

COMPATIBILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA NA BACIA DO RIO SÃO MARCOS COM OS DEMAIS USOS DA ÁGUA

Lívia Maria da Costa Silva¹ & Luiza Cristina Krau de Oliveira² & Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora³*

Resumo – O grande desafio na gestão de recursos hídricos é garantir os usos múltiplos da água por meio da sua partição entre os diferentes usuários, incluindo o setor elétrico. O presente estudo teve por objetivo avaliar o conflito pelo uso da água entre o setor agrícola e a UHE Batalha, localizada na bacia hidrográfica do rio São Marcos. Para avaliação do impacto das retiradas crescentes de água para irrigação sobre a produção de energia elétrica pela UHE Batalha, foi utilizada a ferramenta computacional SisUCA - Sistema de Simulação de Usinas com Usos Consuntivos da Água. De acordo com os resultados das simulações da operação hidráulica energética do aproveitamento, no período de 1931 a 2005, para os cenários propostos (sem uso e a retirada de parcelas de 40%, 50%, 65% e 100% da vazão máxima outorgável), os resultados mostraram perdas energéticas variando entre 8,0% a 19,7%, para energia média, e entre 7,6% a 19,2%, para energia firme. A partir dos resultados, foi possível inferir que o SisUCA cumpre os objetivos para o qual foi estruturado, tornando possível a sua aplicação na avaliação perda na geração de energia causados por demais usos consuntivos da água.

Palavras-Chave – geração hidrelétrica, rio São Marcos, SisUCA.

COMPATIBILITY OF THE HYDROPOWER GENERATION IN SÃO MARCOS RIVER BASIN WITH OTHER WATER USES

Abstract – The major challenge in water resources management is to guarantee the multiple uses of water by its partition among different users, including the hydropower sector. The present study aimed to evaluate the water conflict between irrigation and Batalha power plant, located in São Marcos River basin. The assessment of the irrigation withdrawals on the generated energy was estimated by SisUCA (Sistema de Simulação de Usinas e Usos Consuntivos de Água). The energy losses due to multiple uses of water were evaluated in terms of increasing withdrawals scenarios. These scenarios attempted to represent the demands as percentages of the maximum water withdrawal (40%, 50%, 60% and 100% of MSW). Energy losses ranged between 8,0 to 19,7% in terms of mean energy and 7,6% to 19,2% for firm energy. From the results, it was possible to infer that SisUCA meets the objectives for which it was structured, making possible its application in the design of the loss in energy generation caused by consumptive uses of water.

Keywords – hydropower generation, São Marcos river, SisUCA.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a Lei nº 9.433/97 promulgou a Política Nacional de Recursos Hídricos. Esse aparato jurídico buscou ser uma inovação na gestão, no ordenamento e no planejamento do uso da água nas bacias hidrográficas. A Lei determinou que a gestão da água deve promover os seus múltiplos usos de forma descentralizada e com a participação de todas as partes envolvidas. A Lei

¹Graduada em Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente. Universidade Federal Fluminense. liviamaria@globo.com.

²Engenheira civil autônoma. lkrau@gmail.com.

³Professora Adjunta III do Departamento de Engenharia de Agrícola e do Meio Ambiente. Universidade Federal Fluminense. dahora@vm.uff.br.

também buscou incorporar modernos princípios de gestão e instrumentos, dentre os quais se destaca a outorga do direito de uso da água. A União, o Distrito Federal e os Estados definem seus próprios critérios e procedimentos para emissão de outorga, no entanto, no geral, o processo necessita do conhecimento dos usos existentes na bacia, de modo que a autorização seja limitada à vazão máxima outorgável (VMO), ou seja, a vazão disponível para o uso limitada à disponibilidade hídrica do curso d'água. No caso federal, a Agência Nacional de Águas (ANA) define a VMO como sendo igual a 70% da vazão de referência $Q_{95\%}$ (ANA, 2007). Nesse contexto, Hora (2012) relata que a outorga é de natureza complexa, pois se trata de um processo que apresenta dificuldades técnicas para a determinação das variáveis envolvidas no seu cálculo, além de ter a função de ratear a água disponível entre demandas atuais e futuras visando os múltiplos usos, e, ainda, respeitando a classe de enquadramento do corpo hídrico.

