

ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS NO ALTO RIO PARAGUAÇU DEVIDO A BARRAGEM DE APERTADO

Mila Mônaco Rondon¹ & Fernando Genz² & Samara Fernanda da Silva³ & Asher Kiperstok⁴

Resumo – A simulação de operação da barragem de Apertado, considerando os usos previstos no seu projeto, foi realizada através do WEAP. Os resultados indicaram que ela poderá atender de forma satisfatória o abastecimento humano e a irrigação no município de Mucugê, assim como garantir a perenidade do rio. No entanto, a avaliação das alterações hidrológicas usando o método do IHA mostraram modificações importantes, sendo classificadas como pequena até alto grau.

Palavras-Chave – simulação hidrológica, barragem de Apertado, alterações hidrológicas.

HYDROLOGICAL ALTERATIONS IN THE PARAGUAÇU RIVER DUE TO THE APERTADO DAM

Abstract – The simulation of Apertado dam's operation, considering the intended uses in the project, was performed using the WEAP. The results indicated that it can satisfactorily meet human supply and irrigation in the municipality of Mucugê, even as ensuring the perennial of the river. However, the assessment of hydrologic alterations using the IHA method showed significant changes, being classified as small to high degree.

Keywords – hydrologic simulation, Apertado dam, hydrologic alterations.

INTRODUÇÃO

As grandes barragens ocasionam importantes alterações no regime hidrológico, entre as quais se destacam: a) a redução da magnitude das vazões máximas, que vai depender do tamanho do reservatório e do volume disponível antes do período chuvoso; b) aumento das vazões mínimas diárias; c) redução das vazões médias anuais. Dessa forma, ocorre uma alteração na frequência e magnitude das vazões. No entanto, a depender do tipo de uso de água predominante e do grau de extração com relação à vazão média, essa situação de aumento da vazão pode não ser verificada, a exemplo da retirada para abastecimento urbano e irrigação, quando parte da vazão regularizada não segue para jusante, resultando na redução da vazão média anual. Isso também pode ocorrer no caso de reservatórios localizados em áreas semiáridas, onde grande perda ocorre por evaporação direta na superfície do reservatório (Genz, 2006).

No Estado da Bahia, o Inventário de Barragens (INEMA, 2013) apresenta 120 reservatórios de diferentes características, sendo cerca de 70% são classificados como grandes, segundo critério da “*World Commission of Dams*” (WCD). Com exceção da Barragem de Pedra do Cavalo, as alterações hidrológicas decorrentes dessas barragens são desconhecidas.

¹ Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental; bolsista PIBIC/CNPq; mila.monaco@hotmail.com.

² Pesquisador da FAPESB; associado ao Depto de Engenharia Sanitária, Escola Politécnica/UFBA; fgenz@pq.cnpq.br.

³ Mestre, Pesquisadora do TECLIM/UFBA; samara.nada@gmail.com.

⁴ Professor Doutor do Departamento de Engenharia Sanitária da Escola Politécnica da UFBA; asher@ufba.br.

O objetivo deste trabalho foi verificar a capacidade da barragem de Apertado em fornecer água para abastecimento humano e irrigação na cidade de Mucugê/BA, e avaliar as alterações hidrológicas para jusante da barragem.

ÁREA DE ESTUDO E VISÃO ESQUEMÁTICA

A região em estudo se localiza no interior do estado da Bahia, em uma área contemplada na Bacia do Rio Paraguaçu, conforme ilustrado na Figura 1.

