

VARIABILIDADE DA CURVA DE GARANTIA DE OFERTA HÍDRICA PARA DIFERENTES INTERVALOS DE SIMULAÇÃO: O caso do Reservatório Orós

George Leite Mamede^{1,3}; Pedro Henrique Augusto Medeiros^{2,3}

RESUMO – Este artigo analisa os efeitos da simulação de balanço hídrico de reservatórios para diferentes passos de tempo sobre a curva de garantia de oferta hídrica. Para realizar simulações em passo de tempo diário, mensal, semestral e anual, o modelo WASA-SED é utilizado. Este modelo é aplicado para o reservatório Orós com período de simulação de 75 anos, utilizando dados medidos de vazão afluente e precipitação, minimizando assim incertezas decorrentes de modelagem de processos de chuva-deflúvio. Resultados mostram que alterações no passo de tempo das simulações impactam significativamente a garantia de oferta hídrica do reservatório Orós. Mesmo em simulações com passo de tempo mensal, adotada usualmente na determinação da disponibilidade hídrica de reservatórios do semi-árido brasileiro, são observadas limitações na identificação de possíveis dias de falhas, já que o balanço hídrico é realizado considerando valores acumulados de aporte e retirada no reservatório em certo mês. Simulações complementares são realizadas com o intuito de analisar os efeitos de usar volumes de alerta no balanço hídrico do reservatório Orós, levando em consideração diferentes passos de tempo. De acordo com os resultados, simulações com passo de tempo mensal superestimam os valores de garantia de oferta hídrica quando comparadas a simulações diárias.

ABSTRACT – This paper analyses the effects of the simulation of reservoir water balance for different timesteps on the reliability curve of water supply. To perform simulations in daily, monthly, half-yearly and yearly timesteps the WASA-SED model is used. The model is applied to the Orós reservoir with a 75-years simulation period, using measured data on water inflow discharges and precipitation, minimizing thus uncertainties derived from modelling of rainfall-runoff processes. Results show that changes on the simulation timestep impact strongly the reliability level of water supply of the Orós reservoir. Even in simulations with monthly timestep, usually adopted for the determination of water availability of reservoirs in the Brazilian semi-arid, limitations for the identification of unsuccessful days are observed, since the water balance is performed considering cumulative value of inflows and outflows at the reservoir in a given month. Additional simulations are carried out in order to analyse the effects of using emergency volumes in the water balance of the Orós reservoir, taking into account different timesteps. According to the results, simulations with monthly timestep overestimate the values of reliability level of water supply as compared to daily simulations.

Palavras-chave: garantia de oferta hídrica, operação de reservatório, açude Orós

1) Professor adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental – UFERSA. E-mail: georgemamede@hotmail.com

2) Doutorando em Engenharia Civil - UFC. E-mail: phamedeiros@gmail.com

3) Pesquisador do Grupo HIDROSED (www.hidroсед.ufc.br)

INTRODUÇÃO

No Nordeste Brasileiro o abastecimento hídrico depende, em grande parte, da água armazenada em reservatórios superficiais, com crescimento cada vez maior da demanda por este recurso (Araújo *et al.*, 2006). Observa-se nesta região a existência de uma rede altamente densa de reservatórios superficiais que armazenam água durante o período chuvoso e disponibilizam este recurso no período seco. Por exemplo, na bacia do Alto Jaguaribe, Ceará, com área de 25.000 km², Malveira *et al.* (2007) identificaram a presença de mais de 4.000 açudes de diversos tamanhos, resultando em uma densidade de um açude a cada 6 km². Essa densa rede de reservatórios desempenha um importante papel na gestão dos recursos hídricos desta região. Os reservatórios de montante retêm uma parcela significativa do escoamento gerado, permitindo uma melhor distribuição espacial daquele recurso hídrico. Por outro lado, a retenção hídrica nestes reservatórios pode reduzir a disponibilidade hídrica dos reservatórios estratégicos localizados à jusante, que são hidrologicamente mais eficientes (Mamede, 2008).

A disponibilidade hídrica de reservatórios superficiais é comumente expressa por meio de sua capacidade de regularização de vazão associada a uma garantia de abastecimento ou garantia de oferta hídrica. A garantia de abastecimento, por sua vez, representa o percentual de tempo de simulação no qual certa vazão regularizada é atendida sem falhas.

O nível de garantia adotado usualmente em estudos hidrológicos para fins hidroagrícolas no Brasil é de 90%, sendo de 95% para fins energéticos, e de 99 – 100% para fins de abastecimento humano e industrial (CEARÁ, 1992). A garantia de atendimento de uma vazão regularizada pré-fixada é determinada através da utilização de modelos físicos baseados na equação do balanço hídrico do reservatório, a qual considera todos os aportes e retiradas de água daquele sistema. Este cálculo é, geralmente, realizado através de simulação mensal da operação do reservatório (Farias *et al.*, 2005).

