

APLICATIVO PARA OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS EM SITUAÇÕES DE ESCASSEZ

Luciano Meneses Cardoso da Silva¹ & Marcos Airton de Sousa Freitas¹

RESUMO

Este artigo apresenta uma metodologia para operação de reservatórios em situação de escassez hídrica. 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.

ABSTRACT

This paper presents a methodology for 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.

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

INTRODUÇÃO

A água disponível em determinado trecho de rio é, em geral, empregada em usos múltiplos, tais como: abastecimento de água para a população e indústrias, dessedentação animal, irrigação de

¹ Sócios da ABRH - Agência Nacional de Águas – ANA. Setor Policial Sul, Quadra 3, Lote 5, Bloco B, Brasília – DF. Telefone: (61) 445-5251 / 5367. E-mail: lmenezes@ana.gov.br ; masfreitas@ana.gov.br

áreas agrícolas, conservação de ecossistemas, diluição de efluentes, geração de energia elétrica, garantir calado para a navegação, etc.

Em razão de conflitos no uso dos recursos hídricos em períodos de escassez, em especial, a jusante de reservatórios de regularização de vazão, faz-se necessário definir e fiscalizar as condições de operação dos reservatórios, a partir das informações disponíveis, objetivando garantir o uso múltiplo dos recursos hídricos, conforme determinado na Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997.

Freqüentemente, as entidades responsáveis pela operação de reservatórios em regiões semi-áridas se vêem diante da seguinte questão:

Como operar o reservatório durante o período de seca de modo que as demandas sejam abastecidas pelo maior espaço de tempo possível?

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 ser 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, também ineficientes:

- Reduz-se o consumo a valores mínimos, perdendo, praticamente, toda a água existente por evaporação, mas resultando em um longo período de tempo com fornecimento de água;
- Mantêm-se os mesmos níveis de consumo existentes, consumindo mais rapidamente a água do reservatório, reduzindo, com isso, o período de tempo com fornecimento.

O ideal que se deseja é o atendimento de toda demanda existente, sem racionamento, pelo maior espaço de tempo possível. Obviamente, entre esses dois extremos podem existir diversos caminhos possíveis para atingir esse objetivo.

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 sistema são simples e de fácil obtenção, além de ser adaptável a qualquer tipo de reservatório.

Objetiva-se com esse artigo apresentar uma metodologia simples, porém bastante flexível e grande aplicabilidade, a qual pode facilmente ser usada pelos comitês de bacia hidrográfica ou pelos operadores de barragens públicas (DNOCS, CODEVASF, etc.) e privadas. O modelo, desenvolvido em planilha eletrônica permite obter regras de operação dos reservatórios, de modo que soluções de

compromisso (*trade-offs*) entre usos conflitantes durante períodos de disponibilidade deficiente de água possam ser encontradas.

METODOLOGIA

A atual complexidade dos problemas relacionados à gestão de recursos hídricos requer o emprego de instrumentos e técnicas capazes de auxiliar a tomada de decisão, notadamente em períodos de escassez.

Basicamente, o que o sistema proposto faz é encontrar uma seqüência mensal de retirada de água do reservatório (para atendimento às demandas) de modo que a perda total por evaporação seja a *mínima* possível e o período (em meses) com fornecimento de água seja o *máximo* possível.

O sistema 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 com fornecimento de água, correspondente. 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 afluente, se for o caso;
- Mês de início da simulação da 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);
- Número de horas de operação por mês.

A Função Objetivo adotada 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:

- a) De posse de todos os parâmetros mencionados, calcula-se com o sistema o número de meses que seria possível atender a partir das demandas mínimas;
- b) Para a otimização, adota-se como restrição de tempo mínimo com água, o número de meses obtido anteriormente e, também, uma “semente” para os valores de vazão;

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

a. Obtém-se a seqüência de vazões otimizadas para o mês de início escolhido e o volume armazenado correspondente.

