



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ESTUDO DA ALOCAÇÃO DE ÁGUA NO RIO SÃO FRANCISCO CONSIDERANDO A DEMANDA AMBIENTAL

Andrea Sousa Fontes¹; Anderson Lima Aragão²; Yvonilde Dantas Pinto Medeiros³

RESUMO – O presente trabalho tem como objetivo avaliar a alocação de água em sistema hídrico para atendimento às demandas de água de múltiplos usos, considerando a inclusão da demanda ambiental, utilizando o modelo de rede de fluxo Acquanet (2003) e tendo como caso de estudo a bacia do rio São Francisco. A metodologia desse estudo abrangeu: levantamento e tratamento de dados, aplicação do modelo Acquanet para simulação de operação do sistema de reservatórios do rio São Francisco e avaliação do atendimento às múltiplas demandas. Os resultados encontrados evidenciam a magnitude do conflito de uso da água para geração de energia hidroelétrica e para manutenção do ecossistema aquático.

ABSTRACT– This study aims to evaluate the allocation of water in water system with multiple demands, considering the inclusion of environmental demand, using Acquanet (2003) model and taking as a case study the São Francisco River. The methodology included: gathering and processing of data, application of Acquanet model for simulating the reservoirs operation in the São Francisco River and evaluation of the system meeting the demands. The results show the magnitude of the water use conflict for hydropower generation and maintenance of the aquatic ecosystem.

Palavras-Chave – Vazão ambiental, modelo de rede de fluxo, bacia do rio São Francisco.

1) Professora Adjunto da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). andreafontes@ufrb.edu.br

2) Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). andersonnon@gmail.com

3) Professora Adjunto da Universidade Federal da Bahia (UFRB). yvonild@ufba.br

INTRODUÇÃO

Devido ao crescente aumento das demandas por água, os rios vêm sofrendo significativas pressões tanto em relação à retirada de água como pela fragmentação do seu curso, causada pela implantação de aproveitamentos hidráulicos. O controle artificial na dinâmica hidrológica altera as magnitudes e frequências dos fluxos verticais e laterais, afetando todo o sistema fluvial, tanto no leito quanto nas planícies de inundação e lagoas marginais (HENRY, 1999). Essa situação torna o serviço ambiental de fornecimento de água para os diversos usos e condições de vida do ecossistema, um cenário de conflitos com concorrência entre eles.

Com a priorização do desenvolvimento socioeconômico, a demanda hídrica dos ecossistemas foi negligenciada nos seus aspectos de sazonalidade e tempo de ocorrência, resultando em degradação do ecossistema aquático, com destaque para os trechos a jusante dos barramentos sujeitos a regularização das vazões.

Estudos sobre vazão ambiental, entendida como “a quantidade, a qualidade e a distribuição de água requerida para a manutenção dos componentes, funções e processos do ecossistema ribeirinho sobre o qual a população depende” (O’KEEFFE, 2008), vêm sendo realizados na tentativa de assegurar a manutenção das funções e serviços ambientais tão importantes para a sobrevivência das espécies e seus habitats.

O rio São Francisco foi caso de estudo da Rede Ecovazão (MEDEIROS et al., 2010) constituída por uma equipe multidisciplinar que resultou na proposta de hidrograma ambiental de acordo com os requerimentos do ambiente do baixo trecho do rio a jusante dos diversos barramentos. Esse hidrograma representa a demanda do ecossistema aquático, o qual concorre com os demais usos da água, sendo necessária a avaliação de perdas e ganhos, por meio de cenários de prioridades de uso, que auxilie no estabelecimento de regras de operação dos barramentos que compatibilizem as ofertas e demandas de forma eficiente.

Nesse sentido os modelos matemáticos de operação de reservatório, são ferramentas que possibilitam a simulação e otimização de cenários complexos para auxílio na tomada de decisão.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a alocação de água em sistema hídrico para atendimento às demandas de água de múltiplos usos, considerando a inclusão da demanda ambiental, utilizando o modelo de rede de fluxo Acquanet (2003) e tendo como caso de estudo a bacia do rio São Francisco.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio São Francisco (Figura 1) possui uma área estimada de 634.781 km² (8% do território nacional), abrangendo sete unidades da federação (Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas) que compreendem 503 municípios. O rio São Francisco tem 3.200 km de extensão da nascente, localizada no estado de Minas Gerais, à foz, no estado de Alagoas (CBHSF, 2004).