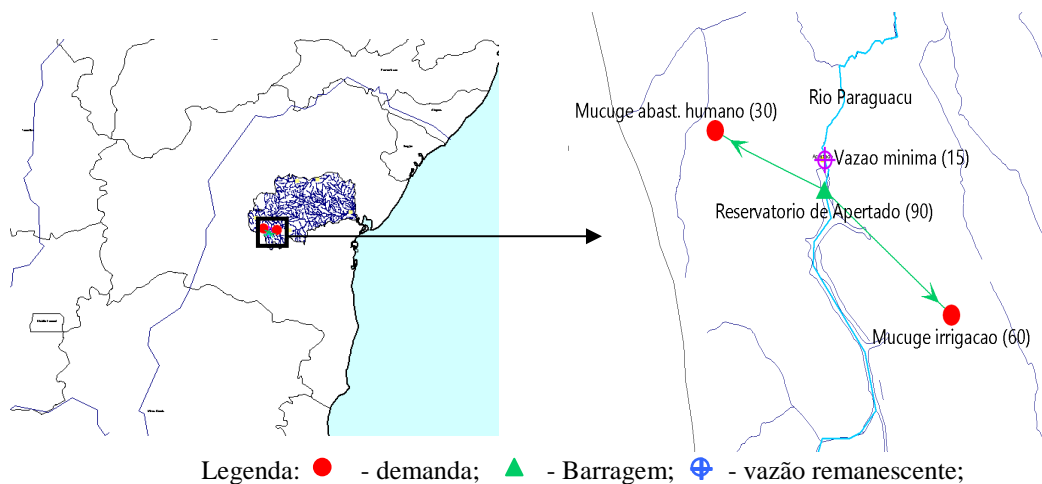


Figura 1. Localização da bacia do Rio Paraguaçu e da Barragem de Apertado.

Reservatório

O reservatório considerado no estudo possui capacidade máxima de 108,69 milhões de m³, mas o volume máximo de água admitido no reservatório foi de 107 milhões de m³. Essa folga foi estipulada para que haja um controle em regime de cheias. O 'top of buffer' considerado é de 30 milhões m³ e o volume mínimo é de 11,10 milhões de m³. Abaixo do volume mínimo, tem-se o volume morto. A Tabela 1 apresenta a relação Cota (m) x Volume (milhões m³) do reservatório.

Tabela 1: Relação Cota x Volume do reservatório

Cota (m)	Volume (10 ⁹ m ³)	Cota (m)	Volume (10 ⁹ m ³)
1.003	0	1.011	43,21
1.004	1,22	1.012	52,13
1.005	7,34	1.013	61,78
1.006	11,07	1.014	72,18
1.007	15,82	1.015	83,47
1.008	21,34	1.016	95,73
1.009	27,69	1.017	108,90
1.010	35,03	1.022	130,00

Evaporação

A evaporação líquida foi determinada com a utilização do método de Penman por Silva (2012). A evaporação diária é considerada constante durante cada mês (Tabela 2).

Tabela 2: Valores de evaporação líquida diária no reservatório de Apertado (Silva, 2012).

Mês	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Evaporação	1,518	0,19	0,093	0,779	0,079	-0,83	-1,69	-0,72	-0,76	0,0006	1,564	2,2

METODOLOGIA

O sistema WEAP foi utilizado para simular o balanço hídrico no reservatório da barragem de Apertado. O WEAP é uma ferramenta de simulação hidrológica para gerenciamento, planejamento e distribuição de água que pode ser aplicada em diferentes escalas, desde pequenas até grandes bacias hidrográficas. O WEAP é um sistema complexo que integra vários processos físicos hidrológicos com a gestão de demanda e com a infraestrutura instalada, de forma transparente e coerente. Ele permite a análise de cenários múltiplos, incluindo cenários alternativos de mudança do clima e dos estressores antropogênicos, tais como variações de uso da terra, mudanças nas demandas municipais e industriais, regras operacionais alternativas, mudanças de pontos de desvio, etc. (Yates *et al.*, 2005a e Yates *et al.*, 2005b). A ênfase do aplicativo está no planejamento de água e questões de alocação de recursos, tendo uma ampla base de usuários em todo o mundo (<http://www.weap21.org/>).

O período de simulação da barragem de Apertado se deu entre outubro de 1961 e setembro de 1990, baseada em dados diários. As vazões afluentes são oriundas das simulações realizadas por Genz *et al.* (2012).