APLICAÇÃO

Para aplicação da metodologia proposta neste artigo, escolheu-se o reservatório Armando Ribeiro Gonçalves (propriedade do DNOCS), localizado no rio Piranhas – Assu, Município de Assu, Estado do Rio Grande do Norte. As características principais desse reservatório encontram-se relacionadas a seguir:

- Volume total: 2.400,0 hm³;
- Volume morto: 236,0 hm³;
- Área da bacia hidráulica: 192 km²;
- Área de drenagem da bacia hidrográfica: 36.770,0 km²;
- Demandas máximas* a jusante: 12,0 m³/s;
- Demandas mínimas* a jusante: 8,0 m³/s.

* Dados estimados.

A Figura 1 apresenta a curva Área x Volume do reservatório estudado.

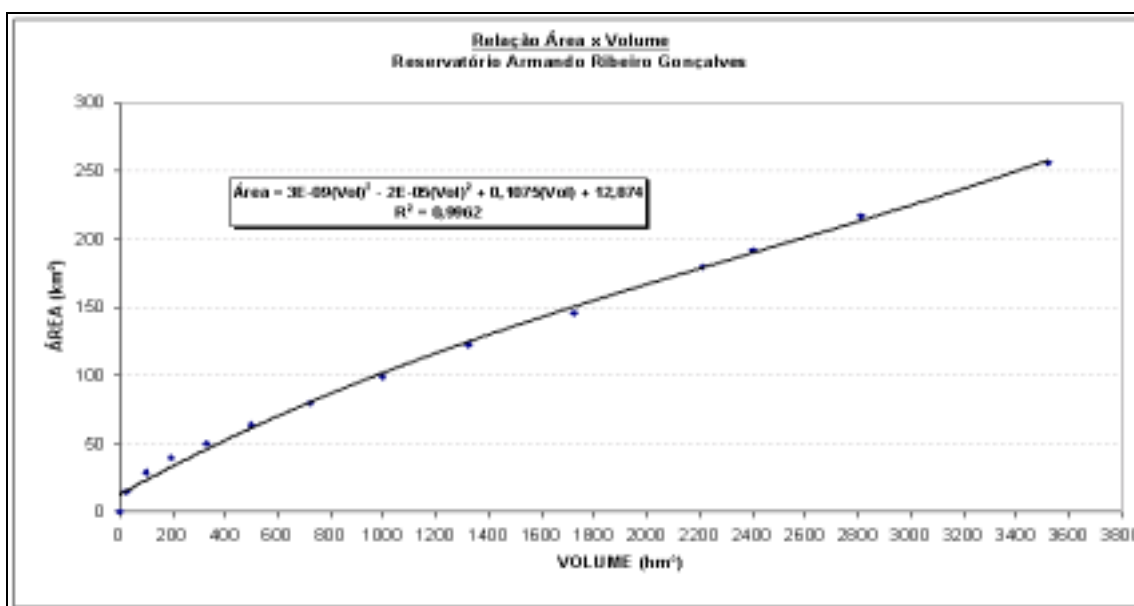


Figura 1. Relação Área x Volume do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves.

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

Como atitude conservadora de análise de situação 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 (de 1950 a 280 hm³), todas assumidas começando no mês de julho.

Seguindo a metodologia descrita, foi calculado o comportamento do reservatório para as situações de demanda máxima e mínima e calculada a seqüência de derivações ótimas, objetivando a minimização das perdas por evaporação e o prolongamento do tempo com fornecimento de água.

A Tabela 1 apresenta quatorze cenários de armazenamento de água no reservatório e as características resultantes de cada regra de operação adotada (vazões mínimas, máximas e otimizadas).

Tabela 1. Cenários de utilização de água e os ganhos correspondentes com a otimização.