O objetivo desta pesquisa é avaliar a variabilidade da curva de garantia de oferta hídrica para diferentes intervalos de simulação, com passo de tempo diário, mensal, semestral e anual. As simulações de operação de reservatório nos passos de tempo supracitados são realizadas, neste estudo, através do modelo WASA-SED (*Model of Water Availability in Semi-Arid Environments with a Sediment Dynamics Component*), desenvolvido por grupos de pesquisa em programas de cooperação internacional entre instituições brasileiras e alemãs, como o projeto WAVES (*Water Availability, Vulnerability of Ecosystems and Society in the Northeast of Brazil*) e SESAM (*Sediment Export from Large Semi-Arid Environments: Measurements and Modelling*) (Mamede *et al.*, 2008).

MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar a variabilidade da curva de garantia de oferta hídrica em diferentes intervalos de simulação, o modelo WASA-SED foi aplicado ao reservatório Orós, construído em 1961, com capacidade de armazenamento de 1.940 hm³ (Figura 1). A bacia hidrográfica do reservatório Orós tem uma área de cerca de 25.700 km² controlada por uma ampla rede de reservatórios de diferentes tamanhos. De acordo com Mamede *et al.* (2008), 120 reservatórios foram identificados na bacia hidrográfica do açude Benguê, uma sub-bacia da bacia do Orós com 933 km², o que representa uma taxa de aproximadamente um reservatório para cada 7,8 km². Na bacia do Orós, Malveira *et al.*, (2007) identificaram 4.000 reservatórios superficiais.

O reservatório Orós foi responsável, durante muitos anos, pelo abastecimento hídrico da região metropolitana de Fortaleza desde que um grande colapso hídrico ocorreu naquela região. Com a construção do reservatório do Castanhão, a jusante do açude Orós no rio Jaguaribe, com capacidade de armazenamento de 6.700 hm³, este segundo passou a desempenhar a função de perenização do trecho entre eles e atender a demanda hídrica neste trajeto.

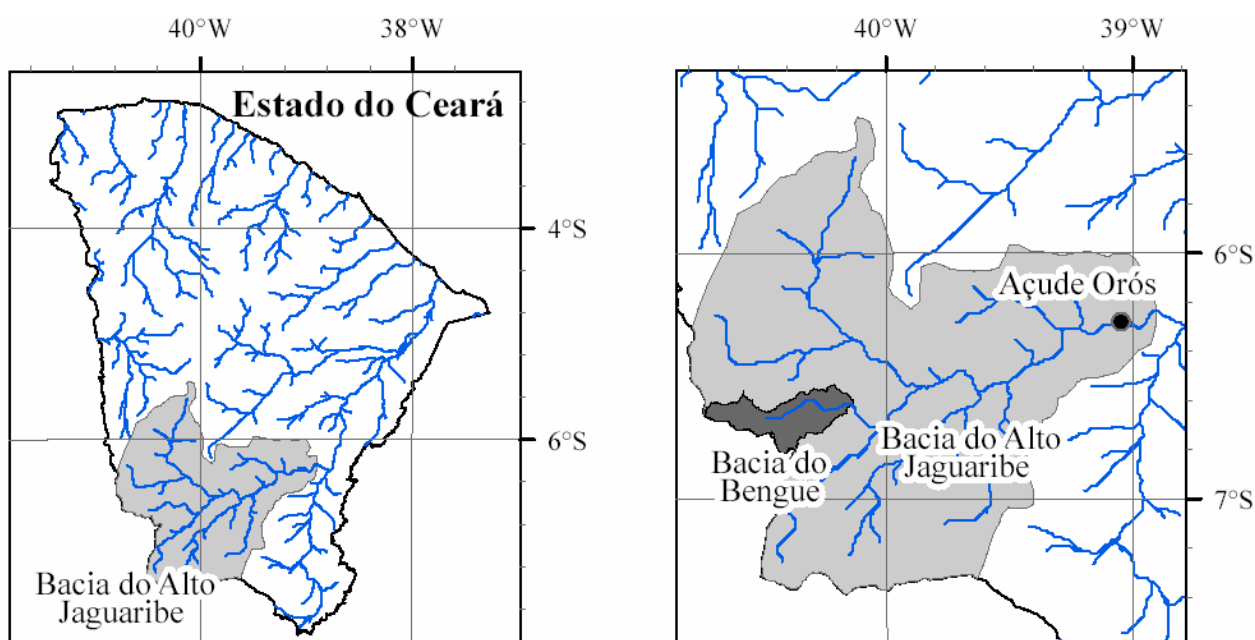


Figura 1 – Localização do reservatório Orós

Modelagem

WASA-SED (*Model of Water Availability in Semi-Arid Environments with a Sediment Dynamics Component*) (Güntner & Bronstert, 2004; Güntner *et al.*, 2004; Bronstert *et al.*, 2007; Mamede, 2008; Mueller *et al.*, 2008) é um modelo hidrológico, determinístico e semi-distribuído que simula processos de chuva-deflúvio para a quantificação da disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas, além de possibilitar a simulação da produção de sedimentos nas vertentes, dos processos de transporte na rede de drenagem e, por fim, do cálculo do assoreamento de

reservatórios. Contudo, nesta pesquisa, apenas a rotina de balanço hídrico de reservatórios é utilizada.

