

# CADERNOS DE ENERGIA

Nº4 - JANEIRO / ABRIL - 2017

## IMPACTOS AMBIENTAIS DO TRECHO DE VAZÃO REDUZIDA EM HIDRELÉTRICAS

Fernanda V. A. de S. Cruz Buenaga  
Silvana Andreoli Espig  
Tarcísio Luiz Coelho Castro  
Marco Aurélio dos Santos



**COPPE**  
UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
Instituto de Física e Programa de Engenharia de Elétrica



**COPPE**  
UFRJ Programa de  
Planejamento Energético

**ISSN 2446-5275**

# **CADERNOS DE ENERGIA**

***Nº4 - JANEIRO | ABRIL - 2017***

## **IMPACTOS AMBIENTAIS DO TRECHO DE VAZÃO REDUZIDA EM HIDRELÉTRICAS**

**Fernanda V. A. de S. Cruz Buenaga**

**Silvana Andreoli Espig**

**Tarcísio Luiz Coelho Castro**

**Marco Aurélio dos Santos**

C122 Cadernos de Energia /PPE – Programa de Planejamento Energético

COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. – Rio de Janeiro : PPE, 2015-80p. : il. ; 15 x 20,5 cm

Quadrimestral

ISSN 2446-5275

1.Energia – Periódicos. 2. Biomassa – Periódicos. I.Título

CDD: 333.7905

**Editor Executivo:**

Prof. Marco Aurélio dos Santos

**Conselho Editorial:**

Prof. Alexandre Salem Szklo

Prof. André Frossard Pereira de Lucena

Prof. Luiz Fernando Loureiro Legey

Prof. Lucio Guido Tapia Carpio

Prof. Marco Aurélio dos Santos

Prof. Mauricio Cardoso Arouca

Esta edição do **Cadernos de Energia** contou com apoio financeiro do  
**PROEX/CAPES**

**UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro**

**COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia**

**PPE – Programa de Planejamento Energético**

**Centro de Tecnologia, Bloco C, sala 211, Cidade Universitária CEP 21941-972 – Rio de Janeiro - RJ**



## APRESENTAÇÃO

Temos a grata satisfação de disponibilizar mais um número da série “Cadernos de Energia”, uma publicação do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, com periodicidade quadrimestral.

O planejamento energético na atualidade é, sem sombra de dúvidas, uma contribuição inegável na sociedade moderna. Seu campo de estudo é iminentemente interdisciplinar e abrangente, repercutindo em todos os campos do conhecimento.

Busca-se com o planejamento energético, reunir a dimensão tecnológica com uma análise política, econômica, social e, enfim, ambiental da questão energética.

Neste número temos um assunto interessante sobre a questão da vazão hídrica reduzida a jusante de aproveitamentos hidrelétricos, um tema de interesse ambiental.

Esperamos que com este novo veículo, tenhamos um canal adicional de divulgações do conhecimento para a sociedade brasileira.

Atenciosamente,  
Prof. Marco Aurélio dos Santos  
Editor Executivo



# IMPACTOS AMBIENTAIS DO TRECHO DE VAZÃO REDUZIDA EM HIDRELÉTRICAS

**Fernanda V. A. de S. Cruz Buenaga<sup>1</sup>**

**Silvana Andreoli Espig<sup>2</sup>**

**Tarcísio Luiz Coelho Castro<sup>3</sup>**

**Marco Aurélio dos Santos<sup>4</sup>**

## RESUMO

O Brasil apresenta uma grande disponibilidade de água e um enorme potencial para aproveitamento dos recursos hídricos devido a sua hidrologia privilegiada, apresentando 61,9% da geração de energia elétrica, baseada no aproveitamento hidrelétrico (EPE, 2016). O trecho de vazão reduzida (TVR) é um termo utilizado no setor de energia para caracterizar o trecho do rio natural que tem sua vazão reduzida pelo *layout* de uma usina hidrelétrica. Considerando-se as questões ambientais e ecológicas é necessário estabelecer uma vazão remanescente nesse trecho que garanta a manutenção da vida aquática (FARIAS, 2014).

---

<sup>1</sup>Doutoranda do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, email: fesouzacruz@ppe.ufrj.br

<sup>2</sup>Doutoranda do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, email:silvana@ppe.ufrj.br

<sup>3</sup>Professor do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente DRHIMA POLI/UFRJ email: tarcisio53@gmail.com

<sup>4</sup>Professor do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, Bolsista do CNPq, email: aurélio@ppe.ufrj.br

Um dos principais problemas para a viabilidade econômica de empreendimentos hidrelétricos que apresentam Trecho de Vazão Reduzida tem sido a definição da vazão ecológica. Na prática não há um consenso sobre qual vazão otimizada é necessária para a manutenção do corpo hídrico com qualidade e quantidade de água, bem como, do sistema socioambiental, visto que, as alterações nas condições ambientais são impactos inerentes à concepção de qualquer projeto hidrelétrico com TVR. Assim, deve-se focar no estabelecimento de uma vazão que atenda aos critérios sanitários e ecológicos e de usos da água, considerando as particularidades de cada caso. Esse trabalho objetiva realizar uma análise sobre os principais impactos ambientais causados pela diminuição da vazão hídrica no TVR. A construção dos barramentos para geração de energia elétrica causa impactos com a modificação dos processos químicos e biológicos realizados ao longo do curso d'água. A flutuação natural da vazão de um rio aumenta a heterogeneidade de habitats e mantém a riqueza e complexidade das comunidades biológicas. Porém, o fluxo criado pela operação da usina não possui o mesmo efeito pela intensidade e imprevisibilidade dos fenômenos (POFF *et al.*, 1997), levando a uma desestabilização das comunidades biológicas e perda de biodiversidade. No entanto, a definição da vazão remanescente no trecho de vazão reduzida ou mesmo a jusante de usinas hidrelétricas a fio d'água deve contemplar uma análise dos usos múltiplos da água, atendendo demandas sanitárias, ecológicas e de outros usos da água, conforme as características de cada local (SANTOS *et al.*, 2003).