Cenários de utilização otimizada da água para o açude Armando Ribeiro Gonçalves													
Mês inicial =	7												
	Demanda mínima			Demanda máxima			Demanda otimizada			Ganhos % com a otimização			
Cenário	Vazão inicial (m³/s)	N.º meses de fornecimento	Perdas por Evap. (hm³)	Vazão fornecida (m³/s)	N.º meses Máx. fornecimento	Perdas por Evap. (hm³)	Vazão fornecida (m³/s)	N.º meses Ot. fornecimento	Perdas por Evap. (hm³)	Vazão fornecida (m³/s)	Volume (Bil)	Volume Evap.	Volume Fornecido
1	1969	41	887,35	950,18	32	706,53	995,33	41	853,71	980,29	0,8%	0,8%	1,2%
2	1700	36	705,14	746,5	28	965,96	870,91	36	890,48	775,62	1,8%	2,1%	3,6%
3	1600	34	648,03	705,02	27	518,36	639,68	34	835,38	728,62	1,7%	2,1%	3,2%
4	1500	32	582,59	603,55	25	464,71	777,6	32	578,98	685,02	1,7%	2,2%	3,2%
5	1260	27	446,43	558,07	21	357,71	653,49	27	430,95	580,05	2,8%	3,5%	4,9%
6	1000	21	378,21	435,46	16	243,19	437,86	21	303,32	480,18	3,2%	3,9%	5,2%
7	800	16	294,46	331,76	12	161,43	373,25	16	198,41	385,59	6,0%	7,5%	10,2%
8	600	11	137,76	238,1	8	108,36	248,03	11	119,69	244,31	4,9%	6,3%	7,9%
9	500	8	81,44	165,95	6	76,19	186,62	8	82,59	181,31	5,8%	6,6%	8,7%
10	400	5	52,72	103,66	4	38,68	124,42	5	41,87	122,13	11,2%	20,6%	17,8%
11	375	4	40,76	82,94	3	28,14	83,31	4	29,23	109,77	19,2%	26,7%	22,7%
12	345	3	36,38	62,21	2	17,96	62,31	3	17,96	85,27	21,2%	36,9%	31,6%
13	315	2	17,22	41,47	2	7,77	62,31	2	7,77	62,31	26,2%	54,3%	50,8%
14	280	1	7,25	20,74	1	7,16	31,1	1	7,16	31,1	22,5%	1,2%	50,8%

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.

Observando as colunas da demanda otimizada, verifica-se que foi possível obter o mesmo número de meses com fornecimento de água que a situação com demandas mínimas. Contudo, houve ganhos em relação às perdas por evaporação e, principalmente, em relação aos volumes de água fornecidos. Esses ganhos podem ser conferidos nas últimas três colunas da Tabela 1.

Quanto menor o volume armazenado no reservatório, mais expressivos são os ganhos com a otimização, principalmente em relação ao fornecimento de água.

A Figura 2 apresenta os ganhos percentuais obtidos com a otimização sobre o volume útil, o volume evaporado e o volume fornecido, em relação à situação de demanda mínima.