A metodologia adotada no modelo WASA-SED para a avaliação da disponibilidade hídrica de um dado reservatório tem como ponto central a chamada equação do balanço hídrico, a qual contabiliza todas as afluições ou aportes aos reservatórios, bem como todas as retiradas ou eventuais vertimentos. Essa equação tem a seguinte formulação:

$$\Delta V = \left(Q_{in} + Q_{prec} + Q_{gr} - (Q_{evap} + Q_{inf} + Q_{over} + Q_{ws} + Q_{sm}) \right) \Delta t \quad (1)$$

em que: ΔV é a variação de volume do reservatório no passo de tempo; Q_{in} é a vazão afluyente ao reservatório; Q_{prec} é a vazão precipitada diretamente sobre a superfície do reservatório; Q_{gr} é a vazão proveniente do aquífero subterrâneo; Q_{evap} é a vazão evaporada diretamente da superfície do reservatório; Q_{inf} é a vazão infiltrada servindo de recarga ao aquífero subterrâneo; Q_{over} é a vazão de vertimento; Q_{ws} é a vazão regularizada pela tomada d'água para abastecimento hídrico; e Q_{sm} é a vazão liberada pelas compostas de fundo. A vazão proveniente do aquífero subterrâneo e a vazão infiltrada são admitidas desprezíveis (Campos, 1996), sendo esta uma prática comum em simulações de balanço hídrico de reservatórios de regiões semi-áridas, como nos estudos desenvolvidos pelo DNOCS e SUDENE/ORSTON. Esta prática foi adotada nesta pesquisa apesar de estudos recentes terem mostrado que este procedimento nem sempre é válido para a região, especificamente quando se verifica elevada densidade de fraturas no embasamento cristalino (Costa, 2007; Pereira, 2006).

A simulação do balanço hídrico de reservatórios pelo modelo WASA-SED segue, então, o seguinte procedimento para o mesmo passo de tempo:

- Determinação da vazão vertida sempre que o volume de água armazenado no reservatório excede sua capacidade de armazenamento;
- Avaliação das perdas por evaporação considerando uma área superficial média do reservatório no passo de tempo;
- Cálculo do acréscimo de volume armazenado devido à precipitação direta sobre o reservatório. Caso a capacidade de armazenamento seja novamente excedida, calcula-se o acréscimo no volume de água vertido;
- Determinação do volume de água retirado para atendimento da demanda hídrica. Caso a vazão regularizada prevista não possa ser disponibilizada, considera-se que houve uma falha naquele passo de tempo. Esta falha pode ocorrer quando o nível de água do reservatório está abaixo da cota da tomada d'água ou ainda quando este estiver acima desde que o volume disponível não seja suficiente para atender àquela vazão. Uma outra situação que se evidencia falha no abastecimento ocorre quando o volume de água

armazenado no reservatório é inferior a um volume pré-estabelecido, abaixo do qual apenas um percentual da vazão regularizada prevista é liberado, também conhecido como volume de alerta;

- Avaliação do volume de água liberado pelas comportas de fundo;
- Cálculo do volume armazenado ao final do passo de tempo. As respectivas cota e área superficial são calculadas através da curva cota-área-volume do reservatório.

Para cada passo de tempo realiza-se o procedimento apresentado acima e verifica-se a ocorrência de falha no abastecimento. Ao final do período de simulação calcula-se a garantia de abastecimento (g) para certa vazão regularizada pré-fixada como função do número de falhas anotadas no período de simulação (nv) e o número de períodos simulados (n), como segue:

$$g = \left(1 - \frac{nv}{n}\right) * 100 \quad (2)$$

Com a simulação de operação do reservatório para diferentes vazões regularizadas e as respectivas garantias de oferta hídrica obtidas, torna-se possível o estabelecimento da chamada curva de garantia do reservatório.

Com o intuito de minimizar as falhas no abastecimento, é possível admitir, no modelo WASA-SED, a introdução de um volume de alerta, abaixo do qual apenas um percentual da vazão regularizada pode ser retirado, assegurando assim o abastecimento durante um maior período de tempo.

Dados requeridos

As simulações de operação do açude Orós foram realizadas utilizando dados medidos de vazão afluyente e precipitação para uma série histórica compreendida entre 1912 e 2007, minimizando assim possíveis erros decorrentes de modelagem de chuva-deflúvio. Os dados de vazão foram obtidos do posto fluviométrico Iguatu (ANA, 2009), localizado a montante do açude Orós. Os anos com grande quantidade de falhas nos dados medidos de vazão, especialmente no período chuvoso, foram excluídos da série. Para preenchimento de falhas nos dados fluviométricos de anos com poucas falhas foram adotados os seguintes critérios:

- Preenchimento com valor zero nos dias pertencentes ao período de estiagem, no segundo semestre do ano, nos meses de agosto a novembro;
- Preenchimento com a média do valor do dia anterior e posterior em meses com poucos dias de falha;
- Preenchimento com a média mensal do mês correspondente da série em meses sem dados ou naqueles com poucos dias de dados.

Os dados de precipitação da série foram obtidos de postos pluviométricos circunvizinhos ao açude Orós, conforme descrito na Tabela 1. Apenas no mês de janeiro de 1958 não houve registro de dados de precipitação nos postos analisados, sendo então adotado o valor médio diário correspondente aos meses de janeiro de todos os outros anos com dados.

