

SIMULAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DA ÁGUA DE DOIS RESERVATÓRIOS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO - PARTE 1: OTIMIZAÇÃO QUANTITATIVA

Allan Sarmiento Vieira^{1} & Wilson Fadlo Curi²*

Resumo – O planejamento da operação e alocação da água em uma bacia hidrográfica é uma atividade complexa. Simplificações normalmente utilizadas em alguns modelos, tais como não inclusão das não linearidades dos processos e integração de aspectos quantitativos e qualitativos da água numa mesma função objetivo, podem limitar e comprometer o processo de tomada de decisão. Dentro deste contexto, foi proposto uma análise integrada quali-quantitativa da sub-bacia do Alto Piranhas-PB envolvendo os açudes Engenheiro Ávido e São Gonçalo com um novo modelo de simulação. No cenário operacional apresentado considerou-se a descarga de poluentes de cidades e perímetro irrigado circunvizinhos. As demandas de água foram projetadas para o ano de 2013. Os resultados demonstraram que todas as restrições físicas e operacionais do subsistema foram satisfeitas e que as demandas consideradas obtiveram uma garantia de 100% no atendimento. Sob a ótica qualitativa o rio e o açude São Gonçalo apresentaram, em alguns meses, níveis de concentração de alguns parâmetros de qualidade da água fora da meta estabelecida. O modelo de simulação utilizado permitiu uma análise integrada de aspectos quali-quantitativos da água gerando resultados para análises menos intuitivas para potencial gestores de recursos hídricos.

Palavras-Chave – Simulação, quali-quantitativa, programação linear.

A QUALI-QUANTITATIVE WATER SIMULATION FOR TWO RESERVOIRS IN PARAIBA'S SEMIARID REGION: QUANTITATIVE OPTIMIZATION

Abstract – Water allocation and operation planning within a river basin is a complex task. Mathematical models usually include simplifications, such as lack of nonlinearities representation and the integration of water quali-quantitative aspects in one objective function, which may limit or compromise the decision making process. This paper provides an integrated quali-quantitative water resource analysis, making use of a new simulation model, for part of the Piranhas river basin, which includes the Engenheiro Ávido and São Gonçalo reservoirs. Located small cities and irrigated perimeter pollutant discharges were considered. Projected water demands for 2013 were used. The provided results have shown that all the problem constraints were satisfied as well as all water demands requirements were fulfilled with a reliability of 100%. Under a qualitative observation, the required concentration of some water quality parameters of São Gonçalo reservoir and control points in the river were not met during some months. The new model provided results from an integrated quali-quantitative approach that are able to subsidize less intuitive analysis of potential decision makers.

Keywords – simulation, qualitative and quantitative, linear programming.

¹ *Professor Doutor Allan Sarmiento Vieira: Universidade Federal de Campina Grande (UACC/CCJS/UFCG): allan.sarmiento@pesquisador.cnpq.br

² Professor Doutor Wilson Fadlo Curi: Universidade Federal de Campina Grande (UAF/CCT/UFCG): wfcuri@pesquisador.cnpq.br

1.0 - INTRODUÇÃO

A crise da água, que hoje é uma realidade na maioria das regiões e afeta os seus vários usos, pode agravar-se cada vez mais se não ocorrer um planejamento e gerenciamento visando à sustentabilidade. Com o aumento da demanda e a perda da qualidade dos mananciais em sistemas de recursos hídricos, faz-se mister fazer uso de modelos de simulação com concepções holísticas, dentro de uma visão sistêmica, que contemple os múltiplos usos dos diferentes setores da sociedade e, de forma integrada, analise aspectos quali-quantitativos da água.

