

EFEITOS DA USINA HIDRELÉTRICA DE BAGUARI SOBRE O REGIME DE VAZÕES DO RIO DOCE, MUNICÍPIO DE GOVERNADOR VALADARES (MG)

Lorena Soares Laia Cabral¹; Fábio Monteiro Cruz^{2}; Laura Pereira do Nascimento³ & Daniela Martins Cunha⁴*

Resumo – Obras hidráulicas tais como reservatórios, podem modificar o regime fluviométrico dos rios. A bacia do rio Doce possui uma série de UHE's atualmente em operação, com destaque no médio rio Doce para a UHE Baguari. Neste sentido, esse trabalho buscou avaliar o efeito da operação da UHE Baguari sobre regime de vazões do rio Doce através de testes de estacionariedade. Os resultados sugerem efeitos diferentes quanto à estacionariedade das vazões mínimas e máximas, considerando a sazonalidade e o horizonte temporal distinto das séries históricas pré e pós-Baguari.

Palavras-Chave – Testes de estacionariedade, bacia do rio Doce, gestão de recursos hídricos.

EFFECTS OF HYDROELECTRIC USINE BAGUARI FLOW REGIME ON THE DOCE RIVER, MUNICIPALITY OF GOVERNADOR VALADARES (MG)

Abstract – Hydraulic works such as reservoirs may modify the arrangements gaging rivers. The Doce river watershed has a number of hydroelectric power plants currently in operation, with emphasis on the middle Doce river for Baguari. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of the operation on Baguari flow regime of the Doce river through testing stationarity. The results suggest different effects on the stationarity of the minimum and maximum flow rates, considering the seasonality and the time horizon of distinct historical series pre and post-Baguari.

Keywords – Stationarity tests, Doce river watershed, water resources management.

¹ : Estudante de graduação. Instituto Federal Minas Gerais. lorena.sl17@gmail.com

^{2*} : Professor/Pesquisador. Instituto Federal Minas Gerais. fabio.cruz@ifmg.edu.br

³ : Estudante de graduação. Instituto Federal Minas Gerais. lauraimfmg@gmail.com

⁴ : Professora/Pesquisadora. Instituto Federal Minas Gerais. daniela.cunha@ifmg.edu.br

INTRODUÇÃO

Obras hidráulicas, principalmente os reservatórios, podem ter único ou múltiplo uso, tais como o amortecimento de cheias, produção de energia elétrica, irrigação, navegação, abastecimento público e lazer (VILAS BOAS, 2013; BARBOSA; MATTOS, 2007). Apesar do elevado investimento, a construção desses empreendimentos tem sido considerada uma solução para as flutuações de vazões dos rios aliado a geração de energia elétrica através de uma fonte renovável. Isso se justifica pelo fato desse tipo de obra proporcionar a regularização de vazão, pois permite o acúmulo de parte das águas disponíveis nos períodos chuvosos para compensar as deficiências nos períodos de estiagem (COLLISCHONN; TASSIS, 2008), minimizando os efeitos da sazonalidade do regime de precipitação.

Considerando o contexto hidrológico de Minas Gerais, uma bacia de destaque é a do rio Doce, que está inserida na região hidrográfica Atlântico Sudeste. O município de Governador Valadares Valadares (MG) está localizado no médio rio Doce, onde esse manancial abrange uma área de drenagem da ordem de 40.000 km². A comunidade local sofre constantemente com a elevação do nível do rio Doce, uma vez que o mesmo atravessa áreas urbanas do município (ECOPLAN – LUME, 2010).

Dentre as maiores inundações registradas na região pode-se citar: a de fevereiro de 1979 e a de janeiro de 1997. No primeiro evento extremo, mencionado anteriormente, foram registrados 47.776 desabrigados, 74 vítimas fatais e 4.424 residências atingidas e no segundo foram registrados 57.705 desabrigados, 2 vítimas fatais e 7.225 residências atingidas (ECOPLAN – LUME, 2010).

Além disso, na bacia há oito usinas hidrelétricas (UHE) implantadas para a geração de energia (ANA, 2012), onde se inclui UHE Baguari. Apesar de sua finalidade energética, esse tipo de obra hidráulica também pode provocar a regularização de vazões, amenizando os efeitos das cheias.