## **ABSTRACT**

Brazil has a great availability of water and a huge potential for the use of water resources due to its privileged hydrology, presenting 61.9% of the electricity generation, based on hydroelectric use (EPE, 2016). The reduced flow section (TVR) is a term used in the energy sector to characterize the stretch of the natural river that has its flow reduced by the layout of a hydroelectric plant. Considering the environmental and ecological issues, it is necessary to establish a remaining flow in this stretch that guarantees the maintenance of aquatic life (FARIAS, 2014). One of the main problems for the economic viability of hydroelectric projects that present the reduced flow stretch has been the definition of the ecological flow. In practice, there is no consensus as to what optimum flow is required for the maintenance of the water body with quality and quantity of water, as well as the socio-environmental system, since changes in environmental conditions are impacts inherent in the design of any hydroelectric project with TVR. Thus, it is necessary to focus on the establishment of a flow that meets the sanitary and ecological criteria and uses of water, considering the particularities of each case. This work aims to perform an analysis of the main environmental impacts caused by the decrease of water flow in TVR. The construction of the buses for electric power generation causes impacts with the modification of the chemical and biological processes carried out along the watercourse. The natural fluctuation of the flow of a river increases the heterogeneity of habitats and maintains the richness and complexity of the biological communities. However, the flow created by the operation of the plant does not have the same effect due to the intensity and unpredictability of the phenomena (POFF et al., 1997), leading to a destabilization of biological communities and loss of biodiversity. However, the definition of the remaining flow in the reduced flow section or even downstream of hydroelectric power plants should contemplate an analysis of the multiple uses of water, attending sanitary, ecological and other water uses, according to the characteristics Of each site (SANTOS et al., 2003).



## INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma grande disponibilidade de água e um enorme potencial para aproveitamento dos recursos hídricos devido a sua hidrologia privilegiada em razão de diversos aspectos naturais como o clima, a geomorfologia, a topografia, rios caudalosos entre outros motivos.

Em virtude desta hidrologia, o Brasil atualmente, apresenta 61,9% da geração de energia elétrica, baseada no aproveitamento hidrelétrico (EPE, 2016). No planejamento energético nacional o objetivo é atender a demanda de energia no curto/médio prazo (10 anos) e longo prazo (30 anos). Atualmente, estima-se que o Brasil seja o 2º país com maior potencial hidrelétrico no mundo, deste montante, 40% está na região Amazônica, a grande fronteira da expansão hídrica do país (EPE, 2016).

A partir da década de 1990, instaurou-se a determinação da exploração do potencial hidráulico por meio de concorrência ou leilão. Assim, o capital privado passou a ter possibilidade de investir, construir e operar a infraestrutura de energia brasileira (FARIA, 2011).

Inicialmente, explorou-se o potencial hidrelétrico das regiões Sudeste e Sul, onde estavam e ainda estão localizados os maiores centros de consumo do país, e mais tarde a exploração do potencial hidrelétrico das regiões Nordeste e Norte. As expansões mais significativas ocorreram a partir da década de 50, quando houve uma decisão estratégica do governo brasileiro de explorar o vasto potencial hidrelétrico do país (MME/EPE, 2007b). As expansões foram particularmente significativas na década de 80, em consequência dos choques no preço do petróleo ocorridos na década de 70, quando grandes indústrias eletrointensivas começaram a se instalar no país.

Ressalta-se o início da exploração do potencial hidrelétrico da região Norte a partir da década de 80. Nestas duas décadas, as expansões ocorreram, sobretudo através da construção de usinas hidrelétricas de grande porte. O parque gerador foi fundamentalmente desenvolvido por empresas estatais até a década de 90, quando foram realizadas reformas institucionais no setor elétrico para atrair o investidor privado. No entanto, devido às incertezas associadas ao novo marco regulatório, os investimentos nos anos que se seguiram foram modestos.

Cabe ressaltar que no período entre 1975 a 2014, a capacidade instalada total foi bastante superior à demanda, até meados da década de 80. As expansões morosas e aquém dos montantes necessários para acompanhar o crescimento da demanda, acabaram por resultar numa operação com maior utilização da energia armazenada nos reservatórios hidrelétricos. No entanto, em 2001, a severidade da crise hídrica combinada com a insuficiente energia armazenada nos reservatórios e geração termelétrica de *backup*, resultou então no racionamento de energia decretado pelo governo federal (TOLMASQUIM, 2016).

No contexto de vulnerabilidade hídrica podem-se destacar dois tipos: Vulnerabilidade Hídrica Natural é aquela presente nas regiões áridas e semiáridas, condições ambientais naturais e, a Vulnerabilidade Hídrica Antrópica, aquela promovida por ação humana na gestão do recurso hídrico, seja com o abastecimento de água, irrigação, geração hidrelétrica sem e com trecho de vazão reduzida.

Em 2004 foi instituída a reforma do marco regulatório, que teve como objetivo garantir a segurança do abastecimento de energia elétrica (Leis nº 10.847 e 10.848), retomando para o Estado o papel de coordenador e planejador setorial; além de introduzir o conceito de leilões competitivos como forma de negociar contratos de compra e venda de energia. Foi então criada a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para realizar os estudos de planejamento de expansão de médio e longo prazos, com base nos quais o governo define sua política energética. A partir deste novo modelo, se tornou possível promover expansões importantes do parque gerador brasileiro.

Com isso, além da introdução da geração eólica no parque gerador brasileiro, houve também uma retomada das expansões de usinas hidrelétricas e termelétricas. Cabe ressaltar que, a participação de hidrelétricas na capacidade instalada total do parque gerador reduziu de quase 80% em 2005 para cerca de

67% em 2014 e, em termos de geração, sua participação na matriz elétrica diminuiu de 83% para 63% no mesmo período (TOLMASQUIM, 2016).

Ainda, no triênio 2013 a 2015 verificou-se outro período em que a hidrologia foi desfavorável, porém, em função de uma maior participação da geração termelétrica e eólica, assim como os reforços no sistema de transmissão, que combinados com a crise econômica (e, conseqüente redução de demanda), pode-se evitar novo racionamento. Nesse período, o fator de capacidade médio das UHE, que oscilava em torno de 55%, caiu para 48%, em função de condições hidrológicas desfavoráveis (EPE, 2016).

Ressalta-se que em conformidade com a Lei nº 10.848 de 2004, o Brasil realiza leilões para compra de energia nova com três e cinco anos de antecedência. Sendo assim, a região Norte é onde deverá ocorrer a maior expansão hidrelétrica, com a entrada em operação de grandes empreendimentos como a usina hidrelétrica de Belo Monte (EPE, 2015b).

