poluição difusa não pode ser mensurada, a legislação não é aplicável.

Não há legislação federal que preveja o controle da poluição difusa.

A Lei nº 12.233, de 16 de janeiro de 2006, do Estado de São Paulo que define a área de proteção e recuperação dos mananciais da bacia hidrográfica do Guarapiranga (APRM-G), em sua Seção III, artigo 52, apresenta medidas para controle da poluição difusa, abaixo transcrito:

[...] Artigo 52 - Na APRM-G, serão adotadas medidas destinadas à redução dos efeitos da carga poluidora difusa, transportada pelas águas pluviais afluentes aos corpos receptores, compreendendo:

I - detecção de ligações clandestinas de esgoto domiciliar e efluentes industriais na rede coletora de águas pluviais;

II - adoção de técnicas e rotinas de limpeza e manutenção do sistema de drenagem de águas pluviais;

III - adoção de medidas de controle e redução de processos erosivos, por empreendedores privados e públicos, nas obras que exijam movimentação de terra, de acordo com projeto técnico aprovado;

IV - adoção de medidas de contenção de vazões de drenagem e de redução e controle de cargas difusas, por empreendedores públicos e privados, de acordo com projeto técnico aprovado;

V - utilização de práticas de manejo agrícola adequadas, priorizando a agricultura orgânica, o plantio direto e a proibição do uso de biocidas;

VI - intervenções diretas em trechos de várzeas de rios e na foz de tributários do Reservatório Guarapiranga, destinadas à redução de cargas afluentes;

VII - adoção de programas de redução e gerenciamento de riscos, bem como de sistemas de respostas a acidentes ambientais relacionados ao transporte de cargas perigosas;

VIII - ações permanentes de educação ambiental direcionadas à informação e à sensibilização de todos os envolvidos na recuperação e manutenção da qualidade ambiental da APRM-G. [...]

Em pesquisa, não foram localizados outros instrumentos legais brasileiros, estaduais ou municipais, que como a lei apresentada, regulassem de forma detalhada e direta o problema da poluição difusa no Brasil.

3. IMPACTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA GERAÇÃO HIDROELÉTRICA

3.1. A geração hidroelétrica

Em uma instalação hidroelétrica, a barragem represa as águas de um rio formando um reservatório. Esta água represada é conduzida por meio de tubulações até uma turbina (CEEE Geração e Transmissão, 2011).

A energia potencial, existente entre o nível do reservatório antes da barragem e o nível do rio após a barragem transforma-se em energia cinética, através da água que faz girar a turbina. A turbina é ligada por um eixo a um gerador de energia elétrica que conseqüentemente, também entra em movimento. No gerador a energia cinética, ou energia mecânica, é transformada em energia elétrica. A energia elétrica produzida vai para uma subestação de onde é transmitida para os centros de consumo.

As turbinas, em função da sua forma, podem ser de diversos tipos. A escolha do tipo depende da altura da queda d'água e do regime de operação da usina.

Simplificadamente, o gerador é composto de um rotor (ímã), que gira no interior de uma bobina (estator), provocando o aparecimento de uma corrente elétrica.

Os sistemas de resfriamento (trocadores de calor) têm como finalidade remover o calor gerado nos equipamentos eletromecânicos da usina, para que gere com confiabilidade, sem limitações operacionais de temperatura (CEEE Geração e Transmissão, 2011).

A Figura 4 ilustra, didaticamente, o funcionamento descrito acima.

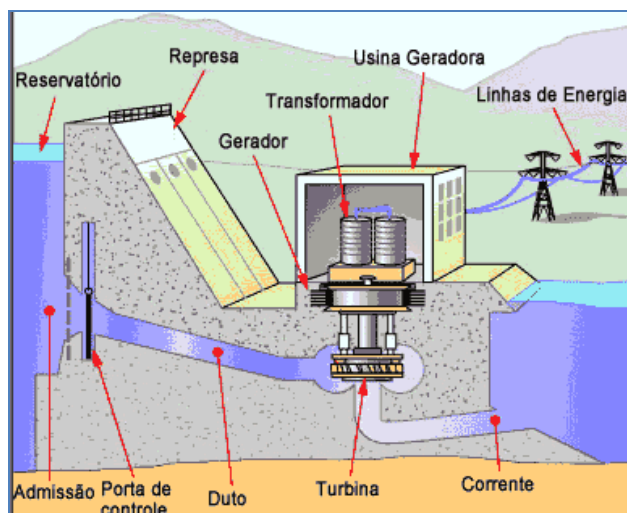


Figura 4 - Desenho esquemático do funcionamento de uma usina hidroelétrica

Fonte: CEEE Geração e Transmissão, 2011

3.2. Impactos da poluição difusa na geração

Dentre os principais impactos da poluição difusa na geração de energia hidroelétrica pode-se destacar:

3.2.1. Plantas aquáticas

As infestações de macrófitas aquáticas podem apresentar características prejudiciais para uso múltiplo dos reservatórios artificiais, pois infestam as regiões marginais e menos profundas, promovendo limitações das atividades relacionadas ao lazer (pesca, navegação, esportes náuticos, entre outros), proliferação de insetos e outros organismos aquáticos indesejáveis, alterações na qualidade da água (desoxigenação/aumento de nutrientes), mudanças em ambientes de proteção da ictiofauna e inclusive a limitação da produção de energia.

A proliferação é ocasionada pela eutrofização da água devido ao fluxo de nutrientes (nitrogênio e fósforo) presentes no curso d'água.

Plantas aquáticas entopem os painéis de grade, turbinas e comportas das usinas. O entupimento de painéis de grade impede a passagem de água, diminuindo assim a produção de energia elétrica, e chegando a reduzir a sua potência em até 50% da capacidade, além de exigir uma interrupção no seu fornecimento para a realização limpeza dos resíduos conforme ilustra a Figura 5.



Figura 5 - Limpeza de macrófitas em usina hidroelétrica

Fonte : CESP, 2006

Além de impactar a geração de energia as plantas aquáticas dificultam ou impedem a passagem de embarcações pela hidrovia e eclusas, cobrem ou deslocam sinalizações de orientação da hidrovia, aumentando os riscos de acidentes e bloqueiam pontes e trechos estreitos de rios e reservatórios.

Em período de maior vazão com o aumento da velocidade da água, uma grande quantidade de biomassa é arrancada do fundo do canal, penetrando nas turbinas das hidroelétricas. A proliferação destas macrófitas submersas e flutuantes tem trazido problemas técnicos e conseqüentemente econômicos para as usinas.

Os prejuízos causados à geração de energia por essa infestação são enormes, demandando manutenções frequentes com custos extraordinários que são ainda maiores quando somados aos custos envolvidos na interrupção temporária da geração de energia elétrica pela paralisação das turbinas.

