

Impacto do Uso de Vazões Naturais em Estudos Hidrológicos

Fernanda A. Oliveira, Eloy L. de Melo, Juliana C. Figueiredo, Fernando F. Pruski, Renata del G. Rodriguez

Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa (UFV)

abreu.fernanda@uol.com.br, eloymello@yahoo.com.br, jcapitu@yahoo.com.br, fffpruski@ufv.br, rdgrodriquez@gprh.ufv.br

Recebido: 13/04/07 – revisado: 26/05/08 – aceito: 03/09/08

RESUMO

Expressivo esforço tem sido dedicado, na atualidade, à reconstituição de séries de vazões naturais. A vazão natural é obtida adicionando à vazão observada as vazões consumidas. Na bacia do Paracatu, o efeito das ações antrópicas promoveu o crescimento do consumo de água cerca de 11 vezes, nos últimos 27 anos. O objetivo do presente trabalho é avaliar o impacto do uso das vazões naturais em substituição às vazões observadas em algumas seções da bacia do Paracatu, para fins de estudos hidrológicos. Foram analisados os dados de vazão observada e natural de 21 estações fluviométricas para o período-base de 1976 a 2000. O impacto do uso de vazões naturais foi estimado para as vazões máxima, média de longa duração e mínimas ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}). Esse impacto está expresso neste trabalho como Δ (delta). Foi calculado o grau de correlação entre a área de drenagem da seção e seu respectivo delta. Foi avaliado o comportamento do delta frente à magnitude da vazão natural. Nas análises estatísticas foi utilizado o teste t de Student ($\alpha = 5\%$). O valor médio de Δ para a Q_{max} , Q_{mld} , Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$ foi, respectivamente, de 0,01%, 0,66%, 4,26%, 5,45% e 5,76%. Todos os impactos foram considerados estatisticamente significativos a 5%. Os tipos de vazão de maior magnitude corresponderam aos menores valores de delta. Houve diferença estatística entre os deltas das vazões mínimas, média de longa duração e máxima. Não se constatou relação linear significativa entre o tamanho da área de drenagem e a magnitude do delta. O comportamento de delta em função da vazão natural seguiu um modelo potencial, com declividade negativa, apresentando um alto R^2 (0,9842). Para fins de estudos hidrológicos na bacia do Paracatu, não constitui preocupação o uso das vazões naturais para a estimativa das vazões máximas e médias de longa duração; já no caso das vazões mínimas, deve-se ter certo cuidado, já que o impacto foi um pouco mais expressivo.

Palavras-chave: Recursos hídricos, ações antrópicas, vazão natural.

INTRODUÇÃO

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), bem como outras instituições envolvidas no planejamento e gestão de recursos hídricos, têm dedicado grande atenção à reconstituição de séries de vazões naturais. Vazão natural é o termo utilizado pelo setor elétrico para identificar a vazão que ocorreria em uma seção de rio se não houvesse as ações antrópicas de uso consuntivo e regularizações na sua bacia contribuinte (ONS e Rodriguez, 2003). O ONS a considera fundamental para o planejamento de recursos hídricos, uma vez que permite representar as condições naturais existentes na bacia.

A literatura técnica acerca das vazões naturais é ainda escassa; e de ser este um assunto de preocupação recente, é de grande relevância dar início ao desenvolvimento de estudos científicos que enfoquem o impacto do uso das vazões naturais em estudos hidrológicos. Neste sentido, o presente tra-

balho constitui uma iniciativa para a realização de tais estudos que visa contribuir para o gerenciamento dos recursos hídricos.

A bacia do Paracatu, que está localizada no trecho médio do São Francisco, corta os Estados de Minas Gerais e de Goiás e o Distrito Federal. A sua área de drenagem possui 45.600 km², dos quais 92% estão no polígono mineiro (Ferreira e Euclides, 1997). A importância dessa bacia se deve ao fato de que o seu maior rio, o Paracatu, é o maior afluente do São Francisco, contribuindo com cerca de 40% da vazão do São Francisco no ponto de intersecção desses dois rios (Brasil, 1996, citado por Rodriguez, 2004).

A interferência humana, seja por meio de ações consuntivas ou não consuntivas, pode alterar o regime hidrológico. A década de setenta do século passado foi marcada pelo início da aplicação de incentivos governamentais na bacia do Paracatu, devido, principalmente, ao clima seco da região, que restringiu o avanço da exploração agropecuária.

