Tendências na Análise de Impactos da Implementação de Barragens: Lições do Estudo de Caso das Barragens de Uso Múltiplo da Bacia do Rio Santa Maria

Rafael Cabral Cruz
Campus de São Gabriel, UNIPAMPA
rafaelcabralcruz@gmail.com

Jussara Cabral Cruz, Geraldo Lopes da Silveira
Depto Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSM
jussaracruz@pesquisador.cnpq.br, geraldo.ufsm@gmail.com

Fábio Silveira Vilella
Simbiota
fabio@simbiota.com.br

Recebido: 13/07/08 - revisado: 27/09/09 - aceito: 05/03/10

RESUMO

Este artigo aborda as tendências para análise do balanço de impactos possíveis em empreendimentos de barragens, considerando diferentes aspectos que devem ser inseridos na análise, como os usos múltiplos, o balanço hídrico de outorga, a fragmentação dos rios, as alterações na vegetação ribeirinha, nas áreas úmidas, as alterações de regimes de sedimentos e de qualidade das águas no reservatório e suas implicações locais e a jusante do mesmo. A abordagem metodológica utilizada combina análises qualitativas com simulações, estruturada através de uma compartimentação dos trechos da bacia hidrográfica resultantes da introdução da barragem: a bacia de montante, o reservatório propriamente dito e o rio à jusante. Também foi incluída discussão sobre os efeitos resultantes da alteração do uso e cobertura da terra e sobre as águas subterrâneas. As análises levam em consideração o acervo existente de estudos na região. A análise de balanço dos impactos foi realizada para o estudo de caso das barragens do Taquarembó e do Jaguari na bacia do Rio Santa Maria, RS. Como resultados são apresentadas várias recomendações de estudos necessários durante o processo de licenciamento ambiental e que servem para embasar e subsidiar o plano de manejo das obras e de mitigação dos seus impactos. O estudo conclui da necessidade da integração da gestão ambiental e de recursos hídricos, através de um estudo em escala de bacia hidrográfica alicerçado em estudos de fragilidades ambientais e do Zoneamento Ecológico-Econômico.

Palavras-chave: : licenciamento ambiental, barragem, impacto ambiental.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a análise de impactos ambientais da implantação de barragens tem sido efetuada considerando principalmente os impactos locais diretos e indiretos (Áreas de Influência Direta e Indireta), com ênfase no canteiro de obras e no reservatório. Isto acontece porque o sistema de licenciamento ambiental brasileiro começa com a Licença Prévia, também chamada de licença de localização, que estabelece a viabilidade de implantação do empreendimento em determinado sítio (Resolução CONAMA 237/97; Brasil, 1997). Normalmente, os Termos de Referência para elaboração de EIAs/RIMAs somente consideravam, por exemplo, o trecho de jusante em termos de impacto sobre os usuários da água (NATURATINS, 2008). O rio não é considerado como um sistema de rede. No entanto, estas práticas não estão de acordo com o que prevê a legislação ambiental, que prevê que a unidade de planejamento é a bacia hidrográfica e que todos os estudos devem levar em conta os efeitos na mesma. Normalmente, o atendimento a este preceito é formalmente contemplado informando a bacia hidrográfica na qual está inserido o empreendimento, não pelo estudo da propagação dos impactos em toda a bacia através da conexão da rede hidrográfica.

Os impactos ambientais não abordados no sistema em rede acabam por potencializar os conflitos e gerar tensões que causam prejuízos sócio-ambientais significativos (CMR, 2000; Rezende & Rothman, 2005).

A partir do debate que encontrou seu ápice com a publicação do relatório da Comissão Mundial de Represas (CMR,*op.cit.*) várias iniciativas começaram a ser desenvolvidas o sentido de fazer evoluir o processo de analise de impactos de barragens, incluindo a análise de fragilidades ambientais em escala de bacias hidrográficas (FEPAM/UFRGS, 2001, 2004; Silveira *et al*., 2005; FEPAM/UFSM, 2005) e a avaliação ambiental integrada de bacias hidrográficas (Tucci e Mendes, 2006; EPE, 2007), que resultaram em uma atualização dos termos de Referência para Estudos de Impacto Ambiental de barragens que foi emitido em 2005 pelo IBAMA, válido para empreendimentos sob licenciamento federal (IBAMA, 2005).

Neste contexto de grande desenvolvimento metodológico da área de licenciamento ambiental de barragens, há uma grande heterogeneidade de comportamentos dos órgãos ambientais, dada a sua volatilidade de pessoal ou devido ao peso político da área ambiental sobre as decisões referentes aos grandes projetos de investimentos. As incertezas relativas aos desenvolvimentos técnico-científicos recentes, a pouca disponibilidade de pessoal qualificado nestas áreas novas, tem levado a uma grande variedade de comportamentos institucionais, resultando em processos de licenciamento que não necessariamente acompanham os avanços metodológicos refletidos em nível federal nas unidades da federação.

Neste estudo, procurou-se revisar conteúdos sobre hidrologia e ecologia de bacias hidrográficas, rios e de barragens que permitam um balanço de impactos ambientais integrado e expedito, capaz de orientar o processo de licenciamento de barragens.

O objetivo deste trabalho foi verificar como os estudos destinados à análise prévia de impactos ambientais efetuados na bacia do rio Santa Maria situam-se diante do estado da arte de conhecimentos sobre a ecologia dos rios, visando contribuir para que os órgãos ambientais possam revisar os requisitos de informações que fundamentam os Termos de Referência para Estudos de Impacto Ambiental de barragens de uso múltiplo.

Os estudos de caso nos quais se sustenta a abordagem referem-se às barragens de uso múltiplo dos arroios Jaguari e Taquarembó, afluentes do rio Santa Maria, formador do rio Ibicuí, principal afluente do rio Uruguai no Rio Grande do Sul.

ARCABOUÇO TEÓRICO

De acordo com Straškraba & Tundisi (2000) e Tundisi (2006), os reservatórios de barragens devem ser tratados como ecossistemas. Pode-se compartimentalizar estes ecossistemas em três subsistemas físicos e um subsistema antrópico (Straškraba & Tundisi, *op.cit.*):

- "As bacias hidrográficas e as vazões afluentes;
- O reservatório;
- As vazões liberadas; e
- A socioeconomia e o gerenciamento".

Nessa perspectiva o primeiro compartimento é influenciado e definido pelo regime de chuvas e pelo padrão de uso e cobertura da terra, que podem alterar a partição dos diversos componentes do balanço hídrico e determinar a quantidade de água que chega ao rio. Este compartimento somente pode ser parcialmente manejado pelos gerentes do reservatório através do Plano Diretor do Reservatório e através de ações compartilhadas com as instituições responsáveis pela gestão da bacia hidrográfica, capazes de induzir mudanças no ciclo hidrológico. No entanto, como não é afetado pelas decisões da operação do reservatório, não será tratado nessa análise a não ser como fonte de vazões afluentes e de cargas poluentes.

O reservatório, segundo Straškraba & Tundisi (2000), "*é um coletor e digestor das entradas e dos efeitos existentes nas bacias hidrográficas*". Ou seja, processa energia, materiais e informações contidas nas vazões afluentes. Quanto maior o tempo de residência das águas no reservatório, maior o processamento dentro do reservatório, resultando em mudanças no regime térmico das águas e de trocas térmicas com a atmosfera e em alterações químicas e físico-químicas das águas. Pode-se dizer que o reservatório determina uma mudança do regime lótico (de águas correntes) para lêntico (de águas paradas). Na verdade, o reservatório pode se situar em um *continuum* entre lótico e lêntico, dependendo do porte, do grau de regularização e do tempo de residência das águas.

O processamento das vazões e das cargas de materiais dissolvidos e em suspensão, ocorrido no interior do reservatório, bem como as características construtivas e regras operacionais da barragem irão determinar a quantidade e qualidade das águas liberadas para jusante. Segundo Tundisi (2006), "*os reservatórios estão,..., submetidos a complexas funções de*

forças naturais e artificiais que determinam suas características dinâmicas: a circulação e a estratificação térmicas, os fluxos unidirecionais, as respostas às entradas de energia mecânica (intrusões) e os efeitos da energia cinética produzida pelo vento. Portanto, além de estarem submetidos às funções de força naturais resultantes dos regimes climatológicos e hidrológicos, a operação do reservatório, o tipo de construção e seus usos interferem na dinâmica do sistema e em sua organização espacial e temporal".

O reservatório afeta e é afetado diretamente pelas decisões de manejo, ou seja, da operação do reservatório. As decisões de manejo devem ser tomadas antes da construção do reservatório, pois as características construtivas acabam determinando a maior parte dos impactos sobre o regime hidrológico do trecho de rio situado à jusante.

O impacto causado sobre o trecho de jusante é resultante de alteração da qualidade e da quantidade da água, o que depende do que ocorre com as cargas afluentes e seu metabolismo dentro do reservatório, da capacidade de regularização do mesmo e das profundidades de captação.

Também deve se considerar que uma barragem não é um empreendimento de impacto local. É um empreendimento que provoca a propagação em rede, tanto à montante, como à jusante, dos impactos ambientais, pois o rio é um ecossistema de fluxo (Postel & Richter, 2003; FEPAM, 2004; Silveira et al., 2005).

De acordo com Benda *et al*. (2004), os efeitos de confluência podem mitigar os impactos de um barramento. Neste caso, a confluência de contribuintes importantes pode mitigar os efeitos da supressão de vazões para os diversos usos consuntivos.

Deste modo, o principal impacto de uma barragem é a fragmentação do rio. A implantação física do barramento altera as condições hidrossedimentológicas do rio, colocando uma barreira que adiciona um trecho lêntico ao longo de uma rede lótica.

Além das características relacionadas às vazões e cargas poluentes, que determinarão as modificações na qualidade das águas, que devem respeitar as normas referentes ao enquadramento dos corpos de água (Resolução CONAMA 357; CONAMA, 2005), o trecho barrado deve garantir a conectividade dos hábitats dos peixes migradores (Postel & Richter, 2003; FEPAM, 2004; Britto e Sirol, 2006) e o regime de pulsos necessário para preservar hábitats para as espécies ribeirinhas (Neiff, 1990; Junk & Wantzen, 2004; Cruz, 2005).

O projeto deve garantir, portanto, um regime de vazões que mantenha as condições de perpetuação da vida das espécies aquáticas e ribeirinhas. Este princípio está estabelecido na legislação de águas, que estabelece a necessidade de manutenção de uma vazão ecológica no trecho de rio, bem como nas recomendações da Comissão Mundial de Barragens (CMR, 2000).

Barragens causam diversos impactos ambientais (irrigação, abastecimento público, manutenção de condições de balneabilidade, alteração dos ecossistemas, perda de biodiversidade, alteração do regime hidro-sedimentológico, etc.) . A viabilidade social e ambiental de uma barragem depende do balanço entre benefícios resultantes da implantação do empreendimento e prejuízos sociais e ambientais do mesmo, o qual envolve a valoração dos mesmos pelos diversos atores envolvidos no processo de tomada de decisão. Dependendo do ponto de vista do ator, um impacto pode ser classificado como positivo ou negativo. Por exemplo, o efeito de regularização de vazões pode ser considerado como efeito positivo em relação aos prejuízos causados pelas cheias e secas, mas negativo do ponto de vista da conservação da biodiversidade. Para tal, considera-se que os impactos ambientais significativos irreversíveis devam ser mitigados e/ou compensados. Uma estratégia de mitigação envolve a configuração ótima das estruturas do empreendimento, de modo a permitir o controle operacional completo das vazões e das profundidades de captação, associada a uma regra operacional que minimize os danos sobre o regime natural de vazões.

