

## APLICATIVO PARA OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS EM SITUAÇÕES DE ESCASSEZ - FASE II

Luciano Meneses Cardoso da Silva<sup>1</sup>; Marcos Airton de Sousa Freitas<sup>1</sup>&  
Paulo Breno de Moraes Silveira<sup>1</sup>

**Resumo** - Este artigo continua a análise da operação de reservatórios em situação de escassez hídrica apresentada em trabalho anterior. Essa metodologia permite tornar o uso da água mais eficiente, evitando parte das perdas naturais de água por evaporação, garantindo períodos mínimos com fornecimento de água. O aplicativo desenvolvido foi implementado em planilhas eletrônicas Microsoft Excel e pode ser aplicada a qualquer tipo de reservatório. São analisados dois cenários: o de minimização de perdas de água por evaporação e o de minimização dos custos associados ao racionamento, segundo dois critérios de distribuição do racionamento (o total e o parcial), observando-se o fornecimento de água nos diversos setores usuários durante o período de seca, visando à obtenção de menores impactos socioeconômicos.

**Abstract** - This paper continues the analysis of reservoirs operation during drought periods. This methodology allows a most efficient use of water, avoiding part of the net evaporation loss from reservoir, offering minimum periods with water supply. The developed model has been implemented using Microsoft Excel and it can be applied to any reservoir type. The model was run under two sceneries: water evaporation losses minimization and water lack associated costs minimization, according to two criteria (total and partial rationing). Water supply for the usuary sectors among the sceneries and criteria utilized were compared aiming at least socio-economical impacts.

**Palavras-chave** - Operação de reservatório, escassez hídrica, sistema de suporte à decisão.

---

<sup>1</sup> Agência Nacional de Águas – ANA. Setor Policial Sul, Quadra 3, Lote 5, Bloco L, Brasília – DF. CEP: 70.610-200. Telefone: (61) 445-5251/5367/5279. E-mail: [lmeneses@ana.gov.br](mailto:lmeneses@ana.gov.br); [masfreitas@ana.gov.br](mailto:masfreitas@ana.gov.br); [paulobreno@ana.gov.br](mailto:paulobreno@ana.gov.br)

## INTRODUÇÃO

Este trabalho é uma continuação do artigo intitulado *Aplicativo para Operação de Reservatórios em Situações de Escassez*, publicado nos Anais do VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, realizado em dezembro de 2002, Maceió – AL.

No referido artigo, foi apresentado o desenvolvimento de um aplicativo, em planilhas eletrônicas Microsoft Excel, que permitia a simulação de reservatórios em espaços curtos de tempo (até 48 meses), quando estes estavam sujeitos a situações de escassez hídrica.

O mencionado aplicativo objetivava responder a seguinte questão:

*Como operar o reservatório durante o período de seca de modo que as demandas sejam abastecidas pelo maior espaço de tempo possível e as perdas por evaporação sejam as menores possíveis?*

Utilizando-se de programação não-linear, o aplicativo pesquisava uma seqüência de retiradas de água do reservatório que o operador da barragem deveria seguir para que as demandas existentes fossem atendidas da melhor forma possível, pelo maior espaço de tempo possível e com um mínimo de perda por evaporação.

Foi realizada uma aplicação ao reservatório Armando Ribeiro Gonçalves, localizado no rio Piranhas-Assu, Estado do Rio Grande do Norte, com a obtenção de diversas seqüências de retiradas de água para diversos cenários de armazenamento inicial do reservatório.

Ao final, o mencionado artigo fez recomendações de aprimoramento do aplicativo, como descrito a seguir:

*“Cabe enfatizar que a minimização das perdas por evaporação não deve ser tomada como o referencial mais importante da operação de reservatórios. Associar a utilização da água a determinados ganhos econômicos, ou, a sua não utilização, às perdas econômicas, pode vir a ser um complemento importante e enriquecedor ao presente trabalho”.*

Nesse sentido, o presente artigo foi desenvolvido procurando seguir essa sugestão, incorporando os avanços abaixo relacionados:

- Escalonamento das demandas locais por água segundo uma seqüência de prioridades de atendimento;
- Variáveis econômicas que expressam prejuízos de não-abastecimento de cada uma das demandas, discretizadas mensalmente;
- Duas regras de racionamento quando da impossibilidade de atender a todas as demandas simultaneamente no mesmo mês:
  - Racionando primeiro as demandas com menor prioridade (critério do Racionamento Total). Nesse critério, as demandas de maior prioridade só

- são racionadas quando as de menor estiverem inteiramente desabastecidas;
- Racionando parcialmente as demandas (começando com as de menor prioridade) de modo a melhor distribuir o déficit hídrico entre os usuários e a minimizar, com isso, o impacto econômico que o racionamento total de uma demanda poderia causar (critério do Racionamento Parcial).
  - Possibilidade de encontrar as seqüências de retiradas de água a partir de uma das três funções-objetivo seguintes:
    - Minimização das perdas por evaporação (presente na versão anterior do aplicativo);
    - Minimização dos custos econômicos de não-abastecimento pelo critério de Racionamento Total;
    - Minimização dos custos econômicos de não-abastecimento pelo critério de Racionamento Parcial

Este artigo faz uma aplicação ao reservatório Bico da Pedra, operado pela CODEVASF, localizado no rio Gortuba (bacia do rio Verde Grande, afluente do rio São Francisco), norte do Estado de Minas Gerais.

Foram utilizados dados reais das demandas existentes na região e estimados valores de prejuízos de não-abastecimento dessas demandas.

Inicialmente, é apresentada a descrição da metodologia que fundamenta o funcionamento do aplicativo desenvolvido. Em seguida, tem-se uma caracterização do local objeto de estudo (reservatório Bico da Pedra e as demandas existentes). Após, são apresentados os principais resultados da aplicação do modelo na região e, por último, as conclusões deste trabalho com recomendações para futuros desenvolvimentos.

## **METODOLOGIA**

### **Contexto do trabalho**

No semi-árido, é comum a ocorrência de períodos de estiagem que duram 2 ou 3 anos consecutivos. A imprevisibilidade das chuvas obriga os operadores de reservatórios a adotarem ou incentivarem medidas para racionalização do uso da água, com o objetivo de economizá-la de modo a poder utilizá-la no maior espaço de tempo possível.

Porém, apesar de lógica, a atitude de reduzir o consumo para economizar água, guardando-a nos reservatórios, pode se tornar ineficiente por um motivo simples: a perda da água economizada em virtude da evaporação direta no lago.

Nesse sentido, depara-se com duas situações extremas ineficientes:

- Reduz-se o consumo a valores mínimos (racionamentos severos), perdendo parte significativa da água existente no reservatório por evaporação, mas resultando, às vezes, em um longo período de tempo com fornecimento de água;
- Mantêm-se os mesmos níveis de consumo existentes (sem racionamentos), consumindo mais rapidamente a água do reservatório, reduzindo, com isso, o período de tempo com fornecimento.