Os dados de demanda de projeto foram utilizados na simulação. A demanda de abastecimento humano prevê uma taxa de crescimento anual de $i=2,644\%$, iniciando com 6.480 habitantes em Mucugê para chegar a 15 mil habitantes no final do período (120 l/hab/dia). A demanda de irrigação considera 11 mil hectares (0,6944 l/s/ha). A vazão remanescente foi estabelecida conforme o critério de outorga vigente de liberar 20% da vazão com 90% de regularização (1,51 m³/s). A contemplação das prioridades baseou-se na Legislação de Recursos Hídricos (Lei nº 9433/07). A prioridade máxima foi atribuída ao atendimento da vazão remanescente (P=15). O uso para consumo humano terão prioridades menores (P=30) que a prioridade da vazão remanescente. Já as vazões para irrigação têm prioridade ainda menor (P=60) que a das vazões para o consumo humano. Como tais fornecimentos são de grande importância para a população local, o reservatório possui a menor prioridade (P=90). Admitiu-se retorno nulo para o trecho de jusante do reservatório.

A avaliação das alterações hidrológicas foi realizada através da metodologia dos “*Indicators of Hydrologic Alteration*” (IHA) da The Nature Conservancy, desenvolvida por Richter *et al.* (1996). Para analisar o comportamento hidrológico de um rio, o IHA considera as principais características do escoamento (variabilidade, magnitude, frequência, duração, período de ocorrência e taxa de mudança), fundamentais para a sustentabilidade da biodiversidade e a integridade do ecossistema. Em termos de avaliação das alterações hidrológicas, o IHA analisa 33 parâmetros divididos em cinco grupos principais e possibilita destacar mudanças na magnitude (Grupos 1 e 2) e distribuição temporal das vazões (Grupo 1 e 3), além de variações nas características de forma do hidrograma (Grupos 4 e 5).

A partir das avaliações do método IHA, com base no paradigma de manutenção do regime hidrológico natural, Richter *et al.* (1997) propuseram uma sistemática de análise que considera um regime de variação admissível – RVA (“Range Variability Approach”). Neste trabalho adotou-se a análise não paramétrica, onde os limites são estabelecidos a partir da mediana e os valores dos percentis de 25 e 75%.

Para fins de aplicação do IHA e RVA foram comparadas as vazões afluentes e defluentes da barragem, para o mesmo período (1962 a 1990).

RESULTADOS

Variação interanual das vazões

A série de vazões do período de 1962 a 1990 apresentou valor médio de 10,4 m³/s e desvio padrão de 5,23 m³/s. A variabilidade ao longo do período pode ser visualizada na Figura 2, onde se destaca a sequência de dois anos secos ocorridas na segunda metade da década de 1960 e quatro anos no limite da categoria normal/seca na década de 1980.

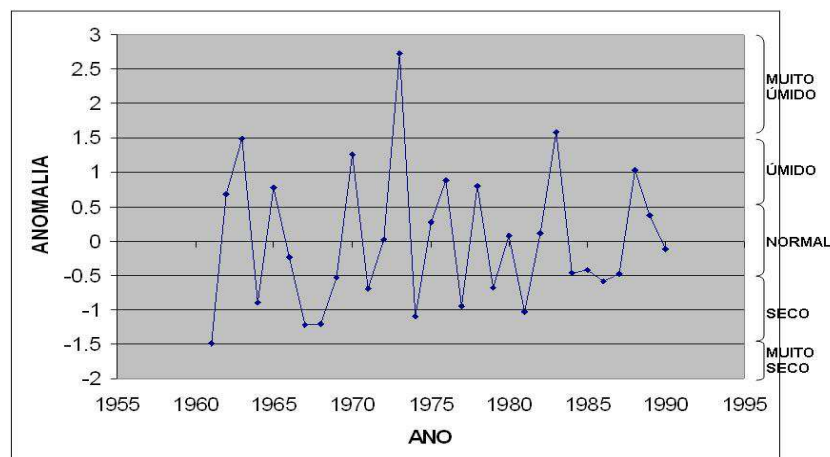


Figura 2: Anomalia da vazão média anual afluente da Barragem de Apertado e as classes de condição hidrológica proposta por Genz e Luz (2012).