Sendo assim, os impactos ambientais significativos de uma barragem podem ser analisados, inicialmente, através dos seguintes compartimentos do sistema:

- A bacia de montante;
- O reservatório;
- O rio à jusante do empreendimento;
- As alterações diretas ou induzidas do uso e cobertura da terra;
- As alterações provocadas sobre as águas subterrâneas.

A bacia de montante

Os impactos resultantes da implantação de uma barragem se propagam à montante através da alteração das comunidades bióticas e dos efeitos causados pela mudança do nível de base do perfil de equilíbrio do rio. Este efeito tende a ser maior quanto maior a erodibilidade do trecho situado à montante do reservatório. Outro aspecto refere-se às

alterações na fauna aquática. A mudança do hábitat, bem como as mudanças na movimentação das espécies migradoras e no efeito de dispersão de espécies pelo arraste hídrico, podem alterar as relações de competição e predação, resultando em alterações significativas nas assembléias de espécies aquáticas, com possibilidade de favorecimento de propagação de espécies exóticas. Aspecto também a ser considerado, quando o caso exigir, refere-se ao efeito inverso da fragmentação que pode ser causado pela implantação de barragens em locais onde existem barreiras naturais. Nestes casos, devem ser avaliados os impactos referentes à transposição de espécies para ambientes antes isolados.

Do ponto de vista do manejo, pouca interferência tem o empreendedor ou gestor da barragem sobre a bacia de montante, embora a barragem dependa, quanto à sua vida útil e qualidade da água, de tudo que é feito na sua área de contribuição. Considerando-se a propagação dos efeitos em rede, torna-se necessária a integração de instrumentos da gestão de recursos hídricos e gestão ambiental para que os impactos ambientais possam, sergerenciados adequadamente. Deste modo, O Zoneamento Ecológico-Econômico deve fundamentar a regulamentação do uso da terra na bacia e estabelecer uma condição necessária de contorno para o Plano de Bacia.

O reservatório

De modo geral, diversos autores (BMZ, 1996; CMR, 2000; Postel & Richter, 2003; FEPAM, 2004) referem que os principais impactos ambientais relacionados diretamente ao reservatório são:

- Mudança de regime lótico para lêntico;
- Alteração do regime hidrossedimentológico;
- Mudanças na qualidade da água;
- Favorecimento de espécies exóticas e alteração das assembléias da fauna aquática.
- Alteração micro-climática;

A mudança do regime de lótico para lêntico afeta as principais características físicas que representam as funções de força mais importantes do regime dos rios e reservatórios: as vazões e as cargas sedimentares associadas. As características construtivas e regras operativas, juntamente com a natureza da bacia a montante, determinam o comportamento do reservatório. Straškraba & Tundisi (*op.cit.*) listam as seguintes variáveis que afetam a biota de reservatórios:

- As vazões;
- Tipos de vales (geomorfologia);
- Temperatura das águas afluentes;
- Insolação;
- Turbidez;
- Química dos nutrientes.

A posição do reservatório, na rede hidrográfica, também afeta a tipologia dos lagos criados artificialmente e afeta as variáveis acima citadas.

As vazões determinam o funcionamento do sistema. Aportam ou diluem cargas de materiais dissolvidos ou em suspensão. Fazem variar o volume das águas e a área inundada, gerando pulsos que podem ter implicações significativas na colonização das margens pela biota ou afetar a estabilidade das mesmas. Grandes flutuações de águas nas margens podem desestabilizar as vertentes nas margens do reservatório e, em situações geotécnicas desfavoráveis, favorecer movimentos de massa (Maciel Filho, 1997).

Os tipos de vales irão determinar à configuração espacial do reservatório, o desenvolvimento de margens, a curva cota-inundação, bem como o potencial de alteração do micro-clima, a possibilidade de limpeza do reservatório pré-enchimento, o estímulo à ocupação das margens, a declividade das mesmas e sua estabilidade, entre outros aspectos.

As possibilidades de mistura do corpo de água, com impactos na qualidade da água (estratificação do lago), dependem do sistema de circulação dos ventos (Wetzel, 1981). Vales muito profundos podem funcionar como condutos forçados, potencializando os ventos, ou abrigar o vale dos ventos, dependendo da orientação do vale em relação aos ventos predominantes e do aprofundamento e largura dos vales. Também o comprimento da superfície do lago longitudinal à ação do vento ("*fetch*") depende da morfologia do terreno e da altura da barragem, afetando a quantidade de energia adicionada pelo vento para a movimentação da massa de água.

A alteração no tempo de retenção das águas, bem como a temperatura das águas afluentes e a insolação tendem a provocar alterações fortes no reservatório, causando mudanças na densidade da massa de água que afetam a estabilidade e formação de termoclinas e a conseqüente estratificação do reservatório. Esteves (1988) cita que lagos tropicais e subtropicais tendem a estratificar com diferenças de temperatura muito menores que em lagos temperados.

A dinâmica de trocas energéticas entre o corpo de água do reservatório e a atmosfera podem determinar mudanças no microclima local (BMZ, 1996; CMR, 2000). O efeito líquido destas trocas dependerá do grau de capacidade de dispersão da massa de ar localizada sobre o reservatório, a qual está relacionada às condicionantes do relevo, ao volume e área do lago. Dada a grande dependência de variáveis locais, torna-se difícil a previsão da presença ou não de modificações microclimáticas. Grandes represas, como a UHE Passo Real, situada em região de clima Cfa II 2a (Moreno, 1961; Vörösmarty *et al*., 1998), afetam o microclima, permitindo a existência de cultura de cana-de-açúcar nas imediações do reservatório, cultura que tem baixa tolerância para geadas, (Donzelli, 2006).

Alguns estudos, como apresentado por Lagadinou (2003), demonstram, com base no monitoramento, que pouca alteração climática foi determinada pela implantação de barragens, no entanto, para as barragens de Pournari e Mornos, o autor encontrou uma elevação significativa da temperatura mínima. Berkamp *et al*. (2000) sistematizaram os impactos possíveis sobre o clima nos seguintes itens:

- Grandes reservatórios produzem um microclima devido ao armazenamento de calor, podendo causar mudanças no regime local de chuvas;
- Formação de nevoeiros nos primeiros momentos das manhãs e no inverno em climas temperados;
- Reservatórios rasos podem apresentar névoas mais densas em dias frios;
- Aumento da umidade e da ocorrência de nevoeiros pode criar hábitats favoráveis para insetos vetores de doenças (mosquitos, tse-tse);
- Reservatórios em climas frios podem ter pouco efeito quando coexistem com muitos lagos naturais.

Do ponto de vista do regime sedimentológico, cria-se uma zona de agradação no reservatório, devida a alteração do nível de base do rio, que determina uma perda de energia potencial, provocando a formação de pequenos deltas nos locais onde os cursos de água confluem ao reservatório (Blyth & Freitas, 1989).

Como o reservatório acaba compartimentalizado em três zonas (zona de rio, zona de transição e zona lacustre) que apresentam mudanças progressivas na profundidade, largura e na velocidade dos fluxos (Straškraba & Tundisi, *op.cit*.), os depósitos sedimentares tendem a desenvolver um gradiente granulométrico, com os sedimentos mais grosseiros situados nos trechos mais a montante e com finos depositados mais próximos ao eixo da barragem, dada a variação de velocidade das águas (Gordon *et al*., 2004). Os sedimentos finos, juntamente com a matéria orgânica sedimentada, tendem a reter poluentes, bem como, através da decomposição anaeróbica nos sedimentos, produzir gases reduzidos (H_2S, CH_4, NH_3, entre outros) que podem alterar drasticamente a qualidade das águas, fenômeno agravado em reservatórios com alto tempo de retenção e com grande profundidade, favoráveis à formação de estratificação permanente ou muito estável (Figura 1). Esta situação é agravada caso as cargas oriundas das bacias de contribuição lateral, bem como aquelas trazidas pelo rio principal, contribuam significativamente ao corpo de água.

O reservatório, portanto, é muito sensível às modificações do uso da terra no seu entorno imediato e às cargas de nutrientes e/ou poluentes originadas na bacia de captação à montante (Feitosa, Nogueira & Vianna, 2006). Também, torna-se muito sensível ao assoreamento (reduzindo sua vida útil), caso os solos situados a montante sejam susceptíveis à erosão e o uso da terra não siga as recomendações do Zoneamento Ecológico-Econômico e as boas práticas de conservação da terra.

O conjunto de alterações físicas e químicas causadas pelo reservatório representam fatores de fragmentação dos rios, que somados à barreira física da barragem determinam profundos impactos às comunidades aquáticas. A fragmentação, neste caso deve ser considerada também como resultado da qualidade do ambiente resultante das alterações na velocidade, oxigenação, pH, turbidez, temperatura, entre outras variáveis que determinam a disponibilidade de hábitats para espécies aquáticas, em especial para os peixes migradores e para a fauna bêntica. Estas alterações podem resultar em proliferação de espécies indesejadas, substituição de espécies de interesse econômico por outras de menor valor, propagação de vetores (problemas sanitários e de saúde pública) e extinção de populações de espécies de interesse especial (raras, endêmicas ou ameaçadas de extinção) (BMZ, 1996; CMR, 2000; Postel & Richter, 2003; FEPAM, 2004).

Medidas destinadas à mitigação da fragmentação envolvem, portanto, o manejo da qualidade da água do reservatório e das populações de peixes migradores, traduzidas em uma série de medidas de controle sobre a qualidade das águas vertidas e controle da qualidade das águas do fundo, que somente podem ser implementadas através da existência de

estruturas no corpo da barragem que permitam o controle total sobre a profundidade de captação e de uma rede de monitoramento da qualidade das águas em tempo real.

O rio à jusante do empreendimento

É consenso, manifesto por vários autores (BMZ,1996; Berkamp *et al*.,2000; CMR, 2000; Postel & Richter, 2003; FEPAM, 2004; Silveira *et al*., 2005), que o principal impacto que se produz à jusante do reservatório é a alteração do regime hidrológico de vazões, efeito este que cresce com a capacidade de regularização do reservatório e com a existência de alças de vazão reduzida ou outras formas de derivação sem retorno para o trecho imediatamente situado na sequência do eixo da barragem. A alteração do regime de pulsos afeta as diversas funções das vazões, sistematizadas por Postel & Richter (2003) no Quadro 1.

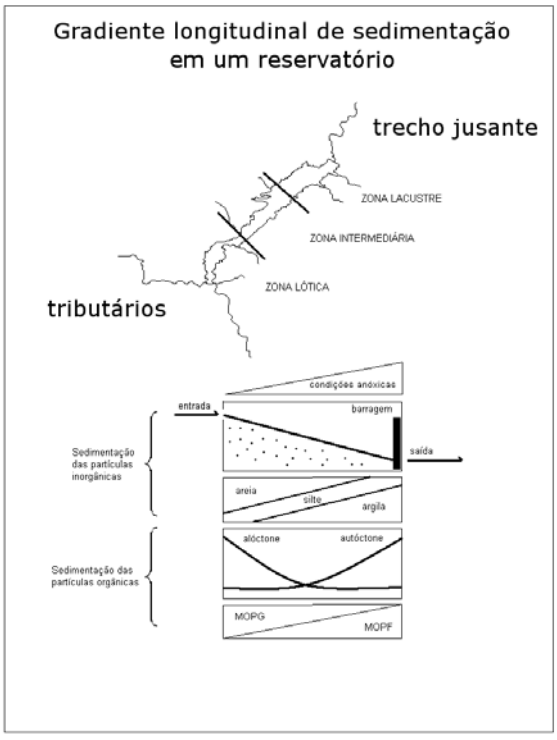

Figura 1 - Gradiente longitudinal de sedimetação em um reservatório (baseado em Zalewski & Wagner-Lotkowska, 2004). MOPG: matéria orgânica particulada grossa; MOPF: matéria orgânica particulada fina.