A metodologia apresentada neste artigo busca resolver essa questão por meio de programação não-linear (função Solver) executada em planilhas Microsoft Excel. As informações requeridas pelo aplicativo são simples e de fácil obtenção, além de ser adaptável a qualquer tipo de reservatório.

Objetiva-se, com este artigo, apresentar uma metodologia flexível e de grande aplicabilidade, a qual pode facilmente ser usada pelos comitês de bacia hidrográfica ou pelos operadores de barragens públicas (DNOCS, CODEVASF, etc.) e privadas, ou mesmo por órgãos gestores de recursos hídricos na definição de regras de racionamento em situações de escassez hídrica.

Basicamente, o que o aplicativo proposto faz é encontrar uma seqüência mensal de retirada de água do reservatório (para atendimento às diversas demandas), a partir de um determinado mês de início, de modo que o período (em meses) com fornecimento de água seja o maior possível.

Além disso, o aplicativo permite que se atinja, de forma não excludente, os seguintes objetivos: uma perda total mínima por evaporação; custos mínimos de não-abastecimento, pelo critério do Racionamento Total; custos mínimos de não-abastecimento pelo critério do Racionamento Parcial.

### **Critério da Perda por Evaporação**

Neste critério, o aplicativo pesquisa os valores de vazão mensal, dentro de limites preestabelecidos (demandas máximas e mínimas), e calcula as perdas decorrentes por evaporação e o período de tempo correspondente com fornecimento de água. A seqüência obtida depende de diversos parâmetros, a saber:

- Curva Área-Volume da bacia hidráulica do reservatório;
- Volumes máximo e mínimo (morto) do reservatório;
- Médias mensais de evaporação (mm/mês) da região;
- Estimativas de aportes de água, chuva sobre o lago e vazão afluyente, se for o caso;
- Mês de início da simulação de operação;
- Volume de água existente no reservatório no mês de início da simulação de operação;
- Limites máximo e mínimo de demanda por água (mês a mês);

A Função-Objetivo adotada neste critério é a Minimização das Perdas por Evaporação, tendo como variáveis as vazões médias mensais a serem derivadas do reservatório ou liberadas para jusante.

Um outro objetivo a ser alcançado é a maximização do número de meses com fornecimento de água, ou de atendimento às demandas. Em verdade, esse número de meses aparece como uma restrição imposta à Função-Objetivo adotada.

O número máximo de meses com fornecimento de água é obtido iterativamente da seguinte maneira:

De posse de todos os parâmetros mencionados, calcula-se, com o aplicativo, o número de meses que seria possível atender as demandas mínimas (isso resulta em um número máximo de meses com fornecimento de água);

Para a otimização, adota-se como restrição de tempo mínimo com fornecimento de água o número de meses obtido anteriormente e, também, uma “semente” para os valores de volumes de retirada de água do reservatório;

Executa-se a função Solver adaptada para minimização das perdas por evaporação;

Obtém-se a seqüência otimizada de volumes de retirada de água. Essa seqüência é diretamente dependente do mês de início escolhido e do correspondente volume útil armazenado.

Este critério é indiferente à variedade de setores usuários presentes na região, bem como as suas prioridades de uso.

### **Critério de Racionamento Total**

Este critério é sensível às prioridades de uso que podem ser estabelecidas entre os diversos setores usuários presentes na região.

Além das prioridades de uso, o critério de Racionamento Total necessita de estimativas de custo de não-abastecimento das diversas demandas dos usuários, discretizadas mês a mês.

A idéia é, em situações de escassez, só reduzir o fornecimento de água a um setor, quando todos os setores menos prioritários estiverem completamente desabastecidos.

Nesse processo, o déficit hídrico imposto a cada setor usuário resulta em prejuízos econômicos, calculados a partir das estimativas de custo de não-abastecimento.

Portanto, no critério de Racionamento Total busca-se a seqüência de volumes de retirada de água do reservatório, que minimize os custos totais de não-abastecimento, maximizando, ainda, o período com fornecimento de água, sem, contudo, se preocupar com a minimização das perdas por evaporação.

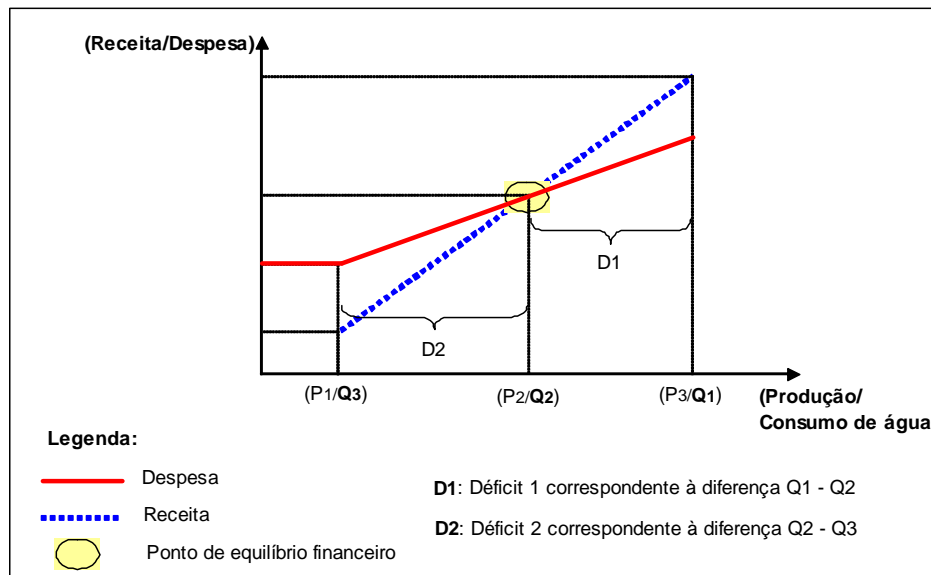
### Critério de Racionamento Parcial.

A definição de prioridades para os diversos setores usuários e a garantia de fornecimento de água para aqueles setores mais prioritários é uma maneira de evitar prejuízos maiores para a economia de uma região em épocas de escassez hídrica.

Contudo, a adoção do critério do Racionamento Total, descrito anteriormente, pode causar sérios danos aos setores menos prioritários, podendo-se originar prejuízos adicionais à economia da região, como interrupção total da atividade, fechamento de estabelecimentos, desemprego e outros efeitos sociais adversos.

Para tentar evitar ou minimizar esses efeitos, propõe-se o critério Racionamento Parcial que consiste em dividir o consumo de cada usuário, a cada mês, em duas faixas, definidas por três vazões:  $Q_1$ ,  $Q_2$  e  $Q_3$ .

A Figura 1 apresenta o esquema de divisão das faixas pelo critério de Racionamento Parcial.



**Figura 1.** Racionamento Parcial – faixas  $Q_1$ ,  $Q_2$  e  $Q_3$ .

A vazão  $Q_1$  corresponde à vazão máxima utilizada em situações de não-racionamento, ou seja, a vazão máxima outorgada ao usuário, por exemplo. A vazão  $Q_2$  é a vazão necessária para que todos os usuários daquele setor operem no ponto de equilíbrio financeiro do seu empreendimento, ou seja, correspondente a uma produção onde a receita é igual à despesa. A vazão  $Q_3$ , por sua vez, é aquela necessária para que os empreendimentos daquele setor funcionem em um nível de produção mínimo, sem, contudo, paralisar totalmente as atividades do empreendimento, ainda que tenha prejuízos.

