



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

BALANÇO HÍDRICO E ESTIMATIVA DE VAZÃO AFLUENTE À RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO DO CEARÁ

Ticiania Fontoura Vidal¹; Alice Rocha de Souza²; Maria Patrícia Sales de Castro³; Jessyca Costa Barros⁴ & Karina Oliveira Chaves⁵

RESUMO – A vazão afluente de um reservatório precisa ser um parâmetro conhecido para que seja possível gerenciar a demanda de água de forma eficiente, a fim de permitir um equilíbrio entre a disponibilidade natural e a necessidade hídrica. Este tipo de situação configura uma utilização racional e garante um desenvolvimento autossustentado em nível de bacia hidrográfica. O objetivo desse trabalho foi realizar o balanço hídrico e estimar a afluência total de água ao açude Gavião/CE, durante a quadra chuvosa no ano de 2011. Os resultados mostraram vazões mensais em torno de 8,0 m³/s. A metodologia utilizada permitiu representar a variação hidrológica na bacia, como variação de volume, evaporação e retirada de água, podendo futuramente servir como fonte de dados para a realização de estimativas de cargas poluentes ao açude, aporte de nutrientes e/ou dados de entrada no equacionamento de modelagens matemáticas, tudo com o intuito de conservar a qualidade da água armazenada.

ABSTRACT– The inflow of a reservoir must be known to be able to control the demand for water in order to provide a balance between natural water availability and the need parameter. This situation constitutes a rational use and guarantees a self-sustained development in watershed level. The aim of this study was to perform the water balance and estimate the total inflow of water to the reservoir Gavião/CE, during the rainy season in 2011. Results showed monthly flows around 8.0 m³/s. The methodology allowed to represent the hydrological variability in the basin, as data of volume, evaporation and water output may eventually serve as a data source to perform estimates of

1) Mestre em Saneamento Ambiental e Doutoranda em Recursos Hídricos – Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, CEP- 60445-760, Bloco 713. Fortaleza – Ceará, ticianafvidal@yahoo.com.br

2) Mestre em Engenharia Sanitária e Doutoranda em Saneamento Ambiental – Universidade Federal do Ceará, alice@ifto.edu.br

3) Mestranda em Saneamento Ambiental – Universidade Federal do Ceará, patricia.sales@gmail.com

4) Mestranda em Saneamento Ambiental – Universidade Federal do Ceará, jessycacbarros@gmail.com

5) Mestre em Saneamento Ambiental e Doutoranda em Saneamento Ambiental – Universidade Federal do Ceará, karina.oliveira@ifce.edu.br

pollutant loads to the reservoir, contribution of nutrients and/or input in mathematical models, all with the aim of conserving the quality of the stored water.

Palavras-chave: vazão; balanço hídrico; semiárido.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas das regiões semiáridas do mundo é a irregularidade das chuvas conjuntamente com a ocorrência de elevadas temperaturas, ocasionando grandes deficiências hídricas (Teixeira *et al.*, 2000). A região nordeste do estado do Ceará é particularmente caracterizada pela irregularidade espaço-temporal do regime de chuvas, com a quase totalidade das precipitações concentrada em aproximadamente quatro meses do primeiro semestre, e pelo forte regime de insolação. Essas condições climáticas induzem a elevadas taxas de evaporação.

O aspecto mais marcante no regime climático da região nordestina é a alternância de duas estações: a chuvosa, que é chamada de inverno e, a estação seca, denominada de verão. De modo geral, o clima das bacias metropolitanas apresenta-se bastante homogêneo, as variações climáticas registradas são diretamente associadas ao regime pluviométrico e decorrem, fundamentalmente, da proximidade do litoral, quando os índices pluviométricos são mais elevados e as temperaturas mais estáveis e relevo acidentado (Feitosa e Manoel Filho, 2000).

A variabilidade temporal na região é caracterizada principalmente pela concentração das chuvas no primeiro semestre do ano, com a estação chuvosa estendendo-se, historicamente, de janeiro a junho. Os trimestres fevereiro-abril e março-maio respondem, geralmente, por 65 a 70% da precipitação anual. O principal período da estação chuvosa do semiárido do nordeste brasileiro é influenciado pelos oceanos tropicais e por fatores de circulação atmosférica de escala global e também regional (Collischonn, 2001).