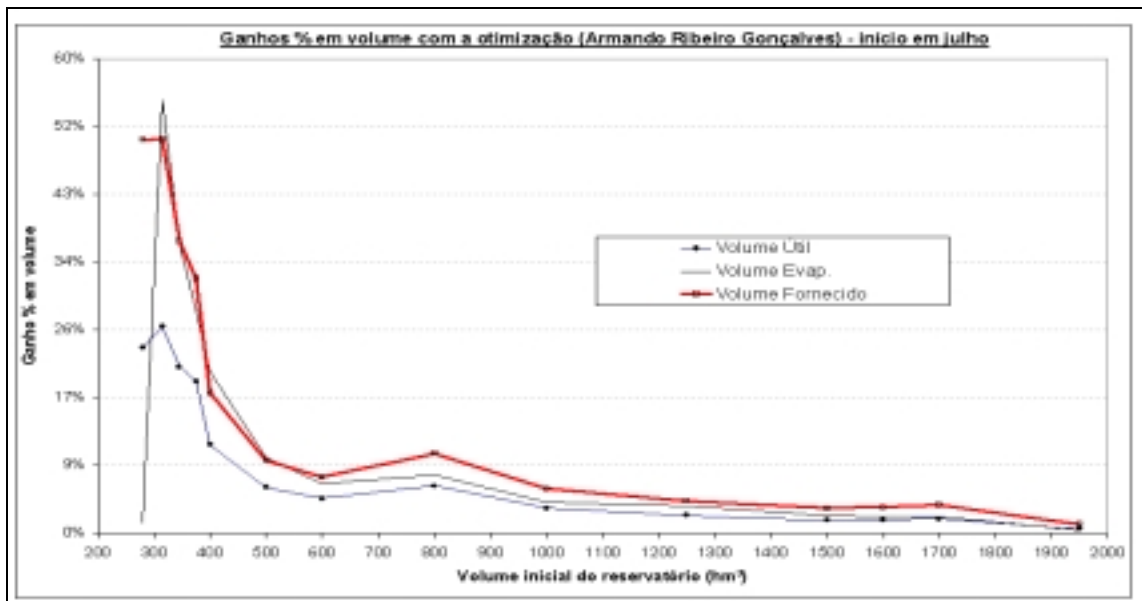


Figura 2. Ganhos com a otimização.

A Figura 3 apresenta a variação do número de meses com fornecimento de água a partir de duas situações distintas: demanda máxima e demanda otimizada.

Observa-se na Figura 3 que para armazenamentos acima de 1.500,0 hm³ os ganhos que se tem com a otimização, em quantidade de meses, são, de certa forma, irrelevantes, pois, mesmo derivando a demanda máxima, consegue-se, no mínimo dois anos com fornecimento de água. Para a região, é um período bastante provável de recarga do reservatório.

Isso significa que promover racionamentos para volumes armazenados dessa ordem (acima de 1.500,0 hm³) é prematuro e traz sacrifícios desnecessários à população. Abaixo desse valor, deve-se começar a planejar um racionamento, uma vez que os horizontes de fornecimento de água são cada vez menores.

O que o presente artigo sugere é que esse racionamento não se restrinja apenas à redução para valores de demandas mínimas essenciais às populações. Pelos ganhos que são possíveis de se obter com a otimização, conclui-se que o racionamento pode não ser tão severo assim.