A gestão de recursos hídricos se torna mais complexa em locais onde existe a presença de um aproveitamento hidrelétrico com reservatório de regularização para geração de energia elétrica. Neste caso, a ANA desenvolve estudos de projeção de usos consuntivos atuais e futuros a montante do barramento para emissão da declaração de reserva de disponibilidade hídrica (DRDH).

O objetivo do presente estudo foi a análise da questão da compatibilização dos diversos usos da água e da geração hidrelétrica, com o auxílio da ferramenta computacional Sistema de Simulação de Usinas com Usos Consuntivos da Água (SisUCA). O estudo de caso é a bacia hidrográfica do rio São Marcos, devido ao conflito instalado entre os irrigantes e a UHE Batalha (concessão da empresa Eletrobras Furnas), conforme descrito no plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paranaíba (PRH-Paranaíba), (COBRAPE, 2011).

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO MARCOS

Ao se tornar limítrofe entre os Estados de Goiás e Minas Gerais, o rio Paranaíba recebe o rio São Marcos, um dos principais tributários da margem direita. O rio São Marcos é formado a partir do córrego Samambaia, que nasce a uma altitude de cerca de 1.000 m, em território do Distrito Federal. Desde sua nascente, até o encontro com o rio Paranaíba, percorre uma distância de cerca de 480 km.

A bacia hidrográfica do rio São Marcos se localiza na região central do Brasil, entre os paralelos $16^{\circ} 00'$ e $18^{\circ} 15'$ de latitude sul, e os meridianos 47° e 48° de longitude oeste, abrangendo as terras dos Estados de Goiás e Minas Gerais, com área de 11.950 km^2 , como ilustra a Figura 1. Os municípios pertencentes a essa bacia são: Catalão, Cristalina, Ouvidor, Campo Alegre de Goiás, Ipameri, Davinópolis, Três Ranchos, Paracatu, Unai e Guarda-Mor, sendo os três últimos inseridos no Estado de Minas Gerais, (COBRAPE, 2011).

Quanto à ocupação do solo, trata-se de uma região com grande produção agrícola com a utilização de técnicas modernas de pivôs de irrigação. A situação atual é consequência do processo de modernização da agricultura nas áreas de Cerrado brasileiro que se intensificou principalmente na década de 90, (Florêncio *et al.*, 2009). Nas partes mais altas da bacia (municípios de Cristalina/GO, Unai/MG e Paracatu/MG) ocorre a formação de chapadões e vales abertos e suaves, onde são expressivas as atividades econômicas voltadas a produção agropecuária.

Em relação aos estudos hídricos da região descritos no PRH-Paranaíba, algumas regiões da bacia do rio São Marcos possuem balanço hídrico, relação entre demanda e disponibilidade de água, deficitário. E, além disso, o PRH-Paranaíba relata conflitos, dentre eles, o conflito entre o aproveitamento hidrelétrico da UHE Batalha e a demanda da irrigação, em especial, por meio de pivôs centrais (COBRAPE, 2011).