Para se avaliar a disponibilidade de água em regiões semiáridas, onde o problema do déficit hídrico provoca grandes impactos sociais, é importante se efetuar a contabilidade de água computando-se, sistematicamente, todos os ganhos e perdas (Galvêncio, 2006). São considerados ganhos as contribuições devido à precipitação pluviométrica e, as perdas, as abstrações devido à evapotranspiração.

As águas que alimentam o açude Gavião são provenientes, principalmente, de um túnel-canal chamado Canal Riachão-Gavião. Além deste canal, outro afluente também precisa ser considerado, o Riacho Gavião, que vem de um conjunto de mananciais em série, composto pelos açudes Pacajus, Pacoti e Riachão. Por ser desconhecida, a vazão total afluente ao reservatório foi estimada (soma das vazões no Canal e no Riacho). Essa quantificação pode contribuir para proporcionar melhor

operação do reservatório, servindo como fonte de dados para futuros estudos, auxiliando nos planos de gerenciamento e revelando um melhor conhecimento da realidade climática da região estudada, que reflete a relação de pluviosidade com a evaporação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O açude Gavião apresenta dois pontos principais de entrada que alimentam o reservatório ao longo do ano, são eles: o Canal Riachão-Gavião e o Riacho Gavião. Logo, a afluência total ao açude, dá-se, de forma majoritária, pela soma das vazões destes dois afluentes.

A vazão do Canal Riachão-Gavião é regulada basicamente para manter a Estação de Tratamento de Água (ETA), que abastece a região metropolitana de Fortaleza. A vazão desse canal não varia significativamente durante o ano, geralmente entre 6,9 e 8,5 m³ s⁻¹. Sua capacidade total varia dentro de uma faixa muito estreita ao longo do ano, entre 88 e 100% (COGERH, dados não-publicados). Já a vazão do Riacho Gavião é, até então, desconhecida, sendo sua contribuição relevante apenas durante o período chuvoso na região (janeiro-maio).

A vazão de afluência ao açude através do Riacho é difícil de ser determinada já que ocorre durante poucos meses, além de ainda não se dispor de dados da morfometria do riacho para que esta vazão seja estimada.

Por esta razão, a vazão total afluente ao açude Gavião foi estimada a partir de um balanço hídrico, o qual considerou a alteração no volume armazenado do açude, obtido a partir das leituras diárias das cotas, das taxas de evaporação, do vertimento e da vazão liberada pela barragem.

Dados de cota-volume do açude Gavião foram usados a fim de se determinar a vazão total de entrada no açude (Vazão do Canal + Vazão do Riacho). Utilizou-se a seguinte equação matemática para estimar a vazão (Vollenweider, 2000):

$$V_{t+\Delta t} = V_t + I - E_t - S_t - R_t \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

$V_{t+\Delta t}$ - Volume no tempo atual (L³)

V_t - Volume no tempo anterior (L³)

I - Afluência total ao açude no tempo Δt (L³ T⁻¹)

E_t - Evaporação no açude no tempo Δt (L³ T⁻¹)

S_t - Vertimento (L³ T⁻¹)

R_t - Retirada (L³ T⁻¹)

Rearranjando a Eq. 1 acima, tem-se:

$$I = V_{t+\Delta t} - V_t + E_t + S_t + R_t \quad (\text{Eq. 2})$$

Considerando-se a variação de volume = $V_{t+\Delta t} - V_t = \Delta V$, obtém-se:

$$I = \Delta V + E_t + S_t + R_t \quad (\text{Eq. 3})$$

A Eq. 3 rege a afluência total, podendo ser utilizada para qualquer reservatório. No caso, quando aplicada ao açude Gavião, seu resultado expressa a soma das afluências do Riacho e Canal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A forma como cada termo da equação do balanço hídrico foi calculado é apresentada a seguir:

O termo variação de volume (ΔV) foi obtido a partir de dados diários, cedidos pela COGERH e transformados proporcionalmente em dados mensais, e a partir da tabela Cota X Volume ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$). Ver Figura 1.