A grande extensão da área de drenagem motivou a divisão da bacia em trechos, no sentido da nascente para a foz, dividindo-a em quatro regiões fisiográficas: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco. A precipitação média da bacia é de 1.036 mm, e apresenta variação pluviométrica de 600 (na região semiárida, no baixo trecho do rio São Francisco) a 1.400 mm (nas nascentes do Alto São Francisco) (CBHSF, 2004).

Para suprir os usos múltiplos de água, existentes em toda bacia e as demandas de energia hidroelétrica do país, diversos barramentos foram construídos ao longo do rio São Francisco. A contribuição das usinas hidroelétricas, instaladas na bacia hidrográfica do rio São Francisco, tem importante valor nacional. Na Tabela 1 são apresentados os principais reservatórios do São Francisco e suas características físicas e energéticas.

Tabela 1 Características dos reservatórios do rio São Francisco

Reservatórios	Volume máximo (Mm ³)	Volume mínimo (Mm ³)	Volume útil (Mm ³)	Potência instalada (Mw)	Rend. Turbina gerador (%)	Índice de disponibilidade	Potencia desejada (Mw)	Nº de turbinas
Três Marias	19528	4250	15278	396	87.3	0.894	309.1	6
Sobradinho	34166	5447	28719	1050.3	92	0.894	863.851	6
Itaparica	10782	7234	3548	1479.6	91	0.849	1143.124	6
PAM	1373	1373	Fio d'água	4283	92.1	0.86	3392.393	23
Xingó	3800	3800	Fio d'água	3162	93	0.86	2528.968	6

Fonte: CHESF (2013)

METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo abrangeu três etapas, as quais são: levantamento e tratamento de dados, aplicação do modelo Aqunet para simulação de operação do sistema de reservatórios do rio São Francisco e avaliação do atendimento

às demandas, considerando o hidrograma ambiental proposto pela Rede EcoVazão (MEDEIROS et al., 2010).

Levantamento de dados

Para a aplicação da modelagem foi necessário levantar os dados referentes aos reservatórios quanto aos volumes característicos, restrições operativas hidráulicas e aos aspectos de geração de energia; as demandas referentes às vazões outorgadas para os diversos usos em cada reservatório e trecho do rio principal; variáveis hidrológicas referentes a vazão afluente aos reservatórios (calculadas com base nas vazões naturalizadas de cada trecho disponibilizadas pelo ONS) e taxas pluviométricas e de evaporação para estabelecimento da perda líquida por evaporação direta no lago do barramento.

Os dados dos reservatórios foram obtidos a partir do banco de dados do Operador Nacional de Sistemas Elétricos (ONS, 2013) e da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF, 2013). Das restrições operativas de cada reservatório, foi identificado, nas características físicas do leito, o transbordamento da calha quando lançadas vazões maiores que 4000 m³/s no trecho a jusante de Três Marias, já a jusante de Sobradinho identifica-se a descarga de 8000 m³/s como valor limite para controle de cheias. Para a vazão mínima requerida a jusante de Sobradinho foi considerado o valor de 1100 m³/s. Essas informações foram consideradas na modelagem.

As vazões outorgadas foram calculadas com base no cadastro da Agência Nacional de Águas, referentes a um período de 2003 (ANA, 2011) até o ano de 2012 (ANA, 2012). Cada tipo de demanda foi agregado considerando os trechos do rio entre dois reservatórios e calculada a média mensal em um período dos cinco anos que contemplasse a vigência das outorgas computadas. A Tabela 2 apresenta os resultados encontrados para o reservatório de Sobradinho. Esta média mensal foi considerado constante no período estudado, de 1931 à 2011.