Tabela 1 – Postos pluviométricos selecionados

Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Ano - início	Ano - fim
00639020	Maracaja	Iguatu	-6,167	-39,083	1934	2000
00638005	Acude Oros	Oros	-6,267	-38,917	1921	2009
00638085	Oros	Oros	-6,250	-38,917	1978	2009
00639061	Jose de Alencar	Iguatu	-6,400	-39,167	1988	2008
00639001	Aeroporto	Iguatu	-6,383	-39,300	1961	2008
00639004	Jose de Alencar	Iguatu	-6,433	-39,150	1919	1932
00639039	Bravo	Iguatu	-6,500	-39,317	1912	1997

Os dados de evaporação foram extraídos das Normais Climatológicas do DNMET para o posto Iguatu, referente ao período de 1961 a 1990 (DNMET, 1992), com o preenchimento dos valores diários a partir destas médias mensais (Tabela 2).

Tabela 2 – Normais Climatológicas de evaporação para o posto Iguatu (mm) (DNMET, 1992)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
161,4	113,6	89,5	86,4	100,9	147,1	188,1	217,8	218,9	236,6	214,9	212,8	1988

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Simulações de operação do reservatório Orós para o período de 75 anos compreendido entre 1912 e 2007 (após retirada dos anos com falhas na série de vazões) foram realizadas para diferentes intervalos de simulação, com passo de tempo diário, mensal, semestral e anual. Conforme sumarizado na Tabela 3, foram calculados valores de garantia de oferta hídrica para diferentes vazões regularizadas pré-fixadas, variando de 1 a 100 m³/s.

Os resultados mostram que para garantias elevadas, a vazão regularizada praticamente independe do intervalo de tempo da simulação (diário, mensal, semestral ou anual). Uma explicação para isto pode estar no fato de que se não há falha no passo diário, espera-se que também não haja falhas nos demais intervalos de simulação. Esse resultado indica que, pelo menos para esse caso específico do açude Orós, a simulação a passo anual já daria uma boa indicação da vazão regularizada associada a certa garantia de oferta hídrica. Isso é particularmente importante para a gestão de recursos hídricos, especialmente para o abastecimento humano, que requer elevadas garantias (usualmente 99%).

Tabela 3 – Garantias de oferta hídrica do açude Orós associadas a diferentes valores de vazão regularizada, calculadas para diferentes passos de simulação para um período de 75 anos

Vazão (m ³ /s)	Garantia (%)			
	Simulação diária	Simulação mensal	Simulação semestral	Simulação anual
100,000	19,955	16,667	8,000	0,000
90,000	22,298	19,778	10,667	0,000
80,000	25,135	22,000	12,000	0,000
70,000	28,435	25,667	16,000	0,000
60,000	32,666	29,556	18,667	0,000
50,000	38,252	36,000	27,333	9,333
40,000	46,153	44,667	34,000	21,333
30,000	58,170	59,111	49,333	36,000
20,000	76,300	80,444	74,000	69,333
15,000	87,748	91,111	89,333	85,333
10,000	98,708	98,778	98,000	97,333
5,000	99,817	99,889	100,000	100,000
1,000	99,821	99,889	100,000	100,000

Observa-se ainda que, para elevados valores de vazão, a garantia de oferta hídrica é tanto maior quanto mais detalhado for o passo de tempo, o que pode ser explicado pelas simplificações de cálculo existentes em passos mais grosseiros. Por exemplo, em simulações com passo diário, tem-se que a regularização de vazão em certo dia implica no rebaixamento do volume do reservatório, permitindo a retenção de parte da vazão afluente de um dia seguinte qualquer naquele mesmo mês, reduzindo assim o volume vertido. Se esta fosse uma simulação mensal, o volume vertido seria computado como sendo o volume de água que excede a capacidade de armazenamento do reservatório proveniente dos aportes no reservatório naquele mês. Neste caso não é possível considerar, por exemplo, o acréscimo do volume de espera do reservatório naquele mês decorrente do rebaixamento do nível de água em dias com retiradas superiores aos aportes. No que diz respeito a pequenas vazões regularizadas, o rebaixamento do nível de água do reservatório é pouco expressivo e, portanto, não afeta significativamente os resultados.

De um modo geral, os reservatórios do semi-árido Brasileiro apresentam uma estrutura temporal de ocorrência de falhas que se estende por vários meses nos períodos de estiagem ou até mesmo anos, o que pode comprometer a disponibilidade hídrica destes mananciais, definida pela regularização de vazão com certa garantia. A concentração de falhas em período prolongado pode, portanto, levar ao colapso no abastecimento hídrico. Para minimizar este efeito é comum a introdução do conceito de volume de alerta de um reservatório, que corresponde ao volume a partir do qual apenas um percentual da vazão regularizada pode ser retirado.

Diante do exposto, analisou-se o efeito da introdução do conceito de volume de alerta nas simulações de operação do reservatório Orós, representadas por quatro diferentes cenários, quais

sejam: (a) simulação sem volume de alerta; (b) simulação com volume de alerta correspondente a 20% da capacidade de armazenamento do reservatório Orós; (c) simulação com volume de alerta correspondente a 30% da capacidade de armazenamento deste reservatório; e (d) simulação com volume de alerta correspondente a 50% de sua capacidade. Para cada um destes cenários foram realizadas simulações com diferentes passos de tempo (diário, mensal, semestral e anual), como apresentado na Figura 2. Nas simulações realizadas admitiu-se que, para volumes inferiores ao volume de alerta (casos b a d), apenas 50% da vazão regularizada desejada seria atendida, caso houvesse disponibilidade, também chamada vazão de emergência. Do contrário, a liberação estaria limitada ao volume armazenado acima do volume morto.