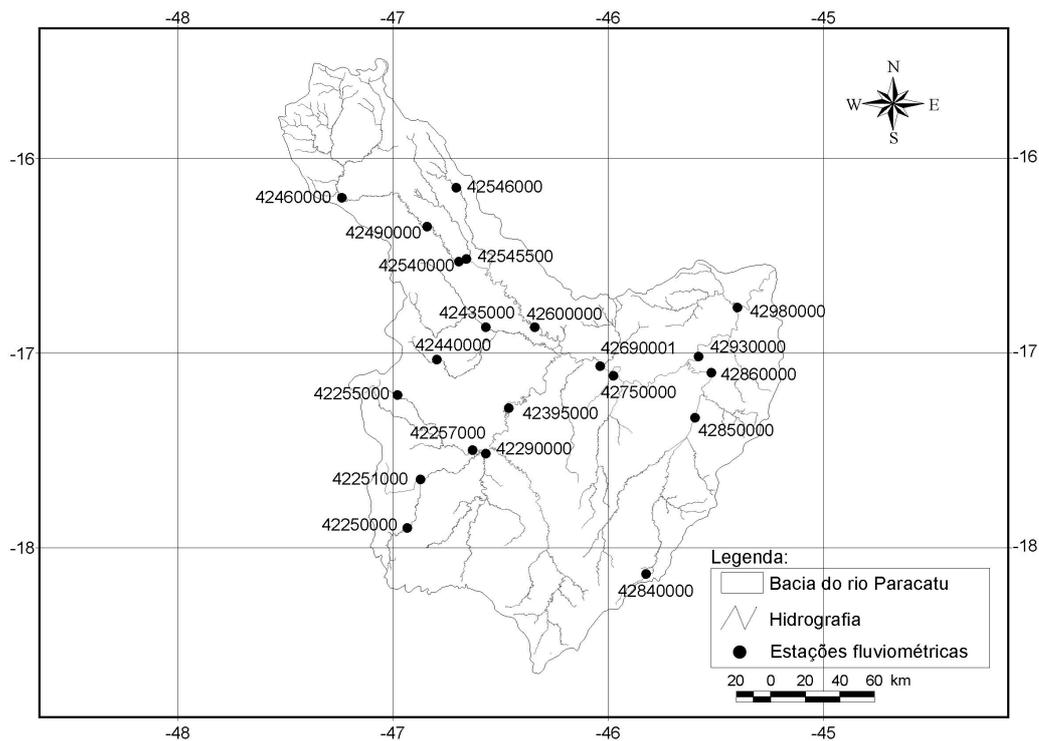


Figura 1 - Localização das estações fluviométricas na bacia do Paracatu.

Naquela época, o principal uso de água na bacia estava destinado ao abastecimento animal, que respondia por 63% do total. A construção dos canais de irrigação na região modificou o quadro de consumo de água, sendo que no ano de 1996 a irrigação passou a representar 87% da vazão de consumo da bacia. Devido ao desenvolvimento da região, o consumo de água aumentou 11 vezes em 27 anos (Rodríguez, 2004), e a irrigação, atualmente, requer uma demanda de água de até $0,50 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (Rodríguez, 2006). Este consumo tem forte tendência a seguir aumentando, devido às crescentes demandas de alimento e de infra-estrutura na região.

Os estudos hidrológicos contemplam o cálculo de diferentes tipos de vazão. A vazão máxima está associada às condições de inundação do local e é utilizada no dimensionamento de obras hidráulicas. A vazão média de longa duração permite quantificar a disponibilidade de água na bacia e calcular o volume de regularização. Já a vazão mínima é utilizada na avaliação da disponibilidade hídrica, na elaboração de projetos de irrigação e de energia elétrica e concessão de uso da água para uma dada finalidade (Pruski et al., 2006).

O presente trabalho tem como objetivo estudar o impacto do uso de vazões naturais em rela-

ção às vazões observadas, em 21 seções da bacia do Paracatu, para fins de estudos hidrológicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram escolhidas para o presente estudo 21 estações fluviométricas situadas na bacia do Paracatu (Figura 1), pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional das Águas (ANA). Foi utilizada uma série histórica de 25 anos (período-base de 1976 a 2000) com dados de vazões diárias.

