



I SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO
Integrando conhecimentos científicos em defesa do Velho Chico.

AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES DA QUALIDADE DA ÁGUA DO BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO EM FUNÇÃO DAS VARIAÇÕES DE VAZÃO.

*Sidney Carlos Santana¹ & Sândira Moraes*² & Vânia Palmeira Campos¹ & Yvonilde D.P. Medeiros²*

Resumo

Este artigo tem como objetivo analisar a condição de qualidade da água no baixo curso do rio São Francisco, associada aos cenários de vazões propostas para o ecossistema aquático: a vazão provisória adotada pelo Comitê da Bacia do São Francisco (CBHSF) e as vazões ecológicas, propostas pela Rede de pesquisa Ecovazão. Para a realização do trabalho de pesquisa, foi utilizado o modelo QUAL-UFMG, que simulou a qualidade da água com base nos parâmetros OD, DBO, N-amoniaco, Nitrito, Nitrato e P-inorgânico. Comparando-se todos os cenários estabelecidos em função das vazões, observou-se que no Ano Seco, a qualidade da água no período de estiagem não foi tão influenciada pelas vazões aplicadas, quanto no período chuvoso. No entanto, vazões mais altas propostas para o Ano Normal, mostraram qualidade inferior da água, o que pode ser justificado se a qualidade da água que vem da barragem for inferior à que se encontra no rio. Ficou evidenciada a importância do monitoramento da qualidade da água em função do controle de vazão de um rio, uma vez que a condição da qualidade desejada para a água pode ser prejudicada, mesmo com o uso de uma vazão ecológica proposta dentro dos melhores padrões metodológicos.

Palavras-Chave – Qualidade de água. Rio São Francisco. Modelo QUAL-UFMG.

INTRODUÇÃO

Dentre as bacias hidrográficas brasileiras mais importantes, destaca-se a bacia do rio São Francisco que subdivide-se em quatro regiões fisiográficas: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco. Esta última estende-se da UHE de Xingó à foz, no Oceano Atlântico. A partir da pesquisa bibliográfica em órgãos ambientais, sabe-se que a região do baixo curso desse rio é a que dispõe de menor número de dados levantados, se fazendo, portanto, necessário conhecer melhor a qualidade da água nesse trecho.

Este trabalho tem como objetivo principal analisar as condições físicas e químicas da qualidade da água no baixo curso do rio São Francisco, associadas aos cenários de vazões propostas para este ecossistema aquático: vazões ecológicas, propostas pela Rede EcoVazão e a vazão

¹ Universidade Federal da Bahia: Instituto de Química, sidneyejss@yahoo.com.br e vpalmeiracampos@gmail.com

² Universidade Federal da Bahia: Escola Politécnica, slmf.sud@gmail.com* e yvonilde.medeiros@gmail.com

provisória adotada pelo Comitê da Bacia do São Francisco (CBHSF). A Rede EcoVazão foi construída com o lançamento do Edital MCT/CNPQ/CT-HIDRO 045/2006, iniciativa do Grupo de Recursos Hídricos (GRH), do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA, com o objetivo de estudar a região do baixo São Francisco.

O modelo QUAL-UFMG foi usado para simular a qualidade da água, com base nos parâmetros OD, DBO, N-amoniaco, Nitrito, Nitrato e P-inorgânico e confirmou a adequação da sua utilização na estimativa do comportamento do rio do ponto de vista da qualidade de água.

ÁREA DE ESTUDO

A região selecionada para desenvolvimento do trabalho foi o baixo curso do Rio São Francisco que estende-se da UHE de Xingó até sua foz. A decisão do desenvolvimento do tema deste trabalho surgiu em função da demanda identificada pela Rede EcoVazão, aplicando seus estudos nesta mesma área, onde as condições hídricas caracterizam-se por um processo de regularização de vazões, determinada pela barragem de Xingó, localizada a montante do trecho. Os impactos ambientais da intervenção humana na região são verificados quando da constatação de redução da biodiversidade que, do ponto de vista econômico, remete ao estrangulamento de atividades relacionadas a piscicultura, agricultura e pecuária, reduzindo as oportunidades de emprego e renda para a população local, afetando diretamente o ecossistema aquático. O baixo curso do Rio São Francisco com área de 25.523 km², se divide entre os Estados de Sergipe e Alagoas, no trecho compreendido após a UHE Xingó, à jusante da cidade de Piranhas, passando pelas cidades de Pão de Açúcar e Traipu, ambas no município alagoano, e finalizando na cidade de Propriá e Ilha das Flores no município sergipano. A Figura 1 mostra as áreas definidas para o estudo.