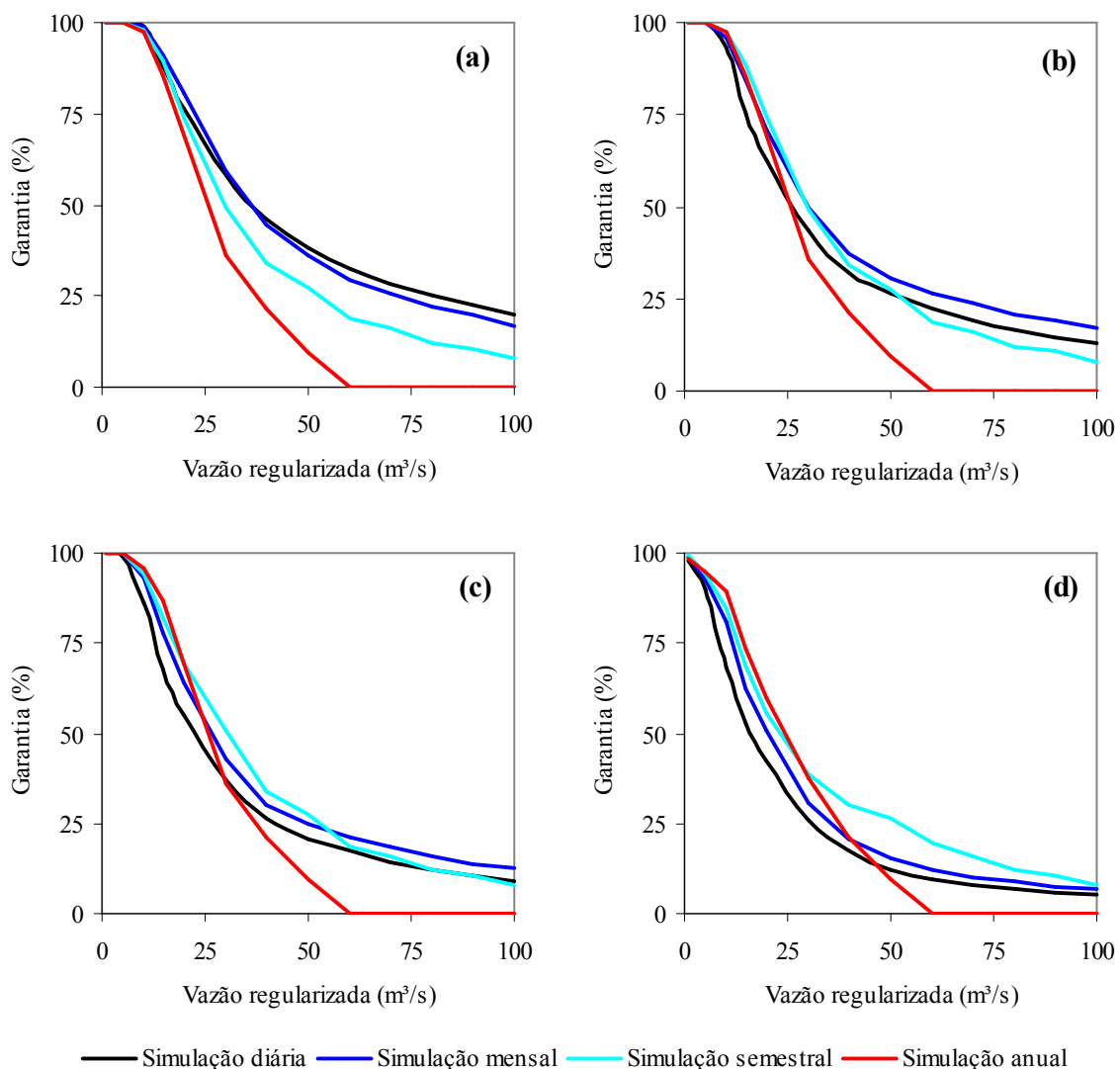


Figura 2 – Análise comparativa das curvas de garantia de oferta hídrica no açude Orós para diferentes passos de simulação para um período de 75 anos, considerando quatro diferentes cenários: (a) sem volume de alerta; (b) com volume de alerta de 20% da capacidade máxima; (c) com volume de alerta de 30% da capacidade máxima; (d) com volume de alerta de 50% da capacidade máxima

Os resultados mostram que, diferentemente do observado nas simulações sem volume de alerta, aquelas com volume de alerta e passo de tempo mensal apresentam garantias superiores às calculadas com passo diário para elevadas vazões regularizadas. Esta observação pode ser explicada pelo diferenciado processo de enchimento do reservatório durante a quadra invernos, quando este se encontra geralmente com volumes inferiores ao volume de alerta. Neste caso, para a simulação com volume de alerta, apenas o mínimo entre 50% da vazão regularizada e a disponibilidade acima do volume morto é liberado, o que consiste em falha no atendimento. Esta liberação parcial da vazão regularizada perdura até que o volume de alerta seja excedido. Em simulações sem volume de alerta, ao contrário, a vazão regularizada desejada é liberada tão logo haja disponibilidade para isto. Em passos de tempo mensal, como o balanço hídrico é realizado considerando o acúmulo da vazão afluyente no mês, o volume de alerta é mais facilmente excedido, possibilitando assim a liberação da vazão regularizada desejada.