3.2.2. Lixo

O acúmulo de lixo, de qualquer tipo, da mesma maneira que as plantas aquáticas, provoca a obstrução de captações de água, de filtros, de sistemas de resfriamento e drenagem, além de danos na turbina.

A figura 6 ilustra, em uma vista panorâmica, a eclusa da usina hidroelétrica de Nova Avanhandava, antes da limpeza, da qual foram retirados aproximadamente 300 pneus durante uma parada para manutenção. A figura 7 mostra, em detalhe, o acúmulo de pneus retirados.



Figura 6 - Limpeza na eclusa da usina hidroelétrica de Nova Avanhandava

Fonte: AES Tietê, 2012



Figura 7 – Lixo encontrado em limpeza de usina hidroelétrica

Fonte: AES Tietê, 2012

3.2.3. Sedimentação

A produção de sedimento derivada da área de drenagem, ou correspondente a toda uma bacia hidrográfica, é dependente da erosão, do escoamento das águas de chuva com o carreamento dos sedimentos e das características de transporte de sedimento nos cursos d'água.

Todo reservatório, independente da sua finalidade e característica de operação, está fadado ao processo de assoreamento. Processo esse que traz problemas como: danos às estruturas da barragem, dificuldades ou impedimento da navegação devido à formação de depósitos, prejuízos ambientais, dentre outros. No caso de aproveitamentos hidroelétricos o maior prejuízo é a redução da capacidade de reserva de água que afeta diretamente sua geração de energia (Carvalho, 1994).

A construção de uma barragem, juntamente com a formação do reservatório, provocam importantes mudanças nas condições naturais do regime de escoamento do curso d'água, gerando uma redução na velocidade e como consequência reduz também a capacidade de transporte dos sedimentos, favorecendo a deposição nos reservatórios, o que pode levar ao seu assoreamento.

O assoreamento no reservatório como um todo é computado tanto pela sedimentação devido à redução na velocidade do fluxo do rio principal, por exemplo, quando da implantação de uma barragem, quanto pelos processos erosivos que ocorrem em cada micro bacia contribuinte. Desta forma, o conhecimento dos processos de transporte, deposição e suspensão de sedimentos é de vital importância para a conservação, desenvolvimento e manejo destes ambientes (Carvalho et al, 2000).

Com a sedimentação o leito do corpo de água receptor é alterado causando diminuição da capacidade de escoamento, destruição de habitat e diminuição da população dos organismos que vivem junto ao fundo, uma vez que afetam locais de reprodução e fontes de alimentos dessas espécies.

O acúmulo desses sedimentos causa o assoreamento, o qual é responsável pela diminuição da capacidade de armazenamento e vida útil das estruturas.

Um estudo realizado pelo Banco Mundial mostrou que a vida útil média dos reservatórios existentes em todos os países no Mundo decresceu de 100 para 22 anos, sendo

que o custo para promover a remoção dos volumes que vão sendo assoreados foi avaliado em 6 bilhões de dólares anuais. Ficou demonstrado também que a perda média anual de volume dos reservatórios devido ao depósito de sedimentos era de 1%, sendo variável de país para outro, bem como de região para outra (Carvalho et al, 2000).

Segundo estudo feito pela Eletrobrás/IPH (1994) a perda anual de volume dos reservatórios brasileiros, devido ao processo de assoreamento, é de aproximadamente 0,5% (Carvalho, 1994).

A Figura 8 resume o capítulo através de uma esquematização que mostra a formação de depósitos de sedimentos no reservatório com a indicação dos principais problemas decorrentes.

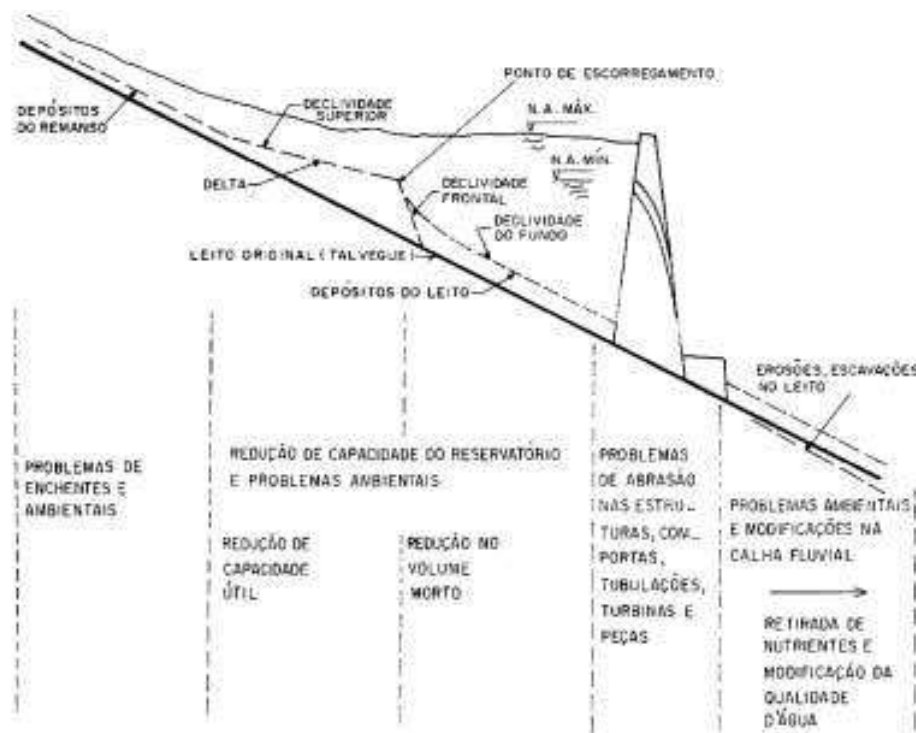


Figura 8 - Esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios com indicação dos principais problemas decorrentes

Fonte: Carvalho et al, 2000

3.2.4. Corrosão

Corrosão metálica é definida como uma deterioração gradual ou alteração por um processo de oxidação químico ou eletroquímico. Quando um metal é parcialmente imerso numa solução de seus íons, observa-se a ocorrência de uma separação de cargas e o estabelecimento de uma diferença de potencial entre o metal e a solução. A maioria dos componentes metálicos deteriora-se com o uso, se em exposição a ambientes oxidantes ou corrosivos (Gentil, 1970)

A alcalinidade excessiva na água de resfriamento das turbinas pode provocar um tipo de corrosão, denominada alcalina, responsável por danos nos equipamentos metálicos. Certos parâmetros (cloretos, alcalinidade, bicarbonatos e sólidos totais) devem encontrar-se em concentração próxima ao limite máximo aceitável (Videla, 2003).

Porém a corrosão que mais afeta a operação hidráulica é a biocorrosão que pode ser definida como o processo eletroquímico de dissolução metálica iniciada ou acelerada por microrganismos, principalmente bactérias redutoras de sulfato (Videla, 2003).