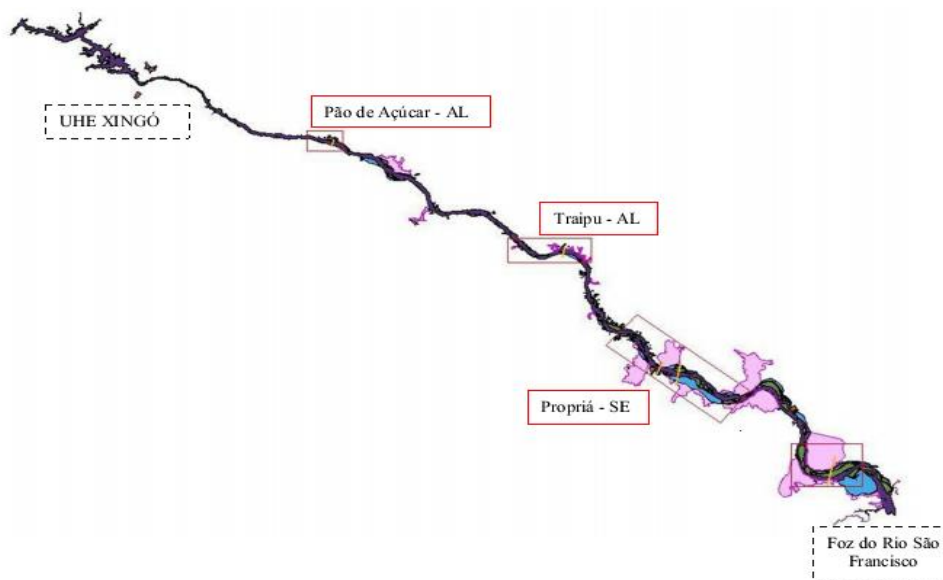


Figura 1- Áreas definidas para o estudo no baixo curso do Rio São Francisco. **Fonte:** (UFBA, 2009)

METODOLOGIA

Para a realização do trabalho foram selecionadas doze estações de coleta na Bacia do Rio São Francisco (BSF), distribuídas de acordo com a extensão de cada localidade amostrada, sendo que em Pão de Açúcar-AI foram sete pontos (BSF2 a BSF8), em Traipú-AI três pontos (BFS9 a BSF11) e em Propriá-Se dois pontos (BFS12 e BFS13). O órgão operador responsável pelas informações é Agência Nacional de Águas (ANA) e como órgão responsável pela coleta das amostras de água e análises químicas e físico químicas, a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), a qual também coletava dados de cota, vazão e perfil transversal desse rio (CHESF, 2010). Para a qualidade da água do baixo curso do Rio São Francisco, o monitoramento era realizado trimestralmente para a maioria dos parâmetros, sendo monitorado a superfície e o fundo dos pontos amostrados.

Os parâmetros de qualidade de água avaliados foram referentes a três períodos, típicos da região, englobando assim toda a variação sazonal: período seco ou de estiagem, correspondente ao mês de janeiro; período chuvoso, correspondente ao mês de julho e período normal, correspondente ao mês de outubro, dos anos de 2008, 2009 e 2010. Os parâmetros de qualidade de água considerados para a modelagem foram: OD, DBO, N amoniacal, Nitrito, Nitrato e P inorgânico.

