

DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO DE OPERAÇÃO DE SISTEMA DE RESERVATÓRIOS NO SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA GERENCIAMENTO DA ALOCAÇÃO DE ÁGUA - SIGA

Francisco Venícius Fernandes Barros¹, Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins², Dirceu Silveira Reis Junior³ & Conceição de Maria Albuquerque Alves⁴

RESUMO --- Este artigo apresenta o Módulo de Operação de Sistema de Reservatórios que está sendo implementado no Sistema de Informações para o Gerenciamento da Alocação da Água – SIGA, em desenvolvimento na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Este módulo permite executar tanto estudos de simulação com regras operacionais pré-definidas, quanto derivar novas regras com base em diversas funções objetivo. A otimização do sistema da Região Metropolitana de Fortaleza ilustra sua utilização.

ABSTRACT --- This paper presents the Reservoirs' System Operation Module that is being implemented in the Water Allocation Management Information System, being developed by Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. This module allows simulation of a system of multiple reservoirs based upon predefined operating rules, as well as derivation of new rules based on several objective functions. The optimization of the reservoirs' system of the Metropolitan Region of Fortaleza illustrates its use.

Palavras-chave: Sistema de informações; Operação de reservatórios; Gerenciamento.

1) Pesquisador da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Av. Rui Barbosa, 1246 – Fortaleza-CE – 60.115-221 – Fone: (85) 3101-1091 – veniciusfb@gmail.com.

2) Presidente da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Av. Rui Barbosa, 1246 – Fortaleza-CE – 60.115-221 – Fone: (85) 3101-1091 – esm9@secrel.com.br.

3) Pesquisador da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Av. Rui Barbosa, 1246 – Fortaleza-CE – 60.115-221 – Fone: (85) 3101-1091 – dirceu.reis@gmail.com.

4) Pesquisadora Colaboradora da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Av. Rui Barbosa, 1246 – Fortaleza-CE – 60.115-221 – Fone: (85) 3101-1091 – conceicao@funceme.br.

1 - INTRODUÇÃO

A definição de como operar um sistema com vários reservatórios é uma tarefa complexa, pois envolve diversos aspectos técnicos, econômicos, sociais e políticos (Loucks & Van Beek, 2005; Oliveira & Loucks, 1997). Esta complexidade se traduz (1) nos mais diversos objetivos a serem atingidos com vários usos da água, muitas vezes conflitantes, como por exemplo, abastecimento humano, irrigação, dessedentação de animais, geração de energia, manutenção de espécies aquáticas, manutenção de níveis mínimos de qualidade de água, navegação, e controle de cheias; (2) nos diferentes graus de prioridade de uso dados por diversos segmentos da sociedade; (3) nas diversas restrições impostas à operação, oriundas de limitações físicas do sistema (capacidade de uma adutora, volume útil de cada reservatório ou capacidade bombeamento), ou determinadas por condicionantes legais ou contratuais (manutenção de vazão mínima a jusante para atender uma comunidade específica, indústria, ou até mesmo outro país); bem como (4) nos riscos envolvidos no processo de alocação da água tendo em vista a natureza estocástica da oferta hídrica (Wurbs, 1996).

A definição da operação de um sistema de reservatórios consiste em especificar os volumes a serem liberados de cada reservatório ao longo do tempo. Esta definição é geralmente feita de modo a maximizar ou minimizar uma ou mais função objetivo, que expressa matematicamente os objetivos que se tem em operar o sistema. A definição destes volumes depende sobremaneira do volume de água armazenado em cada reservatório, das demandas pontuais do sistema, que podem ser atendidas por um ou mais reservatórios, das restrições do sistema, dos custos envolvidos na operação, e do volume de água afluyente a cada reservatório no futuro, sendo este último a grande fonte de risco no processo de operação de sistemas hídricos.

À medida que a complexidade do sistema aumenta, caracterizada pelo número de reservatórios, pelo número de pontos de demanda de água, e respectivas características, como por exemplo, a sazonalidade (demanda de agricultura que varia no tempo) e localização (suprimento de mais de um reservatório), pelas diversas restrições do sistema, pelas possibilidades de ser realizar transferências de água de uma bacia para outra (via bombeamento, por exemplo), fica praticamente impossível para o ser humano identificar a melhor estratégia de operação, ou mesmo para simular o comportamento do sistema quando operado com uma estratégia pré-definida.

Além disso, a usual complexidade destes sistemas dificulta bastante a percepção de funcionamento do mesmo pelos diversos grupos que têm interesse em participar no processo de alocação de água de uma bacia hidrográfica, como por exemplo, no caso de comitês de bacias. O processo de negociação de conflitos em recursos hídricos exige, de certa forma, que os envolvidos no processo de discussão tenham uma visão compartilhada de como o sistema hídrico funcionaria em diferentes situações. Só para citar como exemplo, é usual procurar entender o que aconteceria

com o sistema (1) se o mesmo fosse operado sob diferentes cenários de oferta hídrica, (2) se as regras de operação dos reservatórios fossem alteradas, ou (3) se fossem mudadas as prioridades de atendimento das demandas. Este tipo de percepção em relação ao funcionamento do sistema, adquirido por exercícios de simulação como os citados acima, são importantes para que se possa alcançar uma gestão integrada e participativa dos recursos hídricos. Acredita-se que o uso de ferramentas de base matemática, capazes de simular os aspectos mais importantes do sistema, possa ser útil na construção deste processo de decisão.

Este artigo apresenta o desenvolvimento do módulo de operação de sistema de reservatórios que está sendo implementado no Sistema de Informações para Gerenciamento da Alocação de Água – SIGA, em desenvolvimento pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Este artigo segue na seção 2 com uma breve contextualização do desenvolvimento do módulo de operação de sistema de reservatórios, indicando sua relação com o SIGA, e a demanda de um módulo como este nas atividades da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH e da Companhia de Água – CAGECE, ambas financiadoras do desenvolvimento do módulo. Em seguida, na seção 3, apresenta-se uma descrição do módulo propriamente dito, abordando tanto os aspectos relativos à simulação de sistemas de reservatórios, quanto àqueles referentes ao processo de otimização do sistema, incluindo, entre outras coisas, uma descrição das interfaces do sistema, das alternativas de regras de operação a serem utilizadas na simulação, e das possíveis escolhas a serem feitas pelo usuário no que concerne aos algoritmos de otimização multiobjetivos a serem empregados na otimização de regras de operação. A seção 4 ilustra a aplicação do módulo na otimização da operação dos reservatórios da Região Metropolitana de Fortaleza. Em seguida, na seção 5, são apresentados os resultados e breves discussões sobre os mesmos, e por último, na seção 6, as considerações finais do artigo.

