

VAZÕES ECOLÓGICAS E REMANESCENTES EM RIOS ALTERADOS POR BARRAGENS

ESTUDO DE CASO

Rafael Cabral Cruz
Jussara Cabral Cruz
Geraldo Lopes da Silveira
Fabio Silveira Villela

Em rios, nos quais a dinâmica dos escoamentos é alterada pela implantação de um barramento, o grande desafio reside na prescrição de um regime de vazões que mantenha os pulsos de interesse ecológico e também os outros usos da água. A metodologia proposta em artigo publicado nesse mesmo volume é agora aplicada a uma usina hidrelétrica que apresenta um trecho com vazões reduzidas por uma extensão de quatro quilômetros após a barragem em decorrência do desvio de parte das vazões afluentes ao reservatório para as turbinas. Para tanto, realizou-se a avaliação ecológica, por meio de análise de frequências e da vegetação ribeirinha, e determinou-se uma variabilidade intra-anual para vazões que implicam valor máximo, em termos de cotas, de 48cm distribuídos de forma variável, mês a mês. Essa variabilidade de níveis foi simulada para diferentes patamares de vazões basais mínimas – que hipoteticamente sustentariam os outros usos da água no trecho de vazão reduzida – em cenários variando de 3m³/s até 17m³/s. Por fim, cada cenário ganhou simulação hidroenergética indicando o percentual do valor de vazão afluente à barragem que foi turbinada. Os resultados mostram um leque vasto de informações de apoio à tomada de decisão sobre o valor de vazão a ser adotado considerando a discussão socioambiental.

Introdução

A implantação de barragens gera, como um de seus principais impactos ambientais, a alteração do regime de vazões no trecho situado a jusante do barramento. A avaliação dos impactos ambientais das barragens e correspondentes recomendações para sua mitigação e/ou compensação foi abordada no relatório final da Comissão Mundial de Barragens¹, em que o problema do regime ecológico de vazões teve espaço destacado. O problema se agrava quando as barragens são propostas em rios que possuem pouca disponibilidade de dados referentes aos processos que mantêm a estabilidade dos ecossistemas fluviais, incluindo aspectos referentes à distribuição dos organismos, dependência em relação ao regime de pulsos do rio e capacidade de resiliência em relação às mudanças de regime hidrológico.

O Grupo de Pesquisa em Gestão de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) desenvolve metodologias visando produzir informações para subsidiar processos de tomada de decisões em situação de carência de dados.² A combinação das abordagens permitiu a construção de uma proposta para subsidiar o processo de prescrição de regime de vazões remanescentes para trechos de rios com vazões alteradas pela implantação de barragens. O referencial metodológico a ser adotado, apresentado em artigo associado a este,³ depende do conhecimento ou estimativas de vazões e cargas poluidoras afluentes e efluentes ao reservatório.

Para o presente caso, a usina em foco é a UHE Passo São João (77kW), em implantação no rio Ijuí, afluente do rio Uruguai. Quando em operação, a usina produzirá um trecho de vazão alterado pelo desvio das águas para as turbinas. Após turbinadas e gerada a energia, as águas são devolvidas ao curso natural. A vazão que não é turbinada é escoada para o trecho de vazão alterada do rio, percorrendo 4km, onde recebe novamente as vazões turbinadas. Este trecho é denominado alça de vazão reduzida (AVR).

A prescrição de vazões remanescentes é realizada com base no regime de vazões ecológicas e nos outros usos significantes existentes no trecho da AVR da UHE São João, onde deve ser mantida a qualidade da água em padrões de classe 2, tendo como referência a resolução CONAMA 357⁴. A qualidade da água na AVR, além das vazões de montante, depende do uso e ocupação do solo na região da bacia incremental que contribui a AVR. As suas cargas poluidoras não podem alterar a concentração de poluentes para fora do padrão de enquadramento do trecho.

¹ CMR. Comisión Mundial de Represas. *Represas y Desarrollo: un nuevo marco para la toma de decisiones*. El reporte final de la Comisión Mundial de Represas. Cape Town: Comisión Mundial de Represas, 2000. 444 p.

² SILVEIRA, G. L. *Quantificação de vazões em pequenas bacias com carência de dados fluviométricos*. Tese de doutorado do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS. 172 p. Porto Alegre, RS. 1997.

CRUZ, J. C. *Disponibilidade Hídrica para Outorga: avaliação de aspectos práticos e conceituais*. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS. 205 p. Porto Alegre, RS. 2001.

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. 136 p. (Tese. Doutorado em Ecologia). 2005.

³ SILVEIRA, G. L.; CRUZ, R. C.; CRUZ, J. C. & VILLELA, F. S. Vazões ecológicas e remanescentes em rios alterados por barragens: metodologia proposta para a prescrição. *Ciência & Ambiente* (publicado nesse volume).

⁴ 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.