O procedimento para modelagem do presente trabalho seguiu a descrição de Von Sperling (2007), estabelecendo os objetivos do exercício da modelagem matemática, a estrutura do modelo e quais as respostas poderiam ser retiradas após simulação. O procedimento incluiu a escolha do modelo e os principais tópicos relacionados após conclusão do levantamento bibliográfico realizado sobre modelos matemáticos utilizados para simular a qualidade da água em rios. Levando-se em consideração o acesso gratuito ao programa, a facilidade no seu manuseio, a necessidade de poucos dados de entrada, a ampla aplicação em outros trabalhos para rios com características semelhantes e o reconhecimento como um modelo adequado, optou-se pela utilização do modelo QUAL-UFGM. A representação computacional do modelo escolhido é toda desenvolvida na plataforma Microsoft Excel, estruturada em termos de equações matemáticas, definidas sobre a adoção de soluções analíticas e/ou numéricas, sendo, portanto compatível com diversos outros programas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calibração do Modelo

Para a realização das simulações foram determinados como dados de entrada aqueles referentes à localidade de Pão de Açúcar, os quais compõem séries completas de dados. Dessa forma, as simulações foram feitas à montante de Pão de Açúcar, ao longo de 137 km de rio, passando pelas localidades de Traipu e Propriá, englobando doze estações. As condições mensuradas à montante da primeira localidade (Pão de Açúcar), com a vazão e a qualidade de água medidas, além dos dados físicos referentes ao comprimento, altitude, velocidade e profundidade do trecho, foram inseridos no modelo. Os valores considerados para a velocidade e profundidade do rio foram calculados através das curvas Vazão x Velocidade e Vazão x Profundidade, respectivamente, com o uso da ferramenta Microsoft Excel 2007. As curvas foram construídas com dados de vazões, velocidades e profundidades para o ano de 2008 da mesma localidade. As delimitações de distâncias entre as estações e tributário, foram estabelecidas através de imagens de satélite e uso do programa Arcgis, versão 9.3.

Foram considerados para a calibração do modelo (QUAL-UFGM) os valores usuais dos coeficientes de desoxigenação, nitrogênio e fósforo para modelagem em rios de acordo com SPERLING (2007) e a etapa de calibração foi conduzida através do ajuste dos coeficientes de desoxigenação, do nitrogênio e do fósforo, que variaram dentro de valores ou limites usuais que foram

previamente determinados, permitindo adequar as equações matemáticas às realidades físicas da área do estudo. Para tal foi utilizada a ferramenta Solver, do Microsoft Office Excel 2007, onde foram inseridos valores ou limites usuais, descritos na literatura por Von Sperling (2007), adotando os valores utilizados pelo modelo QUAL2E, onde se buscou no conjunto a menor soma dos quadrados dos resíduos.

Assim, o método de calibração procedeu aos ajustes no modelo, utilizando como base a série referente aos anos de 2008 e 2009, para os meses de janeiro, julho e outubro, utilizando os parâmetros (OD, DBO, N amoniacal, Nitrito, Nitrato e P inorgânico), comparando os dados medidos.

Para a análise estatística foi calculado a minimização de função de erro e em seguida, o Coeficiente de Determinação (CD) para todos os parâmetros simulados e sua média. Os resultados estão nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1- Resultados da minimização de erro calculados para cada parâmetro. **FONTE:** próprio Autor

Minimização da Função de Erro	
Parâmetro	Resultados
$(OD_{Med} - OD_{est})^2$	0.3
$(DBO_{Med} - DBO_{est})^2$	2.6
$(N_{amoniacal}_{Med} - N_{amoniacal}_{est})^2$	0.0001
$(Nitrito_{Med} - Nitrito_{est})^2$	$4,51 \times 10^{-7}$
$(Nitrato_{Med} - Nitrato_{est})^2$	0.02
$(P_{inorgânico}_{Med} - P_{inorgânico}_{est})^2$	0.01

Tabela 2- Valores dos CD's calculados para cada parâmetro. **FONTE:** próprio Autor.