Tabela 2 Demandas de água dos usos consuntivos no reservatório de Sobradinho

Demandas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Irrigação	56,23178	55,55664	56,21156	56,32219	56,32784	51,70804	51,90069	52,04461	52,04612	52,14228	52,19442	52,62657
Humana	0,672759	0,672759	0,672759	0,696203	0,696203	0,696203	0,696203	0,696203	0,696203	0,694867	0,694867	0,694867
Dessedentação	0,000684	0,000684	0,000684	0,000684	0,000684	0,000684	0,000684	0,000684	0,000684	0,000684	0,000684	0,000684
Industria	0,05613	0,05613	0,05613	0,05613	0,05613	0,05613	0,05613	0,05613	0,05613	0,05613	0,05613	0,05613

Fonte: adaptado de ANA (2011)

A demanda ambiental foi determinada considerando o hidrograma ambiental proposto pela Rede EcoVazão (MEDEIROS et al., 2010) para ano normal e ano seco, com ajuste nas vazões mínimas para atender as vazões mínimas requeridas (1300 m³/s para ano normal e 1100 m³/s para ano seco). Para determinação da série histórica dessa demanda foram considerados os valores mensais do hidrograma ambiental adaptado, considerando a classificação dos anos de acordo com a metodologia de classificação das condições hídricas (Chid) proposto por Genz e Luz (2007), tomando como base a série de vazões afluentes ao reservatório de Sobradinho.

Aplicação do modelo de rede de fluxo

O modelo de rede de fluxo ACQUANET foi desenvolvido pelo Labsid (Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões) da Universidade de São Paulo (USP) fundamentado no MODSIM, criado em 1988, por Jonh W. Labadie, no Colorado State University/ USA (ROBERTO, 2002). Esse modelo incorpora esquema de otimização em modelagem de simulação, que essencialmente simula o comportamento complexo de bacias hidrográficas e otimiza a cada mês (acumulando resultados de um mês para o outro). O AcquaNet integra módulos de alocação de água, geração de energia, qualidade da água, irrigação, análise econômica para alocação e curvas de aversão a risco. O presente trabalho, as simulações foram realizadas no módulo de alocação de água e energia. A tipologia do sistema de reservatórios utilizada é apresentada na Figura 1.

Seguindo a tipologia proposta, a alocação pode ser avaliada para diversos tipos de cenários, uma vez que os dados de entrada e as prioridades podem ser manipulados de acordo com as necessidades. Dessa forma, foram construídos dois cenários com alternativas de prioridades:

- Cenário 1 (C1) – Considera a série de vazão mínima remanescente do baixo trecho do rio São Francisco constante igual a 1.300 m³/s para anos normais e úmidos e igual a 1.100 m³/s para anos secos, baseado em regra de operação vigente.
- Cenário 2 (C2) – Considera a série de vazão ambiental adaptado.

As alternativas consideradas para os dois cenários foram:

- Alternativa 1 (C1A1 e C2A1) - considerando o atendimento a vazão ambiental e geração de energia com maior prioridade em relação ao volume meta dos reservatórios, com exceção do reservatório de Sobradinho que teve

seu volume meta definido em 50% para garantir o atendimento a vazão mínima requerida de 1100 m³/s (sem esse limitante o modelo não calcula o balanço hídrico do sistema).

Alternativa 2 (C1A2 e C2A2) - considerando o atendimento ao volume meta dos reservatórios com maior prioridade do que a vazão ambiental e geração de energia. Para os dois cenários foram avaliadas duas alternativas, a primeira considerando o atendimento a vazão ambiental e geração de energia com maior prioridade que o atendimento ao volume meta e a segunda alternativa com essas prioridades invertidas.

Para comparação dos resultados foi atribuído ao Cenário 2, mais uma alternativa considerando o volume meta prioritário, mas sem limitar a vazão mínima a jusante de Sobradinho (C2A3).