Atendimento às demandas

Utilizando os critérios de prioridade já anteriormente citados, definiram-se as devidas garantias para cada demanda. Sendo assim, as garantias da vazão remanescente, abastecimento humano e irrigação foram 90,3%, 90,3% e 84,8%, respectivamente, para dados diários de entrada. Observando a Figura 3 pode-se verificar a variação do volume de água armazenado no reservatório ao longo do período em estudo. Em diversos anos a extrapolação do nível máximo de armazenamento do reservatório pôde ser observada, como em 1963, resultado de evento de cheia, com liberação de água pelo vertedor. Em contrapartida, nos anos de 1967, 1968, 1972, 1974, 1977, 1978, 1979, 1981, 1984 e 1987 o reservatório atingiu o volume mínimo. Nesses casos é provável que tenha ocorrido falha no atendimento de algumas demandas.

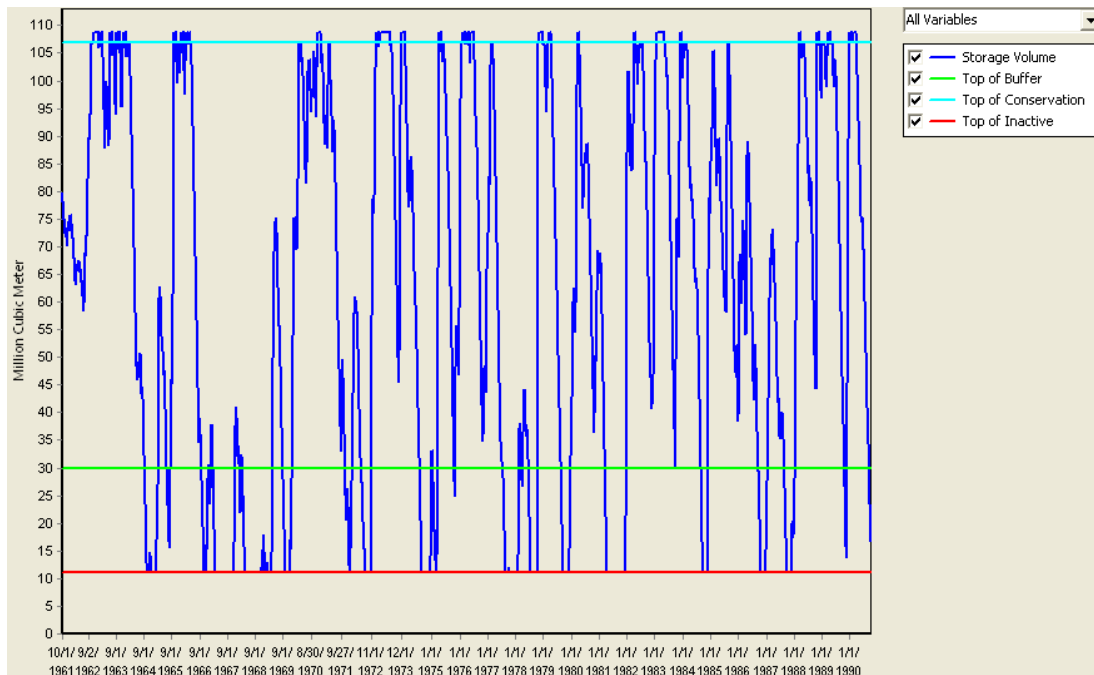


Figura 3: Variação do volume no reservatório de Apertado durante o período de simulação

Alterações hidrológicas

Os dados gerados pelo WEAP, correspondentes às vazões afluentes e defluentes da barragem de Apertado, foram aplicados no IHA para análise das alterações hidrológicas. A Figura 4 apresenta as séries diárias das vazões afluentes e defluentes. Observa-se a eliminação de eventos de cheias menores e o estabelecimento de um patamar nas vazões mínimas à jusante, que corresponde à vazão remanescente. A vazão média anual no trecho a jusante foi reduzida em 62%, passando para 4 m³/s.