A UHE Baguari foi construída no leito do rio Doce, em Governador Valadares/MG, e o seu reservatório ocupou porções de terras de propriedades rurais das cidades de Governador Valadares, Periquito, Alpercata, Sobrália, Fernandes Tourinho e Iapú. Além de atingir áreas urbanas no distrito de Pedra Corrida e sede do município de Periquito (CONSÓRCIO UHE BAGUARI, 2008). A mesma opera a fio d'água, ou seja, necessita apenas de volume e velocidade de água, com turbinas tipo bulbo, o que permite gerar energia com menor área alagada e diminui os impactos ao meio ambiente. A capacidade de geração instalada é de 140 megawatts (MW). A vazão turbinada é de 900 m³/s, e a energia assegurada é de 80,2 MW médios, suficiente para abastecer uma cidade de 450 mil habitantes (CBH-DOCE, 2013b).

O seu reservatório possui área de 16 Km² e 27 Km de extensão, sendo que 22 Km ao longo do rio Doce e 5 Km no rio Corrente Grande. O volume total do mesmo é de 43,562x10⁶ m³. Em tese, as dimensões do reservatório e sua decorrente capacidade de armazenamento não possibilitam que seja feito qualquer amortecimento do hidrograma de cheias transitando no rio Doce, tampouco permitem que seja prevista regularização das vazões afluentes a nível sazonal (CBH-DOCE; 2013b).

A primeira máquina começou a gerar energia em 09 de setembro de 2009 e a segunda turbina em 28 de novembro do mesmo ano. A usina está em pleno funcionamento desde 2010 (CONSÓRCIO UHE BAGUARI, 2008).

Desta forma, o presente trabalho objetiva avaliar se a operação do reservatório da UHE Baguari produziu efeitos ou modificações diretas no regime hidrológico do rio Doce, considerando o município de Governador Valadares (MG).

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é compreendida pela bacia do rio Doce, localizada na região sudeste do Brasil, entre os paralelos 18°45' e 21°15' de latitude sul e os meridianos 39°55' e 43°45' de longitude oeste (GCS SAD 69) (CBH-DOCE, 2013a). O principal manancial da bacia é o rio Doce com uma extensão de 853 Km (CUPOLLILO *et al.*, 2006) (CBH-DOCE, 2013a).

Acerca do monitoramento da bacia há atualmente 189 estações fluviométricas em operação, considerando a ANA e outras operadoras; e 164 estações pluviométricas, das quais 76 são operadas pela ANA e 86 por outras entidades (ANA, 2013a).

A metodologia desta pesquisa baseou-se nas seguintes etapas: determinação do horizonte temporal de análise e teste de estacionariedade do regime de vazões máximas e mínimas diárias anuais do rio Doce. Todas as análises hidrológicas foram calculadas nos registros de vazões da estação fluviométrica GOVERNADOR VALADARES (código 56850000), localizada no município de Governador Valadares (MG) e operada pela Agência Nacional de Águas (ANA) (figura 01), cujos dados são disponibilizados gratuitamente pela ANA na internet.