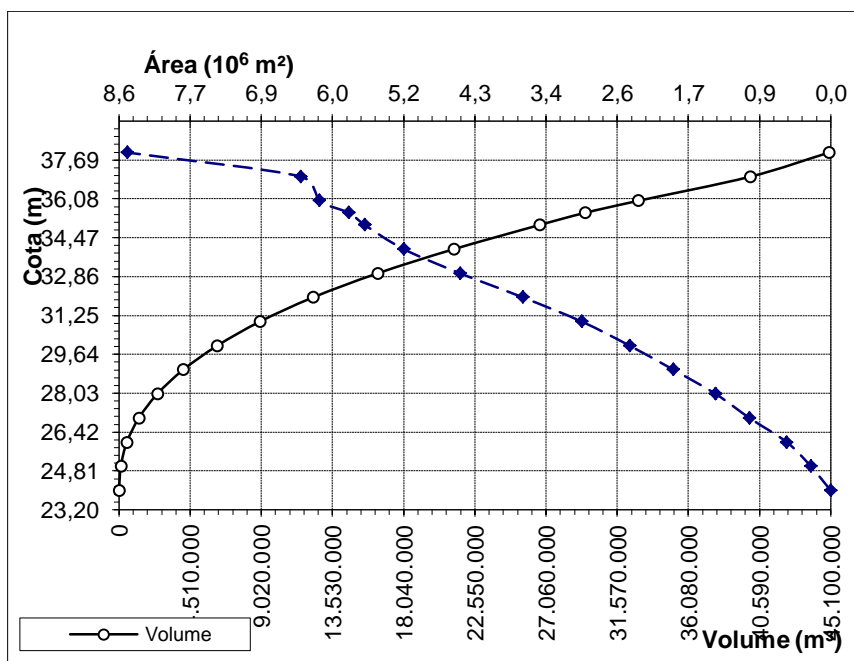


Figura 1 – Gráfico CAV - Cota x Área x Volume do açude Gavião /CE. (Fonte: COGERH, dados não publicados).

Os valores para a variação de volume foram apresentados na Tabela 1. A partir de dados de variação diária, foi calculado o $\Delta V = V_{t+\Delta t} - V_t$ e então transformados para dados mensais (média da

variação de volume por mês). O valor negativo no mês de março significa que as vazões nos dias anteriores foram maiores que no dia subsequente.

Tabela 1 – Variação de volume, considerando as variações mensais no açude Gavião/CE.

Mês	Variação de volume (m ³)
JAN	27039,80
FEV	10015,11
MAR	-2252,93
ABR	57585,04
MAI	4224,25

Os valores de evaporação (E_i) foram baseados nos dados médios mensais obtidos de 2000 a 2010 no açude Gavião. Ver Tabela 2.

Tabela 2 – Evaporação média no açude Gavião. Fonte: COGERH, dados não-publicados.

Mês	Vazão evaporada (m ³ /s)											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Média
JAN	0,232	0,258	0,257	0,261	0,261	0,258	0,259	0,264	0,262	0,262	0,264	0,258
FEV	0,197	0,226	0,225	0,228	0,230	0,228	0,229	0,231	0,222	0,231	0,232	0,225
MAR	0,143	0,156	0,156	0,168	0,165	0,156	0,157	0,158	0,158	0,160	0,160	0,158
ABR	0,151	0,166	0,166	0,172	0,162	0,161	0,163	0,164	0,165	0,173	0,165	0,164
MAI	0,136	0,147	0,151	0,153	0,148	0,148	0,155	0,150	0,150	0,158	0,150	0,150
JUN	0,192	0,211	0,211	0,213	0,214	0,211	0,218	0,215	0,214	0,217	0,215	0,212
JUL	0,244	0,256	0,253	0,265	0,258	0,256	0,261	0,260	0,259	0,259	0,262	0,258
AGO	0,325	0,327	0,324	0,341	0,328	0,328	0,334	0,330	0,332	0,332	0,333	0,330
SET	0,372	0,374	0,373	0,385	0,376	0,374	0,383	0,377	0,379	0,381	0,380	0,378
OUT	0,373	0,375	0,383	0,376	0,379	0,373	0,381	0,377	0,379	0,385	0,380	0,378
NOV	0,371	0,374	0,387	0,381	0,377	0,375	0,381	0,376	0,379	0,382	0,381	0,378
DEZ	0,332	0,332	0,336	0,342	0,334	0,333	0,338	0,336	0,336	0,340	0,338	0,336

Os valores utilizados foram as vazões médias evaporadas dos meses de janeiro a junho.

O termo vertimento no açude (S_i) foi estimado a partir de fórmula empírica, tendo como base a cota máxima de vertimento de 36,0 m:

Se cota < 36,0 m, o vertimento foi nulo (S = 0);

Se cota > 36,0, utilizou-se a fórmula de Poncelet e Lesbros:

$$S = C. L. (H - H_{\text{vert}})^{1,5} \quad (4)$$

No qual:

C - Coeficiente de vertimento (para vertedores retangulares = 1,77)

L - Largura do vertedouro ($L = 20,0$ m)

H - Cota atual

H_{vert} - Cota de vertimento ($H_{\text{vert}} = 36,0$ m)

Houve vertimento apenas no mês de março, com pequenas contribuições ao balanço, por isso foram desconsideradas.