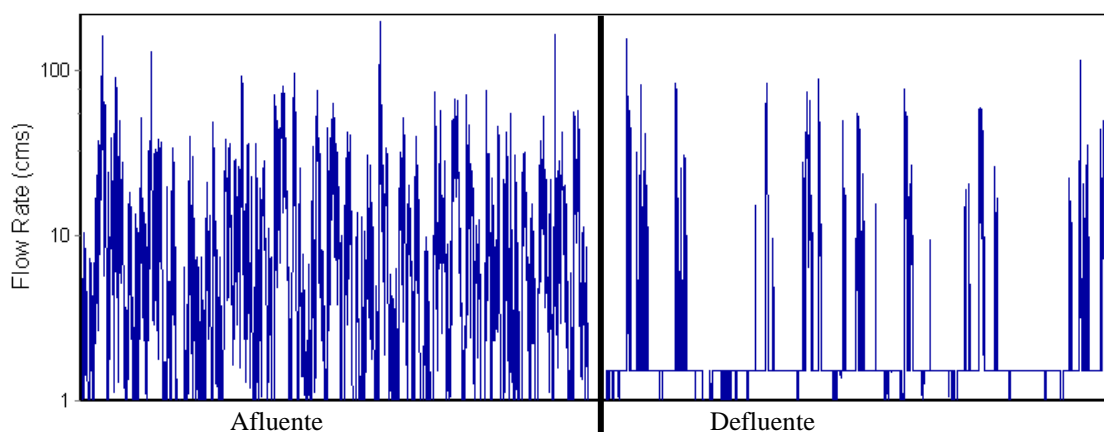


Figura 4: Série de vazões diárias à barragem: Afluyente, à esquerda; Defluente, à direita.

Curva de permanência e variação sazonal

A curva de permanência (Figura 4) e a curva das vazões médias mensais (Figura 5) permitem ter uma visão das alterações hidrológicas nessas características. As alterações podem ser observadas em todas as permanências. Nas vazões defluentes da barragem, a curva sofre mudança drástica nas frequências menores e a partir de 13% a vazão se estabiliza em 1,51 m³/s, que corresponde à vazão

remanescente definida para manter a perenidade do rio, mantendo-se assim até cerca de 90%. A variação sazonal, na média, foi eliminada, com a maioria dos valores mensais se situando fora dos limites indicados pelo RVA. O extravazamento da barragem em poucas cheias não foi capaz de influenciar as médias mensais (Figura 4).

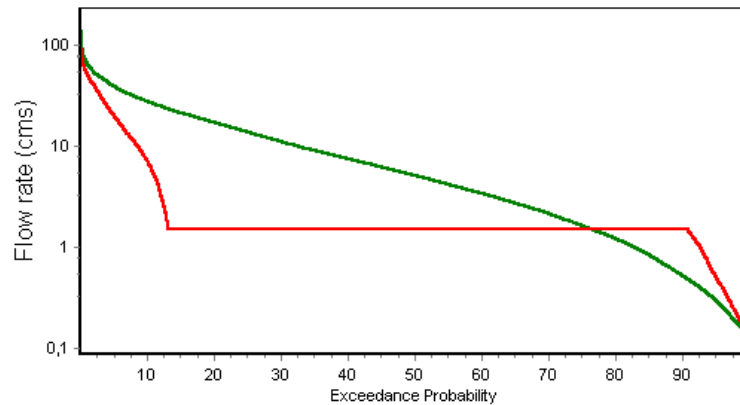


Figura 5: Curva de Permanência de Apertado para as duas situações de análise. Linha marrom = vazão afluente; Linha vermelha = vazão defluente.