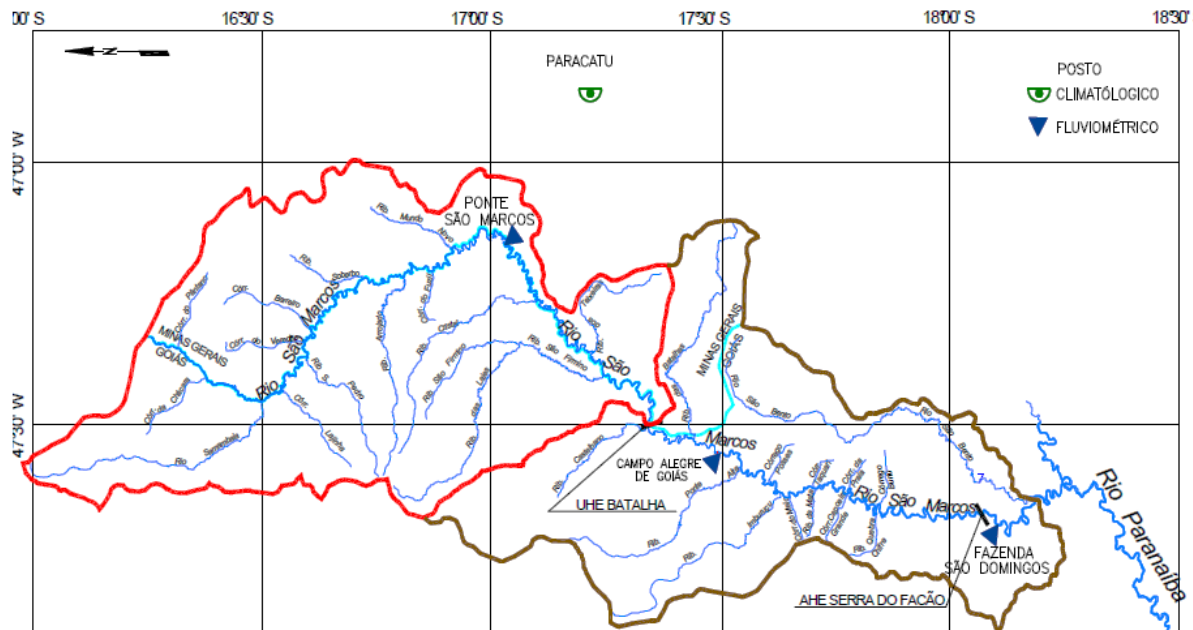


Figura 1 - Mapa da região da bacia hidrográfica do rio São Marcos, mostrando a localização da UHE Batalha e AHE Serra do Facão. Fonte: FURNAS, 2006.

Histórico do conflito pelo uso da água e a modificação da DRDH da UHE Batalha

Em 2007, a ANA observou o crescimento de irrigantes de pivôs centrais na bacia do rio São Marcos e totalizou 654 açudes e 714 pivôs centrais. Os últimos representavam uma área de 61.635 ha (5,15% da área total da bacia), (ANA, 2007). Em 2010, a ANA realizou um levantamento da área irrigada, encontrando 675 pivôs centrais na região a montante da UHE Batalha, totalizando uma área de 57.562 ha (ANA, 2010a). Esse mesmo estudo mostrou que a maioria da área irrigada se encontra em rios estaduais, boa parte abastecida por reservatórios particulares. Além disso, a área irrigada total estimada foi de 9% da área da bacia e, em algumas sub-bacias, este percentual chegou a 20%. Dentre as conclusões do estudo, foi recomendada cautela quando da projeção de áreas irrigadas em regiões de fronteira agrícola, (ANA, 2010a). Tais projeções são necessárias na análise de pedidos de DRDH, notadamente na alocação de usos consuntivos a montante de aproveitamentos hidrelétricos.

Em julho de 2010, durante a elaboração do PRH-Paranaíba, a ANA identificou um conflito pelo uso da água já instalado de grande relevância: o setor de energia, por intermédio das usinas hidrelétricas, e os irrigantes para a produção de sementes, grãos e atividades de olericulturas – a maioria deles sem outorga de uso da água. Agravando a situação, na mesma época, o governo goiano, através da Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento, negociou um financiamento com o Ministério da Integração para a implantação de infraestrutura hídrica de apoio à irrigação na bacia (Silva, 2012).

Em agosto de 2010, a ANA elaborou uma nota técnica com o objetivo de dar subsídios ao Marco Regulatório na bacia do rio São Marcos. O documento apontou a existência de 666 pivôs centrais na bacia a montante da UHE Batalha, totalizando uma área de 56.763 ha. Ademais, os pedidos de outorga para agricultura de pivô central, existentes na ANA, davam conta de uma vazão específica captada média de 0,15 L/s/ha ao longo do ano, estimando-se um consumo anual de água, a montante da UHE Batalha, da ordem de 7,59 m³/s (ANA, 2010b). O valor encontrado foi bem superior ao consumo médio estimado e ao valor máximo, para o ano de 2010, publicado na Resolução n° 364/2005, que trata da DRDH da UHE Batalha, e igual a 1,62 m³/s, (ANA, 2005). Vale lembrar que a Resolução n° 489/2008 transformou a DRDH em outorga de direito de uso de

recursos hídricos, (ANA, 2008).