A faixa  $Q_1 - Q_2$  é denominada de  $D_1$  (Déficit 1) e corresponde à redução de seu fornecimento até o nível de equilíbrio financeiro. A faixa  $Q_2 - Q_3$  é denominada de  $D_2$  (Déficit 2) e corresponde à redução a um nível mínimo de funcionamento do empreendimento sem, contudo, encerrar as suas

atividades. O  $D_1$  e o  $D_2$  são as parcelas de água que os setores usuários deverão dispor quando da aplicação do critério de Racionamento Parcial.

Assim, o racionamento dar-se-á, inicialmente, partindo-se dos setores menos prioritários para os mais prioritários, reduzindo-se as vazões dentro da faixa  $Q_1 - Q_2$  ( $D_1$ ), partindo-se, então, para o racionamento do setor de prioridade imediatamente superior, também em sua faixa  $D_1$ , e assim, sucessivamente. Só quando o setor mais prioritário de todos tiver dado sua contribuição de racionamento, ou seja, tiver contribuído com o seu  $D_1$ , é que se inicia a redução na segunda faixa ( $D_2$ ), começando novamente pelo setor menos prioritário, seguindo a mesma seqüência anterior.

Dessa maneira, procurou-se desenvolver um critério de fácil aplicação para minimizar os problemas sociais decorrentes da seca, uma vez que a distribuição da primeira parcela de racionamento entre todos os setores reduz a possibilidade de os setores menos prioritários virem a “fechar as suas portas” ou sofrerem prejuízos que transcendam ao Setor propriamente dito. Ou seja, interromper inteiramente uma atividade pode requerer um esforço muito grande da sociedade em retomá-la, exigindo do Estado aporte de recursos em ações sociais ou socorro financeiro, por exemplo.

Da mesma forma que no critério anterior, busca-se a seqüência de volumes de retirada de água do reservatório, que minimize os custos totais de não-abastecimento. A diferença é que no critério do Racionamento Parcial a distribuição dos déficits hídricos é mais equânime.

## **CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM BICO DA PEDRA**

Para aplicação da metodologia proposta neste artigo, escolheu-se o reservatório Bico da Pedra, de propriedade da CODEVASF, localizado no rio Gorutuba, Município de Janaúba, Minas Gerais. As características principais desse reservatório encontram-se relacionadas a seguir:

Volume total:  $705 \text{ hm}^3$ ;

Volume morto:  $280 \text{ hm}^3$ ;

Área da bacia hidráulica:  $52,6 \text{ km}^2$ ;

Área de drenagem da bacia hidrográfica:  $1667,7 \text{ km}^2$ ;

Na Tabela 1, são apresentados os diversos setores usuários e as correspondentes prioridades de abastecimento: Montante (usuários à montante da barragem); Copasa (abastecimento humano); Irr-Perm (irrigação permanente dos perímetros irrigados Gorutuba - DIG e Lagoa Grande - ASSIEG); Indústria (indústria HERO); Irr-Jusante (usuários difusos à jusante da barragem) e Irr-Temp (irrigação temporária dos perímetros irrigados Gorutuba e Lagoa Grande).

Informações sobre demanda ( $Q_1$ ,  $Q_2$  e  $Q_3$ ) e estimativas de custo de não-abastecimento estão apresentadas no Anexo deste artigo.

**Tabela 1.** Setor usuário e prioridade de abastecimento

<b>Setor usuário</b>	<b>Prioridade de abastecimento</b>
Montante	<b>1</b>
Copasa	<b>2</b>
Irr-Perm (DIG+ASSIEG)	<b>3</b>
Indústria	<b>4</b>
Irr-Jusante	<b>5</b>
Irr-Temp (DIG+ASSIEG)	<b>6</b>

## **APLICAÇÃO**

O estudo do regime pluviométrico da região revela que a partir do mês de abril as chuvas são quase inexistentes, retornando nos meses de novembro a março. Além disso, as vazões afluentes ao reservatório também são substancialmente diminuídas nesse período (abril-outubro). Por essas razões, todas as simulações apresentadas a seguir tiveram como mês de início o mês de abril, pois é o mês em que as decisões de racionamento devem ser tomadas, se for o caso.

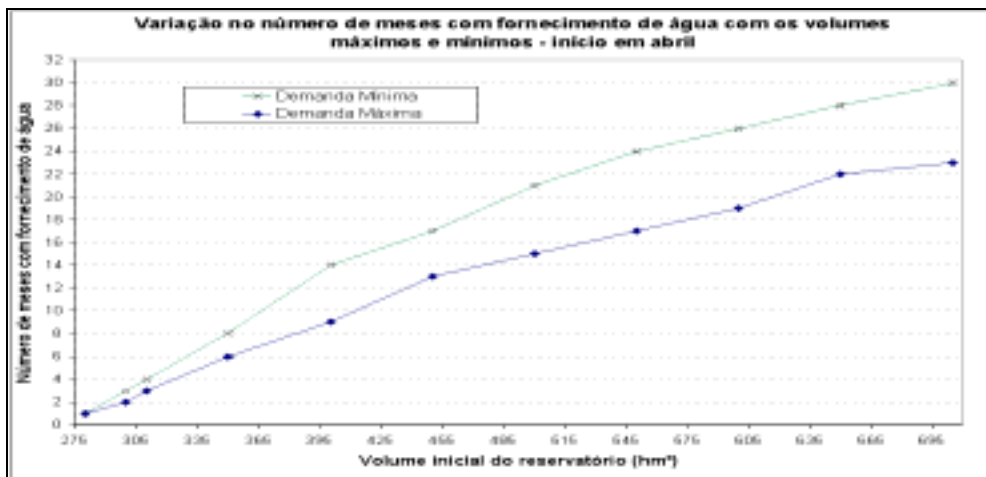
Como atitude conservadora de análise de situações de escassez, assumiu-se que nos meses de simulação não houve precipitação e nem vazão afluente ao reservatório. Trata-se de uma situação bastante crítica, onde, na prática, significa que o operador da barragem está administrando uma quantidade de água fixa e decrescente, que não possui nenhum tipo de recarga.

Foram simuladas diversas condições iniciais de armazenamento de água no reservatório (desde o volume máximo de 705 ao volume morto de 280 hm<sup>3</sup>), todas assumidas começando no mês de abril.

Seguindo a metodologia descrita, foi calculado o comportamento do reservatório para as situações de demanda máxima e mínima e calculada as seqüências de derivações ótimas pelo critério de minimização das perdas por evaporação, pelo critério de minimização de custos de não-abastecimento com base no Racionamento Total e pelo critério de minimização de custos de não-abastecimento com base no Racionamento Parcial.