As vazões naturais foram estimadas pela equação

$$Q_{\text{nat}} = Q_{\text{obs}} + Q_{\text{consumo}} \quad (1)$$

em que

$$\begin{aligned} Q_{\text{nat}} &= \text{vazão natural } (\text{m}^3 \text{ s}^{-1}); \\ Q_{\text{obs}} &= \text{vazão observada } (\text{m}^3 \text{ s}^{-1}); \\ Q_{\text{consumo}} &= \text{vazão de consumo } (\text{m}^3 \text{ s}^{-1}). \end{aligned}$$

Para a obtenção da vazão de consumo foi utilizada a metodologia apresentada por Rodriguez et al. (2006), cuja sua estimativa foi definida para quatro segmentos de usuário: irrigação, abastecimento animal e abastecimento humano, urbano e rural. Essa metodologia foi também utilizada no trabalho de reconstituição de vazões naturais desenvolvido pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico. A estimativa da vazão natural deve ser igual ou superior a da vazão observada em qualquer situação, já que ela resulta de uma adição onde nenhum dos seus fatores pode adquirir valor negativo.

O *software* Siscah – versão beta - (Sistema Computacional de Análise Hidrológica), desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), que pode ser obtido no site www.ufv.br/dea/gprh, foi utilizado para estimar as vazões máxima, média de longa duração e mínima (Souza et al., 2007). Foram utilizados três índices para representar as vazões mínimas: $Q_{7,10}$; Q_{95} e Q_{90} .

A vazão máxima foi ajustada à função de distribuição de probabilidade de Gumbel (Haan, 1977), considerado período de retorno de 100 anos; já a vazão mínima $Q_{7,10}$ foi ajustada à função Log-normal tipo III e Logpearson tipo III. Os índices Q_{95} e Q_{90} foram obtidos a partir da curva de permanência, utilizando análise de frequência com 50 classes. As estimativas de vazão natural e observada serviram de base para o cálculo de um índice que permite estimar o impacto do uso de vazões naturais em substituição às vazões observadas. Esse índice é caracterizado neste trabalho como delta (Δ), sendo expresso pela equação

$$\Delta(\%) = \left(\frac{Q_{nat} - Q_{obs}}{Q_{nat}} \right) 100 \quad (2)$$

em que

$\Delta(\%)$ = delta;

Q_{nat} = vazão natural (m^3s^{-1});

Q_{obs} = vazão observada (m^3s^{-1}).

A análise do impacto do uso das vazões naturais em substituição às vazões observadas foi realizada para as vazões máxima, média de longa duração e mínimas. A escolha desses tipos de vazão se deve à sua importância em qualquer estudo hidrológico.

No intuito de verificar o grau de correlação entre o valor do delta e o tamanho da área de drenagem das seções da bacia do Paracatu, calculou-se o coeficiente de Pearson entre essas variáveis.

Foi realizada a análise estatística descritiva para os deltas calculados. Em relação às análises de inferência, foi verificada a significância do delta para cada tipo de vazão por meio do teste t pareado, o qual comparou vazões naturais e vazões observadas. O teste t de Student foi utilizado para comparar as médias dos deltas dos diferentes tipos de vazão. Por último, foi testada a significância dos graus de correlação pelo teste t de Student. Adotou-se em todos os testes um nível de significância de 5%.

Como forma de avaliar o comportamento do delta frente à magnitude da vazão natural, foi construído um gráfico, ajustando um modelo. Foram utilizados como pontos desta curva as seguintes vazões: máxima, média de longa duração, vazões mínimas ($Q_{7,10}$; Q_{95} e Q_{90}) e quatro vazões da curva de permanência (Q_{80} , Q_{70} , Q_{60} e Q_{50}).

Como forma de avaliar o comportamento do delta frente à magnitude da vazão natural, foi construído um gráfico, ajustando um modelo. Foram utilizados como pontos desta curva as seguintes vazões: máxima, média de longa duração, vazões mínimas ($Q_{7,10}$; Q_{95} e Q_{90}) e quatro vazões da curva de permanência (Q_{80} , Q_{70} , Q_{60} e Q_{50}).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores dos deltas calculados para cada tipo de vazão em cada estação fluviométrica. No caso das vazões máximas, o impacto é inexpressivo para fins de utilização em estudos hidrológicos, sendo que sete estações apresentaram deltas iguais a 0,00%. A média desse impacto foi de 0,01%, atingindo o máximo de 0,04% (estação 42257000) e o mínimo de -0,01% (estação 42460000). Somente uma estação apresentou o valor de delta negativo, mostrando que, neste caso específico, a vazão natural máxima ajustada foi inferior a observada. Esse comportamento não era esperado, já que a vazão natural é sempre igual ou superior a observada. No entanto, a partir da análise dos dados originais, pode-se evidenciar que este comportamento está associado ao ajuste da função de distribuição utilizada. Analisando o modelo de Gumbel (Haan, 1977) e considerando um mesmo período de retorno e número de dados para as vazões naturais e observadas, a explicação desse resultado atípico se focaliza no desvio-padrão das vazões naturais e observadas. Nesse caso, o desvio-padrão das vazões observadas ($159,77 m^3 s^{-1}$) foi ligeiramente superior ao das vazões naturais ($159,72 m^3 s^{-1}$), o que explica um maior valor ajustado para as vazões observadas.