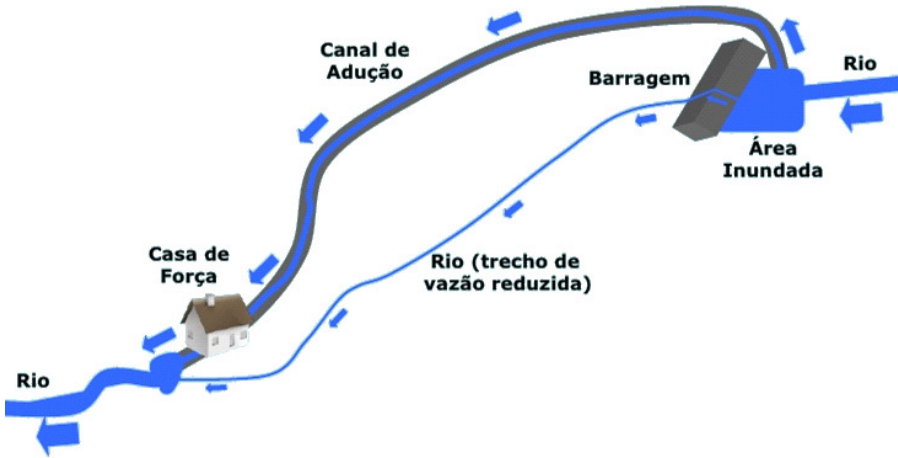
Os órgãos ambientais, o IBAMA, a ANA ou as secretarias de recursos hídricos dos estados normalmente tem a incumbência e competência para fixar aprovar a vazão mínima a jusante de uma barragem e os usos da água.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise sobre os principais impactos ambientais causados pela diminuição da vazão hídrica no trecho de vazão reduzida (TVR), na operação de empreendimentos hidrelétricos, nas bacias hidrográficas pertencentes.

## **1.1- O Trecho de Vazão Reduzida (TVR) em Reservatórios Hidrelétricos**

O trecho de vazão reduzida (TVR) é um termo utilizado no setor de energia para caracterizar o trecho do rio natural que tem sua vazão reduzida pelo layout de uma usina hidrelétrica, isto é, trata-se do trecho do rio que terá sua vazão diminuída em virtude da implantação de um aproveitamento hidrelétrico previsto com adução por derivação (com canal ou túnel de adução) para otimização do potencial hidroenergético local (Figura 1). Portanto, o trecho de vazão reduzida representa a distância, medida ao longo do curso do rio, entre o eixo do barramento e o canal de restituição das águas turbinadas (canal de fuga) de um aproveitamento hidrelétrico cuja adução é proposta por derivação.

**Figura 1: Planta esquemática de uma usina com Trecho de Vazão Reduzida**



Considerando-se as questões ambientais e ecológicas é necessário estabelecer uma vazão remanescente (ou residual) nesse trecho que garanta a manutenção da vida aquática (FARIAS, 2014).

O trecho de vazão reduzida pode ser uma alternativa para construção de hidrelétrica cujo objetivo é o aproveitamento do melhor arranjo de queda de um local com potencial hidrelétrico.

No entanto, ressalta-se que a diminuição do impacto causado pelo trecho de vazão reduzida gera novos impactos associados a esta situação.

Este tipo de arranjo afeta o próprio leito natural do rio e também a população ribeirinha que faz uso dessa água (SANTOS *et al*, 2005). Nesta concepção de projeto, boa parte da água que passava pela calha do rio é desviada por um túnel ou canal de adução e sai do barramento direto para a casa de força, retornando ao leito do rio através de um canal de fuga (MORTARI, 1997).

Algumas terminologias têm sido utilizadas para definir a vazão do TVR, segundo TUCCI (2012):

- **Vazão remanescente:** é a vazão mínima a jusante de um barramento contabilizando os diversos usos da água numa bacia hidrográfica, inclusive os

ambientais, depois de outorgados estes usos.

- Vazões ambientais: são as vazões do hidrograma que devem ser mantidas para dar sobrevivência ao ecossistema aquático nas condições atuais e futuras;
- Vazão sanitária: é um dos termos utilizados para a vazão de referência definida no CONAMA 357/2005 para garantir a qualidade da água quando a principal fonte de contaminação são cargas de esgoto doméstico e industrial.

Muitas usinas no Brasil no passado foram construídas sem vazão remanescente, ou seja, não existia nenhuma regulação sobre o assunto. Entretanto, com a aprovação da legislação de outorga a nível Federal (Lei nº 9.433/1997) e nos Estados (Lei Estadual nº 3.239/1999, no caso do Estado do Rio de Janeiro), passou-se a exigir uma vazão mínima para o TVR para garantir as condições de sobrevivência hídrica e ambiental deste trecho de rio.

Um dos principais problemas para a viabilidade econômica de empreendimentos hidrelétricos que apresentam Trecho de Vazão Reduzida tem sido a definição da vazão ecológica. Destaca-se que a preocupação com a manutenção de vazão ecológica em trechos de rios alterados por desvios para a geração de energia elétrica ou pela regularização de vazões é relativamente recente no Brasil já que empreendimentos mais antigos normalmente não previam vazões para o TVR (COLLISCHONN e TUCCI, 2009).

Na etapa de viabilidade técnico-econômica de empreendimentos hidroenergéticos, a definição desse valor de vazão ecológica é de grande importância, pois, dependendo do valor adotado, pode trazer grandes impactos ambientais, caso seja subestimado ou aumentar os custos a ponto de inviabilizar o empreendimento, se superestimado.

De acordo com Benetti *et al.* (2003) a manutenção de vazões ditas “ecológicas”, ou seja, que a despeito de serem inferiores as vazões naturais, garantem a persistência dos processos funcionais e estruturante do ecossistema aquático, é uma das variáveis requeridas para possibilitar a continuidade das funções ecossistêmicas de ambientes aquáticos impactados pela utilização do recurso hídrico. Dessa forma, pode-se considerar que a determinação da vazão ecológica é uma estratégia para minimizar o impacto dos diversos usos da água nos recursos aquáticos.

Outrossim, alguns empreendimentos hidrelétricos de grande porte, mesmo

sem um arranjo de engenharia com desvio de águas e com trecho de vazão reduzida, tem sido cobrados pelos órgãos ambientais para definir um hidrograma ecológico, um hidrograma o mais parecido possível com as vazões naturais, até mesmo para usinas a fio d'água, sem qualquer capacidade de regularização, como foi o caso recente da UHE Baixo Iguaçu. Em usinas de regularização, se forem implantadas maior ainda será a cobrança para a definição desse hidrograma.