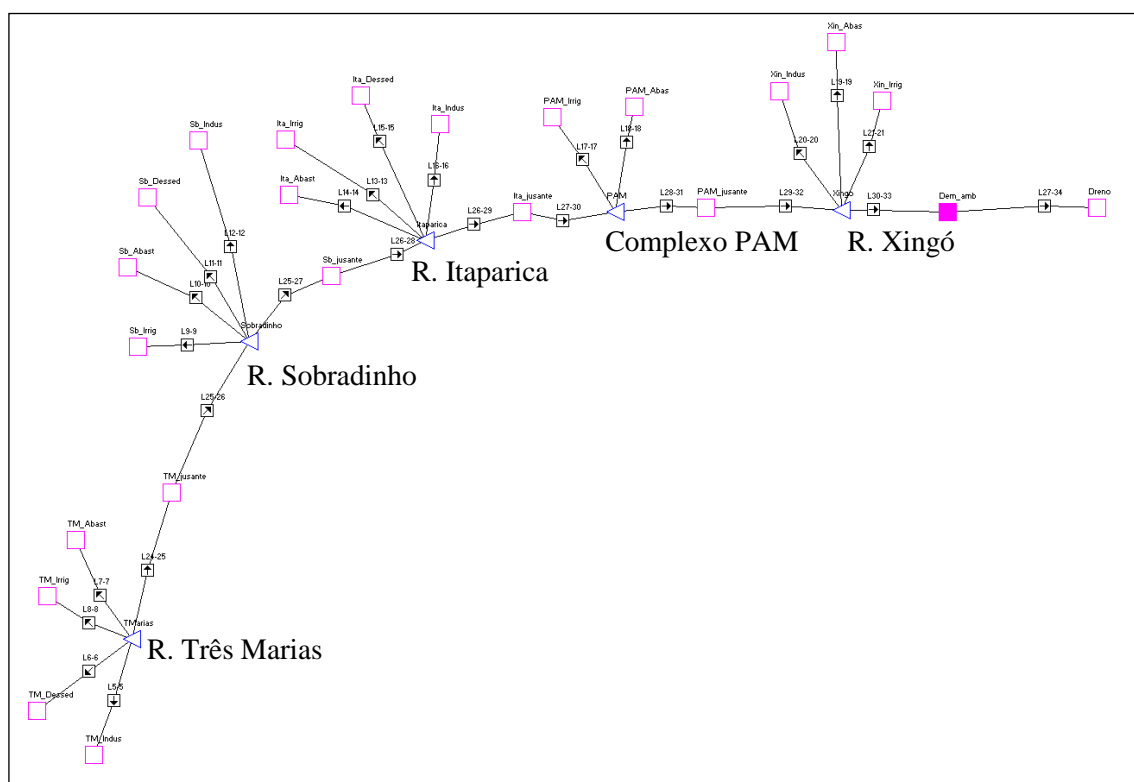


Figura 1 Rede de Fluxo do rio São Francisco

Avaliação do atendimento às demandas

Para avaliação dos atendimentos às demandas água de acordo com as prioridades de uso definidas foi estabelecido o grau de atendimento, verificando a concorrência entre a demanda ambiental e os demais usos e estabelecendo as alterações nas condições de alocação quando considerada a demanda ambiental.

RESULTADOS

Comparando os resultados da aplicação modelo de rede de fluxo ACQUANET, verifica-se que o atendimento a demanda de água para abastecimento humano e dessedentação animal por ser considerada prioritária foi garantido em todas as simulações. Já o atendimento à demanda da irrigação e indústria apresentou não atendimento em mais de 80% do tempo por apresentarem prioridade inferior a da vazão mínima remanescente e da vazão ambiental. Quanto à demanda de geração de energia, os resultados evidenciam a complexidade do conflito entre o atendimento sazonal da demanda do ecossistema aquático e o armazenamento de água atendimento as necessidades de geração de energia, nos anos secos.

Os resultados da simulação dos dois cenários para a Alternativa 1 apresentaram uma alteração na potência média fornecida de pequena magnitude em todas as usinas, uma vez que por serem demandas de usos não consuntivos, a liberação de água para jusante beneficia os dois usos. As Figuras 2 e 3 apresentam a potência gerada pelo reservatório de Sobradinho e a vazão remanescente atendidas, para os dois cenários avaliados nessa alternativa.