2 – CONTEXTUALIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do módulo de operação reservatórios está inserido num projeto maior de desenvolvimento de um sistema de informação em recursos hídricos no âmbito da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME. Esse sistema, denominado Sistema de Informação para a Alocação de Água - SIGA, reúne, numa única ferramenta computacional, vários módulos, quais sejam: Módulo de Desenho de Rede de Fluxo; Módulo de Simulação Hidrológica; Módulo de Calibração de Modelos Hidrológicos; Módulo de Análise e Apresentação de Resultados; Módulo de Qualidade da Água (Rios e Reservatórios); Módulo de Simulação de Poluição Difusa; e, é claro, Módulo de Operação de Reservatórios (Alves *et al.*, 2006).

Alguns módulos já foram implementados e estão em fase de testes (Alves *et al.*, 2007). O projeto de desenvolvimento do SIGA é coordenado por pesquisadores da FUNCEME e conta com a

colaboração do Departamento de Computação Gráfica da Universidade Federal do Ceará (UFC) diretamente envolvido nos aspectos relacionados a desenho de interfaces, concepção de novos componentes, classes e atributos e implementação de códigos computacionais introduzindo recursos da computação gráfica que possam aperfeiçoar o funcionamento do sistema no que se refere à comunicação sistema-usuário.

No momento, o desenvolvimento do SIGA conta com o apoio da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE e da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará - COGERH.

O SIGA em desenvolvimento para a CAGECE possui interfaces e módulos concebidos para atender o usuário CAGECE, representado pelos profissionais e tomadores de decisões dessa instituição. O SIGA perfil CAGECE terá os seguintes módulos específicos:

- Apresentação e Gerenciamento de Resultados;
- Modelagem da qualidade da água em rios;
- Modelagem da qualidade da água em reservatórios;
- Modelagem de fontes de poluição difusa;
- Simulação da operação de sistemas de hídricos.

O SIGA em desenvolvimento para a COGERH possui os mesmos módulos acima mencionados, mas com ênfase no módulo de operação de reservatórios, incluindo algoritmos de otimização. Da mesma forma, que para a CAGECE, o SIGA perfil COGERH tem interfaces, componentes e propriedades específicas para os profissionais e tomadores de decisão da COGERH.

Atualmente, a COGERH é responsável pelo gerenciamento da maior parte das águas acumuladas em reservatórios públicos, estaduais e federais, no Estado do Ceará bem como de outros elementos que compõem os sistemas hídricos estaduais, tais como adutoras, canais, elevatórias. Uma das funções da COGERH constitui-se na definição da alocação da água disponível nos sistemas hídricos do estado. A distribuição racional e mais eficiente de água entre múltiplos usuários, com interesses muitas vezes conflitantes, não é uma tarefa simples. Ela envolve a compatibilização entre oferta e demanda de água num espaço geográfico ao longo de um determinado espaço temporal (seis meses, 1 ano, 3 anos, etc.)

Ambos os projetos prevêem a realização de reuniões periódicas com profissionais das instituições para avaliação de interfaces e propriedades incluídas no sistema, apresentação de etapas de implementação dos módulos e para recebimento de sugestões e críticas aos componentes já implementados. Ao final dos projetos, serão realizados seminários para transferência de tecnologia, apresentação do sistema completo e entrega do software e respectivos manuais de usuário.

O manual incluirá a descrição detalhada dos elementos das interfaces e suas funcionalidades, e conterá exercícios tutoriais que irão ilustrar a operação do sistema de forma interativa.

3 – MÓDULO DE OPERAÇÃO DE SISTEMA DE RESERVATÓRIOS

O módulo de Operação de Sistema de Reservatórios tem como objetivo principal disponibilizar um ferramental para auxiliar no gerenciamento dos recursos hídricos, bem como um instrumento para realização de pesquisas científicas no que diz respeito sistemas de reservatórios.

O módulo engloba a operação de sistema de reservatórios, onde estão disponíveis os elementos necessários para composição de uma vasta gama de situações encontradas nos diversos sistemas existentes. Desta forma, é possível realizar simulações ou otimizações com base em uma estrutura de tipos de regras operativas disponíveis no sistema. Dentre as técnicas de otimização disponíveis, tem-se: o já implantado MOPSO (Alvarez et al., 2005), um algoritmo do tipo evolucionário capaz de realizar estudos de otimização com mais de um objetivo, e MOHBMO (Barros, 2007), ainda em fase de implantação, também um algoritmo evolucionário multiobjetivo.

Alguns tipos de regras operacionais já se encontram disponíveis, são elas: liberação constante, liberação periódica e liberação dependente do volume armazenado em um ou mais reservatórios.

3.1 - Interface

A interface definida para o módulo foi desenvolvida em concordância aos demais módulos do SIGA, nos quais se buscou incorporar as reações dos usuários, possibilitando melhor aplicação e maior produtividade. O objetivo principal levado em conta para o desenho das interfaces do sistema foi proporcionar ao usuário uma maneira fácil e rápida de manipular informações do ponto de vista operacional. Foram considerados os seguintes critérios:

- Consistência na entrada de dados e parâmetros de modelos;
- Fácil visualização dos resultados;
- Aprendizagem e uso do sistema em tempo mínimo;
- Flexibilidade na aplicação do sistema diante da variedade de demandas dos usuários, suas necessidades, habilidades, interesses e preferências;
- Personalização do sistema de acordo com os requisitos de aplicação de cada usuário, disponibilizando funções e recursos de interface (ressaltando ou escondendo componentes) de acordo com seu perfil.