A Figura 2 apresenta os horizontes de fornecimento de água ao se operar o reservatório com demanda máxima e demanda mínima.

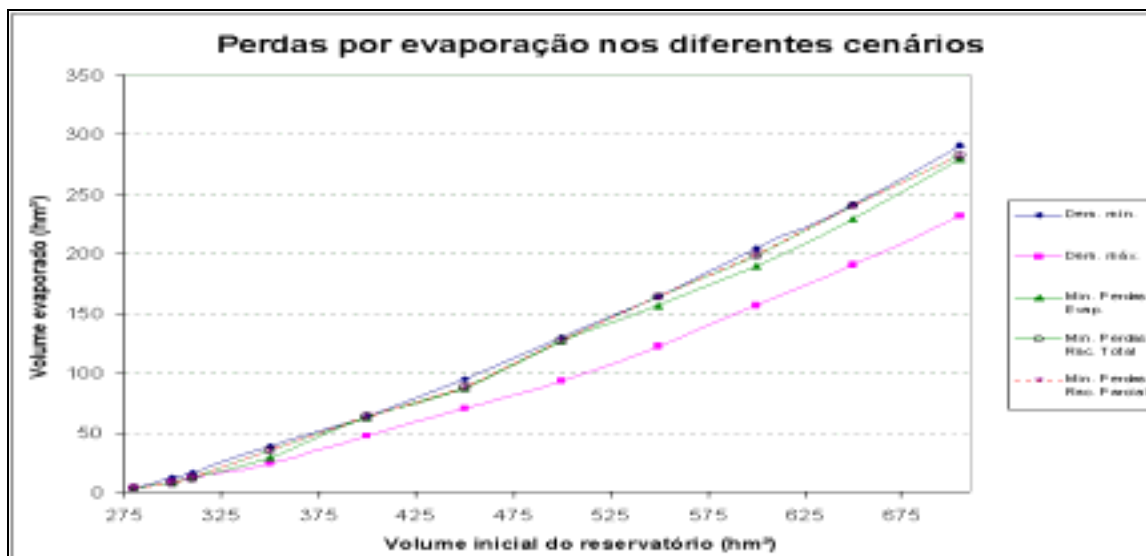




**Figura 2.** Horizontes de fornecimento de água para demandas máximas e mínimas.

Todas as simulações de otimização buscaram atender ao maior tempo possível com fornecimento de água correspondente ao da demanda mínima.

A Figura 3 apresenta as perdas por evaporação para os diferentes cenários de armazenamento inicial no reservatório e diferentes critérios.



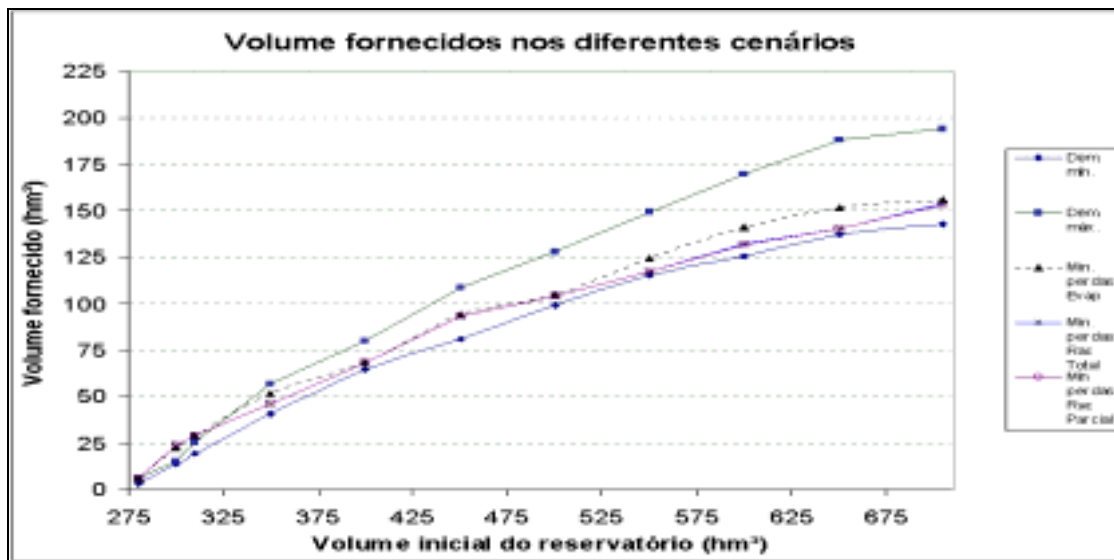
**Figura 3.** Comparação das perdas por evaporação.

Quando se tem a demanda máxima operando em qualquer cenário de armazenamento inicial, as perdas por evaporação são as mínimas possíveis, uma vez que a água fica menos tempo armazenada.

Observa-se que, logicamente, os volumes perdidos por evaporação são menores quando as demandas são máximas, porém, o número de meses com fornecimento de água também é reduzido. Por exemplo, quando o reservatório está com 500 hm<sup>3</sup> de volume inicial, o atendimento das

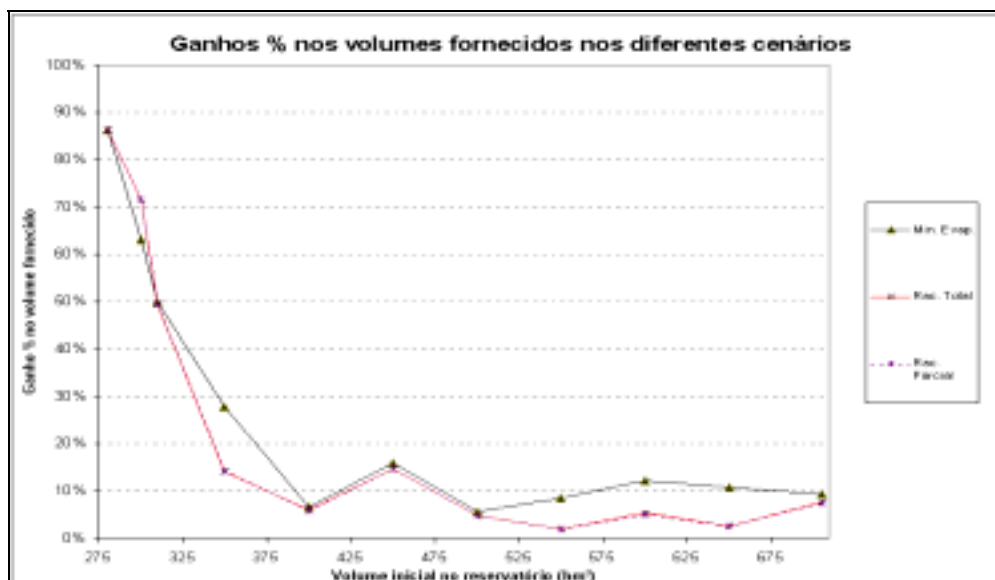
demandas máximas resulta em 15 meses com fornecimento de água, ao passo que o atendimento das demandas mínimas resulta 21 meses. São 40% a mais de tempo com fornecimento de água.