Foi verificado que quando priorizadas a vazão ambiental ou mesmo a vazão mínima remanescente de $1100\text{m}^3/\text{s}$, o déficit na geração de energia aumenta apenas para os anos secos por não haver água armazenada para suprir essa demanda. Nos anos normais e úmidos a produção de água é suficiente para atender à sazonalidade do hidrograma ambiental proposto (MEDEIROS et al., 2010) e à regularização das vazões para geração de energia, uma vez que são ambos usos não consuntivos e a liberação de água para jusante atende aos dois. Considerando o volume meta prioritário, a geração de energia pode ser assegurada nos anos secos.

O atendimento à restrição da vazão mínima, a ser mantida pela operação do reservatório de Sobradinho, foi possível somente na condição de prioridade do volume meta, em pelo menos 50% do volume. Esse problema foi demonstrado nas várias tentativas de simulação do modelo Aquanet, nas quais não se conseguiu obter um balanço hídrico positivo do sistema, considerando essa restrição.

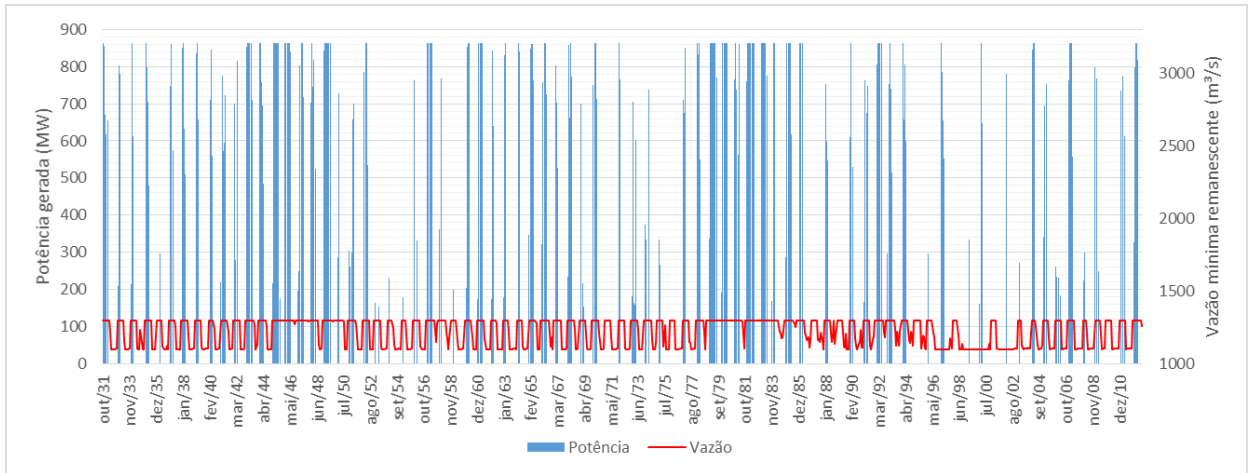


Figura 2 Potência média fornecida em Sobradinho e Vazão mínima remanescente atendida para o C1A1