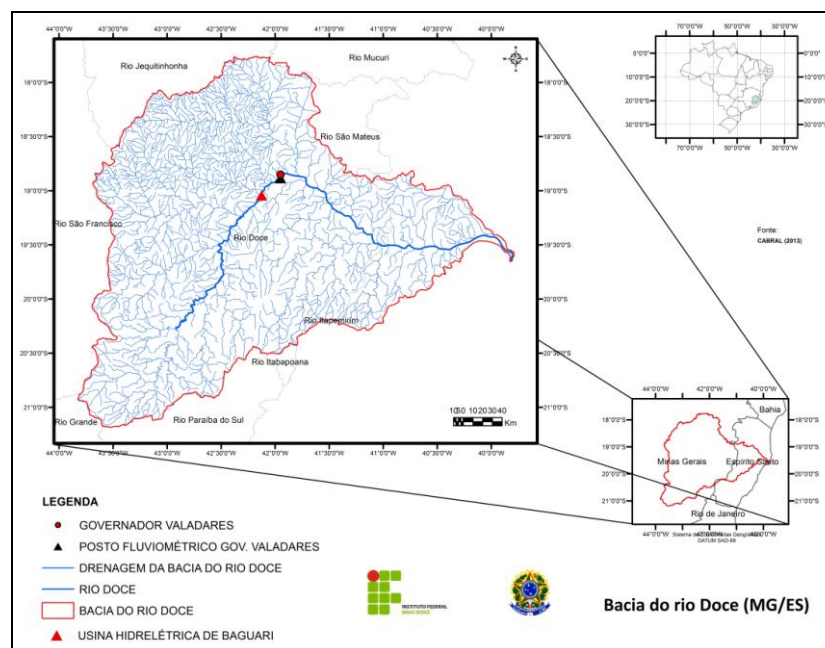


Figura 01: Localização da estação fluviométrica GOVERNADOR VALADARES
Fonte: Adaptado de CABRAL (2013)

É válido destacar que a estação GOVERNADOR VALADARES possui curva-chave de onde são obtidos, por meio dos registros de cota, os valores diários de vazão máxima, mínima e média (figura 02). Note-se que a estação, até onde há registro, nunca sofreu deslocamento. Portanto, os dados de toda a série são representativos de uma mesma seção transversal.

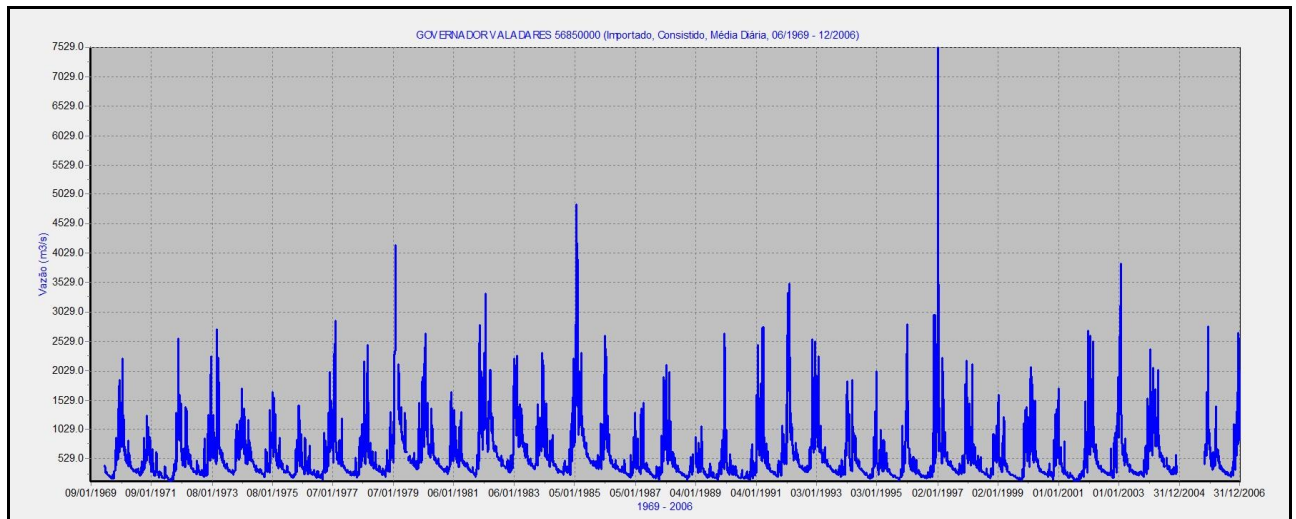


Figura 02: Hidrograma da estação fluviométrica GOVERNADOR VALADARES
Fonte: ANA (2013b)

A série de registros de vazões da estação foi dividida em dois períodos distintos, definidos em função do início da operação da usina hidrelétrica de Baguari, a saber: período pré-Baguari e pós-Baguari. Desta forma, definiu-se como o período pré-Baguari aquele que se entende de 1970 a 2004, e pós-Baguari de 2009 a 2011. A série histórica compreendida no período de 2005 a 2008 foi descartada por não possuir dados consistidos e confiáveis.