Com base neste contexto, foi proposto neste trabalho, um diagnóstico da sub-bacia do Alto Piranhas-PB, envolvendo os açudes Engenheiro Ávido e São Gonçalo, com um novo modelo de simulação. Este modelo combina técnicas de simulação e otimização e utiliza técnicas de aproximações lineares para incorporar as não-linearidades dos processos hidráulicos e operacionais e do balanço de massa dos parâmetros considerados. Foi incluso o caráter multiobjetivo (otimização das alocações e enquadramentos de níveis de poluição) do problema numa mesma função objetivo. Neste estudo, foram consideradas ainda, demandas projetadas para o ano 2013, na qual foram consideradas como maiores prioridades, com horizonte de tempo de 360 meses e uma meta operacional dos reservatórios para prevenir de uma possível seca. Os níveis de poluição devem estar enquadrados na Classe II.

2.0 - CARACTERIZAÇÃO DO MODELO QUALI-QUANTATIVO UTILIZADO

O modelo de simulação multiobjetivo e quali-quantitativo proposto (Vieira, 2011) tem um algoritmo desenvolvido totalmente com técnicas de programação linear, permitindo achar o ótimo global mês a mês dos usos múltiplos do sistema de reservatórios, considerando as variáveis relacionadas aos aspectos hidroclimáticos (precipitação, evaporação e vazões), hidráulicos (características dos componentes hidráulicos do sistema), as demandas (abastecimento, irrigação, etc.) e aos níveis de concentrações ou poluição de parâmetros de qualidade da água (a demanda bioquímica de oxigênio - DBO, oxigênio dissolvido - OD, nitrogênio total - NT, fósforo total - FT, clorofila-a - CLA e coliforme termotolerante ou fecal - CF) de acordo com as metas estabelecidas pelo CONAMA 357/05.

Para estimar a qualidade da água de rios e reservatórios e avaliar os níveis de poluição, deve-se, também, conhecer as fontes de poluição e os processos de autodepuração associados aos parâmetros de qualidade de água considerados. Com relação a avaliação do desempenho das demandas do sistema em estudo, além dos gráficos, foram incluídos no modelo de simulação alguns indicadores, como a confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade e sustentabilidade.

3.0 – DADOS E CARACTERIZAÇÃO DO SUBSISTEMA AVALIADO

A área de estudo pertence ao conjunto de sete sub-bacias da bacia hidrográfica do Alto Piranhas, localizado no extremo oeste do Estado da Paraíba entre as latitudes 6° 36' 47" e 7° 22' 56" Sul e entre as longitudes 37° 48' 15" e 38° 49' 15" Oeste no Sertão Paraibano (Figura 1). A sub-bacia apresenta vários reservatórios, onde merece destaque, o subsistema de reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo. Este último abastece perímetros irrigados privado e público, que não consideram a qualidade da água nas suas operações. As principais aglomerações urbanas são as cidades de Cajazeiras, Sousa e Marizópolis. Os dados do subsistema, que vão servir de entrada no modelo, foram coletados do Plano Diretor de Recursos Hídricos do Alto Piranhas (SIENTEC,

1997), de livros especializados, como o Von Sperling (1996) e Tucci (2005), de sites da AESA-PB e HIDROWEB ou estimadas por metodologias já consagradas na literatura, como, por exemplo, calcular a vazão de retorno das cidades.