Denomina-se *fouling*, ou acumulação, a formação de depósitos sobre a superfície de equipamentos. Esses depósitos têm como efeito negativo uma importante diminuição da eficiência e da vida útil do equipamento. A palavra *biofouling*, refere-se ao acúmulo indesejável de depósitos biológicos sobre uma superfície, contendo microrganismos (Heitz et al, 1996).

Os processos biológicos (*biofouling*) e os processos inorgânicos (corrosão) ocorrem de forma simultânea, mas seguem direções opostas. O *biofouling* é um processo de acumulação que se dirige do líquido para a superfície metálica, já a corrosão transcorre no sentido oposto, da superfície metálica (que se dissolve) para o do fluido. Como consequência de ambos os processos, forma-se uma nova interfase metal/solução, onde ocorre o desenvolvimento da corrosão microbiológica (Videla, 2003).

Em relação às características das águas para que ocorra a corrosão, estas dependem do tipo de afluentes, do material geológico que constitui a base do reservatório, da proximidade do reservatório de zonas industriais, habitadas ou de produção agrícola e das condições climáticas. Em zonas tropicais e subtropicais ou, em geral, de grande vegetação, graves problemas podem surgir durante os anos iniciais de vida do reservatório de usinas hidroelétricas (Heitz et al, 1996).

O principal problema é representado pelos processos de degradação do material orgânico, que gera altas concentrações de H_2S (ácido sulfídrico), devido ao processo de submersão que esta vegetação é submetida quando está se formando o reservatório e de decomposição de plantas aquáticas.

Estes tipos de fenômenos fazem com que as águas dos reservatórios alterem sua composição, por exemplo, com aumento na emissão de metano e aumento na concentração de ácido sulfídrico. Somada às variações periódicas anuais e dependendo da região climática onde se encontra situada a usina, o processo de degradação é agravado (Maciel, 1982).

O estudo das características da água, como pH, condutividade, metais, nitrogênio e fósforo é importante para avaliar os efeitos que podem ser inseridos em uma usina hidrelétrica em decorrência da formação da bioincrustação. No sistema de resfriamento, por exemplo, este efeito é maximizado pela redução nos diâmetros dos tubos (Figura 9), e essa diminuição acarreta em maior acúmulo de materiais (orgânicos e inorgânicos) e também no aumento de velocidade de corrosão em função da formação de colônias de bactérias biocorrosivas (Marangoni, 2010).



Figura 9 - Visão geral da situação em que se encontra uma das placas do trocador de calor (a), visão geral de uma das laterais abertas do radiador, em que se pode observar acúmulo de lama nos tubos de troca térmica (b)

Fonte: Marangoni, 2010

3.2.5. Organismos invasores

As invasões biológicas, ou seja, a introdução, estabelecimento e consequências negativas de espécies ocorrendo em uma área fora de seu limite natural, têm sido reconhecidas como uma das ameaças mais sérias aos ecossistemas mundiais. A introdução de espécies invasoras é considerada hoje, a segunda maior causa de declínio da biodiversidade, ficando atrás apenas da destruição de habitats naturais (Baskin, 2002). Porém, os organismos aquáticos invasores são problemáticos não somente para os ecossistemas, mas também para as atividades humanas e em sistemas industriais e produtivos.

Os danos econômicos associados a espécies exóticas invasoras nos Estados Unidos são de aproximadamente US \$ 120 bilhões / ano, sendo cerca de US\$ 1 bilhão por ano, apenas para monitoramento e controle do mexilhão (Pimentel et al., 2005).

No Brasil, assim como no resto do mundo, o maior impacto econômico destas espécies invasoras ocorre no setor elétrico (O'Neill, 1997) (Figura 10), onde os gastos vêm crescendo anualmente com controle nas usinas já afetadas e com prevenção nas que ainda não possuem organismos invasores (Belz, 2006).

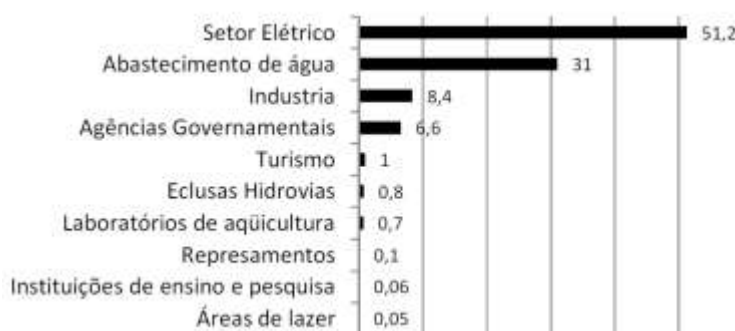


Figura 10 - Porcentagem de gastos com o mexilhão zebra nos EUA por setor afetado

Fonte: O' Neill, 1997

O mexilhão dourado (*L. fortunei*) molusco bivalve da classe Mytilidae, chegou ao estuário do Rio da Prata, Argentina, em 1991. Originário do sudeste asiático (Hong Kong ou Coreia) foi provavelmente introduzido nesse ambiente por meio de água de lastro de navios oriundos dessa região. Do estuário da Bacia do Prata, o mexilhão dourado expandiu sua distribuição rapidamente para as porções superiores da bacia do rio Paraná, invadindo

principalmente os grandes rios, numa velocidade de cerca de 240 km/ano (Darrigran & Damborenea, 2009).

Em pouco tempo esse organismo se disseminou por várias outras bacias hidrográficas da Argentina, do Paraguai e do Brasil causando graves impactos ambientais e econômicos.

A dispersão do mexilhão dourado pode ocorrer naturalmente através da dispersão de larvas na coluna da água, além disto, organismos bioincrustantes podem se dispersar fixados a qualquer objeto flutuante tanto artificial, quanto natural, como pedras, macrófitas, e conchas de outras espécies.

Dentre as características que tornam *L. fortunei* uma espécie invasora de grande sucesso está a sua resistência a condições ambientais e sua alta fecundidade. O mexilhão é, portanto, capaz de colonizar uma grande variedade de habitats. Suas colônias atingem densidades de mais de 100.000 indivíduos por metro quadrado (Darrigran & Damborenea, 2009).

O grande problema causado pelo mexilhão dourado nos sistemas de circulação e refrigeração de água é a sua tendência em se fixar em superfícies sólidas, tais como concreto (figura 11), grades de certos metais, palanques e estruturas submersas ou banhadas pela água contaminada. Em sua fase microscópica, os moluscos se deslocam livremente com o fluxo dos rios podendo penetrar e se depositar e crescer em sistemas de refrigeração abertos.