O módulo de Operação de Sistema de Reservatórios, bem como os demais módulos do SIGA, apresenta quatro funcionalidades padrão, como apresentadas no Quadro 1 e em destaque na Figura 1.

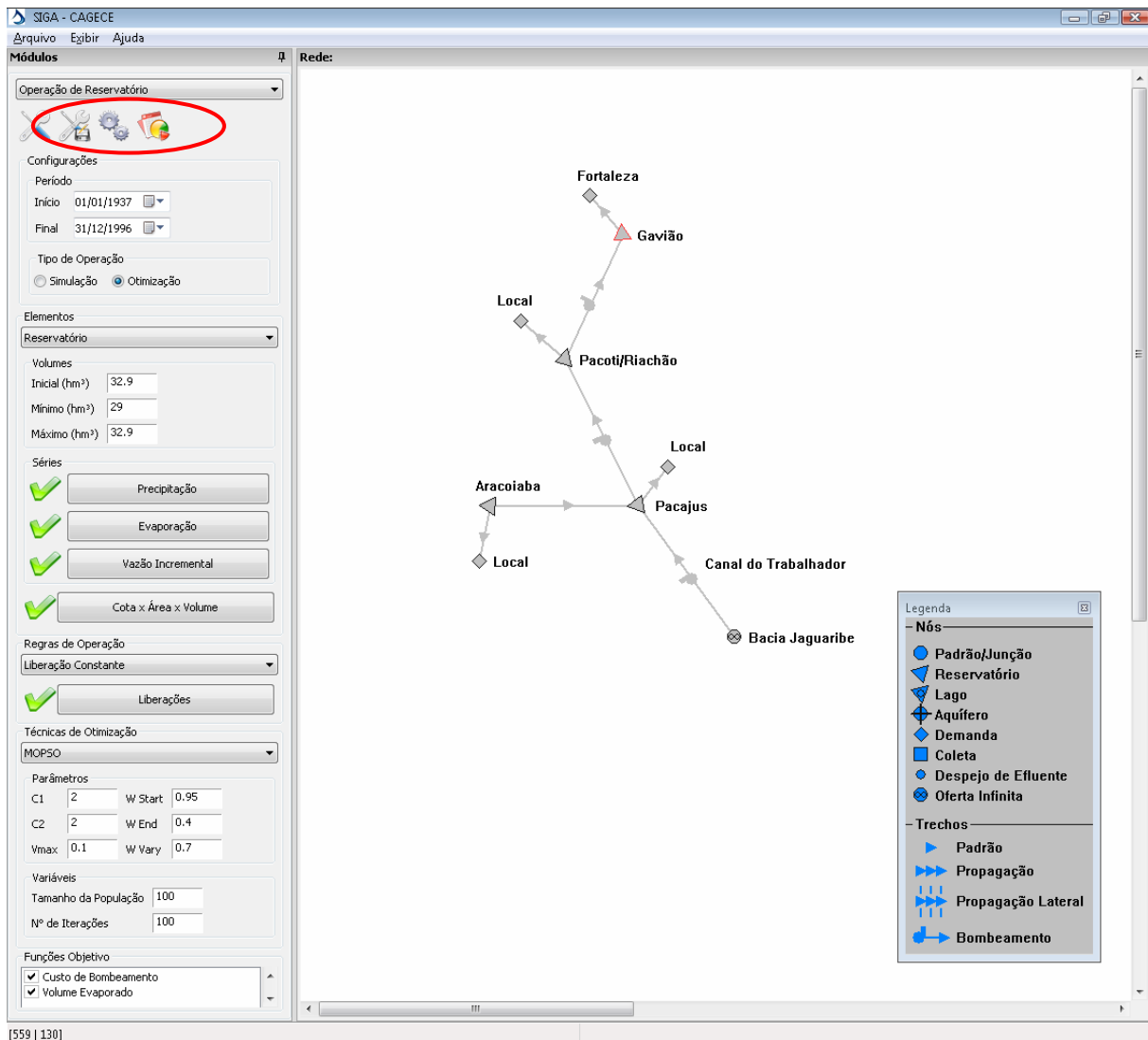






Figura 1 – Interface do módulo de Operação de Reservatórios (Sistema de abastecimento d’água da RMF)

Quadro 1 – Funcionalidades padrão dos módulos do sistema SIGA.

| Botão | Funcionalidade |
|---|---|
|  | Abre um arquivo de configuração que contém informações do módulo. Utilizado para preencher mais rapidamente a interface. |
|  | Salva um arquivo de configuração com informações inseridas no módulo. Posteriormente este arquivo pode ser utilizado para inserir estas informações mais rapidamente. |
|  | Executa o módulo. Uma vez que todas as informações necessárias ao módulo foram inseridas, esta funcionalidade irá executar o módulo e gerar os resultados pertinentes, os quais serão apresentados em uma janela. |
|  | Mostra e oculta a janela de resultados, caso este módulo tenha sido executado. |

Deve-se operar a interface da seguinte forma:

1. Inicialmente, o usuário deve escolher o período a ser utilizado para a operação, estando disponível caixas de texto para escolha da data inicial e a data final;

2. Em seguida, escolhe-se o tipo de operação: simulação ou otimização.
3. Abaixo destas opções, encontram-se as interfaces dos elementos do sistema de reservatórios (reservatórios, pontos de demanda, trechos, etc). Procedendo a escolha do elemento, faz-se necessário a introdução das informações solicitadas. Para o caso de reservatórios, apresentado na Figura 1, temos: caixas de texto para definição dos volumes inicial, mínimo e máximo do reservatório e botões que abrem caixas de diálogo para a inserção das séries temporais de precipitação, evaporação, vazão incremental (Ver Figura 2) e informações referentes à relação cota x área x volume do reservatório (Ver Figura 3);
4. Em seguida, o usuário deve selecionar a regra de liberação que será utilizada para o reservatório selecionado. Abaixo das interfaces dos elementos tem-se uma região para escolha das regras de operação e um botão para abrir a caixa de diálogo onde as informações referentes a esta serão inseridas.
5. Caso o usuário tenha escolhido a simulação como tipo de operação e procedido os passos acima para todos os elementos do sistema, nada mais é necessário, podendo este executar o módulo como mostrado no Quadro 1. Caso a escolha tenha sido otimização, a interface referente as técnicas de otimização é habilitada, como no caso apresentado na Figura 1. Sendo assim, o usuário deve fornecer as informações pertinentes ao algoritmo, no exemplo apresentado, o algoritmo MOPSO, sendo estas: a definição de parâmetros e variáveis próprias deste algoritmo.