Deve-se destacar que existem inúmeros métodos para determinar uma vazão ecológica, no entanto estes, em sua maioria, não incorporam de forma robusta os amplos dados dos ecossistemas aquáticos, sendo principalmente baseados na análise de indicadores hidrológicos.

## **1.2 Impactos Ambientais Associados ao TVR**

De acordo com a Resolução CONAMA 001/1986, considera-se impacto ambiental “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais”.

Seguindo o mesmo pensamento, Bolea (1989), define impacto ambiental como a diferença entre a situação do meio ambiente no futuro modificado, após a realização do projeto, e a situação do meio ambiente no futuro com uma evolução normal, sem o projeto.

Moreira (1992) conceitua como qualquer alteração no meio ambiente em um ou mais de seus componentes provocada por uma ação humana. Já a norma NBRISO 14001:2004 destaca a possibilidade de efeitos benéficos e define impacto ambiental como qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização. Sanchez (2008) adota o conceito de alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana.

O termo integridade biótica de um sistema hídrico se refere à capacidade deste de manter uma comunidade com riqueza de espécies, composição e organização funcional comparável à de sistemas não perturbados por atividades humanas.



Atividades antrópicas têm exercido uma profunda e, frequentemente, negativa influência na qualidade ambiental de sistemas continentais, desde os menores córregos aos maiores rios. Alguns efeitos negativos são devidos à introdução de poluentes, enquanto outros estão associados às mudanças na hidrologia da bacia, modificações no hábitat e alterações das fontes de energia, das quais depende a biota aquática (ARAÚJO, 1998).

Na prática não há um consenso sobre qual vazão otimizada é necessária para a manutenção do corpo hídrico com qualidade e quantidade de água, bem como, do sistema socioambiental, visto que, as alterações nas condições ambientais são impactos inerentes à concepção de qualquer projeto hidrelétrico com TVR. No entanto, almejar a garantia das mesmas condições naturais do rio resultaria na inviabilidade da alternativa tecnológica. Assim, deve-se focar no estabelecimento de uma vazão que atenda aos critérios sanitários e ecológicos e de usos da água, considerando as particularidades de cada caso.

### **1.3- Vulnerabilidade Hídrica**

A análise da vulnerabilidade natural observada sob o enfoque das águas superficiais tem por objetivo avaliar o maior ou menor grau de sensibilidade que os corpos hídricos de superfície, principalmente os cursos de água, apresentam face sua interação com as atividades humanas.

Ainda, a sustentabilidade está relacionada ao meio ambiente – há ambientes mais vulneráveis a determinadas ações antrópicas. Para que se alcance o desenvolvimento sustentável em uma determinada região é necessário que se conheça bem suas potencialidades e vulnerabilidades (CAMPOS *et al.*, 1997).



## Materiais e Métodos

Foi realizado um levantamento sistemático de dados bibliográficos a cerca do tema, na legislação brasileira vigente, e estudos ambientais realizados para implantação dos empreendimentos.

Este estudo constitui-se de uma busca em literatura especializada, realizada com publicações entre os anos de 1978 e 2016, no qual realizou-se uma consulta a livros, periódicos, artigos científicos, Estudos de Impacto Ambiental e seus Respectivos Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) sobre hidrelétricas e Programas Básicos Ambientais de aproveitamentos hidrelétricos, selecionados através de busca no banco de dados livres além de órgão ambientais.

Na revisão bibliográfica, foram utilizadas sítios de busca pela rede mundial, utilizando-se os seguintes termos: trecho de vazão reduzida, hidrelétrica e impactos ambientais.

Foram analisados os seguintes aproveitamentos hidrelétricos com Trecho de Vazão reduzida:

**Tabela 1: Aproveitamentos Hidrelétricos com Trecho de Vazão Reduzida analisados.**

Aproveitamento Hidrelétrico	Potência (kW)	Operação
UHE Capim Branco I	240.000	21/02/2006
UHE Capim Branco II	210.000	09/03/2007
PCH Tombo	2.880	-
PCH Bicas	1.560	-
UHE São Domingos	48.000	14/06/2013
UHE Ituerê	44.040	-

O principal impacto em usina com Trecho de Vazão Reduzida é a criação de um “curto-circuito” no rio para aproveitar o declive topográfico natural, desconectando o rio longitudinalmente e alterando o regime hídrico no trecho de vazões reduzidas (SOUZA, 2009). Dessa forma, a crescente necessidade em conciliar desenvolvimento econômico com conservação ambiental traz à tona o conceito de vazão ecológica ou ambiental, que se refere à quantidade, qualidade e regimes de vazões necessários para sustentar os ecossistemas aquáticos e sua biodiversidade e também para manter os serviços ecológicos dos quais depende a sociedade humana (POFF *et al.*, 2010).

O controle hidrológico para a geração de energia implica na retenção de parte da vazão natural do rio, de modo que os níveis de vazão remanescentes são em geral insuficientes para o adequado funcionamento dos ecossistemas, notadamente para permitir a inundação das florestas aluviais, que constituem habitat – chave para a reprodução, desenvolvimento e nutrição de diversas espécies aquáticas. Como consequência, registra-se diminuição da sobrevivência de espécies críticas e da produção biológica (COMISSÃO MUNDIAL PARA GRANDE BARRAGENS, 2000).

Porém, quanto maior o TVR, maiores os impactos associados. Se no trecho de vazão reduzida existir uma contribuição significativa de carga orgânica, a vazão que está sendo mantida pela efluência da barragem poderá não ser suficiente para promover a diluição e manter os níveis de qualidade dentro do padrão aceitável na legislação vigente, o que se caracteriza como um impacto no que se refere à qualidade da água.

No Brasil, podemos exemplificar vários empreendimentos hidrelétricos de pequeno e grande porte que utilizam TVR são eles: UHE Belo Monte, UHE Simplicio (Com uma barragem e uma PCH Anta junto à barragem e derivação por meio de vários canais, túneis e reservatórios), UHE Capim Branco, PCH Pomba, PCH Buritis, PCH Esmeril, PCH Capão Preto, PCH Foz do Chopim, PCH Paraitinga, dentre outros.