A Figura 4 apresenta os volumes totais que foram efetivamente fornecidos para os diferentes cenários de armazenamento inicial no reservatório e diferentes critérios.



**Figura 4.** Comparação dos volumes fornecidos.

A Figura 5 apresenta os ganhos percentuais dos volumes fornecidos para cada cenário e cada critério.



**Figura 5.** Comparação dos ganhos percentuais do volume fornecido.

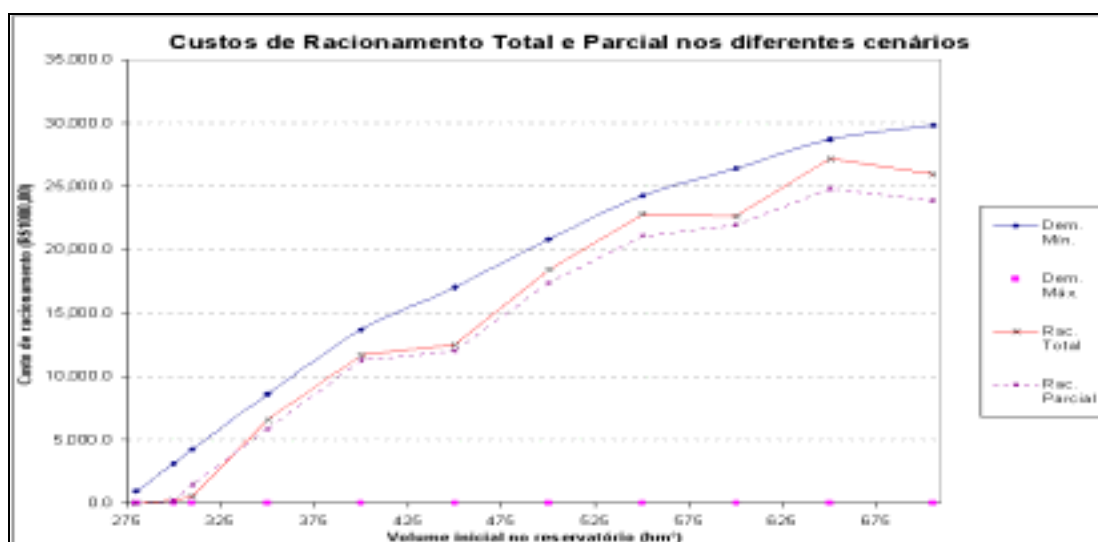
Os ganhos percentuais de volume fornecido são referentes à situação de demanda mínima, ou seja, o quanto, percentualmente, se fornece de água a mais em relação ao fornecimento da demanda mínima.

Cabe lembrar que, mesmo fornecendo mais água, foi possível manter o número de meses de fornecimento de água igual ao da demanda mínima (tempo máximo possível). Portanto, em qualquer um dos critérios utilizados é possível fornecer mais água que a demanda mínima, nos percentuais referidos na figura anterior, e ainda manter um período equivalente de tempo com fornecimento de água.

Observa-se, também, que quanto menor for o volume inicial armazenado no reservatório, mais expressivos são os ganhos com a otimização, independente do critério utilizado.

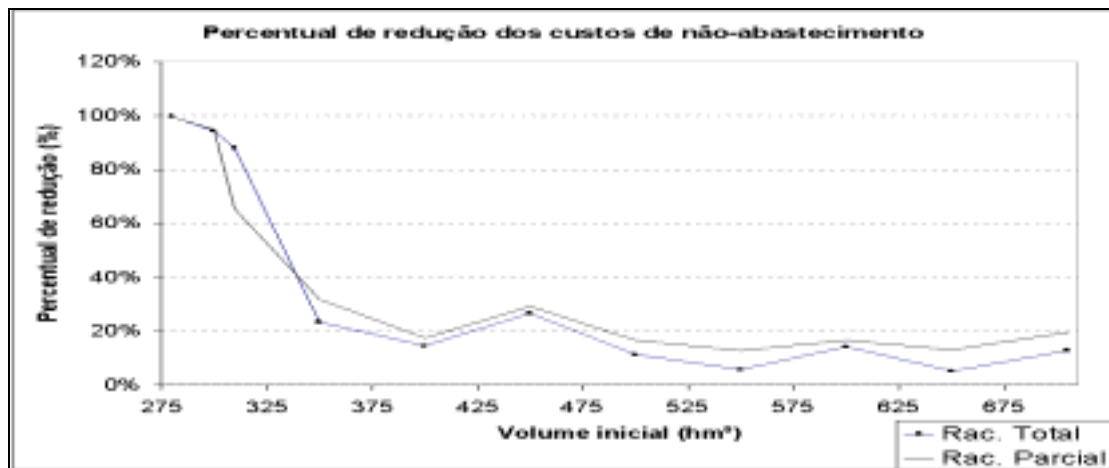
A Figura 6 apresenta os custos financeiros decorrentes da aplicação do critério de Racionamento Total e Racionamento Parcial, obtidos para os diferentes cenários de armazenamento inicial no reservatório.

Observa-se que em praticamente todos os cenários de armazenamento inicial do reservatório os custos financeiros de não-abastecimento decorrentes da aplicação do critério Racionamento Total são superiores aos do critério Racionamento Parcial.



**Figura 6.** Comparação dos custos de Racionamento Total e Parcial.

A Figura 7 apresenta a comparação dos percentuais de redução dos custos de não-abastecimento para os diversos cenários de armazenamento inicial no reservatório, pelos critérios do Racionamento Total e Racionamento Parcial.

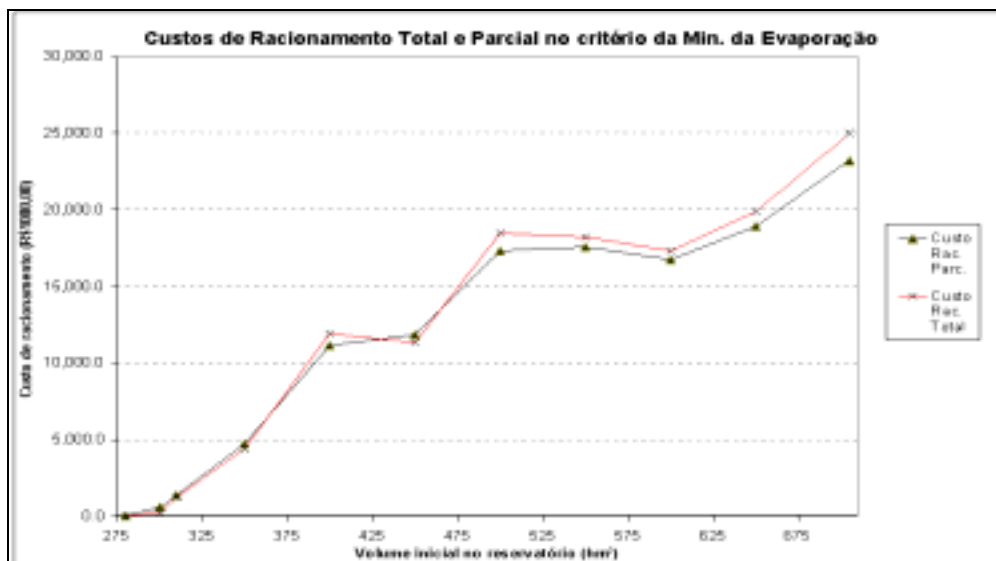


**Figura 7.** Comparação do percentual de redução dos custos de não-abastecimento.

Nota-se que, com base nas características das demandas e custos de não-abastecimento dos setores usuários, os melhores resultados em termos de redução de custo financeiro de não-abastecimento são obtidos com a aplicação do critério de Racionamento Parcial.