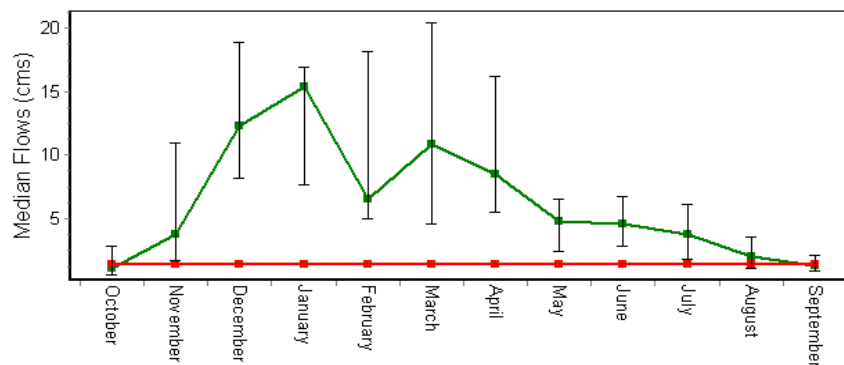


Figura 6: Vazões mensais em Apertado para as duas situações de análise. Linha marrom = vazão afluente; Linha vermelha = vazão defluente. Barras verticais indicam os limites do RVA.

Parâmetros hidrológicos

O aplicativo do IHA elabora um resumo das alterações dos 33 parâmetros hidrológicos (Figura 7). As categorias RVA's são definidas pela frequência em que um evento ocorre quando o valor da vazão se encontra acima, abaixo ou entre os quartis. Ou seja, para a categoria RVA baixa ('Low'), os valores estão abaixo do quartil de 33%, para RVA média ('Middle'), os valores se encontram entre o quartil de 33% e o de 67% e para RVA alta ('High') os mesmos estão acima do quartil de 67%. Sendo assim, a partir das frequências em que tais valores acontecem nas respectivas categorias, pode-se calcular o Valor das Alterações Hidrológicas a partir da seguinte equação:

$$HAV = (Fobs - Fesp)/Fesp \quad (1)$$

onde: HAV = 'Hydrologic Alteration Value' ou Valor da Alterações Hidrológicas, adimensional; Fesp é a frequência em que o evento acontece antes da alteração hidrológica; Fobs é a frequência em que o evento acontece após a alteração hidrológica.

As principais alterações ocorreram na categoria de RVA baixo que corresponde as menores vazões/valores de cada parâmetros (Figura 7). Alterações na categoria de RVA alto foram observadas nas vazões mínimas de 1, 3, 7 e 30 dias, assim como na vazão de base (“Base Flow Index”). As alterações na categoria de RVA médio foram encontradas para as vazões dos meses de Agosto, Setembro e Outubro (meses de menor vazão – Figura 4), para o dia de ocorrência do máximo anual, duração do pulso de máximos, taxas de ascensão e recessão do hidrograma.

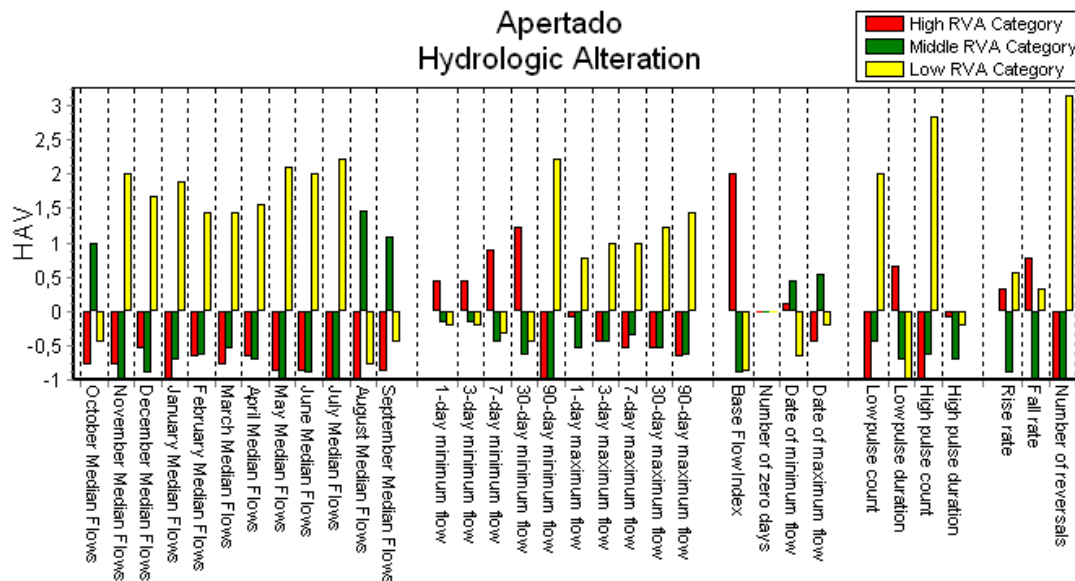


Figura 7: Alterações nos parâmetros hidrológicos para as vazões defluentes da barragem de Apertado.