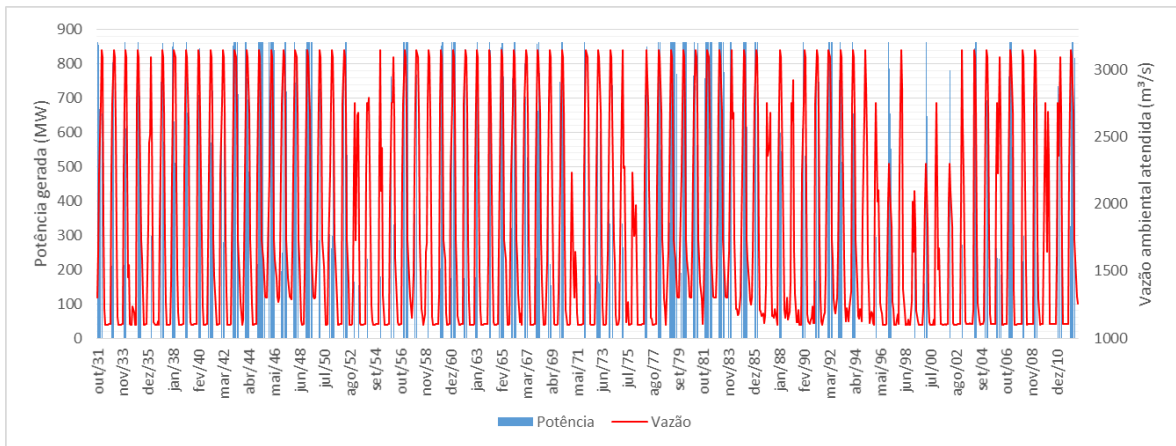


Figura 3 Potência média fornecida em Sobradinho e Vazão ambiental atendida para o C2A1

O conflito entre vazão remanescente e geração de energia se intensifica no sistema estudado pela manutenção da vazão mínima requerida que reduz significativamente a produção de energia conforme observado na comparação das Figuras 4 e 5, que apresenta os resultados do C2A2 e C2A3.