Posteriormente, em outubro de 2010, a Superintendência de Regulação da ANA publicou na Resolução nº 562/2010 o Marco Regulatório de uso da água na bacia do rio São Marcos, (ANA, 2010c). O documento foi motivado devido à “*vocação da bacia do rio São Marcos para agricultura irrigada*” e ao “*potencial de crescimento deste uso da água; considerando a necessidade de compatibilização entre os usos de irrigação e energia elétrica na bacia do São Marcos*”. A área de abrangência do Marco Regulatório foi a bacia contribuinte a montante da UHE Batalha. Definiu-se que a vazão média anual consumida nessa área seria de, no máximo, 8,7 m³/s, de forma a respeitar os limites previstos para a outorga da usina e a legislação referente ao setor elétrico. Consequentemente, segundo a ANA (2010b), houve uma redução de aproximadamente 4% da energia firme da UHE Batalha, permitindo, assim, que as vazões correspondentes pudessem ser disponibilizadas para demais usos consuntivos a montante, no período de 2010 a 2040, progressivamente. No mesmo dia da publicação do Marco Regulatório, a ANA, por meio da Resolução nº 564/2010, alterou as vazões referentes aos usos consuntivos a serem subtraídas das vazões naturais médias mensais afluentes a UHE Batalha, (ANA, 2010d). A Tabela 1 mostra a evolução dos valores das vazões dos usos consuntivos a montante da UHE Batalha, no período de 2010 a 2040, definidas pelas resoluções da ANA.

Tabela 1 - Vazões dos usos consuntivos a montante da UHE Batalha, no período de 2010 a 2040

Resoluções ANA	Ano/Vazões (m ³ /s)						
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
489/2008	1,62	2,08	2,69	3,49	4,53	5,89	7,67
562/2010	8,70 (valor máximo)						
564/2010	7,59	8,63	9,62	10,62	11,62	12,62	13,61

Finalmente, diante do conflito existente pelo uso competitivo da água na região, devido ao crescimento da demanda hídrica para irrigação a montante da UHE Batalha, em fevereiro de 2012, a ANA interveio e iniciou o debate entre os interessados, através da formação de um Grupo Técnico, visando buscar uma solução para o conflito estabelecido e garantir a disponibilidade hídrica e o equilíbrio ambiental da região. No entanto, as concessionárias das usinas hidrelétricas a jusante de Batalha, que também são afetadas, não foram convidadas a participar da discussão (Silva, 2012).

METODOLOGIA

Os dados sobre a UHE Batalha foram extraídos do projeto básico da usina (FURNAS, 2006) e do Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT), desenvolvido pela Eletrobras.

Para a avaliação da geração de energia pela UHE Batalha e a sua compatibilização com usos crescentes da água, foi utilizada a ferramenta computacional SisUCA, desenvolvido por Hora (2012). Basicamente, o modelo adota a formulação matemática desenvolvida no modelo MSUI (Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas), desenvolvido pela Eletrobras. A inovação da formulação decorre da introdução de uma nova variável representada por retiradas de água, limitada a totalidade da VMO. No que diz respeito à operação, a usina hidrelétrica é representada pela equação do balanço hídrico:

$$\Delta V_i = [Q_{aflu_i} - Q_{turb_i} - Q_{vert_i} - Q_{evap_i}] \cdot ns \quad (1)$$

$$Q_{aflu_i} = \left[Q_{incr_i} + \sum_{k=1}^n Q_{defl_k} \right] - Q_{usos} \quad (2)$$

onde:

ΔV_i variação de volume da usina i, em m³.

Q_{aflu_i} vazão natural afluente à usina i, em m³/s.

Q_{turb_i} vazão turbinada na usina i, em m³/s.