⁵ SILVEIRA, G. L.; CRUZ, R. C.; CRUZ, J. C. & VILLELA, F. S. *Op. cit.*

O objetivo é, portanto, ensaiar a metodologia proposta⁵ definindo diferentes cenários de regime de vazões ecológicas e remanescentes para a AVR da UHE São João. A orientação para a indicação de um regime, dentro dos cenários propostos, pode apontar para valores menos conservadores que o de vazão ecológica usualmente utilizada e definida com valores próximos ao $Q_{95\%}$. Por outro lado, esta indicação deve estar vinculada a um processo de manejo adaptativo associado a um monitoramento em tempo real, que permita precaver e antecipar acidentes ou situações de desenquadramento da qualidade da água na alça, decorrente de cargas geradas externamente à AVR ou provenientes da bacia incremental.

A UHE Passo São João

A UHE São João é um empreendimento da ELETROSUL, com potência instalada de 77,3MW em dois grupos geradores. Está localizada no rio Ijuí, afluente do rio Uruguai, e, na seção da barragem para a tomada de água, drena uma bacia hidrográfica com área de aproximadamente 10.128km².

Com a implantação da UHE, em um trecho de aproximadamente 4km, compreendido entre a barragem e a influência da casa de força, escoo um regime de vazões de acordo com prescrições determinadas no processo de licenciamento do empreendimento. Este trecho de rio, de jusante da barragem à seção de efluência das vazões turbinadas, denomina-se Alça de Vazão Reduzida (AVR), ou simplesmente “Alça”, e nela escoará a vazão remanescente, que deverá oferecer condições de sustentabilidade ao ambiente, incluindo a manutenção de sua classe de enquadramento do rio.

Em seu arranjo de projeto, a barragem da UHE São João possui o vertedor com 10m de altura e 145m de comprimento, operando a uma lâmina máxima de 21m de altura, com 11m de armazenamento sobre a soleira vertente. A usina está projetada para funcionar a fio d’água, sendo que o reservatório de tomada de água inunda uma pequena área de 130ha. Na figura 1 é apresentada uma imagem da localização da usina e o trecho de vazão alterada, denominado alça de vazão reduzida.

Metodologia

Nos casos de UHEs com AVR, como na UHE São João, parte da vazão é liberada para a alça e parte é turbinada, sendo esta conduzida por canais, somando-se à des-

carga escoada pela alça, quilômetros após. Na figura 2 é possível observar a dinâmica de escoamento das vazões em uma AVR.

Em empreendimentos como este, cujos arranjos de obra produzam AVR, o balanço hídrico equaciona basicamente o volume afluente à barragem em duas parcelas: a vazão escoada pela alça e a vazão aduzida para a casa de força. Considerando a lógica do aproveitamento ótimo, a vazão escoada pela alça é aquela que não é aduzida para a geração. Considerando a lógica da preservação, a vazão a ser turbinada é aquela não utilizada para a preservação da alça. É lógico, portanto, que o equacionamento encontra-se numa situação intermediária perante os impactos associados.

Quanto maior a AVR, maiores os impactos associados. No entanto, o efeito é variável. De acordo com Benda *et al.*⁶, os efeitos de confluência podem mitigar os impactos de um barramento. Neste caso, a confluência de contribuintes importantes na AVR pode mitigar os efeitos da supressão de vazões para as turbinas.

⁶ BENDA, Lee; POFF, Leroy; MILLER, Daniel; DUNNE, Thomas; REEVES, Gordon; PESS, George & POLLOCK, Michael. The Network Dynamics Hypothesis: How Channel Networks Structure Riverine Habitats. *Bioscience*, 54(5):413-427, 2004.