A análise de estacionariedade avaliou as vazões máximas e mínimas diárias anuais, a partir de ambos os períodos definidos anteriormente. Tal análise foi realizada com o objetivo de constatar estatisticamente se o início da operação da usina levou a alterações no regime de vazões máximas e mínimas do rio Doce. Neste contexto, o termo estacionariedade se refere ao fato que, excluídas as flutuações aleatórias, os registros de vazões são invariantes com relação à cronologia de suas ocorrências (NAGHETTINI; PINTO, 2007), ou seja, representa a situação na qual não ocorrem modificações nas características estatísticas da série de dados ao longo do tempo. A não estacionariedade pode estar relacionada a modificações na bacia ou trecho fluvial, como por exemplo, a construção de uma barragem (TUCCI, 2002).

Esta etapa utilizou como ferramental o aplicativo RH 4.1TM. Ele constitui um aplicativo de regionalização hidrológica e representa uma ferramenta eficaz em estudos hidrológicos. Por meio da inserção no programa, em campo específico para tal, das séries históricas de vazões máximas diárias anuais pré e pós-Baguari separadamente, em um primeiro momento, e das séries de vazões mínimas diárias anuais pré e pós-Baguari em um segundo momento, ele realizou automaticamente por meio de rotina computacional já presente a avaliação da estacionariedade das vazões através da aplicação de dois testes de hipótese, o teste de identidade das variâncias (Fischer-F) e teste de identidade das médias (t-Student) (HIDROTEC, 2013).

O teste Fischer-F permite inferir se a operação de um reservatório construído à montante de uma seção fluvial de interesse alterou significativamente a variância das séries de vazões, considerando as séries históricas antes e após o início da operação do mesmo. O valor de F é obtido pelo quociente entre a maior e menor variância das séries de vazões, onde depois é comparado ao valor de F tabelado. Caso o valor calculado seja maior que o valor teórico (tabelado), então a

hipótese de identidade das variâncias é rejeitada, incorrendo, portanto em quebra da estacionariedade do regime de vazões à jusante do reservatório (TUCCI, 2002).

O teste t-Student de identidade das médias aplica-se a fim de avaliar se a operação de um reservatório alterou significativamente as médias de vazões estudadas. Este teste possui duas formulações matemáticas diferentes dependendo dos resultados de Fischer-F. Contudo, em ambos os casos o valor calculado de t-Student deve ser comparado ao intervalo teórico presente em tabela de distribuição t-Student. Nos casos em que t-Student calculado cair fora do intervalo do valor tabelado à hipótese de identidade das médias é rejeitada, incorrendo, analogamente ao teste anterior, em quebra da estacionariedade (TUCCI, 2002).

Admitiu-se, portanto, como hipótese nula dos testes de identidade das variâncias e das médias o cenário em que a operação da UHE-Baguari não teria sido suficiente para modificar o regime de vazões do rio Doce, a 90% de significância estatística (estacionariedade das séries históricas). Do contrário, em caso de rejeição das hipóteses nulas, a hipótese alternativa representaria a constatação de que o regime de vazões do rio Doce foi modificado pela operação da barragem.

O nível de significância especifica o risco que se admite correr em caso de rejeição de uma hipótese correta, logo, quanto maior a significância maior a confiabilidade na inferência baseada nos testes de hipótese. Os níveis de significância adotados nos testes realizados foram da ordem de 90% (nível $p = 0,1$) em função deste ser o valor pré-definido na rotina do próprio aplicativo RH 4.1TM (TUCCI, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de estacionariedade do regime de vazões mínimas diárias anuais, através do teste de Fisher-F (identidade das variâncias) e do teste t-Student (igualdade das médias) acabou por não rejeitar a hipótese nula, conforme se pode constatar na figura 03.