Alguns impactos da implantação de uma barragem são devidos diretamente à fragmentação do curso de água. Com a mudança do nível de base e elevação do potencial hidráulico em relação ao trecho de jusante, provoca-se uma tendência a um ajuste do perfil de equilíbrio do rio que tende a aumentar o poder erosivo do mesmo no trecho à jusante. Este fenômeno agrava-se pela interrupção do aporte de sedimentos retidos pela barragem (BMZ, 1996). A barreira física da barragem também altera a dinâmica de transporte de detritos e de troncos, responsáveis pelo enriquecimento da diversidade de hábitats nas confluências dos rios (Benda *et al*., 2004).

A qualidade da água no trecho à jusante varia com o tipo de represa, suas características construtivas e com o manejo operacional da mesma. Deste modo, a qualidade das águas à jusante depende do manejo cuidadoso da qualidade da água no reservatório, associado a um controle, através de estruturas hidráulicas planejadas para este fim, da profundidade de captação das águas vertidas.

Quando as águas vertidas são liberadas sem o adequado cuidado, pode-se passar do extremo de causar mortalidade de peixes pela liberação de águas anóxicas ou pobres em oxigênio, quando liberadas águas do fundo em condições de longo tempo de estratificação térmica, para o extremo de matar peixes por hiperoxigenação das águas, pela liberação das águas através de vertedouros com excesso de turbulência.

A barragem produz a retenção de sedimentos, reduzindo também o aporte de nutrientes para as áreas ribeirinhas situadas à jusante da barragem.

A liberação de águas com características físico-químicas diferentes das naturalmente ocorrentes no rio pode provocar um efeito de barreira para inúmeras espécies que não toleram as novas condições do hábitat. Nestes casos, as instalações destinadas a mitigar o efeito da fragmentação física, como os mecanismos de transposição para peixes, podem se tornar ineficientes, uma vez que muito antes os peixes já podem ter sido inibidos a subir o rio em função da qualidade degradada da água.

O manejo adaptativo da profundidade de liberação das águas, associado ao monitoramento em tempo real e a existência de estruturas hidráulicas que permitam o controle total sobre a profundidade de vertimento das águas, é condição inicial para a viabilização de outras medidas de mitigação dos efeitos da fragmentação do rio sobre as populações migradoras de peixes. Este mesmo controle permitirá, com base no conhecimento da afluência, manejar o regime de pulsos que devem ser preservados para cumprir com as funções ecológicas das vazões.

Quadro 1 - Funções ecológicas de diferentes níveis de vazões dos rios, adaptado de Postel & Richter (op.cit.).

Nível da vazão	Funções ecológicas (referentes ao trecho à jusante do barramento)
Vazões baixas (fluxo basal)	• Nível normal: • Provê espaço de hábitat adequado para organismos aquáticos; • Mantém temperaturas da água, oxigênio dissolvido e química da água; • Mantém níveis do lençol freático na planície de inundação e umidade do solo para as plantas; • Provê água para os animais terrestres beberem; • Mantém os ovos de peixes e anfíbios em suspensão; • Permite a locomoção de peixes para áreas de alimentação e desova; • Suporta organismos que vivem em sedimentos saturados. • Nível de seca: • Permite o recrutamento de certas espécies de plantas da planície de inundação; • Elimina espécies invasivas e introduzidas das comunidades aquáticas e ribeirinhas; • Concentra presas em áreas limitadas para favorecimento de predadores.
Vazões altas	• Molda o caráter físico do canal, incluindo poções e corredeiras; • Determina o tamanho dos grãos do substrato do fundo do canal; • Previne que a vegetação ripária invada o canal; • Restaura as condições da qualidade da água após longos períodos de águas baixas, levando embora poluentes e resíduos; • Oxigena ovos em cascalhos onde ocorre desova, prevenindo a siltação; • Mantém condições adequadas de salinidade em estuários.
Grandes inundações	• Provê estímulos para a migração e desova de peixes; • Precipita nova fase do ciclo de vida (insetos, p.ex.); • Permite aos peixes desovar na planície de inundação, proporcionando berçários para peixes juvenis; • Proporciona novas oportunidades de alimentação para peixes e aves aquáticas; • Recarga para o lençol freático da planície de inundação; • Mantêm diversidade nos tipos de florestas da planície de inundação, uma vez que diferentes espécies de plantas tem diferentes tolerâncias à inundação; • Controla distribuição e abundância de plantas na planície de inundação; • Deposita nutrientes na planície de inundação; • Mantêm balanço de espécies em comunidades aquáticas e ribeirinhas; • Cria locais para recrutamento de plantas colonizadoras; • Molda os hábitats físicos da planície de inundação; • Deposita cascalho, matacões e blocos em áreas de desova; • Arrasta materiais orgânicos (alimento), troncos, raízes, galhos (estrutura do hábitat) para o canal; • Elimina espécies invasivas e introduzidas das comunidades aquáticas e ribeirinhas; • Escarificação de sementes e frutos de plantas ribeirinhas; • Dirige o movimento lateral do canal do rio, formando novos hábitats (canais secundários, lagoas marginais); • Fornecem prolongado fornecimento de umidade para as plantas recém germinadas.

Alterações do uso e cobertura da terra (perímetro irrigado, canteiro de obras e reservatório)

As alterações sobre o uso e cobertura da terra provocados pela implantação de uma barragem resultam das modificações da disponibilidade de água para os usos desejados, da indução de mudanças no uso econômico do entorno do lago, da instalação do canteiro de obras e do enchimento do reservatório, com substituição de áreas terrestres por aquáticas.

Estas modificações resultam em perdas de hábitats terrestres e anfíbios. Estas podem se dar tanto em função do enchimento do reservatório, como devidas às alterações hidrossedimentológicas do trecho de jusante.

A inexistência de áreas de refúgio suficientes para a fauna pode resultar em extinções locais de espécies. Neste caso a conectividade dos ecossistemas ripários somente pode ser reconstituída após a restauração dos mesmos ao longo do perímetro do lago. Uma medida mitigadora seria implantar o

projeto de implantação da vegetação de proteção do futuro lago com ampla antecedência ao enchimento do reservatório, de modo a fornecer abrigo (Áreas Destino de Fauna) durante o período de limpeza do reservatório (desmatamento e remoção da matéria orgânica) e durante o enchimento. Estratégia neste sentido tem sido proposta por Cruz & Accordi (2003).

A implantação do lago pode estimular as populações a se instalarem mais próximas do rio, em função da regularização, bem como ocupar as margens do lago, seja para lazer e moradia como para aproveitar a proximidade da água para implantar culturas irrigadas. Estas alterações podem resultar na degradação da qualidade da água e na potencialização de processos erosivos que contribuem para diminuir a vida útil do reservatório ou criar novas situações de risco em cheias catastróficas (BMZ, 1996).

Nas barragens de uso múltiplo que contemplam a irrigação, os impactos ambientais se propagam através da rede de canais de distribuição e da alteração do uso da terra, com o estímulo da conversão de áreas de biótopos naturais e semi-naturais para áreas agrícolas. Este fenômeno pode estender os efeitos da degradação da qualidade da água de jusante por um trecho longo do rio, devido à introdução de adubos químicos, pesticidas e sedimentos no curso de água. Deste modo, estabelece-se um mecanismo de retroalimentação positiva da degradação. Ao estimular a mudança do uso da terra, o impacto é potencializado, em especial na área irrigada, que retorna água com cargas poluentes adicionais por um trecho longo de rio.

Desta forma, a regulação do uso da terra torna-se um mecanismo necessário para que os impactos positivos do empreendimento não sejam suplantados pelos negativos. Daí a necessidade do Zoneamento Ecológico-Econômico e do seu condicionamento sobre o Plano de Bacia, estabelecendo uma relação "de fato" entre a gestão ambiental e a de recursos hídricos.

Impactos sobre as águas subterrâneas

Pode-se afirmar que existem três mecanismos principais de alteração das condições das águas subterrâneas em função da implantação de uma barragem. O primeiro refere-se ao aumento de carga proporcionado pelo reservatório, que pode aumentar as taxas de infiltração para os aquíferos. Em muitos casos, esta condição é um impacto positivo. No entanto, quando existe uma degradação da qualidade da água do reservatório, principalmente da água do fundo, corre-se o risco de contaminar as águas do aquífero. Quando o fluxo de água subterrânea é intenso, a contaminação pode resultar na degradação da qualidade de águas de poços de abastecimento de populações ou de rebanhos. O segundo mecanismo de impacto se dá na dinâmica das águas subterrâneas, através do rebaixamento do lençol nas áreas ribeirinhas situadas à jusante da barragem e da possibilidade de serem levantados os níveis do lençol freático em locais indesejados, como consequência da locação de canais de irrigação (BMZ, 1996). O terceiro mecanismo refere-se ao risco de contaminação de aquíferos devido às mudanças na cobertura e uso do solo em áreas de recarga, induzidas pela implantação da barragem e seus projetos associados de irrigação.

Estudos geológicos adequados, bem como um programa de monitoramento de águas subterrâneas através da instalação de piezômetros e de acompanhamento dos poços existentes no entorno devem ser inserido dentro de uma estratégia de manejo adaptativo. Esta estratégia é paralela e colhe os frutos do manejo da qualidade da água do reservatório. Se este for bem efetuado, as águas que infiltrarão serão de boa qualidade, resultando em impacto positivo. Também aqui existe uma forte dependência do manejo conjunto dos recursos hídricos e do uso da terra. A implantação dos perímetros irrigados deve respeitar as boas práticas de proteção das áreas de recarga de aquíferos, o que deve ser garantido pelo Zoneamento Ecológico-Econômico, uma vez que os instrumentos de gestão de recursos hídricos não permitem a intervenção sobre o uso da terra. Juntamente, pode-se utilizar técnicas de ecohidrologia e fitotecnologia para retenção de nutrientes e de sedimentos adicionais resultantes da implantação do perímetro de irrigação (Zalewski & Wagner-Lotkowska, 2004). As possibilidades envolvem a inclusão de banhados cultivados em rotação com a cultura irrigada do arroz, por exemplo, como efetuado na China (Chung, 1982).

ESTUDO DE CASO: BARRAGENS NA BACIA DO RIO SANTA MARIA

A área de estudo

A Bacia do rio Santa Maria tem sido objeto de um número significativo de estudos e projetos destinados à regularização e aumento da sua disponibilidade hídrica, bem como para o gerenciamento dos seus recursos ambientais, principalmente os

recursos hídricos. Tais ações são decorrentes da forma de uso e ocupação do solo e das pressões sociais e econômicas resultantes (UFSM/SEMA, 2004).

Recentemente, o Governo Federal através do Ministério da Integração Nacional e da Agência Nacional de Águas, instituiu o Programa Nacional para o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos – PROÁGUA NACIONAL, estendendo para todo o território brasileiro o PROÁGUA SEMI-ÁRIDO (ANA, 2007). Este Programa, que conta com recursos financeiros do Banco Mundial e do Governo Federal, tem como objetivo geral contribuir para melhoria da qualidade de vida da população, especialmente nas regiões menos desenvolvidas do país, mediante o planejamento e a gestão de recursos hídricos simultaneamente com a expansão e otimização da infra-estrutura hídrica, de maneira a garantir a oferta sustentável de água em quantidade e qualidade adequadas aos usos múltiplos.