Q_{vert_i} vazão vertida na usina i, em m³/s.

Q_{evap_i} vazão evaporada do reservatório da usina i, em m³/s.

ns número de segundos em um mês médio.

Q_{incr_i} vazão incremental correspondente ao trecho entre a usina i e a(s) usina(s) k de montante, em m³/s.

Q_{deflu_k} vazão defluente da(s) usina(s) k de montante, em m³/s. Corresponde ao somatório das vazões turbinadas e vertidas.

Q_{usos} vazão de retirada no trecho entre as usinas k e i, em m³/s, limitada ao valor da VMO.

As vazões naturais da UHE Batalha foram extraídas da Resolução ANA nº 489/2008 para o período de 1931 a 2005. A partir dessa série foi estimada a vazão de referência ($Q_{95\%}$) e, em seguida, calculada a VMO, representada pela parcela de 70% $Q_{95\%}$.

A vazão evaporada depende da evaporação líquida do reservatório e da área do espelho d'água. Os dados de evaporação líquida foram obtidos através da utilização da ferramenta computacional SisVazNat – Sistema de Reconstituição de Séries de Vazões Naturais (Hora *et al.*, 2010), a partir dos modelos CRLE - *Complementary Relationship Lake* e CRAE – *Complementary Relationship Areal Evapotranspiration*, consubstanciados em Morton (1983 *apud* Hora *et al.*, 2010).

Na operação do setor elétrico, a produção de energia, ou ainda, o turbinamento das vazões afluentes deve buscar atender a demanda do mercado consumidor, ao custo de geração e, se possível, à ordem de prioridade da operação de esvaziamento e reenchimento da cascata (Hora, 2012). Porém, como a simulação do SisUCA prioriza a disponibilidade hídrica dos usuários de jusante, o turbinamento passa a ser regido pelas seguintes regras:

- Se o nível do reservatório no mês anterior estiver entre o mínimo normal e o máximo normal, o reservatório está em fase de enchimento ou deplecionamento, então a vazão turbinada será igual a vazão regularizada;
- Se o nível do reservatório no mês anterior estiver entre o máximo normal e o máximo maximorum, o reservatório encontra-se cheio, então a vazão turbinada será igual a vazão de engolimento máximo ($Q_{turb_{m\acute{a}x}}$). A vazão máxima turbinável pode ser estimada a partir de:

$$Q_{turb_{m\acute{a}x}} = \frac{PI \cdot 1000}{9,81 \cdot \eta_i \cdot h_{ref_i}} \quad (3)$$

onde:

PI potência instalada na usina i, em MW.

h_{ref_i} queda de referência da usina i, em m.

η_i rendimento do conjunto turbina-gerador-transformador da usina i.

Segundo Hora (2012), a vazão regularizada representa a média das vazões afluentes do período em que o reservatório estava totalmente cheio (100%), passou pelo instante em que ficou vazio (0%), e tornou a ficar cheio novamente (100%), sem reenchimentos totais intermediários, utilizando, neste intervalo de tempo, todo o volume útil do reservatório.

RESULTADOS

As simulações da operação hidráulica energética da UHE Batalha, a partir do uso da ferramenta computacional SisUCA, foram efetuadas considerando em um primeiro cenário a ausência de retirada de vazões e nos seguintes retiradas crescentes de parcelas representadas por 40%, 50%, 65% e 100% da VMO (20,86 m³/s). Os percentuais 40% (8,34 m³/s) e 65% (13,56 m³/s) foram escolhidos por representarem, aproximadamente, os valores do Marco Regulatório e da Resolução nº 564/2010, como ilustrado na Tabela 1. Os valores resultantes de geração são mostrados na Figura 2. A energia média foi resultante da simulação do período de jan/1931 a dez/2005. No que tange a energia firme, essa foi resultante da simulação do período crítico do sistema (jun/1949 a nov/1956).