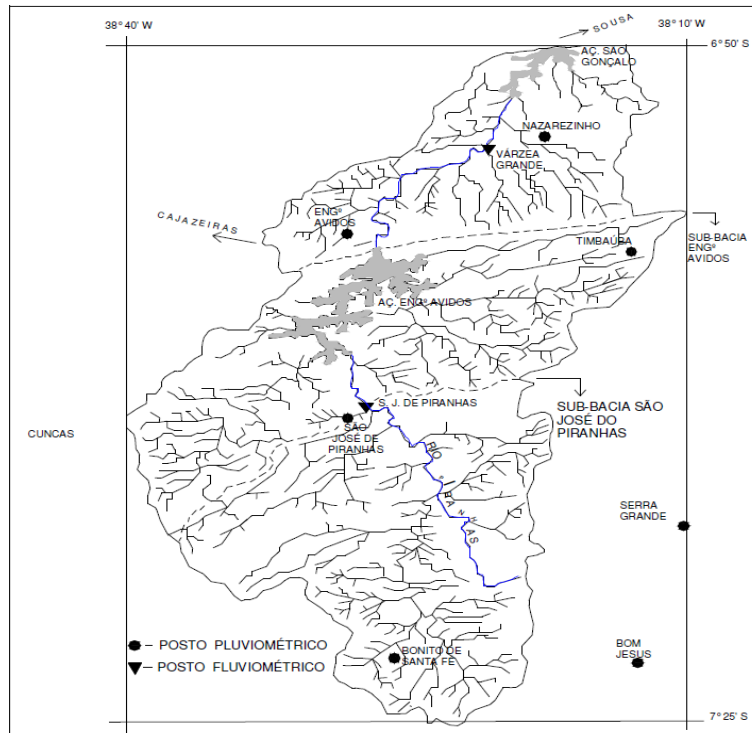


Figura 1 – Sistema Estudado (Fonte: Ribeiro, 1990)

Para utilizar o novo modelo de simulação foi necessário identificar as variáveis de decisão e atribuir os níveis de prioridade dos objetivos. As variáveis de entrada e saída de cada componente do sistema, que serão disponibilizadas pelo modelo de simulação para serem utilizadas em sua análise contemplando os possíveis usos e níveis de enquadramento das concentrações em um sistema de recursos hídricos, são mostradas na Figura 2.

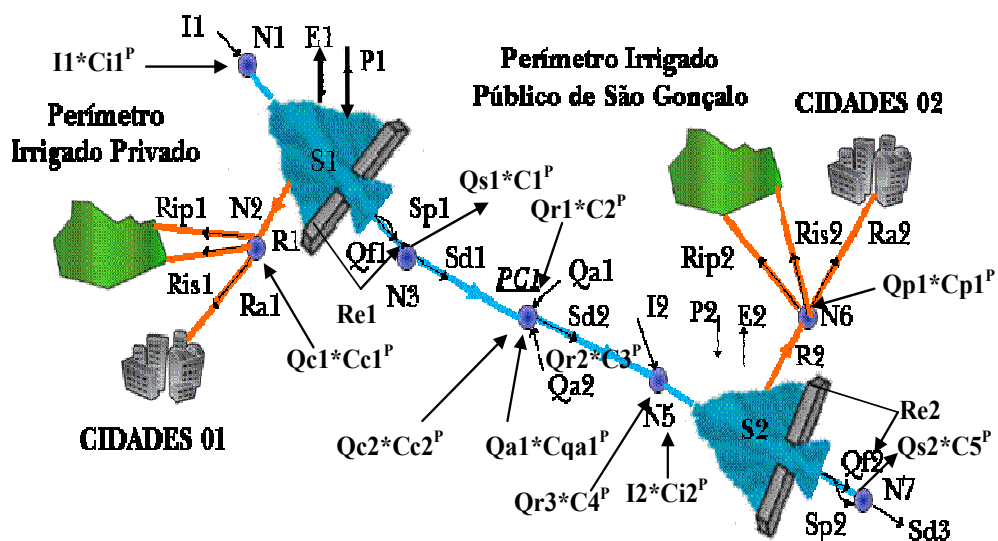


Figura 2 – Layout do subsistema com as variáveis quantitativas e qualitativas.

Legenda: I_i – Vazão afluente nos reservatórios S_i ; E_i – Evaporação; P_i – Precipitação; R_i – Retiradas; S_d – Vazão defluente; C_i – Concentrações de um determinado parâmetro; Q_f – Descarga de fundo; S_p – Vertimento; Q_{a1} – Vazão afluente no ponto de controle PC1;

4.0 – METODOLOGIA

O cenário de operação estabelecido considera como prioridades de atendimento todas as demandas de alocação e as metas operacionais dos reservatórios. Com relação aos níveis de concentração dos parâmetros de qualidade da água considerados nos reservatórios e no ponto de controle (PC1), situado na confluência do rio Piranhas com o riacho Catolé a montante do reservatório São Gonçalo, terão prioridades inferiores, mas devem ser enquadradas na Classe II. Considerou-se, ainda, todas as restrições físicas e operacionais do subsistema.