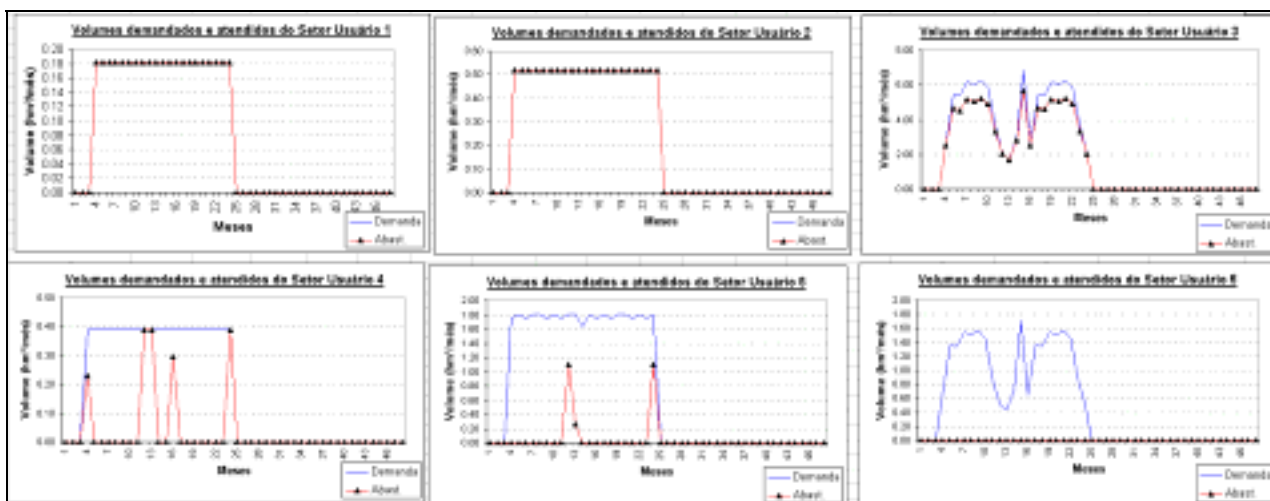
Operando o critério da Minimização da Evaporação e distribuindo entre os setores usuários as vazões fornecidas, segundo os critérios de Racionamento Total e Racionamento Parcial, chega-se a alguns custos de não-abastecimento. A evolução desses custos financeiros nos diferentes cenários de armazenamento inicial do reservatório está apresentada na Figura 8.

Até o volume inicial de 500 hm<sup>3</sup> os custos decorrentes do critério Racionamento Total são maiores que o de Racionamento Parcial. Desse volume para baixo, os custos se alternam, ficando praticamente indiferente à utilização de um ou de outro critério.



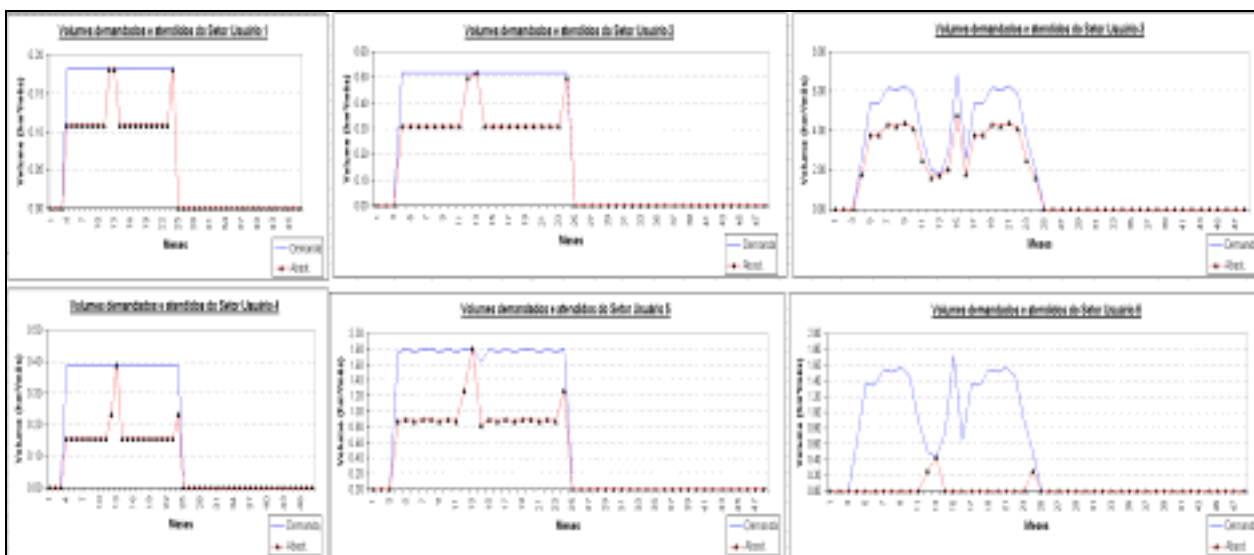
**Figura 8.** Comparação dos custos de não-abastecimento com a minimização das perdas por evaporação.

Segue um exemplo de simulação com volume inicial de reservatório igual a 500 hm<sup>3</sup>. As Figuras 9 e 10 apresentam os volumes demandados e fornecidos aos setores usuários, respectivamente, para os critérios de Racionamento Total e Racionamento Parcial.



**Figura 9.** Fornecimento de água aos setores usuários pelo critério do Racionamento Total.

Observa-se que no critério de Racionamento Total (Figura 9) apenas os setores usuários 1 e 2 foram totalmente abastecidos. O setor usuário 3 foi parcialmente abastecido (média de 89% de abastecimento), enquanto que os demais setores praticamente não tiveram fornecimento de água, principalmente o 6º setor que não teve abastecimento.



**Figura 10.** Fornecimento de água aos setores usuários pelo critério do Racionamento Parcial.

Porém, no critério de Racionamento Parcial (Figura 10) foi possível atender melhor aos setores usuários, com exceção, mais uma vez, do 6º setor que foi muito pouco atendido.

Em relação à redução de custos de não-abastecimento decorrentes da aplicação dos critérios, foram obtidos os seguintes percentuais de redução: 11,5%, para o Racionamento Total e 16,6% para o Racionamento Parcial.