Para avaliar os efeitos de alteração no regime de operação do reservatório sobre a curva de garantia de oferta hídrica do reservatório Orós, foram realizadas simulações para os mesmos quatro cenários supracitados dentro de um mesmo passo de tempo, como mostrado na Figura 3.

Os resultados, apresentados na Figura 3, indicam que, quanto menos preciso o passo de tempo da simulação, menores são os efeitos da alteração no regime de operação sobre a curva de garantia de oferta hídrica. Portanto, em simulações semestrais e anuais, há limitações para o estudo de alternativas de operação de certo manancial, dificultando a gestão dos recursos hídricos. Nestes casos, recomenda-se a adoção de simulações com passos de tempo mais precisos.

Tendo em vista que os níveis de garantias adotados no Brasil em estudos hidrológicos para fins hidroagrícolas, energéticos e de abastecimento humano e industrial são usualmente de 90%, 95% e 99 – 100%, respectivamente, estes são analisados detalhadamente na Tabela 4. Em geral, observa-se que o passo de tempo mensal superestima os resultados de vazão regularizada quando comparados com o passo diário. Esta superestimativa pode ser explicada pelo fato de que elevadas garantias de abastecimento (superiores a 90%) estão associadas com valores menores de vazão regularizada, as quais são mais facilmente atendidas no passo mensal do que no passo diário. Em outras palavras, caso alguns dias de certo mês apresentem falhas no abastecimento, não significa necessariamente que no passo mensal tal mês apresente também falha, haja vista que poderia haver algum evento de chuva que fornecesse aporte hídrico suficiente para atender a demanda mensal. No que diz respeito aos passos semestrais e anuais, os resultados de vazão regularizada são bem similares, o que não justifica o esforço necessário para realizar simulações com passo mais detalhado (semestral) em substituição ao passo anual.