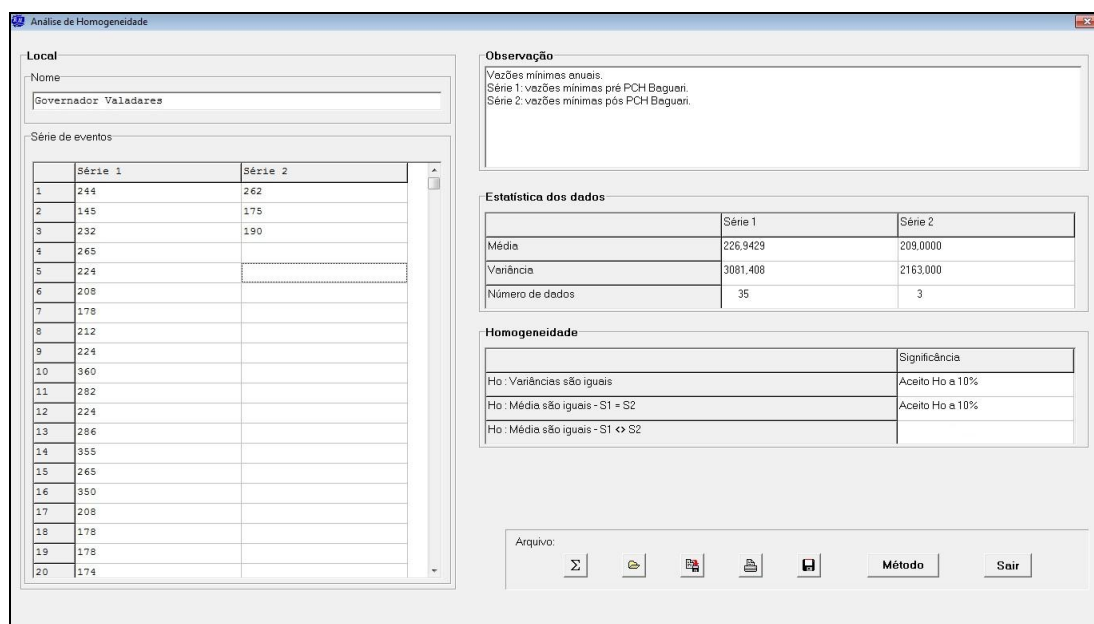


Figura 03: Testes de estacionariedade de vazões mínimas

A variância da série de vazões mínimas pré-Baguari foi de 3081,40 e pós-Baguari de 2163, levando ao valor calculado de F ser de 1,42. Considerando que o F teórico tabelado para o nível de 90% de significância estatística foi de 9,46; notadamente maior que o valor calculado, então se confirma a hipótese nula de homogeneidade das séries históricas de vazões mínimas. Quanto ao teste t, o valor calculado foi da ordem de 0,54 enquanto que o intervalo tabelado foi de -1,68 a +1,68. Logo, o teste t-Student ratifica a estacionariedade das séries de vazões mínimas sugerida pelo Fischer-F, uma vez que 0,54 encontra-se no intervalo descrito.

Portanto, pode-se inferir que as intervenções hidráulicas providas pela construção e operação da UHE Baguari não levaram a modificações estatisticamente significativas no regime de vazões mínimas. Disto ocorre que, teoricamente as séries históricas de vazões mínimas anuais tanto pré e pós-Baguari representam amostras de uma mesma população.

Outro aspecto que deriva da constatação da estacionariedade das vazões mínimas anuais do rio Doce é que a UHE Baguari não está produzindo um efeito de regularização de vazões na bacia, isto é, a barragem não possui capacidade suficiente para reservar água durante os períodos sazonais de maior aporte de precipitação e, portanto, de vazões mais pronunciadas, liberando-a no período de estiagem. Esta constatação ratifica as informações disponibilizadas pela CBH-Doce ao afirmar que o reservatório a fio d'água da usina não altera o regime hidrológico do rio Doce (CBH-DOCE, 2013b).

Caso a hipótese nula de homogeneidade tivesse sido rejeitada, em tese o efeito de acumulação da barragem poderia aumentar a disponibilidade hídrica superficial à jusante da UHE, pelo aumento das vazões máximas das estiagens sazonais, o que incorreria em um menor risco de prejuízos aos usuários da bacia localizados rio abaixo. Portanto, caso a hipótese nula tivesse sido rejeitada a construção da UHE Baguari poderia ser considerada um impacto positivo, à luz dos efeitos hidrológicos de acumulação da barragem.