Richter *et al.* (1998) propuseram uma classificação para as alterações hidrológicas usando o valor médio dos HAV obtidos (em porcentagem): 1) $HAV < 33\%$: alterações pequenas ou irrelevantes; $34\% < HAV < 67\%$: alterações moderadas; e $HAV > 67\%$: alterações de alto grau. Aplicando-se esse critério de classificação, obtivemos: alteração moderada para a categoria de RVA baixo (-43%); alteração pequena para a categoria RVA médio (-30%); e alteração de alto grau para a categoria RVA alta (84%).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos pela simulação de operação da barragem de Apertado, considerando os usos previstos no seu projeto, indicam que ela poderá atender de forma satisfatória o abastecimento humano (população de 15.120 habitantes no final do período) e a irrigação (11 mil hectares) no município de Mucugê, assim como a garantir a perenidade do rio.

Para as condições de uso analisadas, as alterações hidrológicas decorrentes da barragem de Apertado são importantes. Elas resultaram na redução dos valores de vazão à jusante da barragem quando comparadas às vazões afluentes, alterando o regime hidrológico, e muitas vezes chegando a liberar para jusante somente a vazão remanescente por vários meses. As alterações a jusante foram observadas em todas as faixas de permanência das vazões e verificou-se uma redução dos eventos de cheia e, na média, a eliminação da variação sazonal mensal. O uso consuntivo e a evaporação levaram a redução na vazão média do trecho de jusante em 62%. As alterações foram classificadas de pequena a alto grau, dependendo da categoria de RVA.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal da Bahia pela oportunidade de participar do programa de bolsas de iniciação científica. Mila Mônaco é bolsista do CNPq. Fernando Genz agradece o apoio da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB.

REFERÊNCIAS

Genz, F. 2006. Avaliação dos Efeitos da Barragem Pedra do Cavalo sobre a Circulação Estuarina do Rio Paraguaçu e Baía de Iguape. Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, 245 pp. (<http://www.goat.fis.ufba.br/uploads/userfiles/31.pdf> - download in 15/10/2009).

Genz, F., Luz, L.D. 2012. Distinguishing the effects of climate on discharge in a tropical river highly impacted by large dams. *Hydrological Sciences Journal*, 57(5): 1020-1034.

Genz, F., Silva, S.F., Tanajura, C.A.S. 2012. Impacto das Mudanças Climáticas nas Vazões do Rio Paraguaçu– Cenário A1B de 2011 a 2040. In: Anais. XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. João Pessoa, novembro de 2012.

[INEMA] Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Barragens/ Reservatórios. Inventário das barragens do Estado da Bahia. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/barragensreservatorios>. Acesso em 21 de março de 2013.

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., Braun, D.P. 1996. A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. *Conservation Biology*, 10, n. 4, 1163-1174.

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Wigington, R., Braun, D.P. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37, 231-249.

Richter, B.D., Baumgartner, J. V., Braun, D.P., Powell, J. 1998. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers-Research & Management* 14(4): 329-340.

Silva, S.F, 2012. Análise da disponibilidade e demanda para o sistema de abastecimento da água de Salvador frente a cenário de mudanças climáticas. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia.

Yates, D., J. Sieber, D. Purkey, and A. Huber-Lee. 2005a. WEAP21: A demand-, priority-, and preference-driven water planning model: 1. Model characteristics, *Water Int.*, 30, 487-500.

Yates, D., J. Sieber, D. Purkey, and A. Huber Lee, and H. Galbraith. 2005b. WEAP21: A demand, priority, and preference driven water planning model: Part 2, Aiding freshwater ecosystem service evaluation. *Water International*. 30(4):487-500.