Como resultados da execução do módulo, para a opção de simulação, são apresentadas as séries referentes aos elementos da equação do balanço que não foram inseridas pelo usuário. Já para a opção de otimização, os resultados são referentes à Frente de Pareto, ou seja, valores das funções objetivo e das variáveis de decisão.

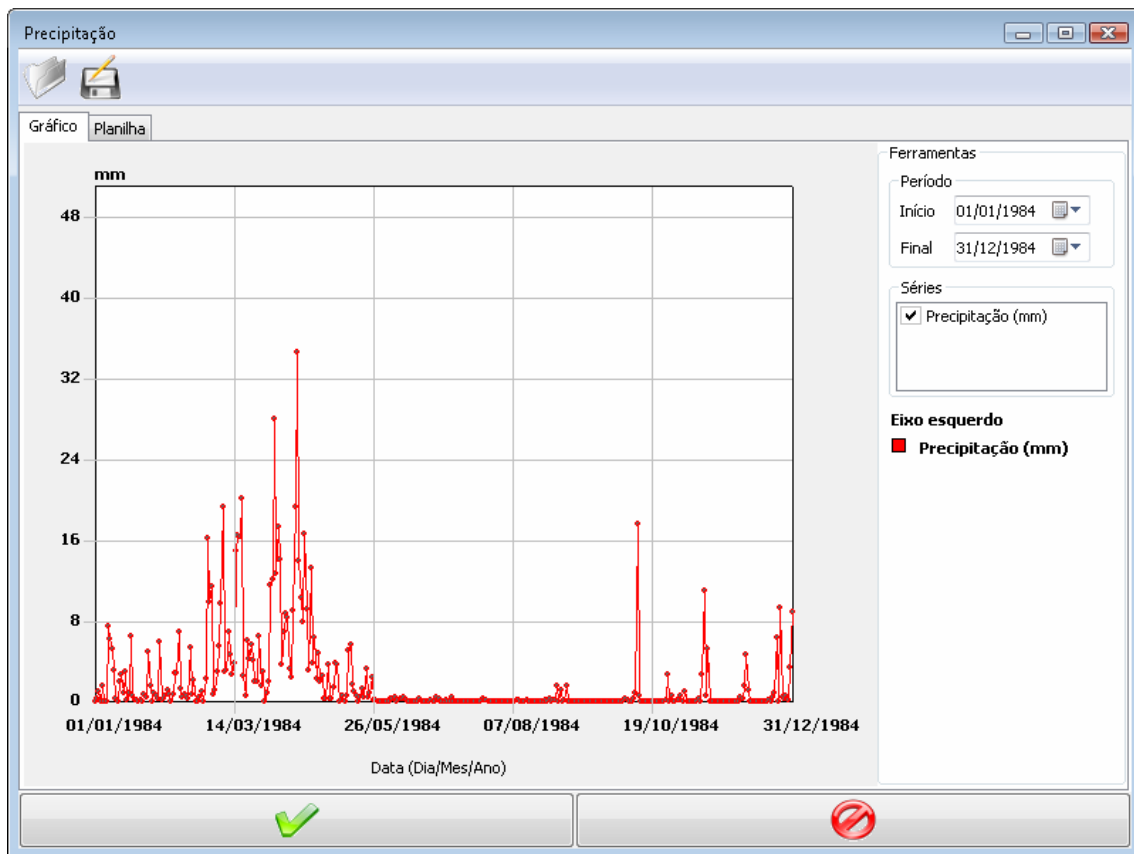


Figura 2 – Janela para inserção de séries

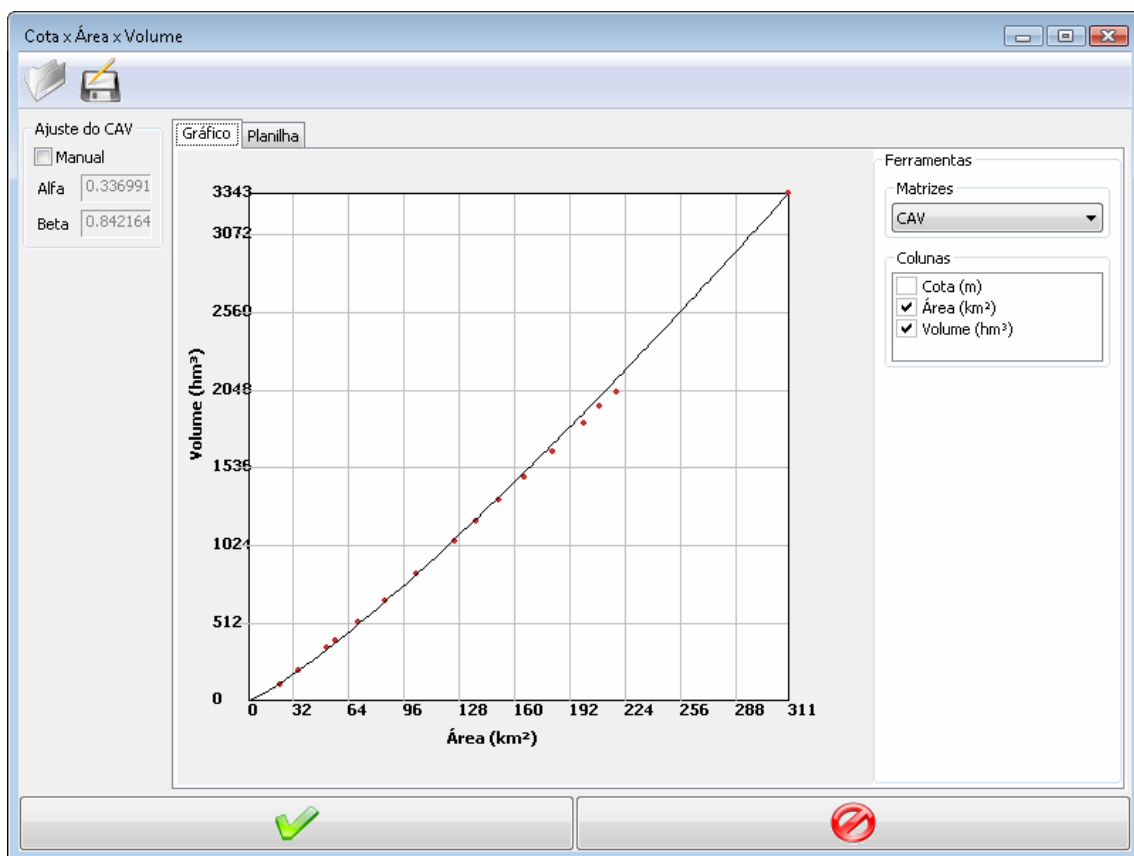


Figura 3 – Janela para inserção de informações referentes aos dados de cota x área x volume do reservatório

3.2 – Modelo de simulação

Para resolver o sistema, utiliza-se como modelo de fluxo a solução direta da equação do balanço hídrico para os reservatórios que compõem o mesmo. Considerando a equação do balanço hídrico de um reservatório:

$$V_{t+1}(i) = V_t(i) + Qa_t(i) - Qd(i) - Qv(i) - Ev_t(i) \frac{A_t + A_{t+1}}{2} + \sum_{j=Ni} Qv_t(j) \quad (1)$$

em que V é o volume armazenado no reservatório, Qa o volume afluyente ao reservatório, Qd o volume regularizado, Qv o volume vertido pelo reservatório, A a área superficial do espelho d'água do reservatório, Ev a lâmina d'água evaporada a partir da superfície, t o índice que representa a discretização temporal mensal, i o índice que representa os reservatórios do sistema e Ni o conjunto de reservatórios imediatamente a montante do reservatório i.

A partir de tais pressupostos, a solução para cada elemento da rede é realizada pela solução da referida equação. Vale também resaltar a existência de algumas restrições, que devem ser satisfeitas durante o processo de cálculo:

$$V_{\min}(i) \leq V_{t+1}(i) \leq V_{\max}(i) \quad (2)$$