Figura 11 - Mexilhão Dourado fixado em toda a parede da Eclusa da Usina Hidroelétrica de Ibitinga

Fonte: AES Tietê, 2012

Nas usinas hidroelétricas, o acúmulo de mexilhões pode afundar equipamentos flutuantes, prejudicar a operação de equipamentos submersos e obstruir tubulações, filtros, trocadores de calor e grades da tomada d'água provocando diminuição da vazão do sistema, comprometendo equipamentos (Figura 12). Os sistemas de refrigeração das turbinas ficam sujeitos a entupimentos. Quando isso ocorre a geração é interrompida.



Figura 12 - Tubulação de água (a), grade da tomada d'água (b) em manutenção para retirada do mexilhão dourado.

Fonte : CESP, 2006

A extensa proliferação e fixação dos moluscos (*macrofouling*) provocam principalmente:

- Fixação do molusco sobre superfícies submersas;
- Entupimento de tubulações;
- Decomposição de material orgânico.

A primeira consequência (fixação sobre substratos rígidos) exige constantes e dispendiosos serviços de limpeza e de remoção do material orgânico. A segunda consequência coloca em risco a operação de sistemas de água de serviço exigindo serviços de manutenção adicionais e, eventualmente, colocando em risco serviços mais nobres como a geração de energia ou a captação de água para consumo.

A decomposição do material orgânico, muitas vezes associada aos serviços de limpeza, provoca intenso mau cheiro e pode colocar em risco a qualidade da água e a saúde das pessoas.

Uma usina hidroelétrica de 120MW, com 3 unidades geradoras e com problema de incrustação na parte crítica de seu sistema de resfriamento, pode ter o prejuízo de até R\$

40.000,00 por dia de máquina parada, sem considerar neste valor a mão de obra e os materiais necessários para desobstruir o sistema (Darrigran & Damborenea, 2009).

A infestação de instalações não é um problema sem solução, pois métodos de controle através de meios físicos ou químicos têm se mostrado eficientes. Porém, a maioria dos métodos desenvolvidos, são de difícil aplicação em sistemas industriais e sempre trazem custos associados, quer de ordem econômica, ou ambiental. A experiência tem mostrado que dificilmente um único método é suficiente para minimizar o problema em uma planta industrial, sendo necessária a utilização de dois ou mais métodos atuando de forma sinérgica (Claudi, 1995).

4. ESTUDO DE CASO: USINA HIDROELÉTRICA BARRA BONITA

4.1. A Usina Hidroelétrica de Barra Bonita e seu reservatório

O Rio Tietê, apresenta-se com seu potencial hidroenergético bem aproveitado, e suas barragens: Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava, formam um sistema de cascatas (Figura 13) com área de drenagem de aproximadamente 52.500 km² onde reside uma população de cerca de 5 milhões de pessoas, e apresenta-se também bastante impactado com problemas observados ao longo de todo seu curso (Bramorski, 2004).

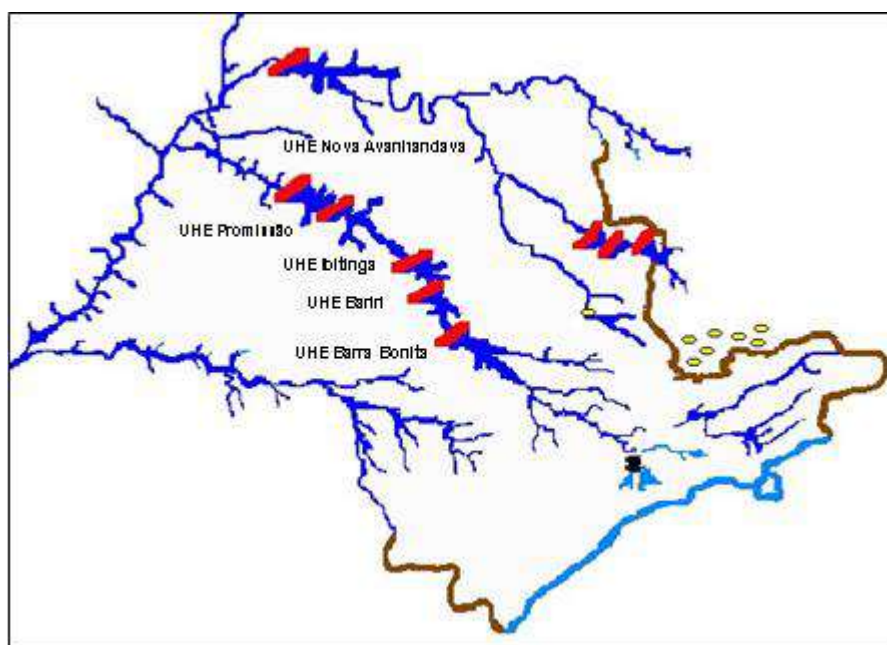


Figura 13 - Mapa do Estado de São Paulo, com a localização das UHEs do rio Tietê

Fonte: AES Tietê, 2007

O reservatório da Usina Hidroelétrica (UHE) Barra Bonita situa-se na região do médio curso do rio Tietê, no centro do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°52'12" e 22°30'00" de latitude sul e os meridianos 48°31'48" e 47°57'36" de longitude oeste.

Em operação desde 1963, a UHE Barra Bonita (Figura 14) possui uma potência instalada de 140,76MW e seu reservatório possui uma área de 310 km². O reservatório de Barra Bonita abrange áreas dos Municípios de Anhembi, Barra Bonita, Botucatu, Conchas, Dois Córregos, Igarapu do Tietê, Laranjal Paulista, Mineiros do Tietê, Piracicaba, Santa Maria da Serra, São Manuel e São Pedro.

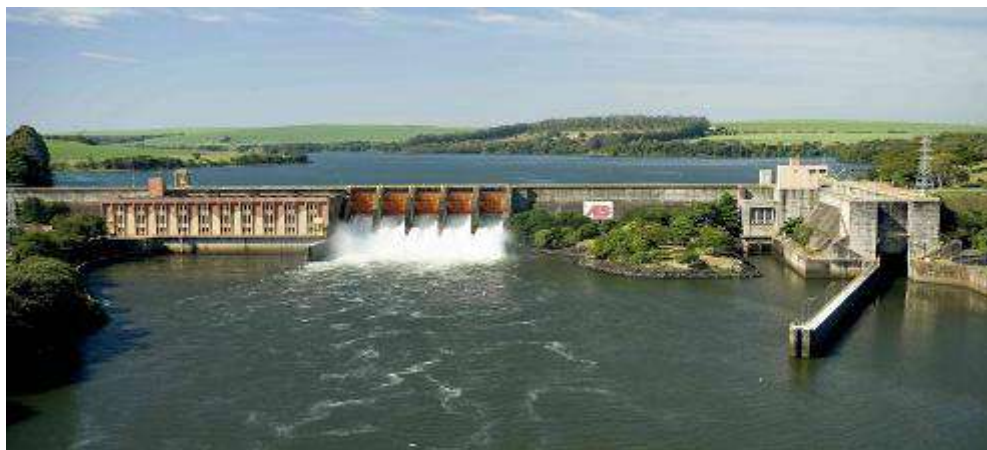


Figura 14 - Vista geral da UHE Barra Bonita

Fonte: AES Tietê, 2007

No entorno do reservatório, faixa da área de estudo, verifica-se que as atividades econômicas de maneira geral, distribuem-se entre estabelecimentos de todos os portes, com maior concentração das pastagens entre estabelecimentos de maior porte e das lavouras temporários (principalmente cana-de-açúcar) entre os estabelecimentos menores. De toda forma, nota-se um perfil combinado de produção pecuária e agricultura, que somados chegam a 78% de ocupação, conforme evidencia a Tabela 2.