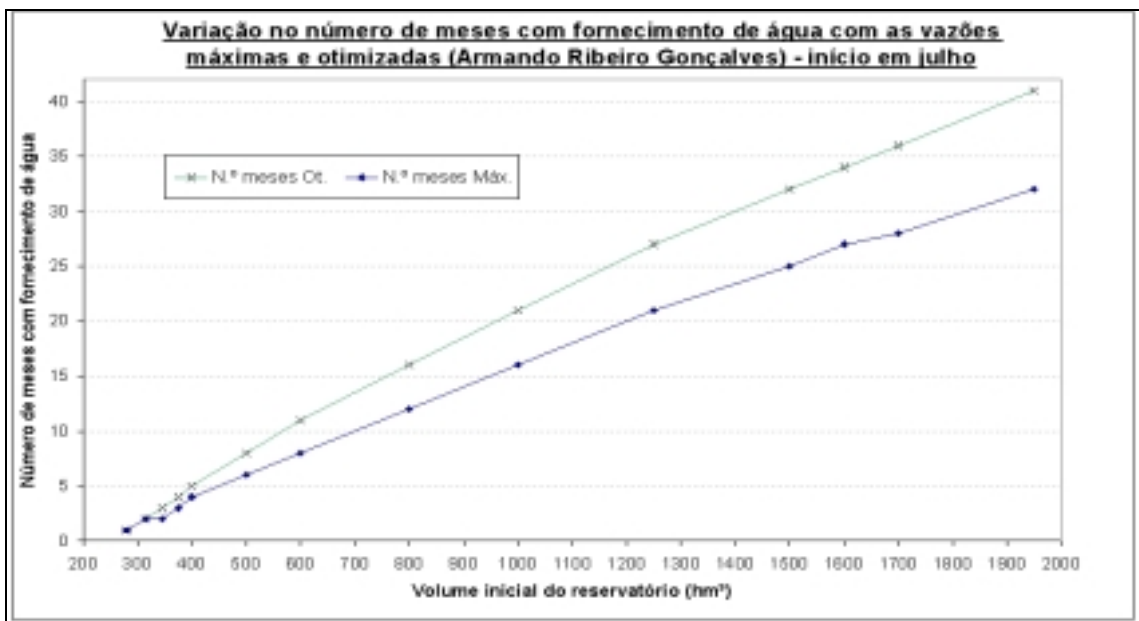


Figura 3. Variação do número de meses com fornecimento de água.

A identificação do momento que deve começar a ser realizado o racionamento é, portanto, de uma decisão mais gerencial que técnica. Pela análise da Figura 3, verifica-se que o racionamento poderia começar a ser implantado a partir de algum volume situado ente 900 e 1.300 hm³.

A Figura 4 apresenta a seqüência de vazões otimizadas para os cenários correspondentes às acumulações iniciais de 1.250, 1.000, 800 e 600 hm³. Observa-se que em todas as situações o sistema sugeriu a liberação de vazões maiores que as mínimas (8,0 m³/s), significando que é possível fornecer mais água a continuar com o mesmo número de meses de fornecimento de água que as situações que demandam vazões mínimas.

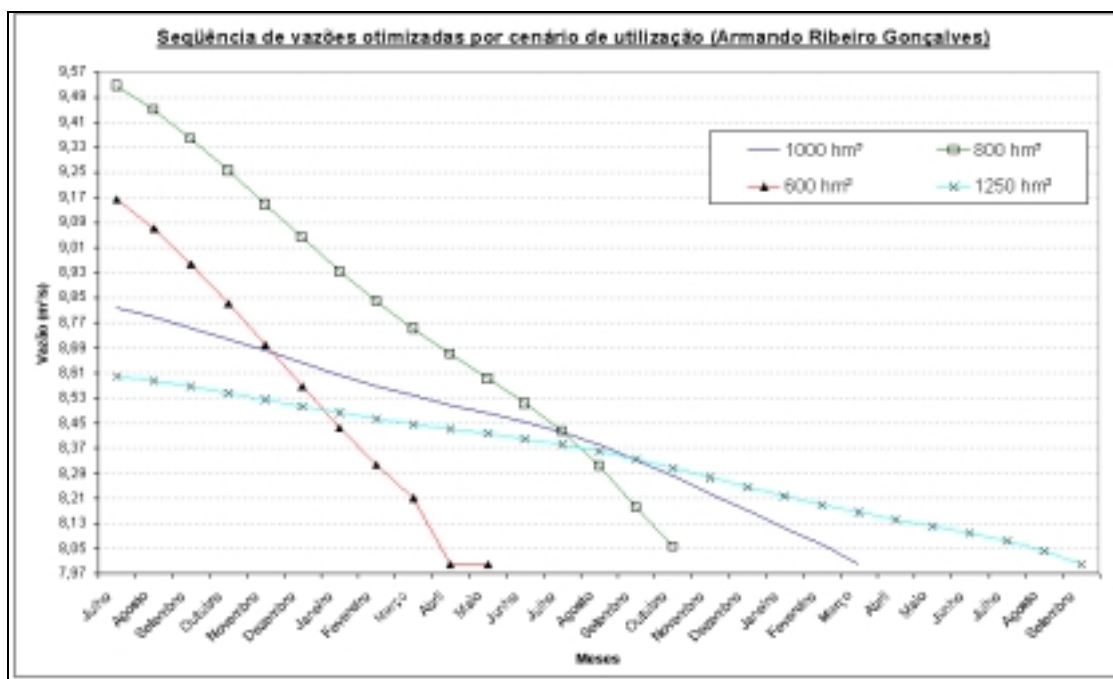


Figura 4. Seqüência de vazões otimizadas para alguns cenários.