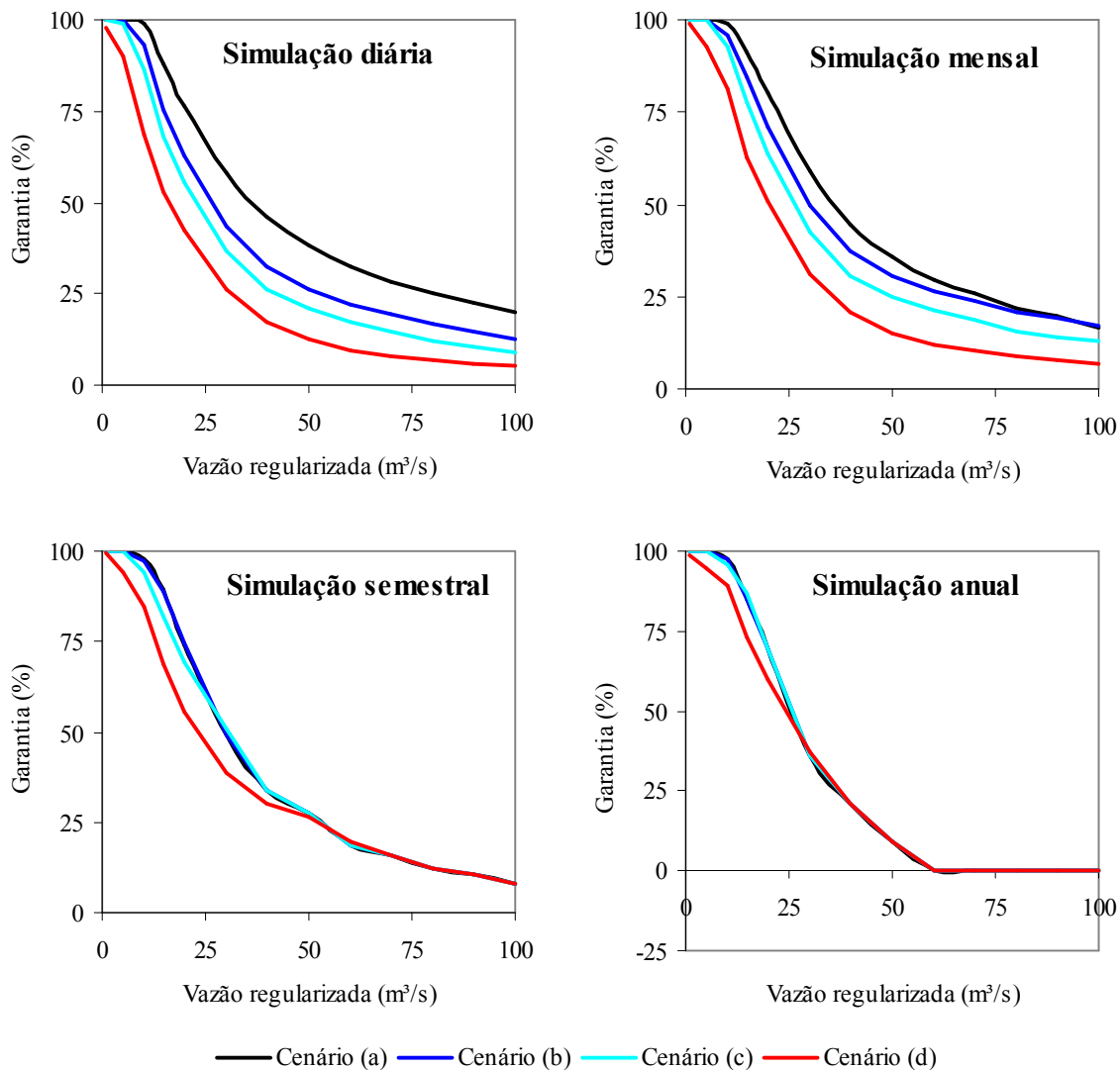


Figura 3 – Análise comparativa das curvas de garantia de oferta hídrica no açude Orós no mesmo passo de simulação para um período de 75 anos, considerando quatro diferentes cenários: (a) sem volume de alerta; (b) com volume de alerta de 20% da capacidade máxima; (c) com volume de alerta de 30% da capacidade máxima; (d) com volume de alerta de 50% da capacidade máxima

Dentro de um mesmo passo de tempo, sobretudo em simulações diárias e mensais, observa-se que para maiores volumes de alerta, as garantias de atendimento de certa vazão regularizada são inferiores, o que pode levar a uma equivocada conclusão de que a introdução de um volume de alerta provocou uma redução na eficiência do reservatório em regularizar vazões (ver Figura 3 e Tabela 4). No entanto, com a introdução do conceito de volume de alerta espera-se que, mesmo no período de tempo com falha no atendimento da vazão regularizada desejada, haja uma continuidade na liberação de vazões com valores inferiores pelo máximo período de tempo possível. Nas simulações apresentadas neste trabalho, admitiu-se que quando o volume de água do reservatório estivesse abaixo do volume de alerta, apenas o mínimo entre 50% da vazão regularizada desejada e o volume disponível acima da cota de volume morto é liberado. A Tabela 5 apresenta o período de

tempo de simulação com atendimento da vazão de emergência correspondente a 50% da vazão regularizada, que representa ganho na continuidade da regularização de vazão.

Tabela 4 – Vazões regularizadas pelo açude Orós associadas às garantias usualmente adotadas no Brasil de 90, 95 e 99%, calculadas para diferentes passos de simulação para um período de 75 anos, considerando quatro diferentes cenários: (a) sem volume de alerta; (b) com volume de alerta de 20% da capacidade máxima; (c) com volume de alerta de 30% da capacidade máxima; (d) com volume de alerta de 50% da capacidade máxima

Cenários	Garantia	Vazão (m ³ /s)			
		Simulação diária	Simulação mensal	Simulação semestral	Simulação anual
(a)	90	14,165	15,600	14,400	14,015
	95	12,207	13,200	12,111	11,367
	99	9,620	9,800	9,343	8,545
(b)	90	10,961	13,150	14,170	14,015
	95	9,442	10,350	11,625	11,367
	99	7,250	7,590	8,299	8,545
(c)	90	9,223	11,420	12,300	13,891
	95	7,726	8,250	9,447	10,043
	99	5,310	5,900	6,445	7,435
(d)	90	4,989	6,550	7,500	9,613
	95	3,420	3,950	4,780	4,783
	99	0,000	1,000	2,315	0,000

Tabela 5 – Período de tempo com atendimento da vazão de emergência no açude Orós nas simulações com garantias de 90, 95 e 99%, calculadas para diferentes passos de simulação para um período de 75 anos, considerando quatro diferentes cenários: (a) sem volume de alerta; (b) com volume de alerta de 20% da capacidade máxima; (c) com volume de alerta de 30% da capacidade máxima; (d) com volume de alerta de 50% da capacidade máxima

Cenários	Garantia	Tempo com liberação de vazão de emergência (%)			
		Simulação diária	Simulação mensal	Simulação semestral	Simulação anual
1	90	0,05	1,11	2,67	4,67
	95	0,05	0,67	2,33	2,33
	99	0,24	0,22	0,33	1,00
2	90	9,33	8,00	6,00	4,67
	95	4,82	4,89	2,33	2,33
	99	0,82	0,89	1,00	1,00
3	90	9,82	9,89	8,67	4,67
	95	4,82	4,89	5,00	5,00
	99	0,82	0,89	1,00	1,00
4	90	9,82	9,89	10,00	10,00
	95	4,82	4,89	5,00	5,00
	99	0,82	0,89	1,00	1,00

Conforme apresentado na Tabela 5, as simulações sem volume de alerta permitem a liberação de vazões de emergência durante um percentual muito pequeno de tempo. Por exemplo, na simulação com passo de tempo diário e garantia de 90%, em apenas 0,05% do tempo ocorre a liberação da vazão de emergência. Em outras palavras, em 9,95% do tempo o abastecimento hídrico é limitado a valores inferiores a 50% da vazão regularizada desejada, sendo a grande maioria dos dias sem nenhuma liberação. Nos cenários com volume de alerta, ao contrário, observa-se uma continuidade na liberação de vazões durante praticamente todo o período de falha correspondente a