Tabela 2 - Quantificação das tipologias de ocupação no reservatório da UHE Barra Bonita

Tipologia de Ocupação	Hectares	%
Avicultura	8,95	0,01%
Agricultura: Perene e Temporária	40.888,01	44,88%
Pastagem	21.271,12	23,35%
Campo Antrópico	3.554,72	3,90%
Sede de Propriedade Rural	409,16	0,45%
Área Residencial/Loteamentos/Condomínios	1.383,31	1,52%
Área Urbana	139,17	0,15%
Indústria/Agroindústria	33,15	0,04%
Área de Lazer	149,14	0,16%
Solo Exposto	140,36	0,15%
Mineração	31,42	0,03%
Silvicultura	1.075,92	1,18%
Campo de Várzea	6.198,39	6,80%
Floresta	15.439,70	16,96%
Savana Arbórea	23,42	0,03%
Massa D'água	358,27	0,39%
Total	91.104,21	100

Fonte: AES Tietê, 2008

4.2. Diagnóstico da qualidade da água

A determinação da qualidade da água do reservatório é fundamental em estudos ambientais, sendo que a qualidade ambiental do corpo d'água como um todo é resultado da situação de sua bacia de drenagem podendo fornecer informações das atividades advindas do uso e ocupação do solo circundante.

O diagnóstico a seguir foi realizado com base nos relatórios de qualidade da água do período de 2000 a 2011 elaborados pela AES Tietê.

Os estudos demonstram que as águas dessa represa apresentam um alto nível de eutrofização.

Esse processo tem ocorrido porque Barra Bonita é um reservatório antigo, suscetível à poluição e ao assoreamento acelerado resultantes da intensa atividade agrícola e industrial, associada ao cultivo de cana-de-açúcar que ocorre nessa região, bem como por esgotos domésticos lançados pontualmente pelas cidades de Barra Bonita e Igarapu do Tietê, situadas nas suas margens.

A qualidade das águas dessa represa é influenciada diretamente pelos seus dois principais formadores, os rios Piracicaba e Tietê. Esses rios recebem uma carga de materiais orgânicos e inorgânicos acima de sua capacidade de assimilação e transportam a esse reservatório, resíduos de origem agrícola, descargas domésticas e industriais geradas nos grandes centros urbanos localizados a montante.

Pelo fato de Barra Bonita ser o primeiro reservatório em cascata situado no rio Tietê, suas águas tornam-se receptoras desse fluxo de poluentes, atuando como uma lagoa de estabilização.

A redução na velocidade das águas que ocorre a partir dos braços formados pelos rios Tietê e Piracicaba permite a deposição gradual de sólidos, de resíduos orgânicos, de sais minerais e de contaminantes diversos, como metais pesados, nos sedimentos.

Os produtos orgânicos aumentam a demanda por oxigênio dissolvido necessário à decomposição biológica, podendo prevalecer nas camadas mais profundas os processos anaeróbios de estabilização e a concomitante produção de gases, sulfetos, entre outros, cujo odor é característico. A depleção de oxigênio compromete a sobrevivência de seres aeróbios, inclusive de peixes.

Ao mesmo tempo, a formação de ambientes fortemente redutores no fundo do lago favorece a solubilização do fósforo e de alguns metais pesados acumulados nos sedimentos, elevando a disponibilidade desse nutriente e de contaminantes à biota aquática.

O incremento da luminosidade na coluna d'água do reservatório decorrente da decantação de sólidos, especialmente no setor intermediário da represa, aliado aos altos teores de sais minerais, especialmente de nitrogênio e de fósforo, podem desencadear eventuais florações de algas, inclusive de cianobactérias potencialmente tóxicas, e a proliferação de macrófitas aquáticas.

De acordo com Borsari (2009), o reservatório de Barra Bonita apresenta infestação de plantas marginais e flutuantes e, além disso, observou-se que a área ocupada por macrófitas superficiais alcançava cerca de 12% da superfície da represa.

Durante o verão, o reservatório de Barra Bonita apresenta estratificação térmica, processo no qual a zona profunda, com temperaturas mais baixas e águas mais densas, não se mistura com a camada superior, dificultando a difusão do oxigênio a partir da superfície do lago. Quando há queda de temperatura e a quebra da coluna térmica, ocorre a mistura dessas camadas e a possibilidade de surgimento de compostos depositados no fundo do reservatório, promovendo a retroalimentação do ciclo de eutrofização.

Assim, o elevado grau de trofia constatado no reservatório da UHE Barra Bonita tende a comprometer os usos múltiplos de suas águas, atualmente voltados ao turismo, ao lazer, à pesca e à hidroeletricidade, além da dessedentação animal. Os trabalhos conduzidos por Prado e Novo (2006) nesse reservatório, entre 1990 a 2002, atestam a intensificação desse fenômeno ao longo do tempo, devido à entrada de nutrientes por meio de fontes pontuais e difusas, transportadas especialmente pelo rio Tietê.

As águas do reservatório da UHE Barra Bonita são receptoras de cargas de nutrientes expressivas geradas a montante, nos centros urbanos e industriais. Os núcleos urbanos existentes na faixa de 1.500 m no entorno do reservatório contribuem significativamente para geração de poluentes. Estes alteram a qualidade das águas, com reflexos na comunidade aquática (AES Tietê, 2008).

Devido à baixa solubilidade do fósforo no meio aquático, o alcance desse nutriente aos corpos d'água ocorre através do aporte de sólidos em suspensão e dejetos bovinos, processo favorecido nas micro-bacias onde ocorrem processos erosivos dos solos aliados à ausência de matas ciliares.

Analisando os dados de qualidade da água de um período de 10 anos (AES Tietê, 2007), em várias amostragens, registraram-se níveis de contaminação mais elevados para alguns metais, como níquel, zinco, sendo também detectados nos anos mais recentes níveis de fenol acima do limite recomendado pela legislação.

Neste reservatório, o alumínio, condutividade elétrica, cor, D.B.O., ferro, fósforo, nitrito e o oxigênio se apresentaram em desconformidade com a legislação vigente.