Coeficiente de Determinação	
Parâmetro	Resultados
CD (DBO)	-0.48
CD (OD)	0.3
CD (Namoniacal)	0.2483
CD (Nitrito)	$5,90 \times 10^{-2}$
CD (Nitrato)	-0.08
CD (Pinorgânico)	-0.19

Como o coeficiente de determinação (CD) pode variar de $-\infty$ a $+1$, para valores positivos $0 \leq CD \leq 1$, o valor representa a fração da variância total dos dados medidos que é explicado pelo modelo, ou seja, CD igual a 1 indica perfeito ajuste entre os dados estimados e medidos; CD igual a zero indica que o modelo conduz a um ajuste equivalente ao de um modelo composto por uma reta horizontal que passa pelo valor médio dos pontos estimados. E valores negativos de CD, indicam que o modelo conduz a um ajuste não melhor que o de um modelo composto por uma reta horizontal que passa pelo valor médio dos pontos estimados (VON SPERLING, 2007).

Para a demonstração do resultado final da calibração do modelo, foram feitas comparações gráficas entre os resultados dos parâmetros de qualidade de água medidos e estimados. Pela modelagem a grande maioria dos parâmetros simulados, mostrou bons resultados após a calibração do modelo, apresentando as concentrações estimadas bem próximas das concentrações medidas em

campo. Entretanto, para o P-inorgânico esses resultados não foram evidenciados, mesmo após rever e reavaliar toda a calibração, sendo decidido, portanto, sua retirada das etapas seguintes. Uma justificativa encontrada para a ocorrência desse fato estava nas concentrações muito baixas desse analito (dados secundários), o que poderia estar envolvendo grandes incertezas.

Validação do Modelo

Para a validação foram utilizados os dados de vazão e dos parâmetros de qualidade de água do ano de 2010 nos meses de janeiro e julho, por serem meses que representaram bem a sazonalidade local, caracterizando os períodos de estiagem e chuvoso, respectivamente. Os resultados da validação do modelo foram expressos separadamente por parâmetro de qualidade de água.

O OD mostrou excelentes resultados para suas concentrações, sendo que o período chuvoso apresentou uma menor diferença entre os valores. Para DBO as concentrações estimadas ficaram na maioria abaixo das concentrações medidas. Entretanto, a modelagem desse parâmetro foi considerada válida, uma vez que os resultados não apresentaram grandes discrepâncias quando comparados. O N-amoniaco mostrou uma regularidade nos resultados, tanto para o período de estiagem quanto para o chuvoso, apresentando baixos desvios e uniformes ao longo de todas as estações, com pequenas variações. Exceção apenas para as estações BSF7 e BSF13, que durante o período de estiagem apresentaram valores muito abaixo das concentrações medidas. A modelagem do nitrito apresentou bons resultados para a validação em ambos os períodos, ocorrendo uma variação discreta entre as concentrações estimadas e medidas. Apesar do período de estiagem ter apresentado maior uniformidade nos resultados, houve uma variação discrepante na estação BSF13, onde a concentração estimada pelo modelo foi mais que o dobro da concentração medida. O nitrato apresentou melhores resultados para a validação durante o período de estiagem. Entretanto duas estações chamaram atenção, a BSF2 e a BSF13 pela grande distorção apresentada entre as concentrações medidas. Já o período chuvoso demonstrou concentrações semelhantes ou pouco abaixo dos valores obtidos nas medições. A figura 2 ilustra os resultados para o OD.

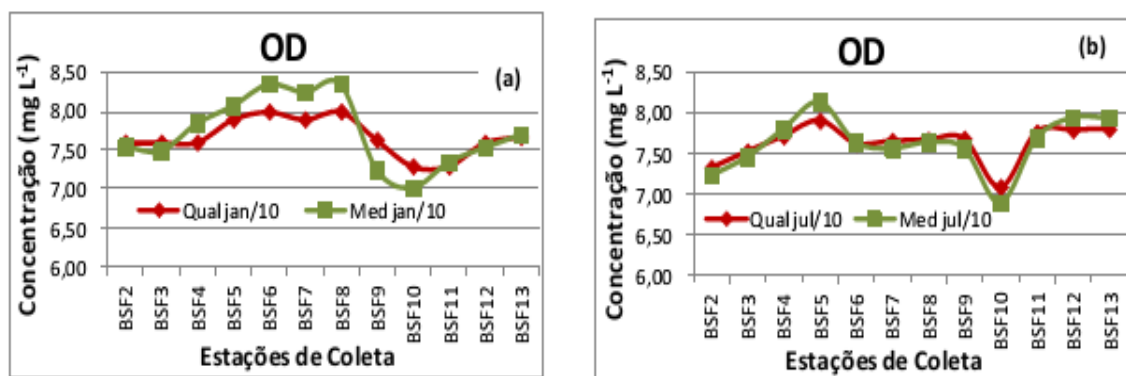


Figura 2- Resultados da validação do modelo de qualidade de água em relação ao parâmetro OD. a) Jan/10; b) Jul/10. **FONTE:** próprio Autor.