As demandas máximas mensais de abastecimento humano foram estimadas para o ano de 2013. As demandas de irrigação foram obtidas do plano de cultivo e do cálculo da necessidade hídrica suplementar segundo o balanço hídrico realizado para o solo. Foram consideradas duas situações para as áreas irrigadas: para o reservatório Engenheiro Ávidos foi utilizada uma área de aproximadamente de 70 ha, sendo 50% da área destinada para culturas perenes e 50% para culturas sazonais, e para o reservatório São Gonçalo, onde foi utilizada uma área irrigável ótima sugerida por Farias (2004) de aproximadamente 1100 ha, sendo 50% da área destinada para culturas perenes e 50% para culturas sazonais. O sistema de irrigação considerado para todas as culturas é do tipo gotejamento com uma eficiência de aplicação de 92% e a do sistema de irrigação de 90%. Para a demanda de manutenção dos ecossistemas aquáticos foi considerada 10% da vazão outorgável.

5.0 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todas as restrições operacionais do açude Engenheiro Ávidos foram atendidas, inclusive o volume meta, conforme mostrada na Figura 3. Houve, também, meses bastantes chuvosos que provocaram perdas de água por vertimento. A vazões liberadas pela descarga de fundo do açude Engenheiro Ávidos, apesar de não ter prioridade operacional na função objetivo, obedeceram as restrições das descargas máximas, que são limitadas pela suas cotas hidráulicas em cada mês t , conforme mostrando na Figura 4.

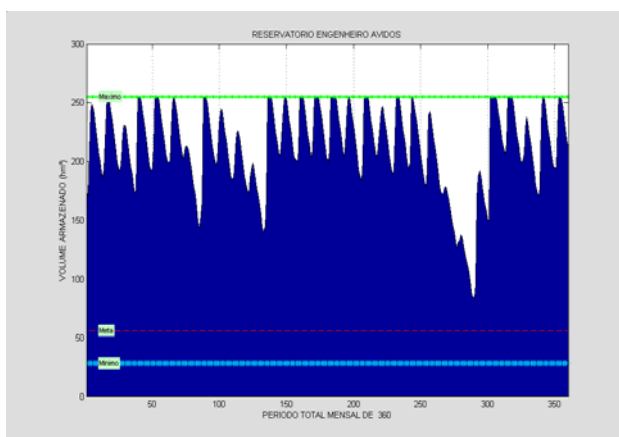


Figura 3 - Comportamento do volume armazenado do açude Eng. Ávidos.

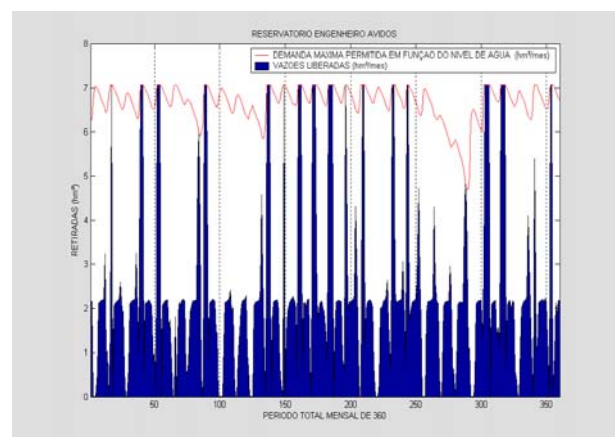


Figura 4 - Vazões liberadas por descarga de fundo no açude Eng. Ávidos.

De acordo com os resultados, os atendimentos às demandas para o abastecimento, irrigação de culturas perenes e culturas sazonais e ecossistemas aquáticos do rio foram completamente satisfeitos (confiabilidade de 100%), ou seja, não houveram falhas em nenhum setor, gerando um índice de sustentabilidade de 100%.