As concentrações de fósforo-total foram superiores aos estabelecidos pelo CONAMA (2005) em todos os anos, revelando característica de um ambiente hipereutrófico. As concentrações de fenol foram constantes em todos os locais amostrados com valores até 100 vezes superiores ao limite proposto pelo CONAMA (2005). Tal informação merece especial atenção em virtude de sua alta toxicidade. Também alguns outros contaminantes superaram de maneira extraordinária os valores superiores ao preconizado pelo CONAMA (2005), como o alumínio e cobre, além de ferro, manganês, níquel e zinco (AES Tietê, 2008).

A análise conjunta dos dados e informações apresentados nos tópicos precedentes, relativos aos usos e à qualidade das águas do reservatório de Barra Bonita e de seus tributários inseridos na Área de Estudo, sugere que os padrões de qualidade da água observados são resultantes, prioritariamente, da contribuição do rio Tietê, principal responsável pela introdução de cargas poluidoras difusas e contaminantes no reservatório, originadas na sua bacia de contribuição e também dos grandes núcleos urbanos existentes no alto curso desse rio, incluindo a Região Metropolitana de São Paulo (AES Tietê, 2008).

Uma identificação mais precisa da origem dos diferentes contaminantes e nutrientes e a localização dos aportes mais importantes é necessária para maior efetividade de medidas de controle.

Sendo assim, as informações obtidas atestam que o principal problema do reservatório da UHE Barra Bonita, do ponto de vista de limnologia, consiste no processo de eutrofização de suas águas, que pode causar prejuízos aos usos múltiplos da represa, principalmente na perspectiva da pesca, turismo e lazer, além da própria operação da usina.

Contudo, a intensa ocupação das margens do reservatório por áreas agrícolas, pastagens, estabelecimentos agroindustriais e industriais, empreendimentos de turismo e lazer, condomínios, marinas e atracadouros, além dos portos de areia e de embarque e desembarque de farelo de soja, também deve ser considerada como fator contribuinte para uma condição inadequada da qualidade das águas do reservatório, pois o lançamento de efluentes de fontes

rurais difusas situadas no entorno próximo do reservatório, certamente, amplia os efeitos resultantes da recepção de cargas poluentes originadas em fontes mais distantes e aportadas ao lago pelo rio Tietê.

Portanto, torna-se essencial adotar programas de saneamento das áreas urbanas e ações que visem reduzir o fluxo de cargas difusas geradas na região onde se insere o reservatório e bem como de seu entorno.

4.3. Relato de manutenção

Para a elaboração do estudo a área de engenharia da AES Tietê foi consultada e forneceu o “Relatório Técnico UHE Barra Bonita – Atividades de Manutenção em Unidade Geradora decorrente da Presença de Vegetação Aquática, Madeira e Mexilhão Dourado nas Grades da Tomada d’água das Unidades Geradoras (UG) 01, 02 e 04” que se encontra resumido a seguir:

“Em 11 de julho de 2011, foi verificado que a Unidade Geradora - UG01 da UHE Barra Bonita não atingia a potência ativa pré-estabelecida pelo sistema de geração, pois era solicitada a potência de 40 MW e esta somente atingia 33 MW. Com base em fatos similares, suspeitou-se de obstrução parcial das grades de tomada d’água. Neste sentido, foi solicitada a retirada da UG01 do sistema visando à segurança e confiabilidade do equipamento

Após acionada a equipe de mergulhadores contratados para inspeção subaquática ficou constatado que aproximadamente 70% das grades da tomada d’água da UG01 estavam ocupadas por vegetação e outros detritos (vegetação, lixo, mexilhão dourado e troncos de árvores). Com esta constatação foi elaborado um plano de ação para limpeza das grades da tomada d’água. A equipe de mergulhadores foi composta de 18 funcionários, equipe de apoio da usina com 4 funcionários e 1 operador de guincho .

As figuras 15,16,17,18, 19 e 20 ilustram a manutenção realizada:



Figura 15 - Limpeza das tubulações do sistema de resfriamento principal da UG01



Figura 16 - Limpeza dos filtros do sistema de resfriamento principal da UG01



Figura 17- Guincho em operação de retirada de vegetação



Figura 18 - Limpeza das grades de tomada d'água da UG01



Figura 19 - Retirada de vegetação das grades de tomada d'água da UG01



Figura 20 - Mexilhão dourado retirado e impregnado na vegetação aquática

Foram retirados aproximadamente 80 toneladas de resíduos e em 22 de julho de 2011 a UG01 foi sincronizada e elevada à potência máxima de 40 MW.”

Essas evidências comprovam o real problema da poluição difusa e o levantamento de seus impactos em reservatórios hidroelétricos apresentados anteriormente. Pode-se notar que a limpeza não é uma tarefa simples, e envolve diversos fatores que impactam financeiramente, como parada de máquinas e contratação de empresa especializada no serviço.

5. MEDIDAS MITIGADORAS

Segundo Tomaz (2006) existem 3 maneiras de se controlar a poluição difusa:

- Prevenir a geração de poluentes (agricultura, pecuária, lixo, etc.);
- Aumentar as áreas permeáveis;
- Tratar as águas pluviais antes de atingir os cursos d'água.

Todas as atividades geradoras devem observar as seguintes premissas (Silva e Magalhães, 2001): (a) utilização de recursos, atendendo as taxas permitidas pelo meio; (b) situar atividades em áreas e em ecossistemas com uma alta capacidade de suporte; e (c) a emissão de efluentes de determinada atividade não ultrapasse a capacidade de assimilação do meio ambiente.

As estratégias para redução da poluição devido às atividades agrícolas devem ter como meta a redução do deflúvio superficial, a redução do uso de agroquímicos e o manejo adequado dos efluentes produzidos pelos sistemas de criação de animais em confinamento. As práticas relacionadas com a redução do escoamento superficial são baseadas na melhoria da qualidade da estrutura do solo e, conseqüentemente, na qualidade do sistema poroso. Isso possibilita que as taxas de infiltração se mantenham elevadas e, com isso, o volume escoado é reduzido.

Esse conhecimento é fundamentado em princípios como rotação de culturas, manejo integrado de pragas, uso de adubos verdes, etc. Nesse sentido, o modelo de produção baseado na agroecologia seria de grande interesse para a sociedade, uma vez que esse sistema é baseado no uso de tecnologias de produção de baixíssimo impacto aos recursos hídricos. (Merten; Minella, 2002)

Outra forma de se reduzir os riscos de lavagem de nutrientes é incorporar ao solo os restos de palhas deixados no solo após a colheita. Estes resíduos dão origem à proliferação de microrganismos do solo que absorvem o nitrogênio mineral existente no meio para poderem decompor esses resíduos, evitando que este se perca nas águas de infiltração.

Mais tarde, o nitrogênio assim imobilizado pelos microrganismos do solo será libertado e cedido à própria cultura.