Apesar desse tipo de arranjo estar se tornando mais frequentes em aproveitamentos hidrelétricos, os estudos de impacto ambiental de empreendimentos com essa configuração deixam a desejar no que se refere às alterações e impactos trazidos pela diminuição de vazão. Dentre as razões da pouca assertividade dos prognósticos ambientais relacionados à diminuição de vazão, tem-se a falta

de informações sistematizadas e de pesquisas elaboradas antes, durante e após o estabelecimento da vazão reduzida. Faltam balizadores que permitam apontar as componentes ambientais que realmente são alteradas pela diminuição de vazão; que possibilitem individualizar e estimar o real grau de alteração imposto às componentes e mais, que permitam avaliar se a alteração da componente pode ou não ser mitigada (BIZERRIL & FONSECA, 2002).

Segundo Mortari (1997) e Engevix (2002) a redução de descargas em um trecho de rio pode causar diversos impactos nos usos e na qualidade da água, dentre estes se destacam: deterioração da paisagem, expondo o leito do rio e secando corredeiras; mortalidade de peixes, por estagnação de água em poças, baixa oxigenação e isolamento de trechos; possibilidade de desenvolvimento de condições anaeróbias, pela diminuição da capacidade de autodepuração das águas; redução da capacidade de aeração, devido à baixa turbulência e viscosidade; interrupção de atividades econômicas de uso consuntivo das águas, como a irrigação de culturas e as captações para abastecimento público e industrial.

Cabe ressaltar que quanto maior o trecho de vazão reduzida e a potência da usina maior o impacto causado. Mas mesmo usinas de pequeno porte podem causar efeitos negativos importantes.

Ainda, nas usinas sem trecho de vazão reduzida, como já mencionado no item 1.1, os impactos têm sido mencionados e cobradas ações mitigadoras pelos órgãos ambientais.

Nesse caso, o maior potencial de impactos está associado a forma como a usina opera. Em usinas a fio d'água, com ou sem TVR, os impactos estão associados a oscilação diária das vazões para atendimento da demanda de ponta. Em algumas usinas essa variação pode representar uma oscilação 150% maior do que a vazão de estiagem, quando a usina opera com uma máquina ou duas, e para atender a ponta chegam a triplicar a vazão turbinada.

No entanto, o maior impacto nas vazões é provocado pelas usinas com reservatório, onde até mesmo a sazonalidade pode ser alterada, isto é, o regime de cheias e estiagens como ocorre nas usinas de Sobradinho e Três Marias no rio São Francisco.

Ressalta-se que em todos os casos o impacto pode e deve ser minimizado através da determinação da vazão ecológica ambiental e energeticamente viável.

## Deterioração da paisagem

A alteração no fluxo natural do rio através da diminuição da vazão hídrica disponível neste trecho resultará em impactos na paisagem local. Este impacto afeta, com grande magnitude, o patrimônio natural da região, expondo os afloramentos rochosos (Figura 2) e ainda descaracterizando as cachoeiras, cascatas e corredeiras, uma vez que suas águas serão diminuídas (LIMIAR, 2002).

Além disso, a diminuição da umidade no trecho de vazão reduzida poderá também alterar a comunidade de epífitas (ricamente constituída de orquídeas, bromélias e samambaias) presente nas matas ciliares (LIMIAR, 2002). Vale destacar que, devido a modificação da paisagem, as populações que permanecerem no Trecho de Vazão Reduzida, poderão enfrentar uma diminuição na área disponível, na qualidade dos habitats e possivelmente na composição de presas.



**Figura 2: Trecho de vazão reduzida da PCH Ituerê no rio Pomba, demonstrando a exposição dos afloramentos rochosos.**

Fonte: Tarcísio Casto (Arquivo pessoal)

## Perda da Diversidade da Flora

Para o trecho de vazão reduzida, a perda de diversidade da flora encontra-se associado às alterações nos padrões fenológicos e composição florística da flo-

resta aluvial. Considera-se como certa a ocorrência desse impacto uma vez que a redução de vazão no TVR quase que elimina o efeito de extravasamento do rio para as margens e ilhas aluviais, deixando essa vegetação exposta a uma nova condição natural. Ainda, pode-se considerar a natureza do impacto como sendo negativa, pois encontra-se associado a esse tipo de vegetação existe um habitat essencial à ictiofauna e que é impactada diretamente, além das alterações no aporte de nutrientes e perda de produtividade primária.

## **Alteração da comunidade faunística**

Com a redução da vazão do rio e consequente perda de inundação das matas ciliares e alteração do padrão de inundação nos ambientes de pedrais, ocorre perda de habitats natural que por sua vez provoca alterações de comunidades faunísticas.

Dessa forma, populações de herpetofauna, mamíferos aquáticos e semiaquáticos são diretamente impactados nos trechos de vazão reduzida dos empreendimentos hidrelétricos.

Ainda, a perda de inundação das matas adjacentes e pedrais, produz alteração de habitats naturais e, poderá haver redução de habitats alimentares. A redução de vazão implicará em colonização da margem com vegetação pioneira, com o potencial de sombrear as desovas que poderão aí ocorrer.

Redução de populações ou eliminação de espécies intolerantes às alterações hidrológicas

A liberação de um hidrograma mínimo para o trecho de vazão reduzida pode provocar a redução de populações ou eliminação de espécies intolerantes às alterações hidrológicas que impossibilitem acesso a recursos – chave.

Esses efeitos podem se manifestar por três vias:

- ◆ Perda da qualidade de habitat nos pedrais e demais habitats do trecho;
- ◆ Perda de áreas de planícies de inundação por diminuição das vazões;
- ◆ Perda de sincronia para as atividades vitais especialmente das espécies migradoras.

A perda local de habitats pode contribuir para o aumento de estresse na ictiofauna com perda de áreas potenciais de desova, de abrigo contra predadores

e de habitat de alimentação de jovens e adultos. A perda de habitat sempre acarreta aumento de lotação dos habitat disponíveis, de modo que sobre tudo nas imediações do trecho pode ocorrer aumento de competição por habitat de melhor qualidade.

O controle hidrológico no trecho de vazão também pode impor pressão ambiental também sobre as espécies sedentárias que dependem dos pedrais para sua sobrevivência. Muito embora essas espécies não estejam diretamente associadas às planícies de inundação, nem tampouco necessitem realizar migrações laterais ou longitudinais para desovar, suas estratégias de vida também são intimamente dependentes do regime hidrológico. A perda de planícies de inundação por controle hidrológico acarreta perdas substanciais das guildas de espécies associadas àqueles habitats (WELCOMME, WINEMILLER e COWX, 2006). Esses impactos são particularmente importantes para as espécies migradoras. Ainda que parte dos estoques consiga desovar, a falta de inundação suficiente para a alimentação dos peixes adultos poderá acarretar rupturas importantes nas redes tróficas.