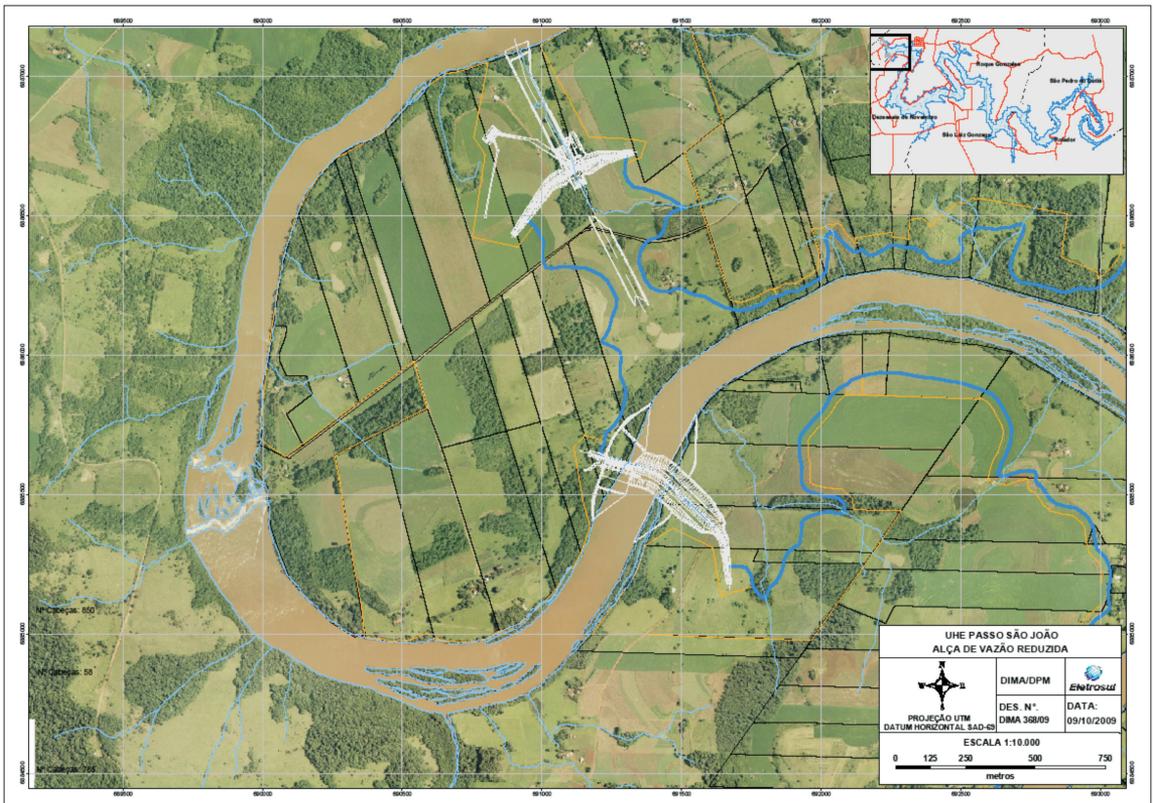


Figura 1: A UHE Passo São João

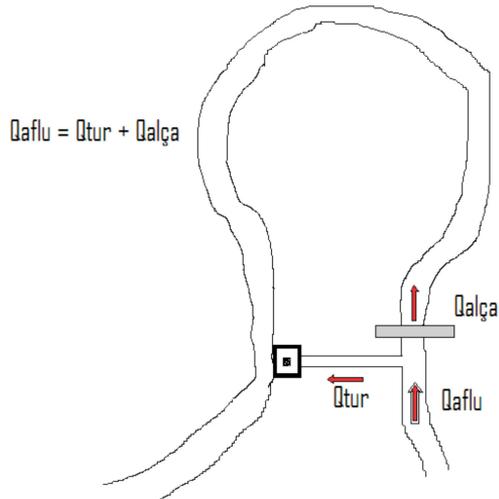


Figura 2: Escoamentos em aproveitamentos com AVR

⁷ CONAMA. *Op. cit.*

⁸ POSTEL, Sandra & RICHTER, Brian. *Rivers for Life: managing water for people and nature*. Washington, D. C.: Island Press, 2003. 253 p. FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler. *Análise de fragilidades ambientais e da viabilidade de licenciamentos de aproveitamentos hidrelétricos das bacias hidrográficas dos rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã, Região Hidrográfica do Rio Uruguai – RS*. Porto Alegre: FEPAM/UFRGS. 2004. 140 p.

⁹ NEIFF, J. J. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciência*, 15(6): 424-441, 1990.

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: 2004. p. 117-140. (RAP Publication 2004/17). CRUZ, R. C. *Prescrição de Vazão Ecológica... Op. cit.*

¹⁰ CMR. Comisión Mundial de Represas. *Op. cit*

Além das características relacionadas às vazões e cargas poluentes que determinarão as modificações na qualidade das águas, que precisam respeitar as normas referentes ao enquadramento dos corpos de água definidas na Resolução CONAMA 357⁷, o trecho deve garantir a conectividade dos habitats dos peixes migradores⁸ e o regime de pulsos necessário para preservar habitats importantes às espécies ribeirinhas⁹.

A AVR é um trecho de rio. Deve possuir, portanto, um regime de vazões que garanta a manutenção das condições de perpetuação da vida das espécies que dele dependem. Este princípio está estabelecido na legislação de águas, que prevê a necessidade de manutenção de uma vazão ecológica no trecho de rio, bem como nas recomendações da Comissão Mundial de Barragens.¹⁰

A UHE São João caracteriza-se como um empreendimento que produz uma alça de vazão reduzida e uma operação a fio d'água. O manejo de ictiofauna se insere no contexto maior do complexo hidroenergético que inclui a UHE São José (100kW) situada a montante. Conforme projetado, a conectividade da ictiofauna deve ocorrer por transporte de caminhões de jusante da usina Passo São João para montante da usina Passo São José.

Considerando a situação da UHE São João, são significativas as consequências da sua operação no balanço hídrico da AVR, pois uma faixa de vazões escoadas naturalmente pelo rio, não escoará mais pela AVR de São João após o início de operação da usina. Por sua vez, estas vazões viabilizam a UHE São João.