No âmbito deste Programa, o Estado do Rio Grande do Sul foi contemplado com recursos financeiros para a melhoria da gestão dos recursos hídricos do Estado e para a implantação de duas barragens de uso múltiplo, localizadas na Bacia do rio Santa Maria, as barragens dos arroios Jaguari e Taquarembó. Estes recursos são da ordem de R$ 100 milhões, incluída aí a contra-partida do Estado, sendo que cerca de 10% destinam-se à gestão de recursos hídricos, tanto nos aspectos quantitativos, quanto qualitativos, a serem aplicados em um prazo de 3 (três) anos.

A partir da inserção do Rio Grande do Sul no Pro-Água Nacional, foram retomados os projetos das barragens e os estudos ambientais realizados, com vistas à verificação da sua adequação aos objetivos do Programa, bem como ao atendimento das restrições ambientais vinculadas a este tipo de empreendimento.

No levantamento do histórico dos processos de realização dos estudos ambientais, foi verificado que não foi atendida uma série de etapas exigidas para o licenciamento, dentre as quais, a análise conjunta dos impactos e dos benefícios dos empreendimentos e a sua propagação em toda a bacia hidrográfica. Outro aspecto a ser considerado, é o fato de que, originalmente, os projetos tinham como objetivo apenas a acumulação de água para irrigação sem considerar os demais usos da água, principalmente o abastecimento humano, a laminação de cheias, a regularização de vazões e o desenvolvimento do lazer junto ao município de Rosário do Sul.

Dentro desta nova visão de usos múltiplos e considerando que a gestão de recursos hídricos evoluiu na Bacia do rio Santa Maria, principalmente no que se refere à administração da oferta de água através do instituto da outorga do direito de uso e da ação deliberativa do Comitê da Bacia, houve a necessidade de reavaliar os projetos naquilo que se refere à concepção das obras e, fundamentalmente, nos impactos ambientais decorrentes da implantação dos empreendimentos.

A Bacia do Rio Santa Maria apresenta como atividades econômicas preponderantes a lavoura orizícola e a pecuária. O setor agrícola é o maior usuário de água, seguido do setor de abastecimento humano, da pecuária e do setor industrial. Nos períodos de irrigação, a bacia apresenta baixa disponibilidade de recursos hídricos, gerando sérios conflitos de uso, principalmente entre os setores da agricultura e do abastecimento humano (UFSM/SEMA, 2004), demandando ações por parte do sistema de gestão dos recursos hídricos.

As sucessivas ocorrências de déficits hídricos e o grau de importância desta bacia no contexto regional levaram o Poder Público e, em menor grau, a iniciativa privada, a desenvolver estudos na área de recursos hídricos. Estes estudos objetivaram quantificar as deficiências e, principalmente, identificar medidas que permitissem garantir o suprimento de água para o abastecimento público, para as lavouras existentes e para futuras atividades econômicas. Os principais estudos e ações estão listados no Quadro 2.

Revisão do balanço hídrico - impacto da obras

Nos estudos realizados pela UFSM/SEMA (2004) para subsidiar a outorga (Quadro 2), a bacia do rio Santa Maria foi subdividida em 21 Seções Hidrológicas de Referência (SHR), para quais foram definidas as disponibilidades hídricas e estimadas demandas. Esses dados foram utilizados para realização de um balanço hídrico integrado na bacia, realizado por otimização para melhor distribuir as demandas, ou as necessidades de redução de consumo, considerando o todo da bacia (Cruz, 2001; UFSM/SEMA, 2004; Cruz & Tucci, 2005). No critério adotado para o balanço hídrico no estudo da UFSM/SEMA (2004), usaram-se, como ponderador da otimização, as demandas totais em cada SHR.

O balanço hídrico foi refeito para considerar o efeito da inclusão das barragens na regularização do rio e em quais SHRs esses efeitos são sentidos. A área de influência direta das barragens se dá para as SHRs 9, 16, 19 e 21 (Figura 2). As demais sub-bacias, permanecem com a mesma necessidade

Quadro 2 – Histórico de estudos e ações na bacia do rio Santa Maria

Ano	Referência – Projeto - Estudo	Observações
1956	"Relatório Preliminar sobre Reserva e Controle de Água na bacia do rio Santa Maria"	Publicado em outubro de 1967 Levantamento preliminar da disponibilidade de água na bacia Possíveis locais para barramentos
1987	"Inventário dos possíveis locais de barramento na bacia do rio Santa Maria - Rio Grande do Sul"	Inventariados 91 possíveis locais para barramentos
1992	estudo comparativo entre os projetos das barragens do arroio Lajeado e do arroio Taquarembó-Chico	Este estudo concluiu pela viabilidade técnica e econômica do barramento proposto no arroio Taquarembó-Chico
1993	"Sistema de Avaliação de Disponibilidades Hídricas Fluviais para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria"	Bacia em trechos de gerenciamento, com estimativas de vazões para diferentes períodos de duração e retorno em cada um dos trechos identificados.
1994	Lei no 10.350 e Criação do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.	Sistema Estadual de Recursos Hídricos (SERH).
1995 a 1996	"1ª e 2ª Etapas do Plano de Utilização dos Recursos Hídricos da Bacia do rio Santa Maria"	Estudos, levantamentos e análises necessários à implantação de uma estrutura de gerenciamento e planejamento do aproveitamento sustentável dos recursos hídricos da bacia.
1998	"Levantamento, identificação e demarcação de áreas de banhado e de matas ciliares, bem como a aplicação de medidas estruturais e não estruturais visando a conservação dos recursos hídricos da bacia do rio Santa Maria"	Levantamentos e análises para o mapeamento e caracterização das áreas de banhado e matas ciliares remanescentes na bacia com importância na manutenção do equilíbrio hídrico
1998	Projeto de uma rede de monitoramento hidrometeorológico complementar para a Metade Sul do Estado	Rede de monitoramento composta por estações fluviométricas, pluviométricas, piezométricas e climatológicas, incluindo estações de monitoramento específicas para áreas de banhados
2001	- Projetos de engenharia de quatro barragens destinadas à acumulação de água, nos arroios Salso, Silva, Jaguari e Taquarembó e - Estudos de impacto ambiental das propostas de barramento para os arroios Taquarembó	Objetivo garantir o atendimento das atuais demandas de água para a irrigação de arroz, a ampliação das áreas irrigadas, a regularização das vazões dos arroios e, por extensão, a regularização das vazões do próprio rio Santa Maria, com reflexos no abastecimento público e na manutenção dos ecossistemas aquáticos
2001-	Enquadramento dos recursos hídricos	Proposta pela FEPAM, aprovada em 2005 pelo Comitê e encaminhada ao CERH
2001-2004	Desenvolvimento de ações para implantação da Outorga na bacia do rio Santa Maria. "Estudos realizados pela UFSM/SEMA consistiram no levantamento e análise das características hidrológicas, da qualidade da água superficial e do consumo de água da bacia para definir as diretrizes gerais da outorga para os usos da água por meio do equacionamento entre disponibilidade hídrica e demanda"	Estudos realizados pela UFSM em convênio com a SEMA - os estudos concluíram que a bacia encontra-se no limite da exploração dos recursos hídricos e que o racionamento é imperativo em anos de seca - devido a maior disponibilidade nos meses que antecedem a irrigação defende-se também que, mesmo em anos secos, podem ser outorgadas vazões do período de setembro a novembro para o enchimento de reservatórios, tendo como limite as disponibilidades estimadas para cada trecho em função do balanço hídrico
2000	Cobrança pelo uso da água "Sistema de Tarifação da Água"	Realizado pela PUC/RS, desenvolvimento de um modelo STÁgua de tarifação pelo uso da água aplicável à bacia do Rio Santa Maria, distribuí os custos das ações a serem implementadas na bacia entre os usuários, com cada usuário participando proporcionalmente aos seus consumos sob a forma de quotas
2004	Cobrança pelo uso da água "Simulação da Cobrança pelo Uso da Água para a Irrigação na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria"	Realizado pela UFSM, objetivo de operacionalização do modelo STÁgua.
2006	Plano de Bacia Decidiu-se que o Plano será embasado no trabalho finalizado em 2003 denominado "Estudo de Viabilidade do Programa de Desenvolvimento da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS"	- não possui um estudo específico, em fase de elaboração do Termo de Referência para ser contratado; - decorrente do contrato assinado entre o Governo da Espanha e o Consórcio de empresas EUROESTUDIOS S.A. e NOVOTECNI, S.A com intervenção da Secretaria de Obras Públicas e Saneamento (SOPS) do Governo do Estado do Rio Grande do Sul
2006	Simulação para aplicação da cobrança em escala real	Realizado pela UFSM com recursos CT-Hidro/FINEP, com participação intensa do Comitê da Bacia

de racionamento, visando deixar correr a vazão ambiental definida no estudo UFSM/SEMA (2004).

As simulações de outorga realizadas para avaliar os benefícios das obras foram efetuadas especialmente para o mês mais crítico e que em anos secos faz-se necessário o racionamento. No caso da bacia do rio Santa Maria no mês de janeiro. O objetivo dessas simulações foi verificar o impacto na disponibilidade hídrica nas seções de influência da obra. No estudo de caso, a verificação de balneabilidade na cidade de Rosário do Sul nos anos mais secos é fundamental devido à importância econômica da atividade turística.

Impacto das barragens no racionamento

As tabelas resumo do processamento do balanço hídrico foram organizadas como no exemplo da Tabela 1, onde cada coluna representa, da esquerda para direita: a SHR; a vazão de referência para outorga (Q90%); a vazão ambiental; a "Disponibilidade Marco Zero" que representa a vazão remanescente para outorga considerando a manutenção de vazões ambientais; a "Demanda Individual" da SHR; a "Demanda Acumulada" de montante até a SHR, para lavoura orizícola; a coluna "Racionamento Individual ou Qoutorgada[1]" indica os valores de uso que devem ser reduzidos para que a vazão ambiental permaneça no rio, ou vazões que podem ser outorgadas para a SHR respectiva; "Racionamento acumulado" é o total de montante na bacia até a SHR respectiva e a coluna "Disponibilidade Remanescente" é a situação final pós os usos simulados.

Tabela 1 - Balanço de janeiro (mês mais crítico que aponta necessidade de racionamento) – considerando a inserção das barragens para área de influência direta na SHR9, 16, 19 e 21.

SHR	Q90%	Vazão Ambiental	Disponibilidade Marco Zero	Demanda Individual	Demanda Acumulada	Racionamento individual ou Qoutorgada	Racionamento acumulado	Disponibilidade Remanescente
4	0.13	0.19	**-0.05**	0.00	0.00	0.00	0.00	**-0.05**
3	0.23	0.32	**-0.09**	0.02	0.02	**-0.02**	**-0.02**	**-0.07**
5	0.39	0.55	**-0.16**	2.07	2.07	**-0.16**	**-0.16**	0.00
6	1.17	1.63	**-0.47**	3.00	5.08	**-0.29**	**-0.47**	0.00
7	0.27	0.38	**-0.11**	0.03	0.03	**-0.03**	**-0.03**	**-0.08**
8	0.30	0.42	**-0.12**	0.34	0.34	**-0.12**	**-0.12**	0.00
9	3.09	4.32	6.20	13.91	19.36	0.61	0.00	6.20
1	0.24	0.34	**-0.10**	0.35	0.35	**-0.10**	**-0.10**	0.00
2	1.29	1.81	**-0.52**	8.40	8.75	**-0.42**	**-0.52**	0.00
11	0.35	0.49	**-0.14**	0.45	0.45	**-0.14**	**-0.14**	0.00
10	0.11	0.15	**-0.04**	0.32	0.32	**-0.04**	**-0.04**	0.00
13	1.02	1.43	**-0.41**	2.32	3.09	**-0.22**	**-0.41**	0.00
12	2.86	4.01	**-1.15**	9.89	21.72	**-0.22**	**-1.15**	0.00
14	0.12	0.16	**-0.05**	1.42	1.42	**-0.05**	**-0.05**	0.00
15	5.55	5.19	0.36	12.25	35.40	1.19	0.00	0.36
16	7.53	**10.55**	4.41	19.90	74.65	0.00	0.00	4.41
19	8.64	12.10	3.97	11.73	86.38	0.00	0.00	3.97
17	0.67	0.93	**-0.27**	9.29	9.29	**-0.27**	**-0.27**	0.00
18	1.12	1.56	**-0.45**	6.81	16.10	**-0.18**	**-0.45**	0.00
20	0.38	0.54	**-0.15**	5.20	5.20	**-0.15**	**-0.15**	0.00
21	10.37	14.53	3.27	4.22	111.90	0.60	0.00	3.27

Obs: em destaque as SHRs com aumento da disponibilidade hídrica devido a regularização das obras.