## **Perda de ovos e alevinos a jusante das usinas**

Outro aspecto negativo de operação de usinas hidrelétricas e normalmente não identificados pelos estudos de impacto ambiental refere-se a operação das usinas, mesmo as que operam a fio d'água como as PCHs, que são despachadas para atender o horário de ponta da demanda do sistema elétrico brasileiro, hoje, entre 15 e 19 horas. As usinas saem em alguns casos de vazões liberadas por uma máquina para vazões de todo o conjunto de turbinas da casa de força.

Se os alevinos e ovos estiverem a jusante, com a elevação do nível repentina, flutuam até cotas mais altas, e quando as máquinas são desligadas a noite repentinamente, esses indivíduos ficam presos na vegetação marginal, e no dia seguinte são queimados pela radiação solar. Muitas ovos e alevinos, por relatos de pescadores são perdidos nesse processo.

Se a operação fosse mais amigável, obedecendo a uma rampa de variação mais suave quando se ligam as máquinas adicionais e depois no seu desligamento esse impacto poderia ser minimizado ou mesmo eliminado.



## Mortandade de peixes

A redução da vazão pode influenciar na redução da riqueza de espécies íctias. Em virtude da redução do volume de água entre a barragem e a casa de força, o trecho de vazão reduzida somente torna viável a continuidade biológica de espécies de menor porte, e em menores populações do que as registradas anteriormente. Ainda, um impacto adicional poderá ocorrer quando houver interrupção ou diminuição acentuada do volume vertido, o que poderá ocasionar o aprisionamento ou mesmo a morte de peixes atraídos para a área; já que se torna comum a retenção de peixes nas poças que se formarem no leito do rio; além de áreas mais rasas, planas e com fundo rochoso, também reterem peixes, pelo rápido escoamento da água (LIMIAR, 2002).

Nos últimos anos abordagens experimentais têm associado à redução artificial da vazão a desestruturação destas comunidades. Dentre os efeitos negativos reportados, destacam-se alterações na composição taxonômica, declínio da riqueza e densidade, aumento da competição por espaço físico e alimento, favorecimento da predação além de mudanças no comportamento de derivados organismos (DEWSON *et al.*, 2007).

Dessa forma, em trechos de rios submetidos à redução da vazão é comum registrar-se declínio na densidade, diversidade ou até mesmo desaparecimento de *taxa* mais sensíveis (CAZAUBON & GIUDICELLI, 1999; MCINTOSH *et al.*, 2002; KINZIE *et al.*, 2006). Distúrbios desta natureza podem, conseqüentemente, afetar os processos ecológicos dos quais as comunidades de macroinvertebrados participam (COVICH *et al.*, 2004). A capacidade destes organismos em converter recursos basais (material vegetal e detritos) em tecido animal é importante nas teias alimentares aquáticas, cuja desestruturação pode causar alterações no fornecimento de energia para todo o ecossistema (WALLACE & WEBSTER, 1996; GRAÇA, 2001).

Ainda, pode-se destacar que estudos de dinâmica das populações de peixes correlacionaram aumentos significativos na taxa de mortalidade natural em rios tropicais com a diminuição da vazão remanescente durante a estação seca (WELCOMME, 1992).

Uma das estratégias empregadas em países europeus para amenizar os efeitos negativos da redução da vazão sobre as comunidades aquáticas, especialmente sobre os peixes e macro invertebrados, é a construção de pequenas barragens nos trechos regulados (CORTES *et al.*, 2002).



**Figura 3: Vertedor fechado e operação da vazão com abertura de válvula na UHE Capim Branco**

Fonte: Tarcísio Castro (Arquivo Pessoal)



**Figura 4: TVR da UHE Capim Branco**

Fonte: Tarcísio Castro (Arquivo Pessoal)

## **Alteração nos padrões de pesca**

A redução de vazão no TVR irá alterar drasticamente a disponibilidade de áreas de desova e crescimento para a ictiofauna. Dessa forma, as alterações nos padrões de pesca podem acarretar problemas para os pescadores, os quais terão que “apreender” com as novas condições para poder sobreviver dessa atividade.

Significando, perdas econômicas, decorrentes da diminuição da renda aferida, bem como conflitos sociais e políticos, decorrentes, os quais serão atribuídos ao empreendimento.

## **Possibilidade de desenvolvimento de condições anaeróbias**

Com a redução da vazão natural dos rios, o corpo d'água no trecho de vazão reduzida tende a se tornar mais parado. Águas paradas, em geral, promovem uma hipoxia forte ou até anoxia nas camadas profundas. Isto se deve ao fato de que a solubilidade de oxigênio na água diminui com o aumento da temperatura, enquanto que os processos de decomposição que consomem oxigênio se aceleram (LIMIAR, 2002).

Cálculos preliminares em Curuá-Una mostram que a maior parte do oxigênio entra no reservatório pelos afluentes. Consequentemente, a extensão da camada anóxica e o tempo de existência dela são fortemente influenciados pelo tempo de retenção da água no reservatório (VAN DER HEIDE, 1982).

## **Alteração do nível de coliformes**

O aumento da concentração de coliformes encontra-se relacionado ao aumento da concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo provenientes dos efluentes não tratados. A qualidade da água e os usos em todo o trecho poderão ser afetados, aumentando a potencialidade de transmissão de doenças de veiculação hídrica, uma vez que os coliformes são apenas indicadores da contaminação fecal e produzirá um maior consumo de oxigênio na decomposição da matéria orgânica.

Os coliformes fecais e especificamente o *Escherichia coli* são comumente utilizados como parâmetro de qualidade da água, indicando contaminação por esgotos ou dejetos animais que são prejudiciais a saúde humana, já os coliformes

totais podem ser encontrados naturalmente no solo e na água não sendo específicos como indicadores de contaminação.

As concentrações humanas, com deficiência ou ausência de tratamento de esgotos, aumentam a carga de nutrientes, além de contribuir com a propagação de doenças de veiculação hídrica. Aliado a redução de vazão no TVR com uma carga de esgotos acarreta em uma maior concentração de coliformes.

## **Redução da capacidade de aeração**

Um dos impactos da alteração do regime diz respeito à redução da capacidade de reoxigenação das águas (ALBIZURI & BIANCO, 1997). O coeficiente de reaeração é proporcional à turbulência das águas e à sua viscosidade. A turbulência depende da velocidade do vento e da ação resultante de ondas, enquanto a viscosidade é função da temperatura da água (ARCEIVALA, 1981).