De forma indicativa, como subsídio, podem-se extrair alguns indicadores de impactos para a alça. Para valorar tais impactos são propostos índices, cujos resultados devem ser discutidos no contexto da bacia hidrográfica onde são inseridos os aproveitamentos. Tais índices são relacionados à motorização e às vazões hidrológicas de referência da bacia, e podem ser equacionados com as seguintes formulações:

$$i_1 = P/A_b$$

onde P é a motorização (potência instalada) em kw e A_b é a área da bacia em km^2

$$i_2 = P/Q_{95\%}$$

onde P é a motorização em kw e $Q_{95\%}$ é a vazão com 95% de permanência no tempo, em m^3/s

$$i_3 = P/Q_{MLT}$$

onde P é a motorização em kw e Q_{MLT} é a vazão média de longo termo em m^3/s

$$i_4 = Q_p/A_b$$

onde Q_p é a vazão de projeto da usina (vazão máxima turbinável) em m^3/s e A_b é a área da bacia em km^2

$$i_5 = Q_p/Q_{95\%}$$

onde Q_p é a vazão de projeto da usina (vazão máxima turbinável) em m^3/s e $Q_{95\%}$ é a vazão com 95% de permanência no tempo, em m^3/s

$$i_6 = Q_p/Q_{MLT}$$

onde Q_p é a vazão de projeto da usina (vazão máxima turbinável) em m^3/s e Q_{MLT} é a vazão média de longo termo em m^3/s

$$i_7 = A_i/A_b$$

onde A_i é a área incremental na alça em km^2 e A_b é a área da bacia em km^2

Os três primeiros índices indicam o grau de motorização da usina, em termos de área de bacia e de vazões características, como o $Q_{95\%}$ e a Q_{MLT} , ou a vazão média de longo termo da bacia. Os índices de i_4 a i_6 representam os mesmos impactos do i_1 a i_3 em termos específicos de vazões ou, ainda, em termos adimensionais ou percentuais. Por exemplo, i_6 representa o percentual da motorização em relação à vazão média de longo termo. Em termos gerais, seria adequado que o valor da motorização não ultrapassasse a metade da vazão média de longo período. Esta vazão – a Q_{MLT} – representa a vazão máxima regularizável, a qual corresponderia uma supressão total de picos e flutuação de níveis nos trechos de vazão reduzida.

Para avaliar efetivamente o impacto na AVR, baseado nos limites operacionais máximos e mínimos da Usina, deve-se realizar o balanço de volumes em função dos parâmetros da motorização e da prescrição ecológica de vazões.

A propagação de hidrogramas objetiva gerar o fluvio-grama efluente que escoar pela AVR e que deve atender as prescrições ambientais decorrentes dos estudos ecológicos. Em suma, o hidrograma efluente propagado deve contemplar as ocorrências em termos de pulsos decorrentes das necessidades ambientais. Tais pulsos referem-se a cheias de diferentes magnitudes e frequências de ocorrências, que a regra operativa deve preservar na propagação do hidrograma afluente através do reservatório.

Ainda, a vazão escoada pela alça deve ser capaz de manter o nível de enquadramento do rio na alça de vazão reduzida. Ou seja, as cargas poluidoras produzidas pela região e zonas ripárias ao longo do trecho de vazão reduzida não devem ser significativas.

Resultados

A prescrição de vazões remanescentes para a UHE São João foi realizada compatibilizando as necessidades da prescrição ecológica a diferentes cenários de vazões necessárias à manutenção da qualidade da água frente ao enquadramento do rio e aos demais usos envolvidos.

As avaliações ecológicas têm por objetivo a manutenção dos pulsos de interesse adaptativos em processos ecológicos de não sucessão. Com a metodologia proposta por Cruz¹¹, estimaram-se as frequências repetidas em 90% do tempo. Determinou-se o intervalo de variação a partir da série histórica de níveis em mais de 30 anos de dados diários de vazões naturais afluentes ao local da UHE. O intervalo de variação de níveis, encontrado ao longo dos anos foi de 48cm, em diferentes variabilidades intra-anuais determinadas mês a mês.

A variabilidade de níveis mês a mês foi sobreposta em diferentes patamares de vazões basais ou sanitárias. Quanto menor a vazão basal para manter as condições sanitárias na alça, menor o volume de vazões para sustentar a flutuação de níveis (pulsos) devido à não linearidade da curva-chave da estação fluviométrica de referência, que no caso do presente estudo foi a Estação Ponte Mística – Código ANA 75320000.

¹¹ CRUZ, R. C. *Prescrição de Vazão Ecológica... Op. cit.*

Para definir um valor de vazão basal é necessário ter uma noção dos outros usos da água na alça e de suas demandas hídricas, conforme avaliado a seguir.

A alça de vazão reduzida da UHE Passo São João (figura 3) apresenta área incremental de bacia hidrográfica de aproximadamente 58km². Na margem direita da alça (18km²) estão localizados dois balneários e a CGH Salto Pirapó (800kW), de propriedade da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL). Em sua margem esquerda (40km²), observa-se uso eminentemente agrícola, não sendo identificados pontos de lançamento de efluentes de processos de geração de resíduos, tais como abatedouros ou indústrias. Esta área da margem esquerda da alça é formada, basicamente, por superfícies vertentes que drenam diretamente ao rio Ijuí ou para um tributário (o arroio Lajeado das Pedras), constituindo pequena bacia hidrográfica que atinge a terceira ordem antes de chegar a sua foz. Além disso, no rio Ijuí, na área da alça, existe uma queda natural do rio denominada Salto Pirapó, um atrativo natural da região identificado pela Secretaria de Turismo do Estado do Rio Grande do Sul.¹²

¹² SETUR. *Roque Gonzáles. Atrativos Naturais*. Disponível em <http://www.turismo.rs.gov.br/>. Acesso em 20/11/2010.