Por outro lado, quanto às vazões máximas os testes de estacionariedade apresentaram resposta notadamente contrastante comparativamente às vazões mínimas, uma vez que revelaram ter havido quebra da estacionariedade (figura 04), o que não ocorreu na análise das vazões mínimas. O teste de Fischer-F acabou por rejeitar a hipótese nula de homogeneidade das séries máximas pré e pós-Baguari, visto que F calculado (95,45) foi maior que F tabelado (9,46). O que posteriormente, foi ratificado pelo teste t-Student aplicado, ou seja, analogamente ao primeiro teste, o teste t-Student rejeitou a hipótese nula de estacionariedade das vazões máximas, a 90% de significância estatística, uma vez que t calculado de -4,79 caiu fora do intervalo teórico tabelado de -1,69 a +1,69.

A partir deste contexto, é perfeitamente factível inferir, que diferentemente, do que afirma o CBH-DOCE, a construção e operação da UHE Baguari pode estar provendo alterações no regime de vazões máximas anuais do rio Doce, cuja magnitude é estatisticamente significativa. Disto ocorre que, a hipótese de heterogeneidade passa a ser aceita, assumindo que os regimes de vazões máximas anuais do rio Doce, à jusante da UHE Baguari foram modificados levando as amostras das séries históricas de vazões máximas a não mais representarem uma mesma população.

Pode-se inferir do exposto que, teoricamente, o efeito direto da UHE para as vazões máximas à jusante da barragem seria de amortecimento, ou redução da magnitude destas nos períodos das cheias sazonais. Este cenário é desejável, e também passível de ser considerado um impacto hidrológicamente positivo da construção e operação da UHE; uma vez que se considerar-se que as cheias anuais causam inúmeros impactos sociais, econômicos e ambientais aos municípios do

médio rio Doce, a redução de sua magnitude pode levar a uma menor probabilidade de prejuízo as populações residentes nestas localidades, sobretudo, aquelas mais carentes que ocupam as áreas de risco próximas ao próprio rio Doce.