Além do controle do deflúvio através de práticas de manejo, é importante se ater ao manejo da zona ripária (a faixa de vegetação próxima aos rios) uma vez que o manejo dessa zona é extremamente importante para reduzir a carga poluente que é introduzida para os corpos de água através do escoamento superficial.

A vegetação natural, principalmente, a de grande porte e densa, contribui muito para evitar a erosão. Deste modo, o tipo de cobertura vegetal pode implicar em maior ou menor perda de solo.

Para cumprir essa função é necessária a manutenção ou recomposição da mata ciliar e o estabelecimento de uma faixa de vegetação densa junto a ela para servir de filtro dos poluentes transportados pelo escoamento.

Já o manejo dos dejetos proveniente de confinamentos torna-se fundamental para o planejamento e implantação de sistemas de confinamento (bovinos, suínos, ovinos, aves).

Algumas técnicas e equipamentos (Silva e Magalhães, 2001) podem ser utilizados para o tratamento e disposição dos resíduos de animais, como: biodigestores, esterqueiras e bioesterqueiras, compostagem e vermicompostagem (adubação), reutilização como ração, lagoas de estabilização, etc.

Com isso a redução do uso de agroquímicos e o manejo adequado de dejetos de animais constituem práticas essenciais para reduzir os problemas de poluição da água. É preciso direcionar os esforços para resgatar o conhecimento de tecnologias menos intensivas no uso de agroquímicos e mais intensivas no uso do conhecimento agrônômico e da compreensão das interações dos ecossistemas agrícolas.

A utilização da Educação Ambiental também é de fundamental importância para todas as atividades, especialmente os pequenos produtores a procurar novas formas de manejo que evitem a erosão e o uso de práticas inadequadas.

Para o entorno do reservatório sugere-se uma série de medidas que podem ser tomadas a fim de reduzir o impacto da poluição difusa (AES Tietê, 2008):

- Recuperação da faixa de Área de Preservação Permanente (APP) com plantio de mudas de espécies vegetais nativas características da região revegetando a mata ciliar em uma faixa de 100m, nos trechos onde ocorre atividade agropecuária na faixa lindeira. Tendo em vista que essa vegetação atua como uma barreira física ao fluxo de sólidos, de dejetos animais e de insumos agrícolas aplicados nas lavouras, a adoção de

programas de conservação e recuperação da mata ciliar deve se estender às principais sub-bacias contribuintes do reservatório;

- Realocação das ocupações irregulares das bordas para além da faixa de 100 m a partir da linha d'água do reservatório. Identificação de instalações inadequadas visando sua regularização/transferência para áreas adequadas;
- Restrição quanto aos tipos de ocupação em terrenos de alta e muito alta suscetibilidade aos processos do meio físico;
- Cadastramento, monitoramento e acompanhamento das atividades de mineração reservatório e que tem implicações na APP;
- Implantação de Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas;
- Restrição de acesso ao reservatório permitido apenas a pedestres e pescadores autorizados;
- Coibição da inserção de novas captações ou intervenções em cursos d'água em áreas em que a vegetação se encontre preservada;
- Intensificação da fiscalização sobre a faixa de vegetação ao longo do reservatório;
- Implementação de ações permanentes de educação ambiental, direcionadas à informação e à sensibilização da comunidade na recuperação e manutenção da qualidade ambiental da faixa marginal do reservatório. Inclusão de medidas de divulgação sobre a importância da preservação no entorno do lago para a vida aquática, a saúde e o bem estar da população em geral;
- Apoiar medidas de controle e redução de processos erosivos, incluindo a implantação de obras que não exijam movimentação de terra, observados os períodos de maiores índices pluviométricos;
- Incentivar atividades econômicas e atividades rurais compatíveis com a proteção dos recursos hídricos;
- Monitoramento das atividades de navegação.

Com relação à água de lastro é extremamente importante que métodos de tratamento ou gerenciamento de água substituam a atual forma de troca de lastro no curso d'água. A introdução de espécies exóticas por água de lastro, ou nos cascos de embarcações, é fator determinante da redução da biodiversidade nos cursos d'água e no impacto a geração de energia, e a seleção dos métodos adequados para mitigar os riscos da introdução dessas

espécies dependem de diversos fatores, como tipo de organismos que estão sendo considerados, nível de risco envolvido, sua aceitabilidade ambiental, custos econômicos e ecológicos envolvidos e segurança dos navios. Para isso faz-se necessária uma política nacional de gerenciamento de água de lastro armazenada e descarregada por navios em águas territoriais nacionais.

Segundo a EPA (1991), como uma estratégia de um jogo de xadrez, o controle da poluição difusa baseia-se em poucas peças básicas, utilizadas avulsas ou em conjunto para a vitória, são elas:

- Conscientização pública – Aumentar o nível de conscientização da população mostrando o quanto a poluição difusa afeta a qualidade da água e a vida da comunidade, fornecendo informação e ferramentas para educar e informar pessoas sobre as causas e a gravidade da poluição difusa;
- Soluções de sucesso – Compartilhar informação com os governos locais sobre casos de sucesso, soluções práticas e factíveis;
- Incentivos financeiros – Ajudar a verificar as forças econômicas que impulsionam os comportamentos causadores de poluição difusa, oferecendo incentivos financeiros que encorajem as pessoas a instalarem controles de poluição ou alterar as práticas de uso da terra;
- Programas de governo – Trabalhar para melhorar a capacidade dos estados e governos locais para desenvolver suas próprias soluções regulamentares;
- Ciência – Desenvolver ferramentas técnicas para o controle da poluição difusa.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A influência da poluição difusa na operação de usinas hidroelétricas foi claramente levantada e comprovada.

A gestão da poluição difusa de reservatórios e a sua prevenção são fatores que devem ser prioridade em programas de restauração e monitoramento da água. Os programas existentes devem reforçar a busca pela eficiência tecnológica no controle da poluição das áreas rurais, por meio de pesquisa dos impactos na água.

A degradação da qualidade dos corpos d'água do rio Tietê é resultado das ações antrópicas ao longo de toda a área da bacia. A presença da urbanização e da atividade agropecuária nessa área tem como consequência a poluição (pontual e difusa) comprometendo a qualidade dos recursos hídricos.

Pôde-se constatar também a importância da cobertura do solo em Áreas de Preservação Permanente (APP), pois a vegetação reduz o escoamento e filtra dos poluentes transportados.

As recomendações de medidas mitigadoras buscaram levar em conta a necessidade da constante manutenção das características do reservatório, no que diz respeito à qualidade da água e a necessidade de garantir sua adequada inserção socioambiental e institucional.

O planejamento das áreas urbanas e rurais dos municípios deve prever a conservação dos recursos naturais, a recuperação de áreas degradadas, a indicação das atividades antrópicas aptas para a área em termos de solo e tecnologia, os acessos ao reservatório e a geração de energia elétrica, entre outros usos.