Na sequência do texto, descrevem-se os outros usos identificados na alça, considerando-se dois compartimentos geográficos: (1) a bacia hidrográfica do arroio Lajeado das Pedras, incluindo Vila Florida e Rincão dos Ledur e (2) as superfícies vertentes da margem direita do rio Ijuí.

Na margem esquerda, a bacia apresenta uso preponderantemente agrícola. Nas áreas de declividade mais amenas e solos menos pedregosos – em sua porção territorial média e inferior, junto à foz no rio Ijuí – observa-se o cultivo de trigo, soja, milho e alfafa. Nas regiões de solos mais rasos e pedregosos predomina a criação de gado leiteiro. Ainda, em áreas de maior declividade, aparecem manchas de cobertura florestal nativa. As áreas de banhados e nascentes encontram-se, em grande parte, alteradas pela criação do gado, por cultivos agrícolas ou pela implantação de açudes com a introdução de peixes exóticos como a carpa.

Durante vistoria à região, constatou-se que o arroio Lajeado das Pedras é um curso d'água de fundo pedregoso ou com afloramento de lajeados. Na sua porção superior, a calha do arroio possui entre dois e três metros de altura e cinco e sete metros de largura. Na sua porção inferior, o arroio apresenta calha com aproximadamente dois metros de altura e nove metros de largura enquanto o fundo acumula sedimentos finos e grande quantidade de detritos provenientes da vegetação ciliar.

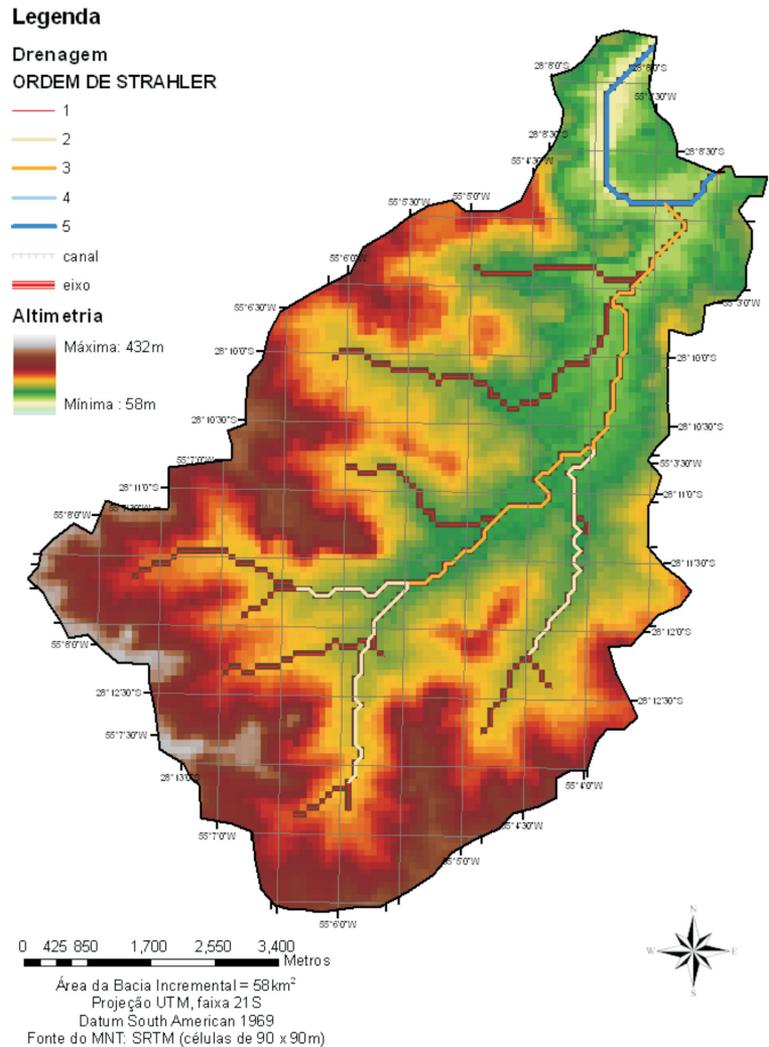


Figura 3: Bacia incremental da alça de vazão reduzida da UHE Passo São João

A vegetação ciliar está presente, mesmo quando em faixas estreitas, inferiores ao estabelecido pela legislação. Quanto às áreas úmidas e nascentes, observa-se que muitas foram modificadas pelo manejo feito no solo da região com a inserção de lavouras, gado ou com o barramento para a formação de açudes nessas áreas.

Algumas entrevistas foram conduzidas com os moradores da região do rincão dos Ledur para a coleta de informações sobre o possível papel do arroio Lajeado das Pedras como área de desova de peixes de piracema. De acordo com o depoimento de moradores, o arroio Lajeado das Pedras constitui área de migração e desova de peixes

como o dourado (*Salminus brasiliensis*), a piava (*Leporinos obtusidens*), o grumatã (*Prochilodus lineatus*), a bracanjua (*Brycon orbignyanus*), os pintados (*Pimelodus spp.*), a tainha (*Schizodon spp.*) e os lambaris, já que não existem barreiras naturais que impeçam o livre deslocamento dos peixes.