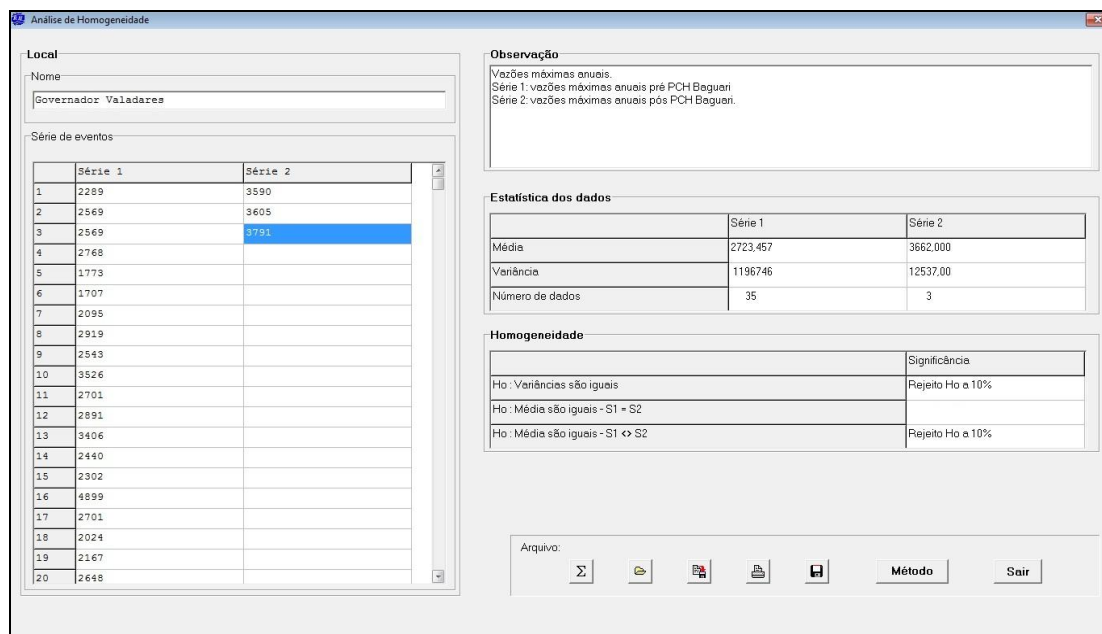


Figura 04: Testes de estacionariedade de vazões máximas

CONCLUSÃO

A construção e operação do reservatório de Baguari, no médio rio Doce parecem exercer efeito distinto sobre os regimes de vazões observadas no município de Governador Valadares, médio rio Doce. No que tange as vazões mínimas pode-se inferir que não há efeito de regularização de vazões pela barragem, o que poderia aumentar a magnitude das vazões nos períodos sazonais de estiagem. Contudo, quanto às vazões máximas, os resultados sugerem que a usina modificou a estacionariedade para jusante da barragem, levando a um amortecimento das cheias, cujo efeito se faz notar pela redução aparente das vazões máximas. Disto ocorre que, em tese há menor propensão para inundações muito pronunciadas nos municípios à jusante da barragem, caso de Governador Valadares.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Boletins de monitoramento dos reservatórios do rio Doce*. Brasília, v. 7, n.12, pp. 1-22, dez. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos*. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/home/>>. Acesso em: 21/02/2013a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Hidro 1.2: Sistema de informações hidrológicas*. Disponível em: < <http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/Hidro.pdf>>. Acesso em: 26/08/2013b.

BARBOSA, C. M. S.; MATTOS, A. (2007). Diretrizes para implantação de barragens e mitigação de impactos ambientais. In *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, São Paulo, 2007, pp. 1- 7.

CABRAL, L. S. L. *Análise estatística do regime de vazões do rio Doce, no município de Governador Valadares (MG), e sua relação com a UHE Baguari*. 2013. 25 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal Minas Gerais, Governador Valadares. 2013.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. (2008). *Introduzindo hidrologia*. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2008, versão 5, 149 p. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br/professor/crfj/Pos/Hidrologia/apostila_Completa_2008.pdf>. Acesso em: 25/01/2013.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (CBH-DOCE). *Caracterização da bacia do Rio Doce*. Disponível em: <http://www.riodoce.cbh.gov.br/bacia_caracterizacao.asp>. Acesso em: 22/01/2013a.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (CBH-DOCE). *Usina Hidrelétrica de Baguari*. Disponível em: <http://www.riodoce.cbh.gov.br/Materia_UsinaHidreletricaBaguari.asp>. Acesso 22/01/2013b.

CONSÓRCIO DA UHE BAGUARI. *UHE Baguari - Projeto de implementação de estações hidrológicas em Atendimento à Resolução 396/98*. Belo Horizonte: Gerência de Planejamento Energético – CEMIG, dez 2008.

CUPOLLILO *et al.* (2006). Climatologia do regime pluviométrico na bacia do rio Doce. In *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Florianópolis, Nov. 2006, pp. 1 – 7.

ECOPLAN – LUME. *Plano de ação de recursos hídricos da Unidade de planejamento e gestão DO4 PARH SUAÇUÍ*. Contrato N° 043/2008 – IGAM, jun 2010, 112 p.

HIDROTEC. Atlas digital das águas de Minas Gerais. *RH4.0 (RH 4.1): Breve histórico e aplicabilidade*. Disponível em:<http://www.atlasdasaguas.ufv.br/o_hidrotec/programa_computacional_de_regionalizacao_hidrologica_rh_versao_4_1_breve_historico_e_aplicabilidade.html#>. Acesso em: 01/03/2013.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. (2007). Testes de hipóteses. In: *Hidrologia estatística*. Org. por Naghettini, M.; Pinto, E. J. A., CPRM, Belo Horizonte - MG, pp. 245-292.

TUCCI, C. E. M. (2002). Técnicas estatísticas. In: *Regionalização de vazões*. Org. por Tucci, C. E. M., Ed. Universidade/UFRGS, Porto Alegre - RS, pp. 23-60.

VILAS BOAS, C. L. *O uso múltiplo de reservatórios*. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/go/O%20uso%20multiplo%20de%20reservatorios.pdf>>. Acesso em: 23/02/2013.