10, 5 e 1% para as garantias de 90, 95 e 100%, respectivamente. Em se tratando de gestão de recursos hídricos, esta continuidade na liberação de vazões, mesmo com valores reduzidos, pode assegurar o abastecimento hídrico dos usuários durante períodos de seca, até a chegada do próximo inverno, que possivelmente permitirá o fornecimento integral da vazão regularizada desejada.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados de operação do reservatório Orós, pode-se concluir que a adoção de passos de simulação diferenciados (diário, mensal, semestral e anual) pode alterar significativamente os valores de garantia de oferta hídrica deste manancial. Especialmente para simulações sem volume de alerta, as curvas de garantia para simulações mensal e diária são bastante semelhantes, o que indica que o passo mensal já forneceria uma boa estimativa da curva de garantia do açude Orós. Para elevadas garantias, a vazão regularizada praticamente independe do intervalo de tempo da simulação. Neste caso, a adoção de passos de simulação menos precisos (semestral e anual) já é satisfatório para determinação da disponibilidade hídrica do Orós, podendo ser aplicados no cálculo de vazões regularizadas para atendimento de consumo humano com garantia de 99%. Essa constatação é particularmente importante para gestão do açude Orós, pois indica que uma estimativa da vazão regularizada com elevadas garantias pode ser obtida mesmo com esforços computacionais e de parametrização relativamente pequenos.

Os resultados mostraram ainda que a garantia de oferta hídrica do reservatório Orós em simulações com passos de tempo menos precisos (semestral e anual) é pouco afetada por mudanças no regime de operação, enquanto que em passos de simulação mais precisos (diário e mensal), as regras de operação definem a curva de garantia deste manancial. Conclui-se, portanto, que para se avaliar o impacto de regras de operação sobre a vazão regularizada faz-se necessário a adoção de passos de simulação mais precisos.

BIBLIOGRAFIA

ANA (2009). “*Sistema de Informações Hidrológicas – HIDROWEB*”. Agência Nacional de Águas. <http://hidroweb.ana.gov.br/>, acesso em maio de 2009.

ARAÚJO, J.C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. (2006). “*Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil*”. *Hydrological Sciences Journal*, 51(1): 157-170.

BRONSTERT, A.; BATALLA, R.J.; de ARAÚJO, J.C.; FRANCKE, T.; GÜNTNER, A.; MAMEDE, G.; MÜLLER, E.N. (2007). “*Investigating erosion and sediment transport from headwaters to catchments to reduce reservoir siltation in drylands*”, in *Reducing the vulnerability of societies to water related risks at the basin scale*. A. SCHUMANN & M. PAHLOW (Eds.), IAHS-Pub. 317, 119-122.

- CAMPOS, J.N.B. (1996). *“Dimensionamento de reservatórios: o método do diagrama triangular de regularização”*. Edições UFC, Fortaleza, CE.
- CEARÁ (1992). *“Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará”*. Secretaria de Recursos Hídricos, 3 volumes, Ceará.
- COSTA, A.C. (2007). *“Hidrologia de uma bacia experimental em Caatinga conservada no semi-árido Brasileiro”*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, Fortaleza-CE.
- DNMET (1992). *“Normais Climatológicas (1961 – 1990)”*. – Departamento Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária., Brasília-DF.
- FARIAS, J.A.M.; JOCA, E.L.L.; ARAÚJO, F.F.V.; MEDEIROS, P.H.A.; MOLINAS, P.A. (2005). *“Sinergia hídrica em sistemas integrados de reservatórios: Estudos de casos relacionados com a Transposição das Águas do rio São Francisco”*. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, PB.
- GÜNTNER, A.; KROL, M.; ARAÚJO, J.C.; BRONSTERT, A. (2004). *“Simple water balance modelling of surface reservoir systems in a large data-scarce semiarid region”*. Hydrological Sciences Journal, 49(5), 901-918.
- GÜNTNER, A.; BRONSTER, A. (2004). *“Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for large-scale hydrological modeling in semi-arid areas”*. Journal of Hydrology, 297, 136-161.
- MALVEIRA, V.T.C.; GÜNTNER, A.; ARAÚJO, J.C. (2007). *“Disponibilidade de água sob impacto da pequena açudagem: caso da bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, CE”*. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, SP.
- MAMEDE, G.L. (2008). *“Reservoir sedimentation in dryland catchments: modelling and management”*. Tese de doutorado, Instituto de Geoecologia, Universidade de Potsdam, Alemanha.
- MAMEDE, G.L.; de ARAÚJO, J.C.; MEDEIROS, P.H.A., BRONSTERT, A. (2008). *“Modelo hidrossedimentológico WASA-SED: aplicação para o semi-árido brasileiro”* VIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Campo Grande, MS.
- MUELLER, E.N.; GÜNTNER, A.; FRANCKE, T.; MAMEDE, G. (2008). *“Modelling water availability, sediment export and reservoir sedimentation in drylands with the WASA-SED Model”*. Geoscientific Model Development Discussions, 1(1), 285-314.
- PEREIRA, L. (2006). *“Estudo isotópico e hidroquímico das águas superficiais e subterrâneas no semi-árido cearense em área de preservação ecológica no município de Aiuaba”*. Tese de Doutorado, Departamento de Física, UFC, Fortaleza-CE.