[1] Qoutorgada = vazão outorgada.

Para a análise da influência das barragens, foram simulados cinco cenários de simulação (Quadro 3).

O primeiro cenário, *Simulação UFSM*, que corresponde à simulação realizada nos estudos da UFSM/SEMA (2004), representa a situação sem as barragens e manutenção de vazão ambiental.

O segundo cenário (Quadro 3), *Simulação 1*, permitiu analisar a influência do aumento de disponibilidade hídrica nas SHRs diretamente influenciadas pelas obras, considerando somente a necessidade de manutenção das vazões ambientais definidas nos estudos de outorga realizados por UFSM/SEMA (2004). O acréscimo de disponibilidade é definido como sendo a diferença entre a vazão regularizada pelas barragens e a disponibilidade já existente nas SHRs contribuintes, ou seja, as SHRs 7 (Taquarembó) e 8 (Jaguari). Esse total é de 7,43m³/s. Observou-se, nesse cenário, que a inclusão das obras (Tabela 1) dispensa o racionamento em todas as seções da área de influência, apontando inclusive para uma possibilidade de aumento de consumo. Porém, isso não quer dizer que as barragens resolvem a questão da balneabilidade em Rosário do Sul, pois as vazões ambientais utilizadas nos estudos da UFSM/SEMA (2004) foram definidas por critérios hidrológicos, por ausência, na época, de maiores definições e estudos ecológicos que pudessem indicar outros valores.

Comparando-se os resultados do balanço realizado por UFSM/SEMA em 2004 com essa primeira simulação, observa-se que o impacto positivo das obras em Rosário do Sul, nos anos secos, é de 4,41 m³/s de vazão remanescente (Tabela 1), além da ambiental estimada em 10,55 m³/s. Somando-se os dois valores, a vazão remanescente ("instream flow") no rio em Rosário do Sul será de 14.96 m³/s.

Comparando-se esse valor com a carga de coliformes fecais atuais, pode-se ter uma idéia da qualidade do rio no balneário. A vazão necessária para manter a condição de Classe 2, segundo o enquadramento da bacia, e limite de coliformes nessa classe de 1000 NMP, é de 16,73 m³/s (UFSM/SEMA. 2004).

Dos resultados da simulação nesse primeiro cenário, pode-se inferir que as barragens, mesmo aliviando as condições adversas em anos secos, só conseguirão reverter a condição de risco para a atividade da balneabilidade em Rosário do Sul, se forem tomadas medidas de saneamento básico efetivo. Considerando que a cidade de Rosário do Sul já dispõe de rede de coleta e estações de tratamento de esgotos, a medida efetiva necessária é efetuar a ligação das economias à rede de coleta, o

Quadro 3 – Cenários de Simulação

Cenários				
1	**2**	**3**	**4**	**5**
Simulação UFSM	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3	Simulação 4
Sem barragens	Com barragens	Com barragens	Com barragens	Com barragens
Ponderador				
Demanda globa	Demanda global	Demanda gobal	Valores outorgados	Valores outorgados
Sem vazão sanitária	Sem vazão sanitária	Com vazão sanitária	Sem vazão sanitária	Com vazão sanitária

que depende de uma ação política e administrativa da Prefeitura Municipal.

Tabela 2 - Balanço de janeiro – (mês mais crítico que aponta necessidade de racionamento) Resultados das simulações com e sem barragem, sem alterar demanda ambiental, considerando vazão sanitária em Rosário com ponderadores demandas totais e valores outorgados

UFSM (2004)		DRH (2006)	Cenários - Vazão Outorgada ou Racionamento				
SHR	Demanda Global	Valores outorgados de captação direta nos rios	Simulação UFSM	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3	Simulação 4
			sem barragem	com barragens	com barragens	com barragens	com barragens
			ponderador				
			demanda global	demanda global	demanda global	valores outorgados	valores outorgados
			sem vazão sanitária	sem vazão sanitária	com vazão sanitária	sem vazão sanitária	com vazão sanitária
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.02	0.05	**-0.02**	**-0.02**	**-0.02**	**-0.05**	**-0.05**
5	2.07	0.78	**-0.16**	**-0.16**	**-0.16**	**-0.16**	**-0.16**
6	3.00	2.79	**-0.29**	**-0.29**	**-0.29**	**-0.26**	**-0.26**
7	0.03	0.20	**-0.03**	**-0.03**	**-0.03**	**-0.11**	**-0.11**
8	0.34	0.00	**-0.12**	**-0.12**	**-0.12**	0.00	0.00
9	13.91	2.96	**-0.63**	0.61	0.61	1.06	0.58
1	0.35	0.00	**-0.10**	**-0.10**	**-0.10**	0.00	0.00
2	8.40	2.06	**-0.42**	**-0.42**	**-0.42**	**-0.52**	**-0.52**
11	0.45	0.21	**-0.14**	**-0.14**	**-0.14**	**-0.14**	**-0.14**
10	0.32	0.36	**-0.04**	**-0.04**	**-0.04**	**-0.04**	**-0.04**
13	2.32	1.15	**-0.22**	**-0.22**	**-0.22**	**-0.22**	**-0.22**
12	9.89	0.86	**-0.22**	**-0.22**	**-0.22**	**-0.22**	**-0.22**
14	1.42	0.00	**-0.05**	**-0.05**	**-0.05**	0.00	0.00
15	12.25	2.38	1.55	1.19	1.43	1.48	1.18
16	19.90	3.77	**-2.14**	0.00	**-2.01**	0.90	**-1.81**
19	11.73	4.82	**-0.45**	0.00	2.97	0.74	2.32
17	9.29	0.24	**-0.27**	**-0.27**	**-0.27**	**-0.24**	**-0.24**
18	6.81	1.41	**-0.18**	**-0.18**	**-0.18**	**-0.21**	**-0.21**
20	5.20	1.22	**-0.15**	**-0.15**	**-0.15**	**-0.15**	**-0.15**
21	4.22	1.16	**-0.09**	0.60	0.93	0.58	1.16

Considerando-se que a demanda qualitativa em Rosário do Sul seja o valor para diluição da carga de coliformes, o terceiro cenário **(*simulação 2*)** foi realizada, buscando-se como objetivo, manter no leito, a vazão de 16,73 m³/s. Nesse cenário, as vazões regularizadas pelas obras permitem a manutenção da balneabilidade, porém mantém racionamento de uso das águas, para as lavouras do trecho da SHR16 de 2,01 m³/s (Tabela 2).

O balanço hídrico foi refeito utilizando-se como ponderadores para a otimização as vazões emitidas pelo DRH para captação direta nos rios, os quarto e quinto cenários **(*simulações 3* e *4*)**(Tabela 2), uma para a situação que não considera a necessidade de vazão em Rosário do Sul para a questão sanitária e outra considerando essa demanda. Note-se que o resultado difere apenas no racionamento para a SHR16, permanecendo válidas as observações feitas.

BALANÇO DE IMPACTOS

A análise qualitativa dos impactos ambientais da implantação das duas barragens, com vistas à determinar a viabilidade ambiental dos dois empreendimentos, foi conduzida com base no estado da arte da ecologia de rios e de reservatórios.

Com base na Hipótese da Dinâmica de Rede (Benda *et al*., 2004) e com base nos estudos que demonstram o papel fundamental do regime de pulsos dos rios como principal função de força dos sistemas lóticos e de seus enclaves lênticos (Neiff, 1990; Junk & Wantzen, 2004; Cruz, 2005; Tundisi, 2006), pode-se avaliar se os potenciais impactos ambientais negativos podem ser evitados, mitigados ou compensados, a fim de garantir um balanço compensador com os impactos positivos, resultantes da demanda sócio-econômica.

Entre os pressupostos, não considerados nos estudos efetuados pelas empresas Beck de Souza Engenharia Ltda e MRS Estudos Ambientais Ltda, está o balanço hídrico otimizado para a bacia hidrográfica do rio Santa Maria, efetuado pela UFSM/SEMA (2004). Segundo este estudo, não existem condições para ampliação de área de cultivo orizícola na bacia. Ao contrário, para os anos secos existe a necessidade de racionamento de água. Deste modo, a construção das barragens vem associada muito mais aos benefícios de redução de risco de racionamento do que ao crescimento da área plantada.

Outro aspecto refere-se à inclusão dos passivos ambientais dentro da análise, de modo a viabilizar os impactos positivos do conjunto dos usos dos reservatórios.

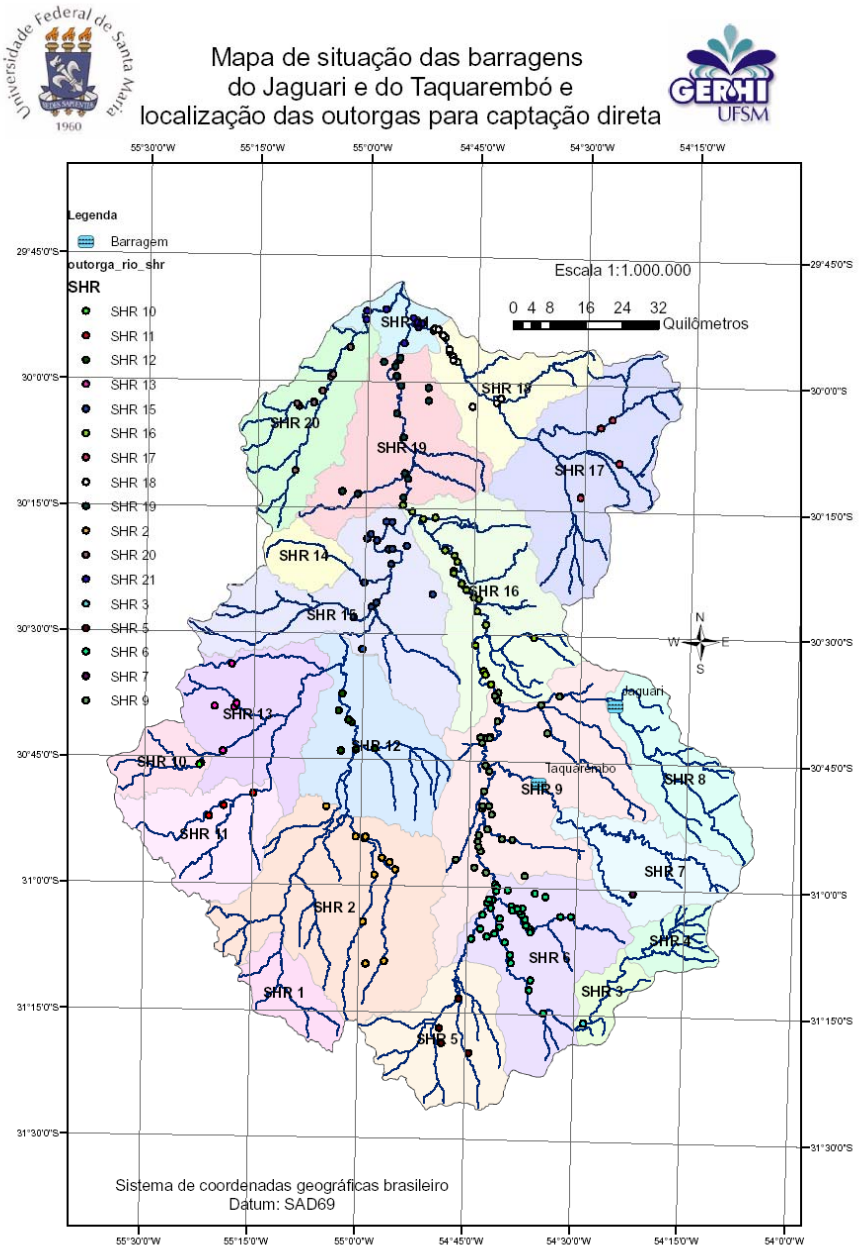

Figura 2 - Outorgas já emitidas pelo DRH para a bacia do rio Santa Maria, separadas por SHR.