$$Qa, Qv, Qd \geq 0 \quad (3)$$

A utilização da informação cruzada entre a área do espelho d'água e o volume armazenado no reservatório necessita de um ajuste matemático para que os pontos não definidos possam ser relacionados. Visando atender a essa necessidade, o SIGA disponibiliza a seguinte representação:

$$A = \alpha \times V^\beta \quad (4)$$

em que α e β são coeficientes obtidos do ajuste.

Outras tipos de ajuste encontram-se em fase de desenvolvimento, tais como: polinomial, potencial, exponencial etc.

4 – SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

4.1 - Descrição do sistema

O sistema de abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), como aqui apresentado, será composto dos reservatórios: Gavião, Pacoti/Riachão, Pacajus e Aracoiaba, e pelo Canal do Trabalhador, que faz a ligação da bacia Metropolitana com a bacia hidrográfica do Jaguaribe. Como alguns destes reservatórios não estão localizados dentro da mesma bacia hidrográfica, transposições de água são realizadas através de canais e adutoras, como apresentado

na Figura 4. O Canal do Trabalhador, obra realizada para suprir o déficit hídrico da região, é responsável pela transposição de água da Bacia do Rio Jaguaribe ao sistema da RMF. Um desenho esquemático deste sistema é apresentado na Figura 5.

Para a realização das transposições citadas anteriormente, o sistema é equipado com algumas estações elevatórias, sendo elas: EE Itaiçaba, EEB0, EEB1 (EE Ererê), EEB2 (EE Pacajus) e EE Pacoti.

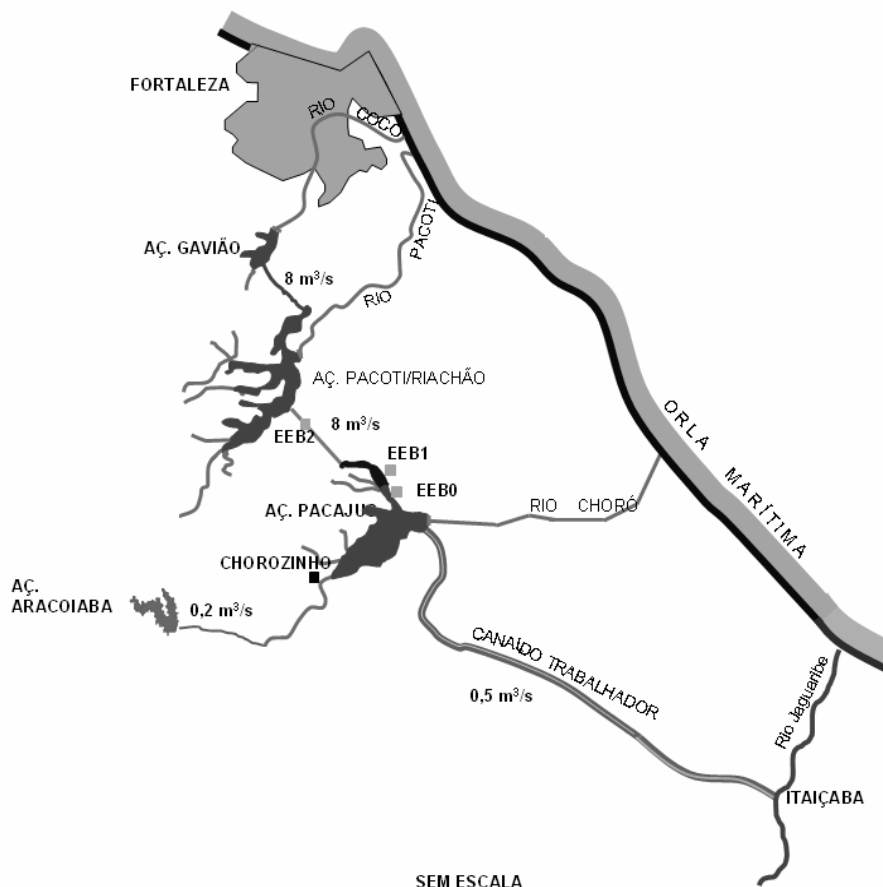


Figura 4 – Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza – Canal do Trabalhador (Fonte: COGERH).