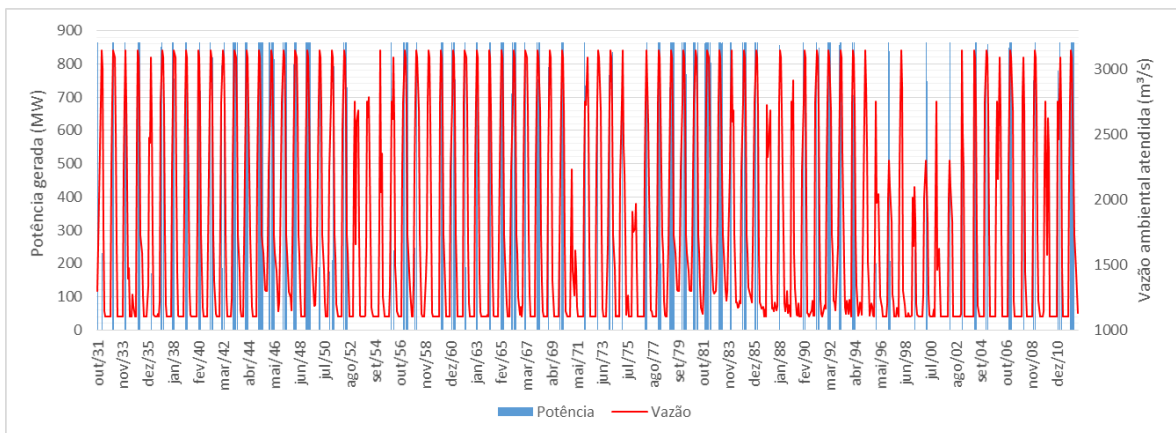


Figura 4 Potência média fornecida e Vazão ambiental atendida para o C2A2

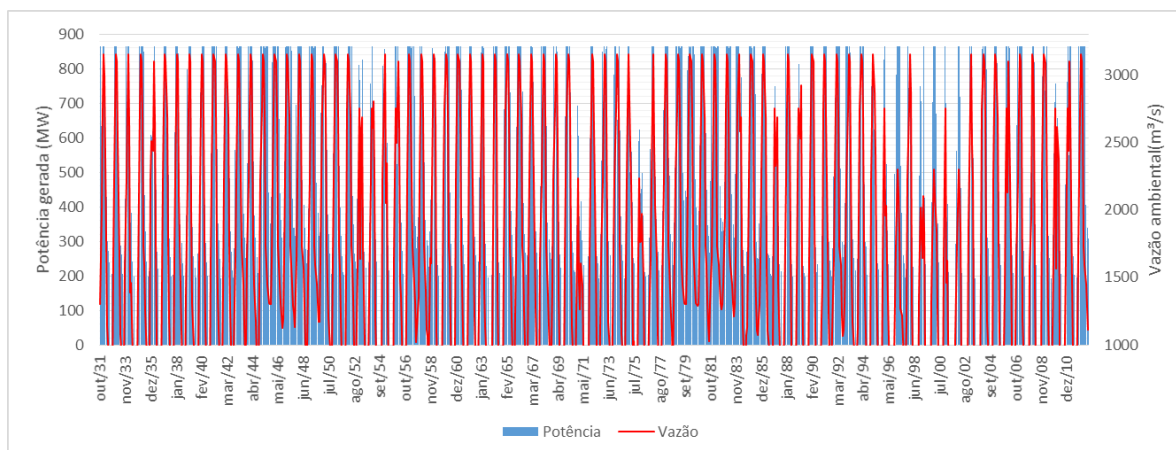


Figura 5 Potência média fornecida e Vazão ambiental atendida para o C2A3

A simulação considerando a demanda por energia com maior prioridade que o volume meta enquanto que a vazão ambiental se apresentava com prioridade inferior a esses dois usos não foi realizada, pois o modelo não conseguiu realizar a simulação, apresentando erro de algoritmo. Isso porque ficou incompatível essa simulação e a necessidade de atender a vazão mínima requerida. Para essa análise considerou os resultados da alternativa 2, verificando o cumprimento do volume meta como garantia de geração de energia em períodos secos. Nessa alternativa os reservatórios tiveram seu volume meta garantindo em todo o período indicando suprimento para geração de energia quando necessário.

CONCLUSÃO

Os resultados encontrados demonstram a complexidade da inclusão da demanda ambiental nas avaliações de alocação de água através da operação de sistema de reservatórios com múltiplos usos. A priorização do atendimento ao armazenamento de um volume meta promove o conflito entre o atendimento a demanda ambiental e a geração de energia nos anos secos.

Cabe ressaltar que as análises estão em fase preliminar, devendo ser detalhadas para contemplar regras de operação mais realistas do sistema analisado.

Para maior detalhamento das análises o modelo se mostrou limitado, não conseguindo apresentar o balanço hídrico para o cenário que a demanda por energia tem maior prioridade que o volume meta enquanto que a vazão ambiental se apresentava com prioridade inferior a esses dois usos. Esse fato sugere a necessidade de um modelo mais robusto para representar o sistema de reservatórios do rio São Francisco.

REFERÊNCIAS

ACQUANET – Modelo integrado para análise de sistemas complexos em recursos hídricos (2003). Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisão- Labsid- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://www.labsid.com.br/>. Acesso em 24 de out. de 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2011). *Outorgas emitidas*. 1 CD.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2012). *Outorgas emitidas*. 1 CD.

ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004). Plano decenal de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco – (2004-2013). *Módulo 1. Resumo Executivo. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco* - Subprojeto 4.5C. Salvador.

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. *Parque de Geração: Usinas*. Disponível em: http://www.chesf.gov.br/energia_parquedegeracao_usinas.shtml > Acessado em 10 de novembro de 2013.

GENZ, F.; LUZ, L. (2007). *Metodologia para considerar a variabilidade hidrológica na definição do regime natural de vazões no baixo curso do rio São Francisco*. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo/SP.

HENRY, R. (Org) (1999). *Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais*. Botucatu: Fundibio; Fapesp.

MEDEIROS, Y. D. P., Chamada Pública MCT/FINEP CT-HIDRO 01/2010 – *Formulário para Apresentação de Candidaturas: Projeto “Avaliação dos Impactos Hidrológicos da Implantação do Hidrograma Ambiental, do baixo trecho do rio São Francisco – AIHA”*, 2010.

O'KEEFFE, J. (2008) *Anotações do Mini-Curso sobre Avaliação da Vazão Ambiental*. Não Publicado. Salvador, Novembro.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico (2013). *Série histórica de vazões naturais*. Disponível em: < http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx>, Acessado em 10 de novembro de 2013.

ROBERTO, A. N. (2002). Modelos de Rede de Fluxo para Alocação de Água entre Múltiplos Usos em uma Bacia Hidrográfica, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Programa de Pós Graduação em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.