A Figura 5 mostra o comportamento da DBO no reservatório Engenheiro Ávidos ao longo do tempo de simulação. Por ter um volume considerável de água, as concentrações ficaram enquadradas na Classe II, atendendo a meta pré-estabelecida de ter, no máximo, 5 mg/l. A Figura 6 mostra os ótimos níveis de concentração de OD ao longo do período simulado, isso ocorreu devido os baixos teores de concentração de DBO (Figura 5) observado no reservatório Engenheiro Ávidos.

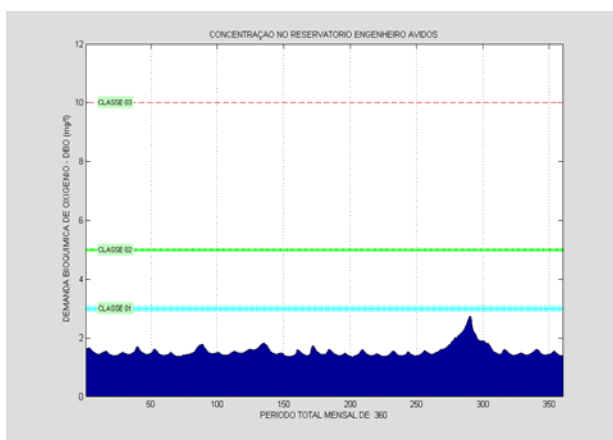


Figura 5 - Comportamento da DBO no açude Eng. Ávidos.

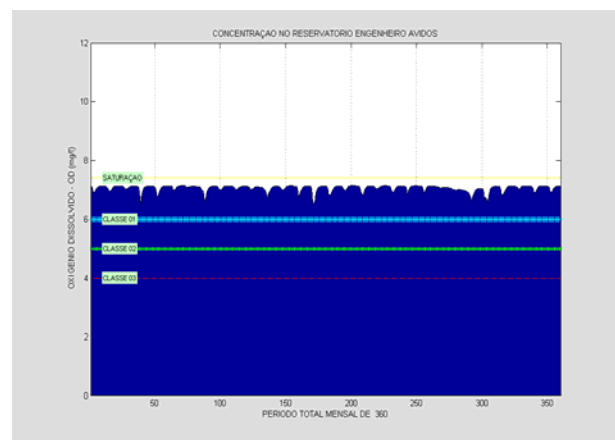


Figura 6 - Comportamento do OD no açude Eng. Ávidos

As concentrações de Fósforo Total (FT), Nitrogênio Total (NT), Clorofila-a (CLA) e Coliformes Fecais (CF), para o açude Engenheiro Ávidos, atenderam suas metas estabelecidas.

A Figura 7 mostra as variações mensais da concentração de DBO ao longo do tempo das vazões que saem do Ponto de Controle PC1 para o açude São Gonçalo.

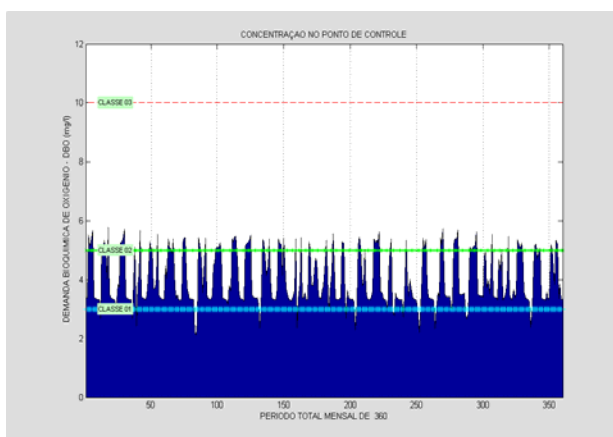


Figura 7 - Comportamento da DBO no Ponto de Controle PC1.