Com o barramento, ocorre a diminuição da velocidade de escoamento das águas e, conseqüentemente, diminuição de sua turbulência que acarreta em menores coeficientes de reaeração. Do mesmo modo, a mudança do pulso hidrológico ao longo do trecho de vazão reduzida leva a uma condição mais favorável à proliferação de algas, que, caso seja de forma intensa, conduz à chamada eutrofização. Ainda, a redução de vazão nesse trecho anastomosado irá formar canais de água parada que só serão renovadas nos períodos de cheias mais intensas, com altas temperaturas.

## **Interrupção de atividades econômicas de uso consuntivo das águas**

Um dos impactos identificados, a partir da redução da vazão natural, para o meio antrópico, é a redução da disponibilidade hídrica aos proprietários localizados, ou que captam água, no trecho de vazão reduzida.

Algo que afeta a vazão de alimentação das hidrelétricas são os usos consuntivos da água. O uso consuntivo representa a extração da água para um fim que irá incorporá-la de forma parcial (parte do que se extrai, se devolve posteriormente) ou total (tudo que se extrai se incorpora) (MAIA *et al.*, 2011).

Existem diversos usos considerados consuntivos que são relevantes por se tratar de grandes consumidores de água. No Brasil, de forma similar ao que

acontece em outros países, o maior consumo de água está concentrado principalmente na agricultura, sobretudo para a irrigação de culturas. O uso doméstico responde pelo segundo maior consumo de água com aproximadamente 20% da demanda total, seguido pela indústria e pela pecuária (FREITAS, 2012).

Ainda, além dos usos consuntivos, os usos que apesar de serem considerados não consuntivos, e que também demandam grandes quantidades de água, entre eles o lazer e recreação, podem ser afetados pela diminuição da vazão neste trecho do rio.

### **Assoreamento dos rios**

A redução da correnteza, resultando pela diminuição da vazão no TVR, poderá interferir no assoreamento a jusante pois poderá acarretar em uma erosão das margens, além de aumentar também a erosão nos vales, até chegar de novo ao equilíbrio determinado pela geometria hidráulica do rio (JUNK & NUNES DE MELLO, sd).

## Conclusão

A flutuação natural da vazão de um rio aumenta a heterogeneidade de habitats e mantém a riqueza e complexidade das comunidades biológicas. Segundo Connell (1978), a diversidade de espécies é máxima em um nível intermediário de distúrbios, que podem ser causados pela flutuação natural da vazão dos rios. Porém, o fluxo criado pela operação da usina para atender às exigências energéticas não possui o mesmo efeito pela intensidade e imprevisibilidade dos fenômenos (POFF *et al.*, 1997), levando a uma desestabilização das comunidades biológicas e perda de biodiversidade. Além disso, a modificação do hidrograma fluvial pode provocar interferências graves nas formas de sobrevivência de comunidades que dependem essencialmente das atividades pesqueiras.

Atualmente, um problema notável para a gestão dos recursos hídricos é o conflito entre a proteção do habitat dos organismos aquáticos e a crescente demanda para a utilização de água nos rios (UNESCO, 2006). A água suporta funções de grande valor para os seres vivos, que podem ser categorizadas como a manutenção da saúde pública, desenvolvimento econômico, recreação e preservação do equilíbrio ecológico. Os serviços ofertados pela água dependem da manutenção de suas características hidrológica, morfológica, química e ecológica (BENETTI *et al.*, 2003).

De acordo com os mesmos autores, uma das variáveis requeridas para possibilitar a continuidade das funções ecossistêmicas de ambientes aquáticos impactados pela utilização do recurso hídrico é a manutenção de vazões ditas “ecológicas”, ou seja, que a despeito de serem inferiores as vazões naturais, garantem a persistência dos processos funcionais e estruturante do ecossistema aquático. Dessa forma, pode-se considerar que a determinação da vazão ecológica é uma estratégia para minimizar o impacto dos diversos usos da água nos recursos aquáticos.

No entanto, a definição da vazão remanescente no trecho de vazão reduzida ou mesmo a jusante de usinas hidrelétricas a fio d'água, não deve se resumir a um exercício de parametrização de vazões, mas contemplar uma análise dos usos múltiplos da água, atendendo demandas sanitárias, ecológicas e de outros usos da água, conforme as características de cada local (SANTOS *et al.*, 2003).

## Referências Bibliográficas

ALBIZURI, R.G., BIACO, C. A qualidade da água em reservatórios do setor elétrico. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 12., 1997, Vitória, ES. Anais... Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. ES, 1997

ANEEL-Agência Nacional de Energia Elétrica resolução nº 394 - 04-12-1998. Estabelece os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas. 1998.

ARAÚJO, F. G. Adaptação do índice de integridade biótica usando a comunidade de peixes para o rio Paraíba do sul. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 58, n. 4, p. 547-558, 1998.

ARCEIVALA, S.J. Wastewater treatment and disposal: Engineering and ecology in pollution control. New York: Marcel Dekker, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO 14001**: Sistema de gestão ambiental – requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004

BENETTI, A. D.; LANNA, A. E.; CABALCHINI, M. S. Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 8, pp. 149 – 160, 2003.

BOLEA, M.T.E. **Evaluacion del Impacto Ambiental**. Madri: Fundación MAPFRE. 2.ed. 609 p. 1989.

CAMPOS, J.N.B.; VIEIRA NETO, J.F.; MARTINS, E.S. Vulnerabilidade de sistemas hídricos: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 2 n2. 1997.

CAZAUBON, A. & GIUDICELLI J. Impact of the residual flow on the physical characteristics and benthic community (algae, invertebrates) of a regulated Mediterranean river: The Durance, France. **Regul. Rivers Res. Mgmt.** 15:441–461. 1999.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Parecer técnico sobre a vazão remanescente na UHE São Domingos, no Rio Verde – MS. p 42. 2009  
CONNELL, J., 1978. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science* 199: 1304-1310.



CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº. 001 de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre o licenciamento ambiental e o estudo prévio de impacto ambiental. **Diário Oficial da União**, de 17 de fevereiro de 1986. Brasília, DF, 1986.

CORTES, R. M. V., M. T. FERREIRA, S. V. OLIVEIRA, & D. OLIVEIRA. Macroinvertebrate community structure in a regulated river segment with different flow conditions. – **River Res. Applic.** 18: 367–382. 2002

COVICH, A. P., e colaboradores. The role of biodiversity in the functioning of fresh water and marine benthic ecosystems. **Bioscience** 54: 767–775. 2004.