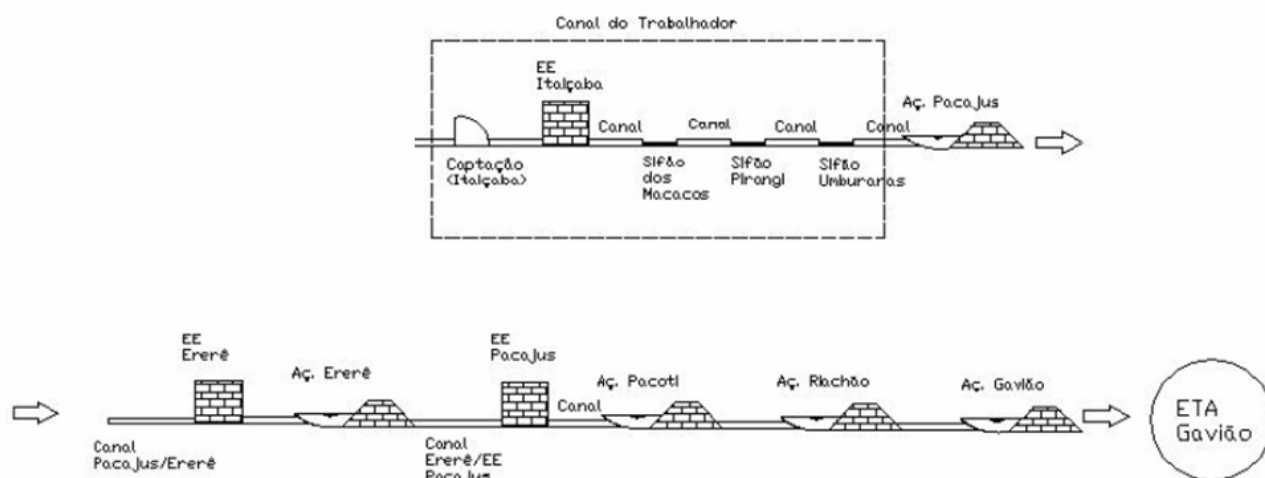


Figura 5 – Fluxograma do Sistema da RMF (Adaptado de LIMA, 2000).

4.2 - Regra operacional

Atualmente, a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, responsável pela operação do sistema de abastecimento da RMF, faz uso de uma regra operacional bem definida, apresentada no Quadro 2. Considerando-se vazões aportadas (Q+) e retiradas (Q-) de cada reservatório, as quais são determinadas em função do volume no qual este se encontra e do volume do reservatório a montante, define-se uma liberação dependente das condições de ambos os reservatórios. Por exemplo, se o sistema Pacoti/Riachão encontra-se com volume entre 25 e 50% de sua capacidade máxima, este terá que receber 4,53 m³/s, que poderá vir totalmente do Pacajus, se o mesmo estiver com volume superior a 50% da capacidade, ou rateado meio a meio entre o Pacajus e o sistema formado pelo Açude Aracoiaba/Canal do Trabalhador, caso o volume do Pacajus esteja entre 25 e 50% da capacidade. Caso o volume do Pacajus esteja abaixo de 25% de sua capacidade, este aporte virá totalmente do sistema Aracoiaba/Canal do Trabalhador.

Os volumes aportados ao Pacajus são fracionados entre o Açude Aracoiaba e o Canal do Trabalhador da seguinte forma: 1. Se o volume do Aracoiaba encontra-se a 50% de sua capacidade, ele fornece todo o aporte ao Pacajus; 2. Caso o volume do Aracoiaba esteja entre 25 e 50% de sua capacidade, o aporte é rateado meio a meio este e o Canal do Trabalhador; 3. Finalmente, se o volume do Aracoiaba estiver abaixo de 25% de sua capacidade, todo o aporte é oriundo do Canal do Trabalhador.

Desta forma, a aplicação aqui apresentada do sistema SIGA, buscou-se otimizar a atual regra do sistema, levando em consideração afluências, evaporações, vertimentos e liberações, pela resolução da equação de balanço hídrico mensal e uso do algoritmo MOPSO.

Quadro 2 – Regra Atual de Operação

| | | | | Açude Pacajus | | | | | |
|----------------|--------|------|-----|---------------|------|--------|------|------|------|
| | | | | >50% | | 25-50% | | <25% | |
| | Faixa | Q+ | Q- | Q+ | Q- | Q+ | Q- | Q+ | Q- |
| Pacoti/Riachão | > 50% | 0,00 | GAV | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 25-50% | 4,53 | GAV | 0,00 | 4,53 | 2,27 | 4,53 | 4,53 | 4,53 |
| | < 25% | 6,00 | GAV | 0,00 | 6,00 | 3,00 | 6,00 | 6,00 | 6,00 |

Obs: Vazões em m³/s.

4.3 – Funções objetivo

Como métrica de avaliação, que tem por objetivo comparar diferentes simulações, fez-se uso de duas funções objetivo, são elas: custos monetários referentes aos bombeamentos nas estações elevatórias e o volume evaporado dos reservatórios ao longo de todo o período estudado. Um

terceiro objetivo referente ao atendimento a demanda é implícito à simulação, não sendo assim tratada explicitamente na função objetivo.

Para garantir o atendimento da demanda, muitas vezes o sistema necessita efetuar bombeamento para transpor água entre os reservatórios, e desta forma garantir volume necessário no Gavião. Objetiva-se minimizar estes bombeamentos de forma que se minimizem também os custos, sendo este um dos objetivos aqui adotados, função $f01$ (Custos).