Também não foi considerado, na época, a demanda pela CORSAN, das águas das duas barragens para solucionar os problemas de abastecimento público das cidades de Dom Pedrito (através de uma adutora a partir da barragem do Taquarembó) e de Rosário do Sul (através da manutenção de vazão regularizada no próprio leito a partir das duas barragens). Embora o abastecimento público destas cidades não chegue a competir com a demanda orizícola em termos de ordem de grandeza, nos anos secos é comum a ocorrência de risco de desabastecimento das áreas urbanas de Dom Pedrito e Rosário do Sul. Nos períodos de verão dos anos 2004/2005 e 2005/2006, devido à estiagem, foi ne-

cessária uma ação efetiva do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria para que não ocorresse racionamento do fornecimento de água para as sedes dos dois municípios. As necessidades de qualidade da água para tratamento e distribuição, remetem para um gerenciamento rigoroso da qualidade da água dos reservatórios, o que vem a somar com a necessidade de implantação de estruturas hidráulicas e de monitoramento em tempo real que permitam um total controle da tomada de água, tanto em termos de sua profundidade de captação, quanto da gestão da qualidade. A isto soma-se a necessidade de controle em tempo real da afluência, com vistas ao controle da vazão efluente e dos pulsos hidrológicos que devem ser definidos através de estudo específico para o regime de vazões ecológico.

Observando-se o mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul, verifica-se que ambas as barragens estão situadas em formações hidrogeológicas de muito baixo potencial para produção de água, o que está associado com uma baixa capacidade de armazenamento e de fluxo no sistema fraturado (Machado & Freitas, 2005). Dada a possibilidade de alterações no local da barragem, referentes à infiltração nos aquíferos, impõe-se o monitoramento pós-enchimento.

No caso dos afluentes do rio Santa Maria que descem a Serra do Sudeste, como o caso dos arroios Taquarembó e Jaguari, os solos caracterizam-se por serem relativamente rasos, possuindo baixa capacidade de armazenamento. Esta característica pode ser visualizada nas Figuras 3 e 4, que apresentam os locais propostos para as duas barragens. Observe-se que, fora do trecho de rio principal, a mata ciliar se estende por pouca distância, logo desaparecendo de forma gradual. Os divisores de água são ocupados por uma vegetação campestre rala, típica de solos que possuem baixa capacidade de retenção de água. Portanto, as cabeceiras não são produtoras de vazões basais significativas, mas de escoamentos agudos. No entanto, existem relatos de que o rio Santa Maria era navegável em meados do século passado, inclusive permitindo o transporte das safras de arroz por via fluvial para os engenhos de Rosário do Sul (Silveira, 2005), situação inimaginável nos dias de hoje, dado o assoreamento do rio. Isto significa que as vazões basais eram maiores, assim como a calha do rio, ainda não tão assoreada, era mais funda e estreita (o assoreamento foi resultado, principalmente, da erosão de margens acelerada pelo processo de desmatamento). Porém, onde eram geradas as vazões basais? Como não havia armazenamento no solo nas cabeceiras, duas fontes deviam alimentar o rio: os aqüíferos confinados de várzea e os banhados. Os primeiros são formados em função da deposição alternada de sedimentos arenosos e finos nas planícies aluviais. Como as camadas finas são ricas em sedimentos argilosos não estruturados, são impermeáveis, confinando as camadas arenosas. Estes aquíferos possuem sua área de alimentação situada nos contatos entre as planícies e os terraços aluviais, sendo, portanto, áreas de alta vulnerabilidade, que devem ser protegidas, recomendando-se, inclusive, que sejam protegidas do pisoteio e cultivadas com culturas permanentes ou reflorestamento, com vistas a potencializar a infiltração nestes aquíferos. Os banhados, a outra fonte, foram quase que totalmente drenados para ocupação com a lavoura orizícola.

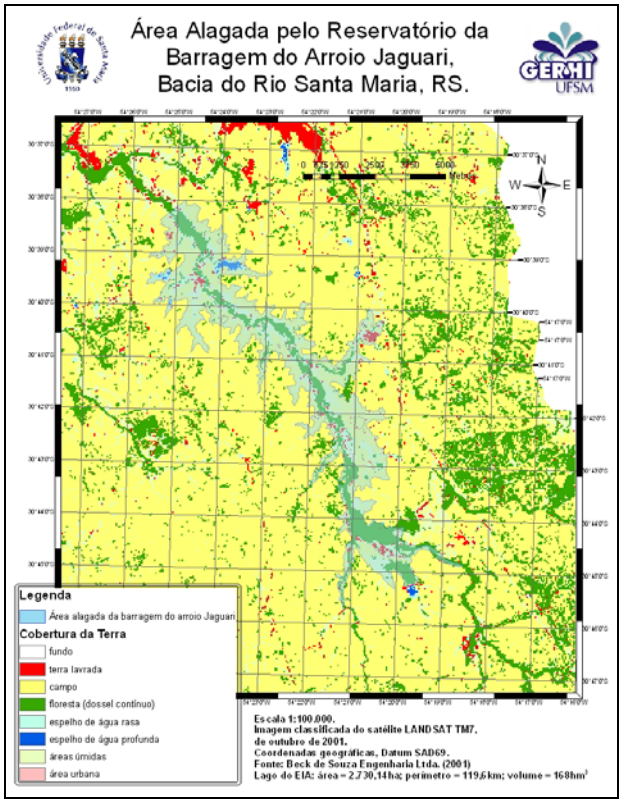

Figura 3 - Entorno do reservatório da barragem do arroio Jaguari.

Os banhados recebiam água durante as cheias e, devido à alta retenção de água em microrelevos, reforçada pela camada impermeável em baixa profundidade ou à superfície, bem como na abundante matéria orgânica, tudo associado a uma baixa declividade, que conferiam a estas áreas úmidas a capacidade de gerar um lento escoamento superfici-

al ou sub-superficial para os rios, produzindo vazão basal. Como pode ser verificado em Bourscheid Engenharia Ltda (1998a,b), somente sobraram poucas manchas significativas de áreas úmidas na bacia do rio Santa Maria, fragmentadas em centenas de pequenas manchas muito alteradas. As dez áreas priorizadas para conservação e para restauração de áreas úmidas da bacia do rio Santa Maria, selecionadas por Bourscheid Engenharia Ltda (1998a,b), estão apresentadas na Figura 5. Sendo assim, reveste-se de importância duas medidas que devem ser consideradas na gestão dos impactos ambientais relativos aos empreendimentos e aos passivos ambientais dos beneficiários: a proteção das zonas de recarga e a restauração de áreas de preservação permanente, em especial, de áreas de banhados. Uma possibilidade a ser estudada é a inclusão dos banhados cultivados em rotação com a cultura do arroz irrigado, o que viria a contribuir para a recomposição da matéria orgânica dos solos de várzea, controle de espécies indesejadas e produção de água para o rio.

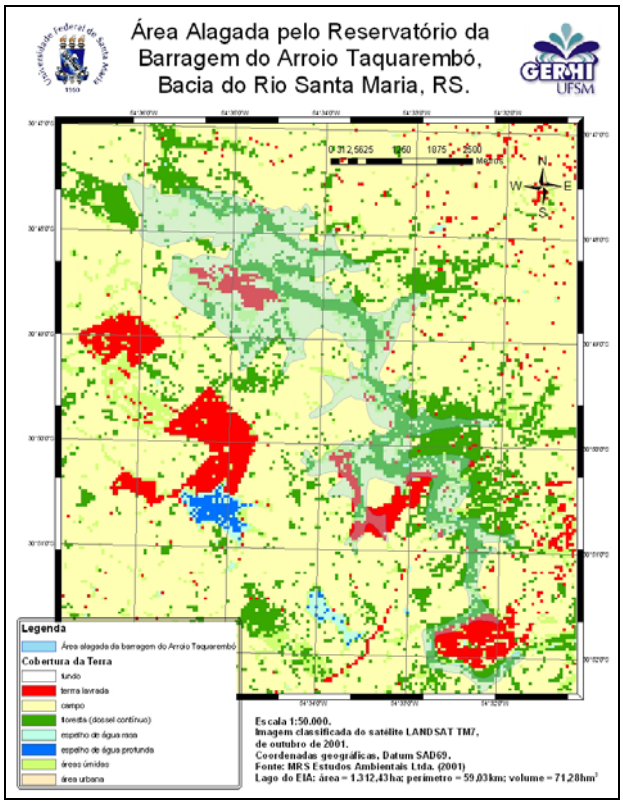

Figura 4 - Entorno do reservatório da barragem do arroio Taquarembó.

Outro aspecto que deve ser estudado é o que se refere ao regime natural de vazões e a prescrição do regime ecológico de vazões a ser mantido pelo operador do reservatório. Como visto anteriormente, os efeitos da supressão de pulsos de vazões resulta em impactos permanentes. A mitigação deste impacto envolve a capacidade de controlar as vazões afluentes e efluentes, de modo a garantir o máximo de preservação dos padrões de pulsação natural do rio. Este aspecto soma-se com a necessidade de controle da profundidade de captação e ao conhecimento em tempo real de variáveis de qualidade da água.

Também impõe-se um estudo, que possua amostragens pelo menos ao longo do período de piracema, para fins de avaliação da necessidade de manejo das espécies migradoras, incluindo-se a avaliação da necessidade de mecanismos de transposição. De acordo com Carlos Eduardo B. Machado (comunicação pessoal), baseado em resultados preliminares oriundos das amostragens associadas a sua dissertação de mestrado, vinculada ao Depto. Zoologia UFRGS, são registradas aproximadamente 50 espécies de peixes para o arroio Taquarembó na área de influência da barragem proposta. Dentre essas espécies, não foram capturados exemplares de peixes que realizam grandes migrações reprodutivas (dourado, piava, entre outros). No entanto, existem relatos históricos da ocorrência dessas espécies na região. Dentre as espécies amostradas até o momento, vários exemplares não se enquadram nas descrições taxonômicas disponíveis. Essa situação reforça a probabilidade de ocorrência de um grande número de *espécies* endêmicas da região dos rios Taquarembó e Jaguari. A presença de espécies endêmicas na área impõe aos estudos de impacto extremo cuidado e esforço no levantamento das espécies a fim de elaborar um adequado diagnóstico dos riscos impostos pelo empreendimento a essa fauna.