O último termo da equação, retirada (R_r), foi obtido a partir de dados do volume de água captado pela ETA durante o período de estudo, já que a retirada de água que ocorre no açude é, basicamente, para o abastecimento da ETA-Gavião. Os dados são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Volume de água captado pela CAGECE (saída). Fonte: CAGECE, dados não-publicados.

Mês	Volume captado ($\text{m}^3/\text{mês}$)	Volume captado (m^3/dia)
JAN	19796739,73	659891,32
FEV	18243246,56	608108,22
MAR	21487632,00	716254,40
ABR	20118840,52	670628,02
MAI	20149137,04	671637,90

Com o uso da Eq. 3, o balanço hídrico do reservatório foi realizado. A partir dele, determinou-se uma estimativa da vazão afluyente total ao açude Gavião durante o período estudado. Os valores médios mensais estimados durante o período são apresentados na Figura 2.

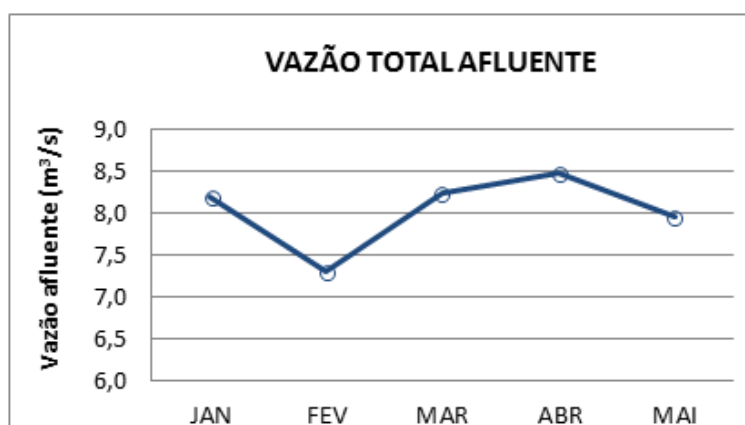


Figura 2 – Valores médios mensais da vazão afluyente estimada.

A vazão total afluyente no mês de janeiro e março foram bastante próximas, em torno de $8,20$ m^3/s . No mês de fevereiro foi encontrado o menor valor de vazão para a afluência do açude. Com estes dados, confirma-se que a variação da vazão ao longo dos meses encontra-se em uma faixa bem estreita.

CONCLUSÃO

O balanço hídrico nada mais é do que o computo das entradas e saídas de água de um sistema. Várias escalas espaciais foram consideradas para se contabilizar o balanço hídrico. As componentes do balanço hídrico foram estimadas em escalas mensais. A metodologia utilizada permitiu representar a variação hidrológica no reservatório e proporcionar estimativa de vazão total afluente, resultando em vazões que variaram entre 7,30 e 8,49 m³/s, com média de 8,0 m³/s. Estes dados servem como fonte de dados para futuros estudos, como estimativa da carga poluente ao açude, aporte de nutrientes, modelagens matemáticas e auxílio nos planos de gerenciamento, possibilitando um melhor conhecimento da realidade climática da região estudada.

BIBLIOGRAFIA

Ceará. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (CAGECE).

Ceará. Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (COGERH).

Collischonn, W.; Tucci, C.E.M.; Clarke, R. T. (2001) “*Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change?*” *Journal of Hydrology*, vol. 245, pp. 218-238.

Feitosa, A. C.; Manoel Filho, J. (2000). “*Hidrologia: conceitos e aplicações.*” 2ª ed. Fortaleza: CPRM.

Galvêncio, J. D.; Sousa F. de A. S. de; Srinivasan, V. S. (2006). “*Balanço Hídrico à Superfície da Bacia Hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa.*” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 11. n.3, pp.135-146.

Teixeira, A. H. de C.; Lopes, P. M. O.; Silva, V. de P. R. da; Sousa, J. S. de. (2000). “*Balanço hídrico climático de Juazeiro – BA*” in Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro.

Vollenweider, R. A. (2000). “*Avaliação do balanço de massa*” in *Diretrizes para o gerenciamento de lagos*. Jørgensen, S. E.; Wollenweider, R. A. São Carlos: ILEC, vol. 1, pp. 43-57.