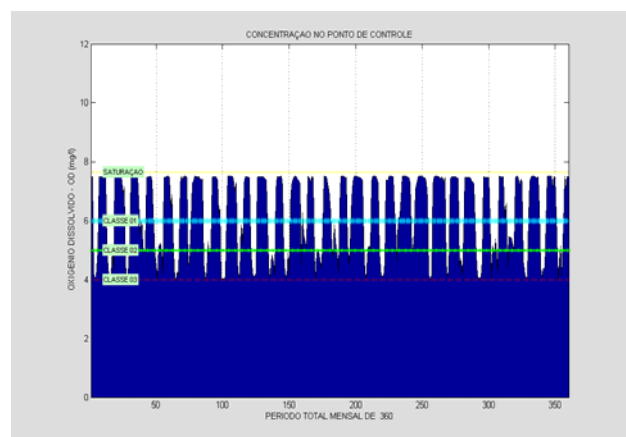


Figura 8 - Comportamento do OD no Ponto de Controle PC1.

É importante lembrar que neste ponto de mistura chega uma carga constante mensal de DBO proveniente da cidade de Nazarezinho e do Riacho Catolé. Além disso, estas são misturadas as

vazões advindas do açude Engenheiro Ávidos, que apresentam suas concentrações autodepuradas no trecho do rio. A Figura 8 mostra o comportamento das concentrações de OD no PC1 e foram observados que, em alguns meses, ficaram abaixo da meta estabelecida.

Observa-se na Figura 9, em alguns meses do período simulado, que a concentração do FT esteve acima da meta estabelecida. Isso ocorreu, principalmente, por que a cidade de Nazarezinho despeja uma carga com concentração constante de 8mg/l e a vazão do rio não foi suficiente para promover sua diluição aos níveis requeridos. Além disso, conforme a Figura 10, o ponto de controle PC1, apresentou, em alguns meses também, níveis de clorofila-a acima da meta.

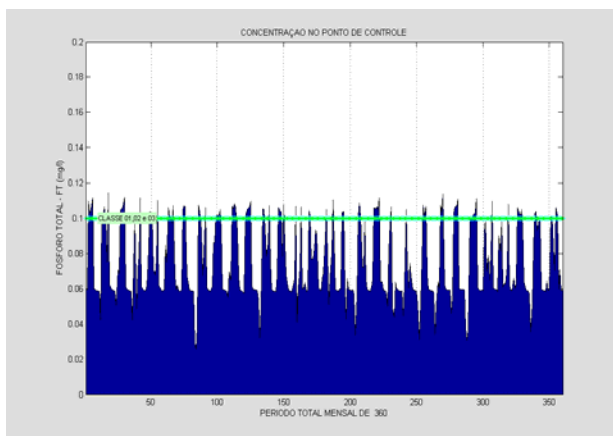


Figura 9 - Comportamento da FT no Ponto de Controle PC1.

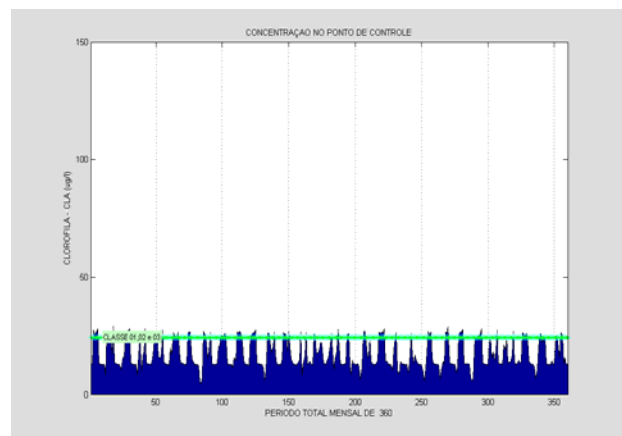


Figura 10 - Comportamento do CLA no Ponto de Controle PC1.

Os níveis de concentrações do Nitrogênio Total (NT) e dos Coliformes Fecais ficaram na meta estabelecida no Ponto de Controle PC1.

O comportamento do volumétrico do açude São Gonçalo apresentou uma grande variabilidade, característica de açudes de geometria de pequenos e médios portes, conforme pode ser observado na Figura 11. A restrição de volume meta, não foi violada, satisfazendo assim todas as prioridades operacionais estabelecidas. Houve, também, a chegada de grandes vazões afluentes que provocaram perdas de água por vertimento.