Além do deslocamento por terra, realizou-se um roteiro embarcado até a foz do arroio Lajeado das Pedras (figura 4). Observaram-se as ilhas que existem no rio Ijuí, em frente à desembocadura do arroio, formando um canal mais estreito nessa área. De acordo com o barqueiro, Sr. Antonio Luiz Ledur, na foz do Lajeado das Pedras podem ser encontrados exemplares jovens de grumatã, piava e dourado. Ainda, o Salto Pirapó representa barreira para a migração de surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*), pati (*Luciopimelodus pati*) e armado (*Pterodoras granulosus*), porém, alguns exemplares de surubim foram capturados a montante do Salto, atribuindo-se a origem desses animais à soltura intencional de exemplares feita em municípios das porções situadas a montante, no rio Ijuí.

Na margem direita do rio, encontra-se a área do balneário Cachoeirão (figura 5). Ali foi entrevistado o Sr. Adão Veiga, que relatou ser morador de Roque Gonzáles. De acordo com o informante, foram capturados na área do Salto Pirapó e também no rio Uruguai, no Porto de Sto. Izidro, exemplares de pacu (*Piaractus sp.*) provenientes de solturas de criatório da região, já que essa espécie é exótica na bacia. O Salto constitui barreira também para o armado, o pati, o surubim e o chinelo. Sobre a bracanjua, as informações obtidas indicam que a espécie está extinta.

Para compatibilizar as vazões com as necessidades dos outros usos, deve-se, inicialmente, contextualizar a usina junto à bacia em que se insere e perante o arranjo da obra concebido para o aproveitamento.

O arranjo da obra, conforme o projeto básico, produz uma alça de vazão reduzida (AVR). O impacto, em termos fisiográficos e geomorfológicos, encontra-se calculado por meio dos coeficientes da tabela 1. Verifica-se que a usina produz impactos reduzidos em função da área da bacia incremental ser menor que 1% da bacia, combinado com o fato de o comprimento do rio, na alça de vazão reduzida, ser menor que 4km. Entretanto, os índices representam apenas um indicativo da menor probabilidade de haver impactos ao longo da AVR, tais como a possibilidade da existência de um centro urbano com esgotos não tratados ou de algum perímetro industrial.



Figura 4: Vistoria com uso de embarcação no trecho da futura alça de vazão reduzida da UHE São João, confluência do arroio Lajeado das Pedras com o rio Ijuí, Rio Grande do Sul



Figura 5: Balneário Cachoeirão, junto ao trecho da futura alça de vazão reduzida da UHE São João, margem direita do rio Ijuí, Rio Grande do Sul

A partir de informações levantadas por meio do Estudo de Impacto Ambiental (EIA)/Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) da usina e a partir de inspeção *in loco*, confirmou-se a probabilidade de pequeno impacto na alça de vazão reduzida. Não existe nenhum aglomerado urbano ou industrial na área da bacia incremental sendo o uso da terra na região vinculado à agricultura de pequeno porte, sustentada principalmente pela produção de forrageiras para cavalos de corrida. As demais atividades se referem às culturas de subsistência, como milho e feijão, e a uma pequena bacia leiteira em depressão. Por isso, a prioridade é a da comercialização das forrageiras para cavalos de corrida ao invés da produção de leite.

Tabela 1: Coeficientes para valoração de impactos da UHE São João

Valoração de coeficientes	UHE São João
AIA/AB (%)	0,6
CA/AB (km/km ² /10E-04)	4
PM/Área (kW/km ²)	7,6
PM/Q _{95%} (MW/m ³ /s)	1,8
PM/Q _{MLT} (MW/m ³ /s)	0,300

AIA = área incremental da alça;

AB = área da bacia no eixo da barragem;

CA = comprimento da alça;

PM = potência de motorização da Usina;

Q_{95%} = vazão firme (95% de permanência);

Q_{MLT} = vazão máxima regularizável (média de longo termo).

Com referência à sustentabilidade e mobilidade de ictiofauna, a UHE São João configura, juntamente com a UHE São José, um sistema em cascata. A estratégia de sustentabilidade envolve uma ação conjunta. A proposição da utilização de um sistema de elevadores e caminhões tanque para transportar os peixes diretamente de jusante de São João para montante de São José, revela potencial para atender a estratégia.