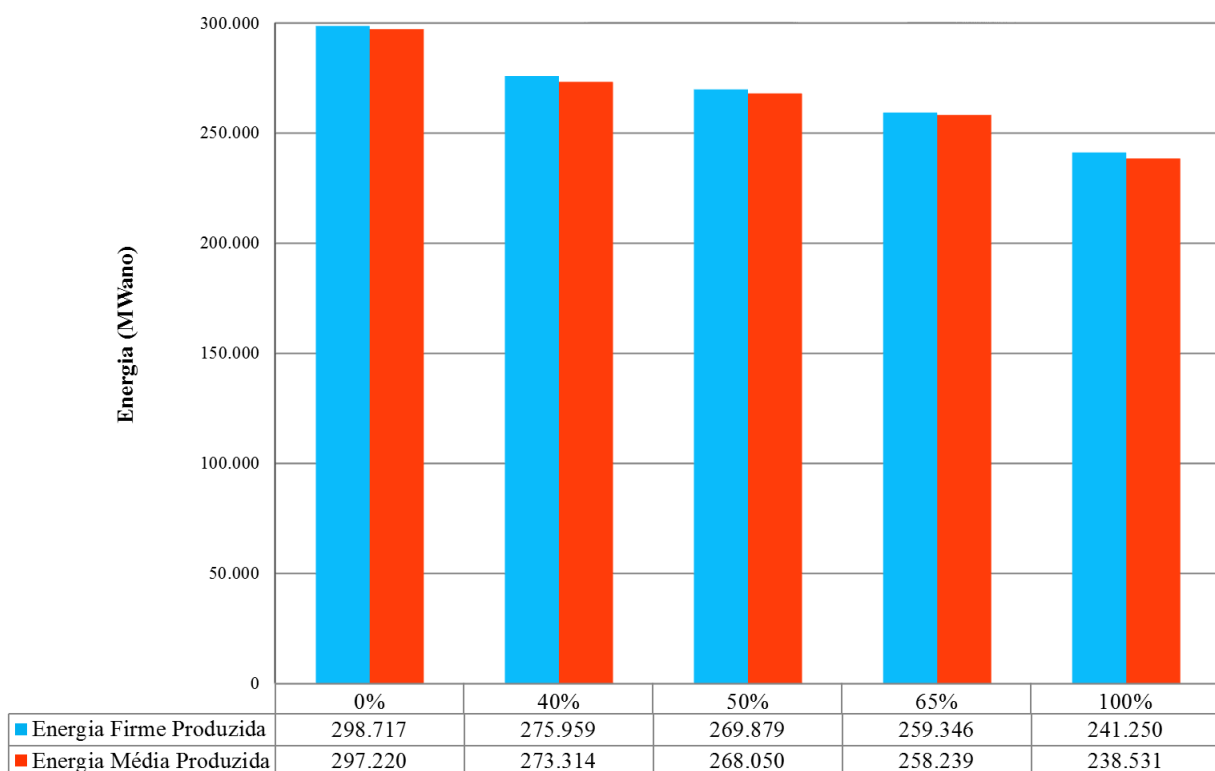


Figura 2 – Produção das energias média e firme no atendimento às demandas crescentes de água para usos consuntivos

Como era de se esperar, o atendimento crescente de vazões para os demais usos a montante do reservatório da UHE Batalha implica na redução da produção de energia. Cabe destacar que os valores de energia firme encontrados foram um pouco superiores aos de energia média, indicando que o período crítico da bacia não coincide com o período crítico do sistema, como pode se constatar ao se analisar a série de vazões naturais, na qual o menor valor corresponde a outubro de 1971. As Figuras 3 e 4 mostram a geração de energia média e energia firme e as perdas energéticas associadas aos usos consuntivos crescentes de água, respectivamente.