Simulação dos Cenários

O modelo foi aplicado para avaliar três cenários diferentes: o primeiro verificou a qualidade da água utilizando a Vazão Provisória adotada pelo CBHSF; o segundo e terceiro cenários, verificaram

as condições de qualidade da água utilizando as Vazões Ecológicas propostas pela Rede EcoVazão para os anos seco e normal, durante os períodos de estiagem e chuvoso.

Para o cenário 1 foi considerada a Vazão Provisória de 1300 m³/s adotada pelo CBHSF. Esta decisão partiu das discussões que ocorreram na fase de elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (PBHSF), durante as quais as atenções do Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco (CBHSF) voltaram-se para as questões relacionadas à alocação de água na bacia, que incluem entre outras ações, a definição de vazões ecológicas. A decisão foi afirmada na Deliberação no. 08, de 30 de julho/04, estabelecida pelo CBHSF. Os resultados da simulação estão na tabela 3.

Tabela 3- Concentrações médias de parâmetros medidos e estimados no baixo curso do Rio São Francisco, considerando as condições de qualidade da água nas vazões medidas e simuladas com a vazão provisória adotada pelo CBHS. FONTE: próprio Autor.

Parâmetros de Qualidade de Água Simulados										
PERÍODO	OD (mg/L)		DBO (mg/L)		Namon(mg/L)		Nitrito (mg/L)		Nitrato (mg/L)	
	CQM	CQ	CQM	CQ	CQM	CQ	CQM	CQ	CQM	CQ
Jan-08	7,81	7,77	0,82	0,81	0,0178	0,0175	0,0012	0,0011	0,0308	0,0337
		(7,74 - 7,94)		(0,39 - 1,70)		(0,0148 - 0,0200)		(0,0010 - 0,0012)		(0,0030 - 0,0370)
Jul-08	7,75	7,79	1,74	1,03	0,0124	0,0119	0,0023	0,0022	0,0232	0,0244
		(7,69 - 8,43)		(0,56 - 1,99)		(0,0069 - 0,0127)		(0,0016 - 0,0027)		(0,0162 - 0,0326)
Jan-09	7,55	7,51	0,7	0,44	0,0265	0,0099	0,0019	0,0015	0,0201	0,0207
		(7,34 - 7,68)		(0,16 - 0,71)		(0,0067 - 0,0131)		(0,0009 - 0,0020)		(0,0194 - 0,0219)
Jul-09	7,47	7,44	3,71	2,00	0,0238	0,0171	0,0036	0,0037	0,1823	0,1653
		(7,11 - 7,76)		(0,82 - 3,18)		(0,0010 - 0,0331)		(0,0020 - 0,0053)		(0,1602 - 0,1704)

DESCRIÇÃO: CQM: Concentração na vazão Medida ao longo do baixo curso do Rio São Francisco. CQ (cbhsf): Concentração da vazão adotada pelo comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco. Valo Mínimo - Valor Máximo (Estimado pelo modelo)

Para os cenários 2 e 3 foram realizadas simulações da qualidade de água aplicando as Vazões Ecológicas estabelecidas no Projeto EcoVazão, determinadas para os anos seco e normal, durante os períodos de estiagem e chuvoso. Ao final do projeto, os diversos atores envolvidos nessa rede, baseados em aspectos hidrológicos e seus parâmetros hidrosedimentológicos e geomorfológicos, dando ênfase a biodiversidade aquática, na manutenção da cadeia produtiva e aspectos socioeconômicos, no processo de alocação da água, estabeleceram o regime de vazões ecológicas para o baixo curso do Rio São Francisco, seguindo o ano hidrológico.