No entanto, a alça de vazão reduzida liga o arroio Lajeado das Pedras ao trecho do rio Ijuí situado a jusante da casa das máquinas. O arroio, de terceira ordem, apresenta potencial para funcionar como habitat para peixes migradores. Em prospeção, por meio de entrevistas junto às comunidades, avaliou-se a utilização do Arroio Lajeado para a

pesca das comunidades locais, realizada ainda hoje em escala reduzida. O arroio configura-se como local que dispõe de potencialidade para a desova (embora com necessidade de confirmação através de monitoramento). A bacia do arroio Lajeado das Pedras, entretanto, não será afetada pela implantação do empreendimento, visto que a futura usina não interferirá em seu balanço hídrico natural. Com referência à vazão de diluição de cargas poluentes, não há contribuição significativa para a alça de vazão reduzida da UHE São João, visto não existir conglomerado urbano nem perímetro industrial com seus efluentes contribuintes junto à alça. Assim, a qualidade da água escoada na contribuição advinda da prescrição de vazões ecológicas, depende das concentrações e cargas afluentes ao reservatório. Os dados monitorados de qualidade das águas, segundo o EIA/RIMA, apresentam valores de concentração superiores aos dos parâmetros da classe 2. As vazões ecológicas prescritas devem ser somadas às vazões naturalmente escoadas pelo arroio Lajeado das Pedras.

Com relação à balneabilidade, constata-se a existência de balneários na face interna da AVR. A face externa de contribuição territorial à alça, fora a bacia do arroio Lajeado, caracteriza-se por superfícies vertentes contribuintes diretamente ao rio Ijuí, sem uso marginal específico.

Pelas avaliações expeditas na alça, observa-se que a mesma apresenta baixo impacto e, portanto, baixa probabilidade de acidentes sanitários. Entretanto, a qualidade da água na alça não foi medida no rio Ijuí, nem no arroio Lajeado das Pedras, o que deverá ser feito pelo empreendedor com subsídio à negociação de tomada de decisão sobre a vazão basal à qual devem ser acrescidos os pulsos de interesse ecológico. A decisão depende deste conhecimento, porém as incertezas não impedem que se construam cenários para cuja definição foi adotado o intervalo de 3 até 17m³/s, como informação de apoio à tomada de decisão para a prescrição do regime inicial de operação da usina.

Considerações finais

É importante assumir os pressupostos previstos na metodologia desenvolvida, a saber:

- as práticas relacionadas ao manejo adaptativo configuram-se como boa alternativa para definição e acompanhamento das vazões a serem mantidas a jusante do barramento, principalmente na AVR;

¹³ CRUZ, R. C. *Prescrição de Vazão Ecológica... Op. cit.*

- a metodologia adotada, baseada no conceito de prescrição de vazões com variação mensal (e não como um valor constante), a partir de uma “franja de tensão” a ser mantida sobre uma vazão de base, é adequada para a definição do regime hidrológico para a AVR;
- o método proposto por Cruz¹³ permite estimar a amplitude da “franja de tensão”, tendo por base avaliações ecológicas em função de análise de frequências associadas a vegetação ribeirinha (no caso, a franja de tensão resultou em amplitude de 48cm).

Assim, a prescrição do regime de vazões remanescentes envolve a composição dos valores da prescrição ecológica de vazões (franja de tensão) com as demandas dos demais usos da água na AVR, incluindo as vazões sanitárias. Na tabela a seguir foram montados os cenários de prescrição de regime de vazões para um intervalo de vazão basal ou sanitária – de 3m³/s a 17m³/s – sobre o qual foi acrescida a franja de tensão, que preserva os pulsos de interesse ecológico.

Essa gama de valores favorece ao gestor e ao empreendedor quanto à tomada de decisão frente às incertezas naturais do processo relativo ao valor a ser adotado para iniciar a operação da usina; e também em termos de valores mínimos a serem escoados mês a mês na AVR dentro da lógica do manejo adaptativo apoiado por monitoramento em tempo real. A consolidação dos resultados é apresentada na tabela 2.

Com tais valores simulou-se a operação da usina e o percentual da vazão turbinada para avaliar o impacto em termos de geração, conforme mostra a última linha da tabela.

A manutenção da franja de tensão é uma estratégia para garantir as condições de pulsos hidrológicos pós-implantação do empreendimento, de modo a permitir a existência de habitats para as espécies ribeirinhas, através do rebaixamento da franja para um intervalo de cotas mais baixo. Parte-se do princípio de que o regime natural de vazões jamais poderá ser mantido nos mesmos níveis anteriores, pois a geração de energia necessariamente desvia vazões para a casa de máquinas.

Portanto, a única forma possível de manter a disponibilidade de habitats é rebaixar toda a franja de tensão (pulsos), forçando um processo de sucessão que resultará em

migração das espécies para cotas mais baixas. Nessas cotas, as condições de pulsos de inundação e seca determinam um processo em que as espécies ajustam sua distribuição vertical de acordo com a sua adaptabilidade a estes pulsos. Ou seja, a referência aos valores históricos anteriores não é importante para a discussão da viabilidade ou não da migração vertical das espécies.