Deve-se cobrar uma possível mudança na legislação, a fim de que por meio de exigência legal se busque a retenção do escoamento superficial e adequação de atividades poluidoras que hoje não possuem regulamentação definida, diminuindo assim a propagação da poluição difusa.

A poluição dos corpos d'água aliada ao planejamento inadequado dos recursos hídricos e até mesmo sua escassez já constatada em diferentes locais do mundo reafirma o conceito de que a água é um recurso limitado e também é um recurso não renovável, contrariando as ideias nas quais a água era um recurso infinito.

Se não bastassem estas considerações, a disponibilidade espacial e temporal devido à diversidade de climas, condições socioeconômicas, ao crescimento populacional e à expansão agropecuária tende a agravar a situação tornando o recurso ainda mais limitado.

Trata-se de um problema social e legal complexo. Conclui-se enfim que a melhor solução para o problema da poluição é a prevenção aliada à educação ambiental evitando em primeiro lugar a produção e descarte de poluentes, e em seguida a correta administração do uso e ocupação das terras para que ela não cause a degradação das águas no entorno.

REFERÊNCIAS

AES TIETÊ. Acervo Fotográfico, São Paulo, 2012.

AES TIETÊ. Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do reservatório Artificial – UHE Barra Bonita, São Paulo: Arcadis Tetraplan, 2008

AES TIETÊ. Programa de Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas e Reservatórios. Ictiofauna e Qualidade de Água. Período junho de 2000 a dezembro de 2006. São Paulo: AES-ECO-UEM. 2007.

AES TIETÊ. UHE Barra Bonita: Relatório Ambiental. São Paulo: MRS Estudos Ambientais, 2001.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2011. www.aneel.gov.br (acesso em dezembro de 2011).

AZEVEDO, A. A. Análise dos impactos Ambientais da Atividade Agropecuária no Cerrado e suas inter-relações com Recursos Hídricos na Região do Pantanal. Dissertação de Mestrado. UFMT, 2004.

BRAMORSKI, J. Avaliação da qualidade de sedimentos dos rios Tietê e Piracicaba no compartimento de entrada do Reservatório de Barra Bonita, SP. 2004. 135 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

BORSARI, R. Plano de Manejo das Macrófitas nos reservatórios da AES Tietê S/A . São Paulo, maio de 2009

CARVALHO, N.O; FILIZOLA JÚNIOR, N.P; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios. Brasília: ANEEL. 2000.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia Prática. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.

CEEE Geração e Transmissão. Como funciona uma Usina Hidrelétrica. Rio Grande do Sul, 2011.

CESP – Companhia Energética de São Paulo. Apresentação: Impedimentos ambientais para geração de energia elétrica. São Paulo, 2006.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo, 2010 - São Paulo : CETESB, 2011

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n. ° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicação: Diário Oficial da União, 18 de março de 2005.

DARRIGRAN, G.A.; DAMBORENEA, M.C.; PENCHASZADES P.E.,. A case of hermaphroditism in the freshwater invading bivalve *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (Mytilidae) from Rio de La Plata, Argentina. *Iberus*, 16 (2): 99-104, 1998.

DI CASTRI, F.,. History of biological invasions with special emphasis on the old world. Pages 130. In: J. A. Drake, H. A. Mooney, F. di Castri, R. H. Groves, F. J. Kruger, M. Rejmanek, and M. Williamson, editors. *Biological invasions: a global perspective*. John Wiley & Sons, New York, New York. USA, 1989.

EPA – Environmental Protection Agency. *Master Strategies for Clean Water: The 319 Program*, 1991.

FONSECA, Gizele Araújo Borba. *Contribuição Antrópica na Poluição de Reservatórios Hidrelétricos: o Caso da Usina Hidrelétrica de São Simão - GO/MG*. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

GENTIL, V. CORROSÃO. Instituto de Química (UFRJ), G. B. Almeida Neves Editores LTDA, Rio de Janeiro, 1970.

HEITZ, E., H. C. FLEMING, e W. SAND. *Microbially influenced corrosion of materials*. Berlin: Springer - Verlag, 1996.

LOAGUE, K.; CORWIN, D.L. e ELLSWORTH, T. R.,. The challenge of predicting nonpoint source pollution. *Environmental Science and Technology*, p. 130-133, 1998.

MACIEL, C. L. “Estudos dos processos geoquímicos de obstrução de filtros de barragens.” Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da USP. São Paulo, 1982.

MARANGONI, P.R.D. *Caracterização de biofilmes formados em superfícies metálicas e biocorrosão*. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2010.

MERTEN, Gustavo H. MINELLA, Jean P. *Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura*. Porto Alegre, v.3, n.4, out/dez 2002

NOVOTNY, V. Difuse pollution from agriculture. Water Science and Technology, Great Britain, v.39, n.3, p.1-13, 1999.

ONG Água de Lastro Brasil. Cartilha: A Água de Lastro e os seus riscos ambientais São Paulo: Associação Água de Lastro Brasil, 2009

PADUA, Valter L.. Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES, 2009

PINHARANDA, José F. SIMAS, Maria J. Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste. Parte II – Poluição difusa. Revisão 1. Portugal: Ministério do Meio Ambiente e do Ordenamento do Território. Jun, 2010

PORTO, Monica F.A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In Drenagem Urbana, ABRH: 1ª ed, 1995.

PRADO, R.B. E NOVO, E.M.L.M.. Análise Espaço-Temporal da Relação do Estado Trófico do Reservatório de Barra Bonita (SP) com o Potencial Poluidor da Bacia Hidrográfica - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2006.

SILVA, E.T.; MAGALHÃES, C.S. Controle de poluição de atividades pecuárias. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 22, n. 210, p. 62-76, 2001.

SILVA, J.S.V. ; SOUZA R.L.. Água de Lastro e Bioinvasão. Editora Interciência. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

SILVA, L.C.; FERNANDES, A.L.V. e OLIVEIRA, W. Análise do uso e ocupação do solo na microbacia Dom Tomaz no município de Três Lagoas - MG. Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté, Brasil, IPABHi, p. 325-330, 07-09 novembro 2007.

SIMIS, J. T.; SIMARD, R. R.; JOERN, B. C. Phosphorus loss in agricultural drainage: historical perspective and current research. Journal of Environmental Quality, v.27, p.277-293, 1998.

TOMAZ, Plínio. Poluição Difusa. São Paulo: Navegar Editora, 2006.

TUCCI, Carlos E. M. Elementos para o controle da drenagem Urbana. Departamento de Hidromecânica e Hidrologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

VIDELA, H. A. Biocorrosão, Biofouling e Biodeterioração de Materiais. 1. São Paulo: E. Blucher, 2003.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2ª Ed, Belo Horizonte: DESA/UFMG, 243 p, 1996.