Por último, a Figura 5 apresenta a evolução das vazões médias fornecidas a partir de cada cenário de utilização. Do cenário 1 ao 14 as acumulações no reservatório diminuem.

Observa-se que à medida que se tem menor volume de água acumulado, maior tende a ser a média das vazões fornecidas. Isso demonstra que quanto menor a acumulação, mais acirrada se torna a “disputa” pela água entre o homem e o Sol (evaporação). Ou seja, quanto menos água tiver o reservatório, mais rápida deve ser a sua utilização.

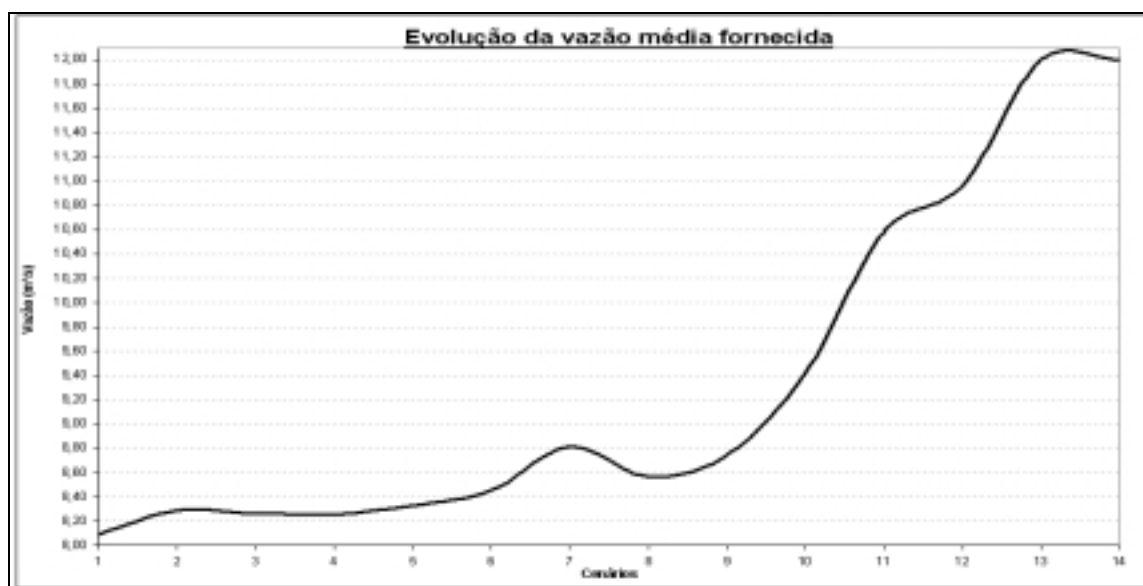


Figura 5. Evolução da vazão média fornecida.

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, 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.

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 vazões liberadas (atendimento às demandas), sugeridas pelo sistema, não é única, pois a mesma depende das condições iniciais de alguns parâmetros.

De toda sorte, qualquer variação nessas vazões (para mais ou para menos) resultará em um número de meses menor com fornecimento de água, ou em uma perda maior de água por evaporação, respectivamente, o que tornaria a utilização da água menos eficiente em qualquer um dos casos.

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, à perdas econômicas, pode vir a ser um complemento importante e enriquecedor ao presente trabalho.

Nota: As opiniões apresentadas neste artigo são de responsabilidade dos seus autores, não significando, em nenhuma hipótese, postura ou atitude da Agência Nacional de Águas – ANA, para a qual os mesmos trabalham.