Tabela 2: Cenários de regime de vazões remanescente na AVR

mês	qEco 16,1	qEco b3	qEco b4	qEco b5	qEco b6	qEco b7	qEco b8	qEco b9	qEco b10	qEco b11	qEco b12	qEco b13	qEco b14	qEco b15	qEco b16	qEco b17
1	16,1	10,1	11,6	13,0	14,4	15,8	17,1	18,4	19,6	20,9	22,1	23,4	24,6	25,8	27,0	28,2
2	16,1	10,3	11,7	13,2	14,5	15,9	17,2	18,5	19,8	21,0	22,3	23,5	24,8	26,0	27,2	28,4
3	16,1	6,0	7,2	8,4	9,6	10,8	11,9	13,1	14,2	15,3	16,5	17,6	18,7	19,8	20,9	22,0
4	16,1	3,2	4,2	5,2	6,2	7,2	8,3	9,3	10,3	11,3	12,3	13,3	14,3	15,3	16,3	17,3
5	16,1	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0
6	16,1	13,8	15,4	17,0	18,5	20,0	21,4	22,8	24,2	25,5	26,8	28,2	29,5	30,7	32,0	33,3
7	16,1	20,6	22,5	24,3	26,0	27,6	29,2	30,7	32,3	33,8	35,2	36,7	38,1	39,5	40,9	42,3
8	16,1	26,6	28,6	30,6	32,4	34,2	35,9	37,5	39,2	40,8	42,3	43,9	45,4	46,9	48,4	49,8
9	16,1	44,7	47,1	49,4	51,6	53,6	55,6	57,6	59,5	61,3	63,1	64,9	66,6	68,3	70,0	71,6
10	16,1	31,3	33,5	35,5	37,4	39,3	41,1	42,8	44,5	46,2	47,8	49,4	51,0	52,5	54,1	55,6
11	16,1	23,1	25,0	26,9	28,6	30,3	31,9	33,5	35,1	36,6	38,1	39,6	41,1	42,5	44,0	45,4
12	16,1	15,0	16,7	18,3	19,8	21,3	22,8	24,2	25,6	27,0	28,4	29,7	31,0	32,3	33,6	34,9
%tur	60,8	61,0	60,4	60,0	59,5	59,0	58,5	58,1	57,7	57,2	56,8	56,4	56,0	55,6	55,3	54,9

qEco: vazão ecológica mensal; 16,1 valor da vazão em m³/s proposta no EIA/RIMA; b3, b4, bx..., onde x representa a vazão basal em m³/s; %tur percentual da vazão aduzida às turbinas (que não passa pela AVR)

O caráter ecológico da prescrição reside em garantir condições para que a migração ocorra. Tais condições não podem ser baseadas em referências históricas, que não são possíveis de ser mantidas, mas na manutenção em cotas mais baixas, de habitats que permitam a sobrevivência das espécies no ambiente modificado pelo ser humano. Ou seja, a AVR não é um ambiente natural que segue o regime natural de vazões, mas um ambiente antrópico, totalmente dependente do manejo humano para que sejam mantidas condições de sobrevivência para as espécies ribeirinhas. Portanto, o fator crítico é a possibilidade de manutenção plena da franja de tensão.

Enfatiza-se, ainda, a importância do manejo adaptativo e do monitoramento em tempo real, pois permitem adapta-

¹⁴ CRUZ, R. C. *Prescrição de Vazão Ecológica...* Op. cit.

Rafael Cabral Cruz é graduado em Oceanologia, doutor em Ecologia e professor da Universidade Federal do Pampa, Campus São Gabriel, Rio Grande do Sul. rafaelcruz@unipampa.edu.br

Jussara Cabral Cruz é graduada em Engenharia Civil, doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. jussaracruz@gmail.com

Geraldo Lopes da Silveira é graduado em Engenharia Civil, doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental e professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. geraldo.ufsm@gmail.com

Fabio Silveira Villela é graduado em Biologia, doutor em Ecologia e consultor na área de Meio Ambiente. fabio@simbiota.com.br

ções da operação para evitar eventuais acidentes de origem sanitária, agrícola e industrial, definindo ações imediatas de liberação de maior aporte de vazões à alça em situações críticas ou acidentais. Além disso, podem fornecer informações valiosas para testar a hipótese de migração para patamares mais baixos da população ribeirinha e eventuais adaptações de operação por meio de avaliações ecológicas continuadas no tempo e de longa duração.

Por fim, é importante lembrar que, se barragens causam, por um lado, impactos negativos (alteração dos ecossistemas, perda de biodiversidade, alteração do regime hidrossedimentológico etc), por outro lado, produzem impactos positivos (geração de energia elétrica, irrigação, manutenção de calado para hidrovias etc.). Considerando a crise do petróleo e o crescimento das demandas energéticas, Cruz¹⁴ prevê um aumento da pressão sobre os rios para construção de hidrelétricas. A viabilidade social e ambiental de uma UHE depende de que os benefícios resultantes da implantação do empreendimento compensem os prejuízos sociais e ambientais do mesmo. Para tanto, considera-se que os impactos ambientais 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 turbinadas e da alça de vazão reduzida, associada a uma regra operacional que minimize os danos sobre o regime natural de vazões. É importante destacar o termo minimizar, pois, perante as demandas de caráter socioambiental (por exemplo: luz, informação, inclusão social etc.), é impossível manter o regime natural de vazões em uma AVR. A diferença entre o estado do rio em seu regime natural de vazões e a vazão da alça, consideradas todas as ações de mitigação, resulta no impacto a ser compensado, dada a sua irreversibilidade.