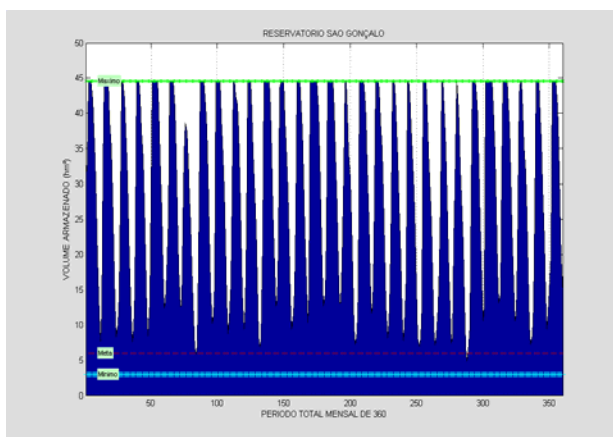


Figura 11 - Comportamento do volume armazenado do açude São Gonçalo.

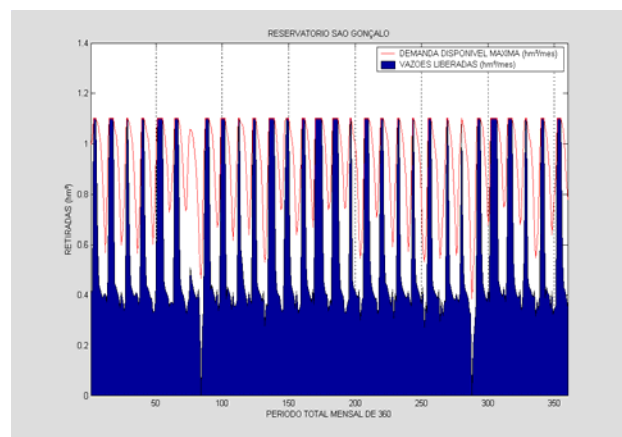


Figura 12 - Retiradas d'água pela descarga de fundo no açude São Gonçalo.

A retirada d'água pela descarga de fundo do reservatório, conforme mostrado na Figura 12, atendeu a restrição de associar o nível do volume armazenado de água à descarga máxima do descarregador de fundo no mês.

O atendimento às demandas para o abastecimento, irrigação de culturas perenes e culturas sazonais foram completamente satisfeitos (confiabilidade de 100%), ou seja, não houve falhas em nenhum setor, gerando um índice de sustentabilidade de 100%.

A Figura 11 apresenta comportamento do FT e são observados teores de concentrações acima da meta estabelecida ao longo do tempo no reservatório São Gonçalo, que ocorreram devido à chegada de cargas poluentes das cidades circunvizinhas e do perímetro irrigado. Com relação aos níveis de concentração de CLA, que está diretamente ligado à concentração do FT, estas apresentaram níveis de concentrações, também, acima da meta estabelecida, conforme mostra a Figura 12.

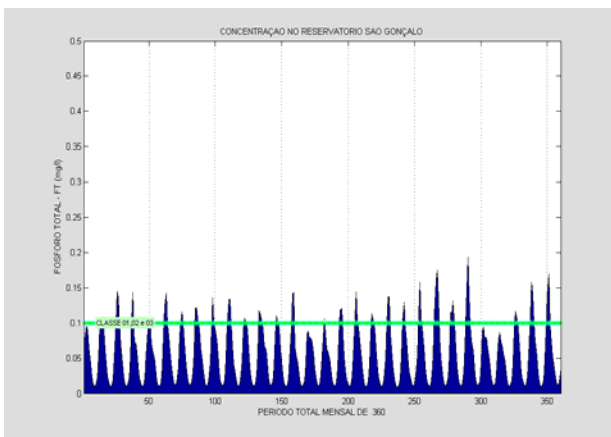


Figura 11 - Comportamento da FT no açude São Gonçalo.