As vazões ecológicas para o ano normal foram 3170 m³/s e 1570 m³/s para o período de estiagem (janeiro) e período chuvoso (julho) respectivamente. Para o ano seco as vazões definidas foram 2090 m³/s e 1040 m³/s para o período de estiagem (janeiro) e período chuvoso (julho) respectivamente.

Foi realizada também uma comparação espacial entre os cenários estabelecidos visando facilitar o entendimento do comportamento dos parâmetros de qualidade de água em função das diferentes vazões aplicadas e a influência destas sobre a condição de qualidade da água.

Os resultados mostraram que a distribuição espacial do OD é constante no trecho do rio em estudo nos anos Seco e Normal no período de estiagem, quando as Vazões Ecológicas propostas foram 2090 m³/s e 3170 m³/s. No período chuvoso a distribuição do OD ao longo do trecho não é

constante, mas é também semelhante para os anos Seco e Normal, havendo diferenças significativas espacialmente, quando a concentração de OD diminui até o ponto BSF9 em Traipu, para então voltar a aumentar até o final do trecho (em BSF13), próximo à foz do rio. As vazões ecológicas propostas aplicadas nesse caso, para os anos Seco e Normal, em período chuvoso foram mais baixas: 1041 m³/s e 1571 m³/s, e é clara a influência destas vazões na concentração do OD, que diminui no trecho intermediário do rio (ao longo de cerca de 51 Km).

No caso da DBO, o comportamento desse parâmetro ao longo do rio, nas diferentes vazões, é semelhante, diminuindo gradativamente. No entanto, como não foi possível calibrar o modelo de forma satisfatória para este parâmetro, não é adequado discutir este comportamento resultante da sua aplicação.

Quanto aos nutrientes, N-amoniaco e Nitrato se mostraram mais concentrados no período de estiagem, mesmo com vazões mais altas, tanto no Ano Seco como no Ano Normal, o que se constitui numa influência menor da vazão sobre esses parâmetros de qualidade de água, provavelmente por trazer maior volume de água de qualidade mais baixa do que a do próprio rio, ou por homogeneizar o conteúdo da água nas proximidades da superfície, processo este que está representado pelo nitrato, forma mais oxidada do nitrogênio e pelo perfil longitudinal praticamente constante ao longo de todo o curso do rio. Esse mesmo comportamento ocorre para o nitrito, mas no período chuvoso as concentrações constantes ao longo do rio são mais baixas, mostrando a influência favorável da diluição pelo volume de água acrescentado pelas chuvas, apesar das vazões mais baixas aplicadas. No período de estiagem, mesmo com vazões mais altas, a concentração do nitrito se mostra mais alta e praticamente constante, uma influência negativa das vazões aplicadas, visto que se trata de um indicador de poluição recente. A figura 3 ilustra os resultados para OD no ano seco.

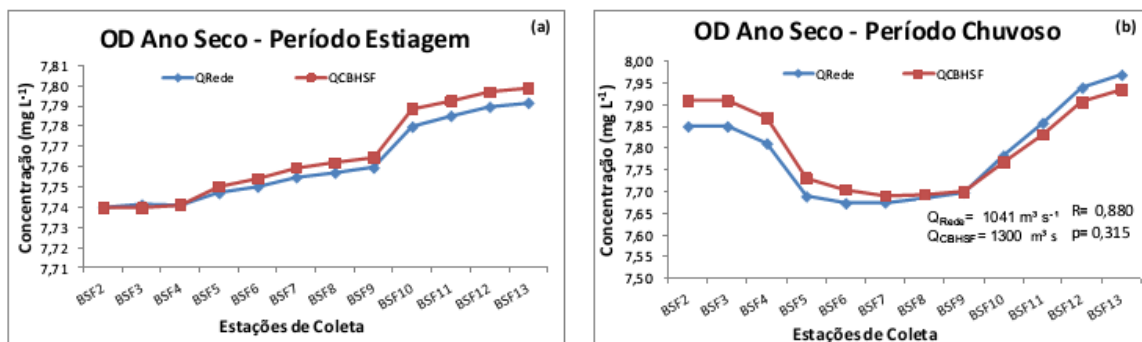


Figura 3: Concentrações médias de OD no baixo São Francisco simuladas em função das diferentes vazões aplicadas: a) e b) Ano Seco, período de estiagem e chuvoso, respectivamente. **FONTE:** próprio Autor.