Dos impactos relacionados ao meio terrestre, a perda de conectividade da mata ciliar, em especial na barragem do Taquarembó, resulta em um impacto permanente e irreversível, embora mitigável (Figuras 3 e 4). A restauração da mata ciliar nas margens do reservatório não se dará nas mesmas condições de pulsos hidrológicos e de flutuações do lençol freático ocorrentes hoje nas encostas. Também estarão sujeitas a modificações microclimáticas. Ou seja, não se conseguirá repor uma mata ciliar que mantenha todas as funções da mata anterior. Como não existirão áreas destino de fauna em conexão com a área desmatada que possam abrigar a fauna deslocada, recomenda-se que o trabalho de planejamento do salvamento de fauna e flora seja iniciado o mais rápido possível, a fim de minimizar os danos sobre a fauna. Cabe lembrar que levará anos para que a mata plantada possa cumprir, ao menos funcionalmente, o papel de corredor para espécies florestais. Deve ser elaborado um plano de

salvamento que contemple a captura de exemplares e soltura em áreas destino pré-definidas e monitoradas. Esta demanda determina a desapropriação e cercamento da APP do futuro lago com grande antecedência, o que envolve a inclusão da mesma no processo indenizatório dos proprietários.

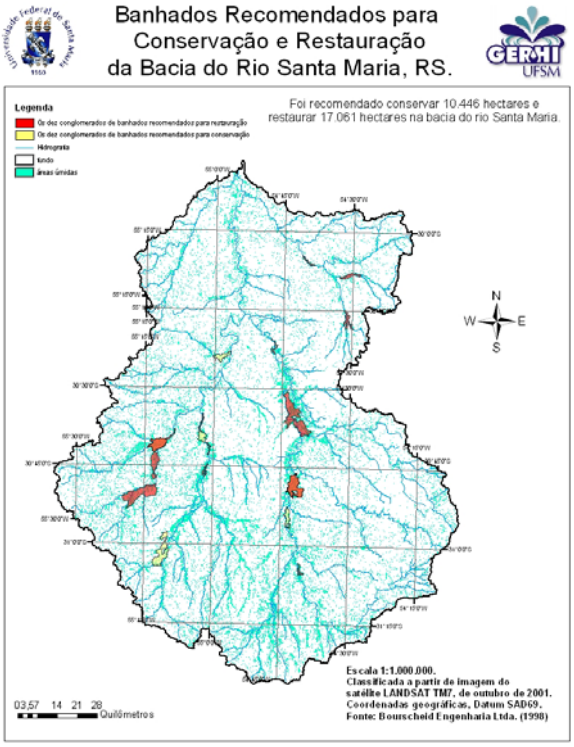

Figura 5 - Banhados recomendados para conservação e/ou restauração na bacia do rio Santa Maria.

Além da restauração de áreas degradadas, já contempladas nos estudos existentes, o manejo de reservatório e da qualidade das águas vai necessitar de um Zoneamento Ecológico-Econômico que discipline o uso da terra nas zonas de montante e nos perímetros irrigados, de tal forma que não aumente a carga sedimentar e de nutrientes para o reservatório, protejam-se as áreas de preservação permanente e as zonas de recarga dos aquíferos confinados de várzea, bem como se institua um plano de manejo dos passivos ambientais dos beneficiários. A Figura 6 apresenta uma visão de contexto das duas barragens em visão ortogonal. Esta imagem ilustra a relativa ausência de pressão agrícola sobre as bacias de captação das duas barragens.

Quanto às águas subterrâneas, impõe-se um plano de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, com piezômetros dispostos no entorno do lago e nos poços tubulares eventualmente existentes em área próxima do reservatório.

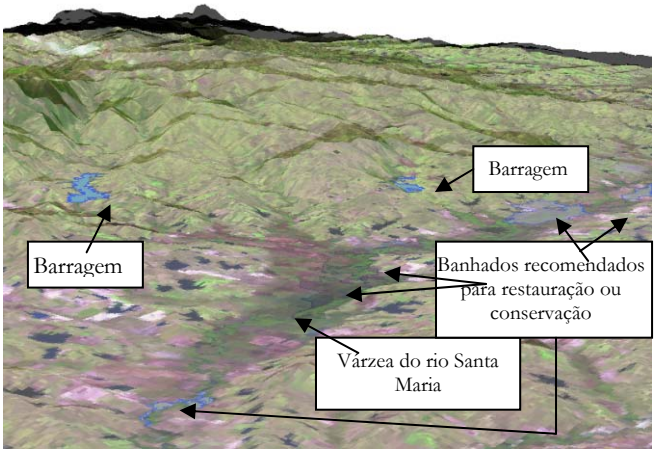

Figura 6 - Visão ortogonal das Barragens de Uso Múltiplo dos Arroios Jaguari e Taquarembó (jusante para montante).

CONCLUSÕES

A análise dos estudos destinados a assessorar a tomada de decisão no processo de licenciamento das barragens dos arroios Jaguari e Taquarembó demonstrou que, na forma como estes foram apresentados, não se pode atestar a viabilidade ambiental destes empreendimentos. Sugere-se que no decorrer do processo de licenciamento ambiental dos mesmos estas lacunas de informações sejam contempladas, permitindo a identificação de ações mitigadoras e/ou compensatórias que ultrapassem a escala do empreendimento e que alcancem toda a bacia hidrográfica do rio Santa Maria.

A revisão teórica em conjunto com a análise dos estudos anteriores de impacto ambiental das barragens dos arroios Taquarembó e Jaguari, permite a identificação de vários aspectos gerais que devem ser atualizados na elaboração de Termos de Referência para EIAs de barragens no Estado do Rio Grande do Sul.

O primeiro aspecto refere-se ao modelo conceitual de rios, que deve levar em conta sua natureza pulsátil e organizada em rede.

Levando-se em conta este aspecto, uma série de considerações são derivadas, tanto em termos de estudos requeridos, como em termos de definições de áreas de influência e de otimização de medidas mitigadoras e compensatórias, que devem ser estipu-

ladas considerando-se uma visão integrada entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental.

Esta integração exige a implementação de ações de manejo integrado de bacia hidrográfica, alicerçados em sólido estudo de fragilidades ambientais e do Zoneamento Ecológico-Econômico. Também determina a necessidade de que as ações se dêem em conjunto com a implementação efetiva dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos (outorga e cobrança), em escala de bacia, e na exigência de soluções hidráulicas e de monitoramento em tempo real que permitam o controle total da quantidade de água que está afluindo e a que deve ser liberada, associado ao controle da profundidade de captação da água, controlada pela mínima diferença de qualidade entre a água que entra e a que sai.

Os estudos de viabilidade dos empreendimentos devem ser alicerçados em estudos de simulações hidrológicas que permitam a análise da efetividade dos impactos positivos dos reservatórios sobre a redução de riscos de racionamento (causado por quantidade e/ou qualidade), considerando-se anos secos, normais e úmidos, levando-se em conta estudos de determinação do regime ecológico de vazões que tenham significado ecológico testado, associados à estudos de qualidade da água. Sem estes estudos, o balanço entre impactos positivos e negativos fica prejudicado, bem como a avaliação das possibilidades de mitigação ou compensação de impactos negativos de barragens.

Barragens tem potencial para um balanço positivo de impactos ambientais. No entanto, para que este balanço seja real, os impactos negativos e positivos tem que ser analisados na escala da bacia hidrográfica, dados os efeitos de propagação em rede, o que significa que as medidas mitigadoras e compensatórias devem abarcar a mesma escala. Caso contrário, os efeitos negativos acabam subestimados, levando a um balanço efetivo negativo de longo prazo e à socialização dos prejuízos ambientais.

A revisão teórica e os estudos de caso sugerem que uma série de estudos adicionais devem ser solicitados por ocasião da elaboração do Termo de Referência do EIA/RIMA, a fim de que este balanço possa ser efetuado. Embora sejam adaptados à realidade da bacia do rio Santa Maria, apontam para uma mudança de paradigma de análise de impactos ambientais de barragens, que pode ser útil para a elaboração de Termos de Referência para outras bacias hidrográficas. Os estudos, medidas mitigadoras e compensatórias adicionais indicados, sem prejuízo do que já é de rotina ser solicitado aos empreendedores, são:

- Estudo do regime de vazões ecológicas, no mínimo com análise dos Índices de Alteração Hidrológica (Richter *et al*. 1996) seguidos de calibração dos dados com base na distribuição de tipos funcionais de plantas (Cruz, 2005) ou outro método que garanta significado ecológico à prescrição;
- Zoneamento Ecológico-Econômico da bacia de contribuição aos reservatórios, incluindo a proteção de zonas de recarga de aquíferos confinados de várzea e controle da geração de cargas sedimentares e de poluentes na bacia de captação;
- Definição das áreas de influência de acordo com a hipótese da rede dinâmica (Benda *et al*.; 2004);
- Implantação efetiva dos instrumentos de gestão das águas;
- Inclusão da análise de impactos ambientais das obras hidráulicas de distribuição da água para os beneficiários (aquedutos, canais, etc);
- Estudo da vazão necessária para garantir os usos múltiplos (a balneabilidade, navegação, esportes, etc.);
- Estudo do impacto da ação combinada das duas barragens sobre a perenização do rio (manutenção de condições lóticas durante todo o período de déficit hídrico e consumo pela irrigação ou outro uso consuntivo);
- Análise dos impactos sobre a qualidade e quantidade das águas com a modificação induzida do uso dos solos;
- Inclusão do passivo ambiental dos beneficiários na análise;
- Implantação rápida, pré-construção, de ao menos parte da mata ciliar do reservatório, a fim de servir de abrigo para algumas espécies da fauna durante o período de implantação (limpeza e enchimento);
- Estudos mais intensivos da ictiofauna, com vistas a fundamentar a avaliação da necessidade de mecanismos de transposição para peixes e proteção de espécies de interesse especial;
- Implantação, no Projeto Básico, de estruturas hidráulicas que permitam controlar a profundidade de captação da água vertida em tempo real, permitindo o controle da quantidade e qualidade;
- Projeto de monitoramento em tempo real das vazões afluentes e da qualidade da água do reservatório;

- Estudo hidrológico efetuado com base na metodologia aplicada no projeto de implantação da outorga (UFSM/SEMA, 2004);
- Implantação de uma rede de monitoramento das águas subterrâneas;
- Inclusão da análise de sedimentos com seleção de variáveis de qualidade, incluindo-se, necessariamente, os principais pesticidas utilizados na bacia hidrográfica e os metais pesados que eventualmente venham a ser encontrados na base geoquímica.

REFERÊNCIAS

ANA. Agênca Nacional de Águas. 2007. *Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL*. Disponível em http://proagua.ana.gov.br/proagua/. Acesso em 23/03/2008.

BENDA, L.; POFF, L.; MILLER, D.; DUNNE, T.; REEVES, G.; PESS, G.; POLLOCK, M. The Network Dynamics Hypothesis: How Channel Networks Structure Riverine Habitats. *Bioscience, vol. 54*, n. 5, 2004. p 413-427.

BERKAMP, G., McCARTNEY, M., DUGAN, P., McNEELY, J., ACREMAN, M. *Dams, Ecosystem Functions and Environmental Restoration. Thematic Review II.1.* Cape Town: World Commission on Dams, 2000. 187 p. Disponível em http://www.dams.org. Acesso em 21/07/2006.

BLYTH, F.G.H. & FREITAS, M.H. *Geología para Ingenieros*. México: Compañía Editorial Continental, 1989. 440 p.

BMZ. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. *Guía de protección ambiental: Material auxiliar para la identificación y evaluación de impactos ambientales*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 1996. Disponível em http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/begin.htm. Acesso em 19/07/2006.

BOURSCHEID ENGENHARIA LTDA. *Levantamento, identificação e demarcação de áreas de banhado e de matas ciliares, bem como a aplicação de medidas estruturais e não estruturais visando a conservação dos recursos hídricos na bacia do Rio Santa Maria. Relatório Parcial 2 - Identificação, caracterização e delimitação de áreas de banhado*. Porto Alegre: FRH/SOPSH/ Bourscheid Eng. Ltda, 1998a. 133 p.