Apesar de a redução de custos de não-abastecimento pelo critério do Racionamento Total ser próximo a do Racionamento Parcial, cabe enfatizar que o primeiro critério pode causar custos significativos de ordem econômica na região, uma vez que ele promove a interrupção total das atividades de determinados setores usuários, por motivo de desabastecimento, em benefício de outros mais prioritários. Isso implica deseconomias mais severas para a sociedade local (desemprego, perda de produção, não arrecadação de impostos, etc.) não consideradas neste trabalho.

### **COMENTÁRIOS GERAIS (RACIONAMENTO PARCIAL)**

Deve-se notar que a efetividade da implementação do critério Racionamento Parcial depende da relação entre as vazões  $Q_1$ ,  $Q_2$  e  $Q_3$ , principalmente da economia obtida na primeira faixa, que corresponde ao valor  $Q_{R1}$ , dado pela equação 1:

$$Q_{R1} = \sum (Q_{1i} - Q_{2i}) \quad (1)$$

Este valor é importante, pois, para racionamentos maiores do que ele, os setores menos prioritários passarão a entrar na segunda faixa, correndo o risco de racionamento total. Assim, quanto maior a primeira faixa, ou seja, quanto menores forem os valores de  $Q_2$ , menor o risco de um prejuízo total para os setores de prioridade inferior.

Assim, é importante que os valores das vazões correspondentes aos pontos de equilíbrio dos diversos setores analisados sejam levantados de forma criteriosa. A utilização de valores superestimados para  $Q_2$  pode acabar resultando na ineficiência do modelo. Dessa forma, deve-se procurar implementar todas as medidas possíveis para evitar este fato, indo desde a criação de campanhas de esclarecimento dos usuários e da população em geral, até a implantação de um sistema de fiscalização de vazões e demais medidas legais pertinentes.

Por outro lado, para alguns setores, os valores de  $Q_2$  e  $Q_3$  podem não ser muito fáceis de serem obtidos. Para esses casos, deve-se proceder a uma regulamentação que institua critérios e diretrizes a serem adotadas. Por exemplo, pode-se estipular que na época de plantio de uma cultura, tenha-se um racionamento menor do que no período de seu crescimento, ou que seja garantido o cultivo de uma porcentagem mínima da área.

O ideal é que, após o levantamento feito por especialistas de cada setor, esses critérios sejam definidos após um amplo debate, com participação de todos os usuários e demais setores da

sociedade, sendo objeto de deliberação do Comitê de Bacia, ou, na falta deste, de órgão competente do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

## CONCLUSÃO

Trata-se de um sistema de simples concepção e fácil operação, exigindo do analista apenas conhecimentos básicos das características do reservatório (curva cota-área-volume, volumes característicos e taxas de evaporação da região), as demandas máximas e mínimas por água para cada setor usuário, além de alguns conhecimentos de planilhas eletrônicas Microsoft Excel.

A aplicação apresentada demonstra que é possível melhorar a eficiência na operação de reservatório em situações de escassez, alocando parte do que seria “perdido” por evaporação para atendimento às demandas existentes, fazendo com que os racionamentos não sejam tão severos.

Os critérios de racionamento propostos objetivam ordenar e otimizar o uso da água em situações de escassez. Nesse sentido, o critério Racionamento Parcial mostrou-se menos impactante em termos econômicos para a sociedade local, uma vez que procura distribuir de forma mais equânime os sacrifícios de um racionamento.

A metodologia apresentada neste artigo permite, portanto, concluir algo um tanto contundente:

*Em se tratando de operação de reservatórios, a economia de água em situações de escassez pode resultar em ineficiência na utilização dos recursos hídricos. Economizar água de qualquer jeito no reservatório nem sempre é a melhor solução. É preferível, muitas vezes, utilizar a água existente a guardá-la, achando que está economizando.*

A seqüência otimizada de volumes liberados (atendimento às demandas) sugerida pelo sistema não é única, pois a mesma depende das condições iniciais de alguns parâmetros.

De toda sorte, qualquer variação nesses volumes (para mais ou para menos) resultará em piora dos resultados, seja por redução do número de meses com fornecimento de água, por aumento dos volumes evaporados, por aumento dos custos de racionamento Total ou Parcial ou, ainda, por um fornecimento de um volume menor de água às demandas. Enfim, qualquer alteração de se faça na seqüência tornará a utilização da água menos eficiente.

Além disso, observa-se que o critério de Racionamento Parcial possibilita uma maior distribuição do racionamento, com um maior número de meses atendidos para os setores menos prioritários, gerando, portanto, menores impactos econômicos e problemas sociais na região.

Como recomendação adicional, sugerem-se os seguintes estudos, dando continuidade ao presente trabalho:

- avaliação mais criteriosa dos custos de desabastecimento e das vazões  $Q_1$ ,  $Q_2$  e  $Q_3$  do critério de Racionamento Parcial para os vários setores usuários;
- desenvolvimento de mecanismos e critérios de ressarcimento de prejuízos entre usuários de modo que aqueles que não foram racionados paguem os custos financeiros daqueles que foram;
- análise econômica envolvendo diversos custos sociais envolvidos.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

CARDOSO da SILVA, L. M. e FREITAS, M. A. de S., 2002. *Aplicativo para Operação de Reservatórios em Situações de Escassez*. Anais do VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH. 9p. il.

**Nota:** As opiniões apresentadas neste artigo são de responsabilidade dos seus autores, podendo não significar postura ou atitude da Agência Nacional de Águas – ANA.



ANEXO

Demandas e custos dos setores usuários do reservatório Bico da Pedra (volumes em hm<sup>3</sup>).

Setor 1		Montante				Déficits parciais (hm <sup>3</sup> )	
N.º	Mês	Q1	Q2	Q3	Custo de não abastecimento (R\$/m <sup>3</sup> )	D1 (Q1 - Q2)	D2 (Q2 - Q3)
1	Janeiro	181,440.00	145,152.00	108,864.00	0.010	0.04	0.04
2	Fevereiro	181,440.00	145,152.00	108,864.00	0.010	0.04	0.04
3	Março	181,440.00	145,152.00	108,864.00	0.010	0.04	0.04
4	Abril	181,440.00	145,152.00	108,864.00	0.010	0.04	0.04
5	Maio	181,440.00	145,152.00	108,864.00	0.010	0.04	0.04
6	Junho	181,440.00	145,152.00	108,864.00	0.010	0.04	0.04
7	Julho	181,440.00	145,152.00	108,864.00	0.010	0.04	0.04
8	Agosto	181,440.00	145,152.00	108,864.00	0.010	0.04	0.04
9	Setembro	181,440.00	145,152.00	108,864.00	0.010	0.04	0.04
10	Outubro	181,440.00	145,152.00	108,864.00	0.010	0.04	0.04
11	Novembro	181,440.00	145,152.00	108,864.00	0.010	0.04	0.04
12	Dezembro	181,440.00	145,152.00	108,864.00	0.010	0.04	0.04