Os resultados mostraram que a qualidade da água não é influenciada em função das vazões aplicadas no Ano Seco, as quais são mais baixas, tanto no período de estiagem como no período chuvoso. No entanto, as vazões mais altas propostas para o Ano Normal mostram interferir na qualidade da água com relação aos parâmetros OD, DBO, N-amoniaco, Nitrito e Nitrato.

CONCLUSÕES

O modelo QUAL-UFMG foi calibrado e aplicado de forma satisfatória para quatro parâmetros de qualidade da água nos períodos simulados, o que confirma a adequação da sua utilização na estimativa do comportamento do rio do ponto de vista da qualidade de água. Entretanto, um

monitoramento mais frequente de todos os parâmetros solicitados pelo modelo, permitiria maior refinamento dos resultados e melhoria da sua calibração.

A validação dos parâmetros calibrados comprovou que o modelo QUAL-UFMG possui satisfatória exatidão, já que esta foi avaliada em condições diferentes das usadas na calibração, e obtendo boa correlação entre as variáveis estimadas e medidas, fornecendo assim, confiança ao sistema de modelagem aplicado. Com relação à qualidade da água em função da aplicação das Vazões Ecológicas, pode-se concluir pela modelagem que as vazões mais baixas aplicadas nos anos Seco e Normal em período chuvoso, 1041 e 1571 m³/s, respectivamente, influenciaram negativamente a concentração do OD, que diminuiu no trecho intermediário do rio (ao longo de 51 km) e na concentração de nutrientes nitrogenados. A vazão proposta para o Ano Seco/período de estiagem (2090 m³/s) favoreceu a condição do OD, mas também aumentou a concentração de nutrientes nitrogenados; ou seja, esta vazão parece interferir negativamente na qualidade da água com relação a nutrientes, embora possa favorecer a condição do OD. Isso pode ser justificado se a qualidade da água que vem da barragem for inferior à que se encontra no rio. O mesmo ocorreu no Ano Normal/Período de estiagem, quando a vazão ecológica proposta é a mais alta entre todas (3170 m³/s).

Este estudo mostrou a importância do monitoramento da qualidade da água em função do controle de vazão de um rio, uma vez que a condição da qualidade desejada para as espécies aquáticas pode ser prejudicada, mesmo com o uso de uma vazão ecológica proposta dentro dos melhores padrões metodológicos

Considerando que os esgotos domésticos constituem uma das principais fontes de emissão de poluentes no curso do rio estudado, se faz necessário garantir o saneamento básico para a região do baixo São Francisco, com o intuito de melhorar a qualidade de vida da população e preservar as águas deste manancial tão importante para o país.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Banco de Dados Hidrológicos**. 2011. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 07 abril 2011.

COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF). **Planilha excel com dados do Inventário dos Ecossistemas Aquáticos do Baixo São Francisco: Reservatório de Xingo e Baixo São Francisco**, do período de janeiro/08 a out/10. 2010. [s.l.: s.n.], [19 --]. CD-ROM.

MEDEIROS, Y.D.P.; PINTO, I.M.; STIFELMAN, G.M.; FARIA, A.S.F; PELLI, J.C.S.; RODRIGUES, R.F.; SILVA, E.R.; COSTA, T.; BOCCACIO, M.X.; SILVA, E.B.G. **Projeto 3.1 - Participação Social no Processo de Alocação de Água, no Baixo Curso do Rio São Francisco. In: Estudo do regime de vazão ecológica para o Baixo curso do rio São Francisco: Uma abordagem multicriterial**. Universidade Federal da Bahia, 2010. (Relatório Técnico – CNPQ/CT-HIDRO)

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 2.ed., Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1998. 669 p.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 1ª Edição. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 588 p.