Em consequência da escolha do objetivo custo, seria natural que o sistema, visando minimizar os bombeamentos, tender-se a manter o maior nível possível nos reservatórios, conseqüentemente, maximizando a evaporação. Para conter esta evaporação, que também traz prejuízos monetários, à medida que a água evaporada em excesso poderia ser utilizada para o abastecimento da RMF, adota-se a minimização da evaporação como outro objetivo, função $f02$ (Volume Total Evaporado).

5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o estudo de caso apresentado, realizaram-se a simulação e a otimização do sistema tendo como objetivo apresentar e avaliar as funcionalidades do SIGA, mas especificamente, do módulo de Operação de Reservatórios. A seguir são mostrados detalhadamente os possíveis produtos disponíveis do módulo.

Para a simulação, o SIGA disponibiliza algumas informações, tais como: séries de volumes, evaporação, vertimentos, liberações, entre outras. A apresentação destas séries é feita através de caixas de diálogo, como apresentada na Figura 6. É possível também, no módulo de Análise de Resultados realizar análises dos resultados obtidos no presente módulo, são elas: análise de falhas, cálculo de estatísticas das séries, emissão de relatórios, etc.

A Figura 6 apresenta a série de volumes obtidos pela simulação do sistema, executado como apresentado na descrição da interface do módulo, no item 3.1.

Para a otimização, o SIGA disponibiliza a visualização das soluções ótimas obtidas, tanto variáveis de decisão como valores dos respectivos objetivos. A Figura 7 apresenta a frente ótima de Pareto obtida na otimização do sistema da RMF.

Para o estudo de caso, a otimização do sistema, tendo como variáveis de decisão os valores das faixas de volumes dos reservatórios e as respectivas liberações, utilizou o algoritmo MOPSO e as funções objetivo de minimização dos Custo de bombeamento e Volume total evaporado.

Diversas outras funcionalidades, no tocante ao gerenciamento dos recursos hídricos, encontram-se em fase de desenvolvimento visando proporcionar ao usuário fácil e rápido acesso as mais diversas informações que um sistema de reservatórios pode proporcionar.

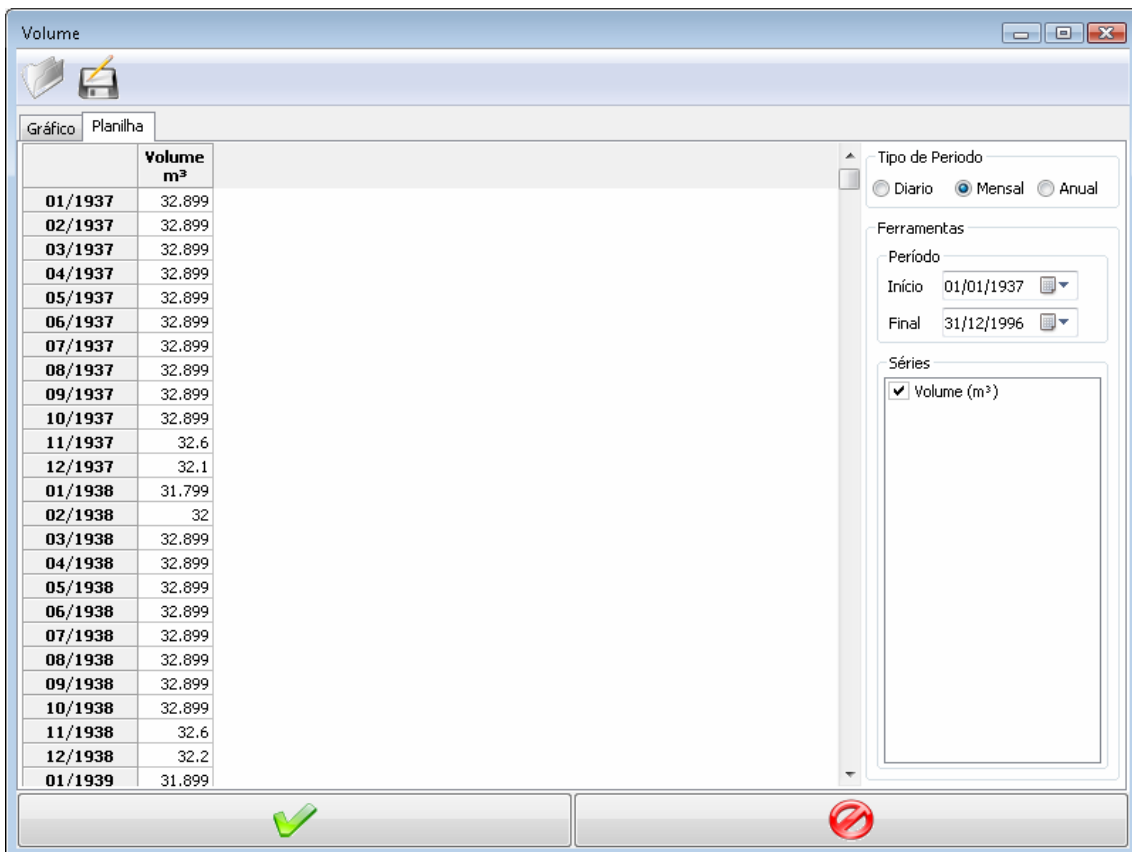


Figura 6 – Série de volumes do reservatório Gavião para operação otimizada – solução de menor custo