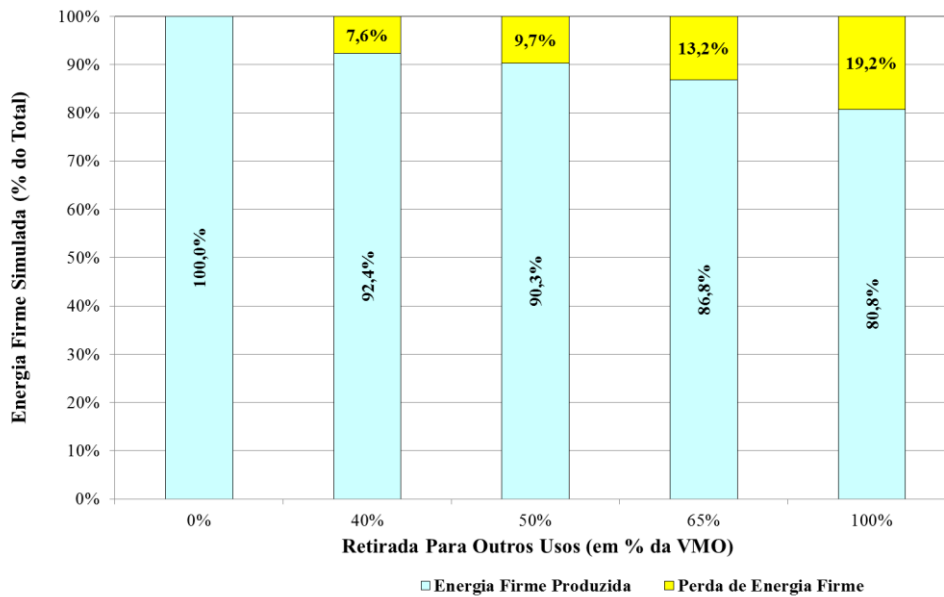


Figura 3 – Perdas globais de energia firme

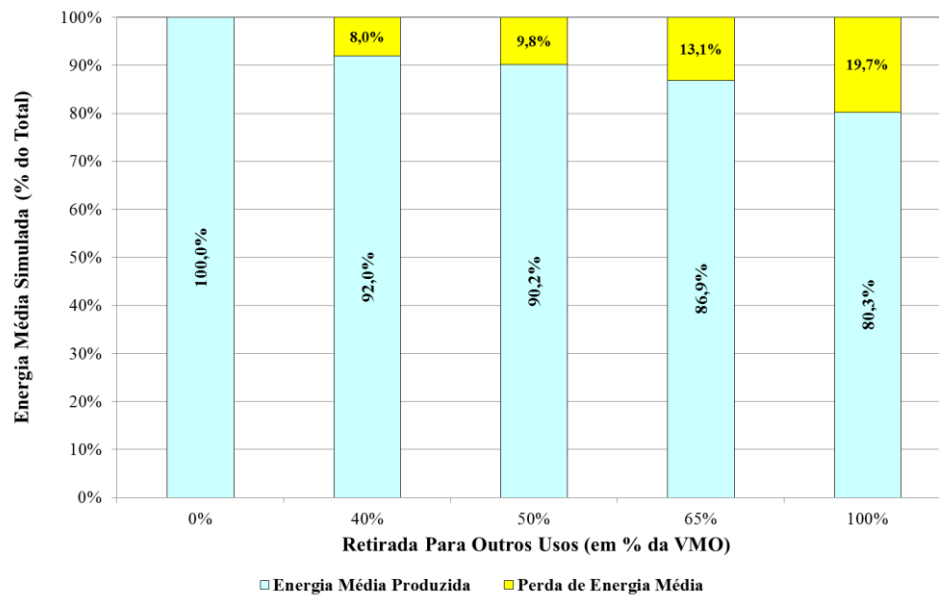


Figura 4 – Perdas globais de energia média

Segundo a Nota Técnica da ANA (2010b), com as mudanças na outorga da UHE Batalha, decorrentes do Marco Regulatório, haveria uma redução de aproximadamente 4% da energia firme, permitindo, assim, que as vazões correspondentes pudessem ser disponibilizadas para demais usos consuntivos a montante, no período de 2010 a 2040, progressivamente. No entanto, segundo as simulações realizadas no presente estudo, as perdas seriam maiores, de 8,0% para energia média e 7,6% para energia firme. Se for considerado o cenário de retirada de 100% da VMO, as perdas energéticas poderão se situar em 19,7% para a energia média e 19,2% para a energia firme.