BOURSCHEID ENGENHARIA LTDA. *Levantamento, identificação e demarcação de áreas de banhado e de matas ciliares, bem como a aplicação de medidas estruturais e não estruturais visando a conservação dos recursos hídricos na bacia do Rio Santa Maria. Relatório Final*. Porto Alegre: FRH/SOPSH/ Bourscheid Eng. Ltda, 1998b. 133 p.

BOURSCHEID Engenharia, 1996. *2ª Etapa do Plano de utilização dos recursos hídricos da bacia do rio Santa Maria – RS*. Relatório Nº 1 – Cenário Atual – Volume 1. 251p.

BRASIL. *Resolução CONAMA 237 de 19/12/1997*. Dispõe sobre conceitos, sujeição, e procedimento para obtenção de Licenciamento Ambiental, e dá outras providências. Diário Oficial (da República Federativa do Brasil), Brasília, DF, 22 de dezembro de 1997.

BRITTO, S.G.C. & SIROL, R.N. Transposição de Peixes como Forma de Manejo: As Escadas do Complexo Canoas, Médio Rio Paranapanema, Bacia do Alto Paraná. *In*: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R. & JORCIN, A. (orgs.) *Ecologia de Reservatórios: Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata*. 2 ed., São Carlos: RiMa, 2006. p 285-304.

CHUNG, C. Low Marshes, China. *In*: LEWIS III, R.R. (ed.) *Creation and Restoration of Coastal Plant Communities*. Boca Ratón, Florida: CRC Press, 1982. p.131-145.

CMR. Comision Mundial de Represas. *Represas y Desarollo: un Nuevo Marco para la Toma de Decisiones. El Reporte Final de la Comision Mundial de Represas*. Cape Town: Comision Mundial de Represas, 2000. 444 p.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução Nº 274, de 29 de novembro de 2000*. Disponível http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27400.html. Acesso em 27/07/2006.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.* Disponível em http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf. Acesso em 09/07/2006.

CRUZ, R.C. *Prescrição de Vazão Ecológica: Aspectos Conceituais e Técnicos para Bacias com Carência de Dados.* Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 136 p. (Tese. Doutorado em Ecologia).

CRUZ, R.C. & ACCORDI, I.A. Metodologia para Geoprocessamento Aplicado ao Salvamento e Manejo de Fauna. *In*: *Anais*. 2º Simpósio de Áreas Protegidas: Conservação no Âmbito do Cone Sul. Pelotas: Alex Bager (edição do coordenador), 2003. p. 304-311.

DONZELLI, J.L. Potencial de Produção de Cana-de-Açúcar no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FIERGS, 26 de junho de 2006. Disponível em HTTP://www.fiergs.

org.br/docs/work/potencial_de_producao_cana_rgs_ctc.ppt. Acesso em 21/07/2006.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Avaliação Ambiental Integrada (AAI) dos Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai. Relatório Final*. Brasília: Consórcio Themag/Andrade & Canellas/Bourscheid, 2007. 437p.

ESTEVES, F.A. *Fundamentos de Limnologia.* Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1988. 575 p.

FEITOSA, M.F.; NOGUEIRA, M.G. & VIANNA, N.C. Transporte de Nutrientes e Sedimentos no Rio Paranapanema (SP/PR) e seus Principais Tributários nas Estações Seca e Chuvosa. *In*: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R. & JORCIN, A. (orgs.) *Ecologia de Reservatórios: Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata*. 2 ed., São Carlos: RiMa, 2006. p 435-459.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler. *Enquadramento dos recursos hídricos superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria***.** Relatório, 2001. 20 p.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler e UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. *Diagnóstico Ambiental da Bacia do Taquari-Antas/RS: Diretrizes Regionais para o Licenciamento Ambiental das Hidrelétricas.* Porto Alegre: FEPAM/UFRGS, 2001. 40p.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler e UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. *Análise de Fragilidades Ambientais e da Viabilidade de Licenciamento de Aproveitamentos Hidrelétricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã, Região Hidrográfica do Rio Uruguai – RS.* Porto Alegre: FEPAM/UFRGS, 2004. 138p.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler e UFSM. Universidade Federal de Santa Maria. *Análise de Fragilidades Ambientais da Bacia Hidrográfica dos rios Apuaê-Inhandava, situada na Região Hidrográfica do rio Uruguai. Relatório Técnico Final.* Santa Maria: FEPAM/UFSM, 2005. 86p.

GORDON, N.D.; McMAHON, T.A.; FINLAYSON, B.L.; GIPPEL, C.J. & NATHAN, R.J. 2004. *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. 2 ed., Chichester: John Wiley & Sons. 429 p.

IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. *Termo de Referência para elaboração do Estudo de Impacto Ambiental e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA: Aproveitamento Hidrelétrico.* Brasília: IBAMA, 2005. Disponível em http://www.ibama.gov.br/licen ciamento/modulos/arquivo.php?cod_arqweb=tr_uhe. Acesso em 23/03/2008.

JUNK, W.J. & WANTZEN, K.M. The Flood Pulse Concept: New Aspects, Approaches and Applications – An Update. *In:* WELCOMME, R.L. & PETR, T. (eds.) *Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries. Volume II*. Bangkok, Thailand: FAO Regional Office for Asia and the Pacific. RAP Publication 2004/17, 2004. p. 117-140.

LAGADINOU, E. *Investigação sobre a Repercussão da Implantação de Represas no Microclima.* Atenas: Universidade Nacional Técnica de Metsovo, 2003. 108 p. (Tese. Programa Interdisciplinar e Interdepartamental de Estudos de pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Recursos Naturais). (original em grego e inglês)

MACHADO, J.L.F. & FREITAS, M.A. *Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul. Relatório Final.* Porto Alegre: CPRM/SOPS/DRH/FEPAM, 2005. 65 p., 1 mapa.

MACIEL FILHO, C.L. *Introdução à Geologia de Engenharia*. 2 ed., Santa Maria: Ed. Da UFSM/CPRM, 1997. 283 p.

MORENO, J.A. *Clima do Rio Grande do Sul.* Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p. 1 mapa.

MRS ESTUDOS AMBIENTAIS LTDA. *Estudo de Impacto Ambiental da Barragem do Arroio Taquarembó Pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.* Porto Alegre: FRH/SOPSH; MRS Estudos Amb. Ltda., 2001. v.1, 156 p.; v.2, 47 p.

NATURATINS. Instituto Natureza do Tocantins. *Termo de Referência para Elaboração de EIA-RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental de Empreendimentos Aquícolas. Convencional.* Palmas: NATURATINS, 2008. Disponível em http://central2.to.gov.br/arquivo/12/2995. Acesso em 23/03/2008.

NEIFF, J.J. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciência, v.15*, n. 6, 1990. p. 424-441.

POSTEL, S. & RICHTER, B. *Rivers for Life: Managing Water for Peaple and Nature*. Washington, D.C.: Island Press, 2003. 253 p.

REZENDE, L. P.; ROTHMAN, F. D.. Avanços e contradições do licenciamento ambiental de barragens hidrelétricas: um estudo comparativo dos casos da UHE Cachoeira da Providência e UHE Fumaça - MG. *In*: I Encontro Ciências Sociais e Barragens, 2005, Rio de Janeiro. *Anais do I Encontro Ciências e Barragens*, 2005. p. 1-20.

SILVEIRA, Geraldo Lopes da; CRUZ, Jussara Cabral; IRION, Carlos Alberto de Oliveira; MATZENAUER, Helena Barreto; MAYER, Maria da Graça Brizola; FORGIARINI, Francisco Rossarolla; DEWES, Rogério; PAIM, Paulo Renato. *Simulação da Cobrança pelo Uso da Água para Irrigação na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (Relatório Final)*. 2004.

SILVEIRA, G.L.; CRUZ, J.C.; CRUZ, R.C.; DEWES, R. & ARAÚJO, T.A. Concepção Geral. *In*: SILVEIRA, G.L. & CRUZ, J.C. (orgs.) *Seleção Ambiental de Barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica*. Santa Maria: Editora da UFSM/ ABRH, 2005. p. 15-55.

SILVEIRA, G L da; CRUZ, J C; IRION, C O; SILVA, C E da; SILVA, J L S da; MACIEL FILHO, CL; KONIG, O; SILVEIRA, A L da; CRUZ, R C; et al. *Desenvolvimento das ações de apoio necessárias à implantação da outorga de uso da água na bacia hidrográfica do rio Santa Maria,RS - Relatório Técnico Final*. 2004. (Relatório de pesquisa).

SILVEIRA, T. *Dom Pedrito: Apogeu e Ocaso*. Dom Pedrito: Gráfica Rigo, 2005. 276 p.

STRAŠKRABA, M. & TUNDISI, J.G. (eds.) *Diretrizes Para o Gerenciamento de Lagos. Volume 9. Gerenciamento da Qualidade da Água de Represas*. São Carlos: International Lake Environment Commite / International Institute of Ecology, 2000. 258 p.

TUNDISI, J.G. Gerenciamento Integrado de Bacias Hidrográficas e Reservatórios – Estudos de Caso e Perspectivas. *In*: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R. & JORCIN, A. (orgs.) *Ecologia de Reservatórios: Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata*. 2 ed., São Carlos: RiMa, 2006. p 1-21.

TUCCI, C.E.M.; MENDES, C.A.. *Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica*. Brasília: MMA, 2006. 302p.

UFSM/SEMA . *Desenvolvimento de ações para implantação da Outorga na bacia do rio Santa Maria, RS. Relatório Técnico Final.* 2004. Convênio UFSM/SEMA/RS.

VÖRÖSMARTY, C.J.; ROUTHIER, M.; WRIGHT, A.; BAKER, T.;. FERNANDEZ-JAUREGUI, C.A.; DONOSO, M.C. *A Regional Hydrometeorological Data Network for South America, Central America, and the Caribbean (R-HydroNET v1.0).* Durham: University of New Hampshire/ UNESCO / PHI-CATHALAC, 1998. Disponível em http://www.r-hydronet.sr.unh.edu/. Acesso em 21/07/2006.

WETZEL, R.G. *Limnología*. Barcelona: Omega, 1981. 679 p.

ZALEWSKI, M. & WAGNER-LOTKOWSKA, I. *Integrated Watershed Management. Ecohydrology & Phytotechnology –Manual.* Osaka: United Nations Publications, 2004. 247 p.

Trends in the Analysis of Impacts of Dam Implementation: Lessons from the Case Study on Multiple Use Dams in the Santa Maria River Watershed

ABSTRACT

This article discusses trends in the analysis of possible impacts of dams, considering different aspects that should be included in the analysis, such as multiple uses, water balance of concessions, fragmentation of rivers, changes in riparian vegetation, in wetlands, altered sediment regimes and water quality in the reservoir and their implications locally and downstream from the dam. The methodological approach used combines qualitative analysis and simulations, structured by a compartmentalization of the river basin reaches resulting from the introduction of the dam; the upstream basin, the reservoir proper and the river downstream. It also included a discussion on the effects of changing land use and cover, and about groundwater. The analyses take into account the existing studies on the region. The balance of impacts was performed for the case study of the dams of Taquarembo and Jaguari in the Santa Maria River basin, in Rio Grande do Sul. As a result, several recommendations are presented for studies required during the environmental licensing period, which will provide information for a works management plan and impact mitigation. The study concludes that it is necessary to integrate environmental and water resources management through a scale study of a watershed based on studies of environmental weaknesses and the Ecological-Economic Zoning.

Keywords: *Environmental licenses, dams, environmental impact.*