DEWSON ZS, JAMES ABW, DEATH RG. A review of the consequences of decreased flow for instream habitat and macroinvertebrates. **Journal of the North American Benthological Society** 26: 401–415. DOI: 10.1899/06-110.1. 2007.

ELETRÓBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Manual de pequenas centrais hidrelétricas / **Diretrizes para estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 3ª. Edição, 1982.

ENGEVIX, Programa de Garantia das Condições Hidrológicas e Ambientais no Trecho de Vazão Reduzida, **Plano de Controle Ambiental – Capim Branco I**, 2002

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA-EPE. **Balanco Energético Nacional 2014: Ano base 2013** / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2014. 288p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA-EPE. **Balanco Energético Nacional 2016: Ano base 2015** / Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2016.

TOLMASQUIM, MAURICIO TIOMNO. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica** / Mauricio Tiomno Tolmasquim (coord.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016. 452p.

FARIA F. A. M. Metodologia de Prospecção de Pequenas Centrais Hidrelétricas. **Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**. 2011

FARIAS, R. A. N. Avaliação dos Procedimentos de Autorização e Outorga para Implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Dissertação Submetida ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. 2014

FREITAS S. P. O Impacto do Uso e Consumo de Água na Mineração sobre o Bloco de Energia Assegurada em Empreendimentos Hidrogeradores: Estudo de Caso da PCH Bicas. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. 2012

GRAÇA, MAS. The role of invertebrates on leaf litter decomposition in stream –a review. **International Review of Hydrobiology**, vol. **86**, no. **4-5**, p. **383-393**. 2001.

HEIDE, J. van der. Lake Brokopondo. Filling phase limnology of a man-made lake in the humid tropics. Univ. Amsterdam: 428 pp. 1982

HOMRICH, A.S.; CASAROTTO FILHO, N. Análise comparativa de investimentos no setor elétrico: implantações de pequenas centrais hidrelétricas x linhas de transmissão. **In: XXVI ENEGEP. Anais. Fortaleza**,2006.

JUNK, W.J & NUNES DE MELLO, J. A. S. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos Avançados**, **4 (8)**.

KINZIE, RAL, CHONG, C., DEVRELL, J., LINDSTROM, D. & WOLF, R. Effects of water removal on a Hawaiian stream ecosystem. **Pacific Scientific**, vol.**60**, no. **1**, p. **1-47**. 2006

LIMIAR ENGENHARIA AMBIENTAL. Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da PCH Tombo. 2002.

Maia G. A R.; Zambon R. C.; Barros M. T. L. OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2011

McINTOSH, MD., BENBOW, ME. & BURKY, AJ. Effects of stream diversion on riffle macroinvertebrate communities in a Maui, Hawaii, stream. **River Research and Applications**, vol. **18**, no. **6**, p. **569-581**. 2002

MOREIRA, A. C. Conceitos de ambiente e de impacto ambiental aplicáveis ao meio urbano. 1992.

MORTARI, D. Uma abordagem geral sobre a vazão remanescente, em trechos “curtocircuitados”, de usinas hidrelétricas. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 12., 1997, Vitória, ES. Anais... Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. ES, 1997.

NOGUEIRA, V.P.Q. Qualidade da água em lagos e reservatórios. In: PORTO,R.L. (Org.) **Hidrologia ambiental**. Coleção ABRH de Recursos Hídricos.Vol.3. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1991.

PAULO, R. G. F. Ferramentas para a Determinação de Vazões Ecológicas em Trechos de Vazão Reduzida: Destaque para Aplicação do Método do Perímetro Molhado no Caso de Capim Branco I. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. 2007

PETTS, G. E. Long-term consequences of upstream impoundment, *Env. Cons.*,7(4), 325-332, 1980.

POFF, N. L., J. D. ALLAN, M. B. BAIN, J. R. KARR, K. L. PRESTEGAARD, B.D. RICHTER, R. E. SPARKS & J. C. STROMBERG. The Natural Flow Regime. A paradigm for river conservation and restoration. *Bio Science* 47:769-784. 1997

POFF, N. L., B. D. RICHTER, A. H. ARTHINGTON, S. E. BUNN, R. J. NAIMAN, E. KENDY, M. ACREMAN, C. APSE, B. P. BLEDSOE, M. C. FREEMAN, J. HENRIKSEN, R. B. JACOBSON, J. G. KENNEN, D. M. MERRITT, J. H. O'KEEFFE, J. D. OLDEN, K. RODGERS, R. E. THARME & A. WARNER. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology* 55:147-170. 2010.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SANTOS, A.H.M., RIBEIRO Jr, L.U., GARCIA M.A.R.A., SEVERI, M.A. Vazão Remanescente no Trecho de Vazão Reduzida de Pequenas Centrais Hidrelétricas. In: **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, ABRH, Curitiba, PR, 2003.

SANTOS A. H. M.; RIBEIRO JUNIOR L. U.; BORTONI E. C. Contribuição Metodológica Sobre a Disponibilidade Hídrica para Geração Hidrelétrica: Uma Visão Regulatória. 2005

SILVA, N. G. M. Modelagem da qualidade da água no trecho de vazão reduzida (TVR) do Aproveitamento Hidrelétrico de Capim Branco I no rio Araguari Mg. **Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais.** 2007

TUCCI, 2012. Blog do Tucci: **TRECHO DE VAZÃO REDUZIDA – Conceitos.** Disponível em: <http://rhama.net/wordpress/?p=307> . Consultado: outubro, 2015.

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. Estado da Arte Acerca da Vazão Ecológica, no Brasil e no Mundo. Atendimento contratual ao Edital n. 05 do ano de 2006, PROJETO704BRA2041. 2006

VIEIRA, F. & POMPEU, P.S. Peixamentos: uma alternativa eficiente? **Ciência Hoje, São Paulo**, v. 30, n. 175, p. 28-33, 2001.

WALLACE, JB. & WEBSTER, JR. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. **Annual Review of Entomology**, vol. 41, p. 115-139. 1996

Esta edição do **Cadernos de Energia** contou com apoio financeiro do  
**PROEX/CAPES**

**UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro**  
**COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e**  
**Pesquisa de Engenharia**  
**PPE – Programa de Planejamento Energético**  
**Centro de Tecnologia, Bloco C, sala 211, Cidade Universitária CEP**  
**21941-972 – Rio de Janeiro - RJ**