CONCLUSÕES

A UHE Batalha está localizada na bacia hidrográfica do rio São Marcos, região com grande produção agrícola com a utilização de técnicas modernas de pivôs de irrigação. Atualmente já se constata que uma parte significativa da bacia a montante da usina apresenta déficit hídrico que se

reflete em um conflito entre os setores agrícola e de geração de energia. Isto implicou na edição de inúmeras resoluções pela ANA na tentativa de disciplinar o uso da água na região. As vazões definidas pela ANA para os usos consuntivos a montante da UHE Batalha foram modificadas de 1,62 m³/s para 8,70 m³/s e, finalmente para 13,61 m³/s, ao longo do tempo. Os dois últimos valores representam, aproximadamente, 40 e 65% da VMO, respectivamente.

Para a simulação da operação hidráulica energética da UHE Batalha, para o período de 1931 a 2005, foi utilizada a ferramenta computacional SisUCA. De acordo com os cenários gerados (sem uso de água e parcelas de 40%, 50%, 65% e 100% de retirada da VMO), os resultados mostraram perdas energéticas variando entre 8,0% a 19,7%, para energia média, e entre 7,6% a 19,2%, para energia firme. A partir dos resultados, foi possível inferir que o SisUCA cumpriu os objetivos para o qual foi estruturado, tornando possível a sua aplicação na avaliação da perda na geração de energia causada por demais usos consuntivos da água.

REFERÊNCIAS

- ANA. (2005). *Resolução nº 364, de 29 de agosto de 2005*. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2005/ANALegis/LEGISResolucao364-2005.pdf>>.
- ANA. (2007). *Nota Técnica nº 111/2007/GEREG/SOF-ANA*. Levantamento de pivôs e pontos de barramento na Bacia do Rio São Marcos utilizando imagens do satélite CBERS II. Brasília, 20 de março de 2007.
- ANA. (2008). *Resolução nº 489, de 19 de agosto de 2008*. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2008/ANALegis/LEGISResolucao489-2008.pdf>>.
- ANA. (2010a). *Nota Técnica nº 023/2010/GEREG/SOF-ANA*. Brasília, 5 de março de 2010.
- ANA. (2010b). *Nota Técnica nº 104/2010/GEREG/SOF-ANA*. Brasília, 30 de agosto 2010.
- ANA. (2010c). *Resolução nº 562, de 25 de outubro de 2010*. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2010/562-2010.pdf>>.
- ANA. (2010d). *Resolução nº 564, de 25 de outubro de 2010*. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2010/564-2010.pdf>>.
- ANEEL. (1998). *Decreto nº 2.655, de 02 de julho de 1998*. Brasília, 1998.
- COBRAPE. (2011). *Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Paranaíba*. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Paranaíba. Parte B. Revisão 2. Agosto, 2011.
- FLORÊNCIO, B.A.B.; SILVA, E.M.; PIMENTEL, M.R.S.; SOUSA, P.C.; ASSUNÇÃO, W.L. (2009). Uso da água na bacia hidrográfica do rio São Marcos-Goiás/Brasil. In *Anais do 12º Encontro de Geografos de America Lantina*, Montevideo, Abr. 2009. Disponível em: <http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Usoderecurso s/41.pdf>. Acessado em: abril de 2013.
- FURNAS. (2006). *UHE Batalha – Projeto Básico – Memorial descritivo*. Volume I. Texto – PJ0606-B-R00-GR-MD-001-0. Rio de Janeiro, RJ, Dez. 2006.
- HORA, M.A.G.M; MARQUES, E.; HORA, A.F. (2010). *SisVazNat: Sistema de Reconstituição de Séries de Vazões Naturais*. Colorgraf Gráfica e Editora Ltda. Niterói, RJ, 2010, 75 p.
- HORA, M.A.G.M. (2012). *Compatibilização da geração de energia em aproveitamentos hidrelétricos com os demais usos dos recursos hídricos*. EDUFF, Niterói, RJ, 2012, 102 p.
- SILVA, L.M.C. (2012). *Conflito pelo uso da água na bacia hidrográfica do rio São Marcos*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente). Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2012.