Setor 2		Copasa				Déficits parciais (hm <sup>3</sup> )	
N.º	Mês	Q1	Q2	Q3	Custo de não abastecimento (R\$/m <sup>3</sup> )	D1 (Q1 - Q2)	D2 (Q2 - Q3)
1	Janeiro	518,400.00	414,720.00	311,040.00	0.600	0.10	0.10
2	Fevereiro	518,400.00	414,720.00	311,040.00	0.600	0.10	0.10
3	Março	518,400.00	414,720.00	311,040.00	0.600	0.10	0.10
4	Abril	518,400.00	414,720.00	311,040.00	0.600	0.10	0.10
5	Maio	518,400.00	414,720.00	311,040.00	0.600	0.10	0.10
6	Junho	518,400.00	414,720.00	311,040.00	0.600	0.10	0.10
7	Julho	518,400.00	414,720.00	311,040.00	0.600	0.10	0.10
8	Agosto	518,400.00	414,720.00	311,040.00	0.600	0.10	0.10
9	Setembro	518,400.00	414,720.00	311,040.00	0.600	0.10	0.10
10	Outubro	518,400.00	414,720.00	311,040.00	0.600	0.10	0.10
11	Novembro	518,400.00	414,720.00	311,040.00	0.600	0.10	0.10
12	Dezembro	518,400.00	414,720.00	311,040.00	0.600	0.10	0.10

Setor 3		Irr-Perm (DIG+ASSIEG)				Déficits parciais (hm <sup>3</sup> )	
N.º	Mês	Q1	Q2	Q3	Custo de não abastecimento (R\$/m <sup>3</sup> )	D1 (Q1 - Q2)	D2 (Q2 - Q3)
1	Janeiro	1,714,176.00	1,371,340.80	1,199,923.20	0.100	0.34	0.17
2	Fevereiro	2,935,296.00	2,348,236.80	2,054,707.20	0.100	0.59	0.29
3	Março	6,874,560.00	5,499,648.00	4,812,192.00	0.100	1.37	0.69
4	Abril	2,557,440.00	2,045,952.00	1,790,208.00	0.100	0.51	0.26
5	Maio	5,428,224.00	4,342,579.20	3,799,756.80	0.100	1.09	0.54
6	Junho	5,391,360.00	4,313,088.00	3,773,952.00	0.100	1.08	0.54
7	Julho	6,178,176.00	4,942,540.80	4,324,723.20	0.100	1.24	0.62
8	Agosto	6,053,184.00	4,842,547.20	4,237,228.80	0.100	1.21	0.61
9	Setembro	6,255,360.00	5,004,288.00	4,378,752.00	0.100	1.25	0.63
10	Outubro	5,838,912.00	4,671,129.60	4,087,238.40	0.100	1.17	0.58
11	Novembro	3,559,680.00	2,847,744.00	2,491,776.00	0.100	0.71	0.36
12	Dezembro	2,017,728.00	1,614,182.40	1,412,409.60	0.100	0.40	0.20

Setor 4		Indústria				Déficits parciais (hm <sup>3</sup> )	
N.º	Mês	Q1	Q2	Q3	Custo de não abastecimento (R\$/m <sup>3</sup> )	D1 (Q1 - Q2)	D2 (Q2 - Q3)
1	Janeiro	388,800.00	233,280.00	155,520.00	2.000	0.16	0.08
2	Fevereiro	388,800.00	233,280.00	155,520.00	2.000	0.16	0.08
3	Março	388,800.00	233,280.00	155,520.00	2.000	0.16	0.08
4	Abril	388,800.00	233,280.00	155,520.00	2.000	0.16	0.08
5	Maio	388,800.00	233,280.00	155,520.00	2.000	0.16	0.08
6	Junho	388,800.00	233,280.00	155,520.00	2.000	0.16	0.08
7	Julho	388,800.00	233,280.00	155,520.00	2.000	0.16	0.08
8	Agosto	388,800.00	233,280.00	155,520.00	2.000	0.16	0.08
9	Setembro	388,800.00	233,280.00	155,520.00	2.000	0.16	0.08
10	Outubro	388,800.00	233,280.00	155,520.00	2.000	0.16	0.08
11	Novembro	388,800.00	233,280.00	155,520.00	2.000	0.16	0.08
12	Dezembro	388,800.00	233,280.00	155,520.00	2.000	0.16	0.08

Setor 5		Irr-Jusante				Déficits parciais (hm <sup>3</sup> )	
N.º	Mês	Q1	Q2	Q3	Custo de não abastecimento (R\$/m <sup>3</sup> )	D1 (Q1 - Q2)	D2 (Q2 - Q3)
1	Janeiro	1,807,920.00	1,265,544.00	903,960.00	0.050	0.54	0.36
2	Fevereiro	1,632,960.00	1,143,072.00	816,480.00	0.050	0.49	0.33
3	Março	1,807,920.00	1,265,544.00	903,960.00	0.050	0.54	0.36
4	Abril	1,749,600.00	1,224,720.00	874,800.00	0.050	0.52	0.35
5	Maio	1,807,920.00	1,265,544.00	903,960.00	0.050	0.54	0.36
6	Junho	1,749,600.00	1,224,720.00	874,800.00	0.050	0.52	0.35
7	Julho	1,807,920.00	1,265,544.00	903,960.00	0.050	0.54	0.36
8	Agosto	1,807,920.00	1,265,544.00	903,960.00	0.050	0.54	0.36
9	Setembro	1,749,600.00	1,224,720.00	874,800.00	0.050	0.52	0.35
10	Outubro	1,807,920.00	1,265,544.00	903,960.00	0.050	0.54	0.36
11	Novembro	1,749,600.00	1,224,720.00	874,800.00	0.050	0.52	0.35
12	Dezembro	1,807,920.00	1,265,544.00	903,960.00	0.050	0.54	0.36

Setor 6		Irr-Temp (DIG+ASSIEG)				Déficits parciais (hm <sup>3</sup> )	
N.º	Mês	Q1	Q2	Q3	Custo de não abastecimento (R\$/m <sup>3</sup> )	D1 (Q1 - Q2)	D2 (Q2 - Q3)
1	Janeiro	428,544.00	214,272.00	0.00	0.100	0.21	0.21
2	Fevereiro	733,824.00	366,912.00	0.00	0.100	0.37	0.37
3	Março	1,718,640.00	859,320.00	0.00	0.100	0.86	0.86
4	Abril	639,360.00	319,680.00	0.00	0.100	0.32	0.32
5	Maio	1,357,056.00	678,528.00	0.00	0.100	0.68	0.68
6	Junho	1,347,840.00	673,920.00	0.00	0.100	0.67	0.67
7	Julho	1,544,544.00	772,272.00	0.00	0.100	0.77	0.77
8	Agosto	1,513,296.00	756,648.00	0.00	0.100	0.76	0.76
9	Setembro	1,563,840.00	781,920.00	0.00	0.100	0.78	0.78
10	Outubro	1,459,728.00	729,864.00	0.00	0.100	0.73	0.73
11	Novembro	889,920.00	444,960.00	0.00	0.100	0.44	0.44
12	Dezembro	504,432.00	252,216.00	0.00	0.100	0.25	0.25