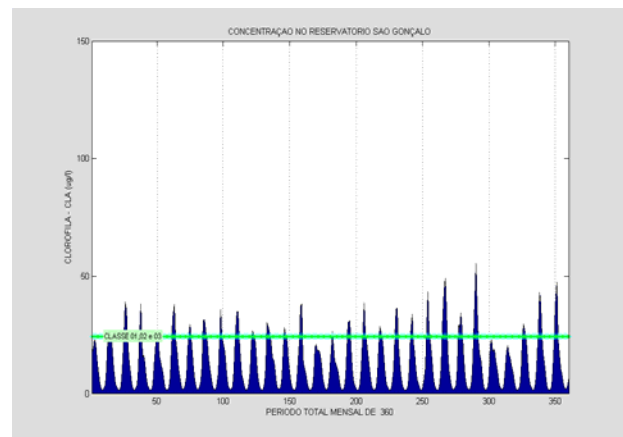


Figura 12 - Comportamento da CLA no açude São Gonçalo.

Com relação aos outros parâmetros analisados ficaram enquadrados na meta estabelecida para o reservatório São Gonçalo.

6.0 – CONCLUSÃO

O novo modelo de simulação quali-quantitativo e multiobjetivo, que combina técnicas de simulação e otimização numa escala mensal e faz uso de indicadores para avaliar o desempenho das demandas, é uma ferramenta alternativa na solução de problemas de planejamento de sistemas complexos de recursos hídricos. Este mostrou de ser capaz de prover resultados importantes que pode subsidiar o processo de tomada de decisão dentro de um planejamento integrado em recursos hídricos. Com relação, o cenário de operação considerado, onde foram priorizadas só as demandas para alocação da água entre os seus usos, foram observadas as seguintes situações:

- Com relação ao reservatório Engenheiro Ávidos, o atendimento às demandas apresentaram uma sustentabilidade de 100%. Os níveis de concentrações para os diferentes parâmetros de qualidade da água foram todos enquadrados na Classe II, que foi estabelecida como meta, apesar de não serem prioridades do estudo;

- Para o Ponto de Controle PC1, que se situa, entre os reservatórios, todas as restrições do balanço hídrico foram satisfeitas, mas os níveis de concentrações, em alguns meses, da DBO, do FT, da CLA e do OD não satisfizeram a meta estabelecida.
- O reservatório de São Gonçalo também teve o atendimento das demandas quantitativas satisfeitas, atingindo a sustentabilidade em 100%. No entanto, os níveis de concentrações do FT não puderam ser enquadrados na Classe II.

REFERÊNCIAS

a) Livros

GOMES, H. P. (1999). *Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento*; Editora da UFCG Campina Grande - PB, 3º ed., 412 p.

VON SPERLING, M. (1996). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte – MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, Volume 01, 2º ed., p. 243.

VON SPERLING, M. (1996). *Princípios básicos do tratamento de esgotos*. Belo Horizonte - MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, Volume 2, 2º ed., p. 211.

b) Teses e Dissertações

RIBEIRO, M. M. R. (1990). *Operação de um sistema de reservatórios para usos de conservação*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. (1990).

SANTOS, V. S. (2007). *Um Modelo de Otimização Multiobjetivo para Análise de Sistemas de Recursos Hídricos*. Campina Grande: UFCG – Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Dissertação de Mestrado. 144p.

VIEIRA, A. S. (2011). *Modelo de Simulação Quali-Quantitativo Multiobjetivo para o Planejamento Integrado dos Sistemas de Recursos Hídricos*. Campina Grande: UFCG – Pós-graduação em Recursos Naturais. Tese de Doutorado. 275p.

c) Artigos em revista

WURBS, R. A., (2005). *Comparative Evaluation of Generalized River/Reservoir System Models*. Technical Report nº 282. Texas Water Resources Institute.

d) Material Técnico

DAEE (2005). *Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas*. São Paulo. Secretaria de Estado de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. 116p.

SCIENTEC (1997). Associação para o desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacia do Piancó e do Alto Piranhas*. SEPLAN.

SUDENE (1990). *Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste – Estado da Paraíba*. Série pluviométrica 5. Recife-PE, Brasil.