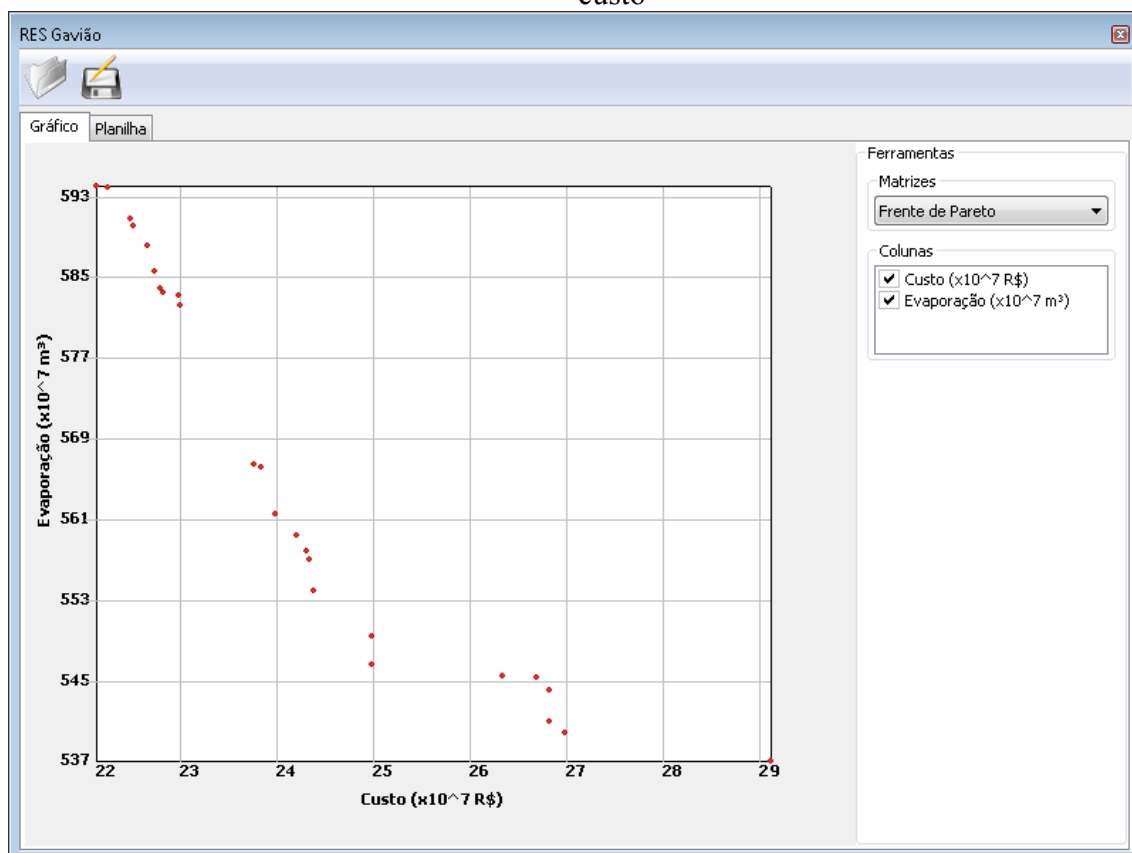


Figura 7 – Frente de Pareto da operação otimizada

6 – CONCLUSÕES

Este artigo apresenta algumas características do módulo de operação de reservatórios que está sendo desenvolvido para ser incorporado ao Sistema de Informações para Gerenciamento da Alocação da Água – SIGA.

O artigo apresenta as interfaces que foram desenvolvidas para este módulo de operação, que permite tanto a simulação de uma sistema de reservatórios com base em regras bem definidas, bem como a otimização de um dado tipo de regra. O artigo também apresenta os tipos de regras que já estão implantadas no sistema. Dois algoritmos de otimização multiobjetivo farão parte do sistema. O primeiro, denominado MOPSO, um algoritmo evolucionário, já se encontra implantado. O segundo, intitulado MOHBMO, também evolucionário, está em processo de implantação.

Um exemplo com o sistema de abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza, que depende da operação de um com múltiplos reservatórios, e que conta com a transposição da bacia do Rio Jaguaribe através do Canal do Trabalhador, ilustra a utilização do módulo de operação de reservatórios. O exemplo mostra um estudo de otimização multiobjetivo do sistema baseado na minimização dos custos de bombeamento e do volume evaporado dos reservatórios. O tipo de regra utilizado é o mesmo da regra da COGERH empregada na operação atual. Entretanto, o resultado da otimização mostra que a regra pode ser otimizada se os valores a serem bombeados de reservatório para reservatório, assim como os volumes de referência de cada reservatório, forem alterados.

O módulo de operação de reservatórios é bastante flexível. No momento, um estudo mais aprofundado das regras atuais da COGERH está sendo realizado, inclusive com a inclusão do Eixo de Integração, e, por conseguinte, da operação dos próprios reservatórios do sistema Jaguaribe.

Acredita-se que um módulo como o aqui apresentado poderá facilitar e muito a avaliação de diferentes regras operativas, bem como a definição de novas regras que venham não só a baratear os custos de operação do sistema, mas também reduzir os riscos de colapso de abastecimento.

BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ-BENITEZ, J.E.; EVERSON, R.M.; FIELDSEND, J.E. “*A MOPSO Algorithm Based Exclusively on Pareto Dominance Concepts. Evolutionary Multi-Criterion Optimization – Third International Conference*”, EMO 2005, 9 – 11 de março, Guanajuato – México, 2005.

ALVES, C.M.A.; BARROS, F.V.F.; MENDONÇA JUNIOR, G.M. “*Implantação dos Módulos de Calibração Automática de Modelos Hidrológicos e de Modelagem de Poluição Difusa no Sistema de Informações para Gerenciamento da Alocação de Água – SIGA*”. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 26 – 30 de novembro, São Paulo – SP, 2007.

ALVES, C.M.A.; BARROS, F.V.F.; MENDONÇA JUNIOR, G.M. “*Desenvolvimento do Protótipo do sistema de Informação para Gerenciamento da Alocação de Água – SIGA*”. VIII Simpósio de

Recursos Hídricos do Nordeste, 17-20 de outubro, Gravatá – PE, 2006.

BARROS, F.V.F. “*Uso de Algoritmos Evolucionários na Calibração de Modelos Hidrológicos e na Operação de Sistemas de Reservatórios*”. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil na área de concentração em Recursos Hídricos. Fortaleza, Ceará, 2007.

LOUCKS, D.P. & VAN BEEK, E. “*Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications*”. Paris. Unesco Publishing, 2005

OLIVEIRA, R. & LOUCKS, D.P. “*Operating Rules for Multireservoir system*”. Water Resources Research, Vol. 33, n. 4, p.839-852, 1997.

WURBS, R.A. “*Modeling and Analysis of Reservoir Systems Operation*”. Prentice Hall. Englewood Cliffs, N.J., 1996.