O impacto do uso das vazões naturais máximas em estudos hidrológicos foi considerado significativo estatisticamente ($\alpha = 5\%$). A estatística utilizada para comprovar a significância desse impacto, ou seja, do delta, mostrou que mesmo os va-

Tabela 1 - Valores de delta para os cinco tipos de vazão estudadas, graus de correlação entre a área de drenagem (Ad) e o delta e resultados estatísticos

Estações	Ad (km ²)	Q max	Qmld	Q ₉₀	Q ₉₅	Q _{7,10}
42250000	470	0,01%	0,31%	2,60%	0,63%	3,61%
42251000	1840	0,01%	0,49%	3,96%	5,50%	8,49%
42255000	257	0,00%	0,85%	3,37%	3,55%	6,25%
42257000	2013	0,04%	0,92%	4,43%	6,89%	7,30%
42290000	7720	0,01%	0,63%	3,42%	4,56%	5,13%
42395000	12880	0,02%	0,48%	3,27%	4,83%	4,99%
42435000	1594	0,01%	1,11%	10,74%	16,50%	8,64%
42440000	533	0,00%	0,59%	3,83%	6,07%	6,31%
42460000	4250	-0,01%	0,60%	1,68%	2,88%	3,32%
42490000	5770	0,01%	0,76%	2,97%	3,91%	4,84%
42540000	5840	0,01%	0,71%	4,46%	2,92%	3,20%
42545500	704	0,00%	0,81%	6,67%	9,18%	4,56%
42546000	503	0,00%	0,90%	6,65%	4,26%	4,64%
42600000	9370	0,01%	0,68%	4,50%	4,22%	4,74%
42690001	29060	0,02%	0,75%	4,52%	7,05%	6,64%
42750000	30230	0,02%	0,71%	4,51%	4,87%	5,13%
42840000	190	0,00%	0,31%	1,33%	3,08%	2,74%
42850000	4350	0,00%	0,35%	4,59%	5,55%	8,38%
42860000	5660	0,00%	0,63%	4,19%	6,89%	10,45%
42930000	39640	0,01%	0,67%	3,77%	5,10%	5,62%
42980000	40300	0,01%	0,64%	4,09%	6,06%	5,95%
Média		0,01% * d	0,66% * c	4,26% * b	5,45% * a,b	5,76% * a
C.V.(%)		116,19	30,62	45,87	57,43	34,86
Máximo		0,04%	1,11%	10,74%	16,50%	10,45%
Mínimo		-0,01%	0,31%	1,33%	0,63%	2,74%
Correlação: Δ e Ad		0,28 ^{NS}	0,02 ^{NS}	-0,07 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,00 ^{NS}

Q_{max} = vazão máxima

Q_{mld} = vazão média de longa duração

C.V. = coeficiente de variação

* Significativo ao nível de 5% pelo teste t de Student

NS - Não significativo ao nível de 5% pelo teste t de Student

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste t de Student ($\alpha = 5\%$)

lores próximos a zero (delta médio das vazões máximas foi de 0,01%) foram considerados significativos. Isso se deve à paridade entre os desvios-padrões das vazões naturais e das observadas, que faz com que o valor de t calculado se eleve e, conseqüentemente, reduza, a baixos níveis, a probabilidade de aceitação da hipótese nula.

As vazões médias de longa duração mostraram ser mais suscetíveis às alterações antrópicas que as vazões máximas. O seu delta médio foi de 0,66%, com um coeficiente de variação de 30%, aproximadamente. A análise estatística mostra que o impacto do uso das vazões naturais de média longa duração também foi significativo ao nível de 5%, sendo que

os desvios-padrões das vazões naturais e observadas também apresentaram a mesma paridade observada para o caso das vazões máximas.

No entanto, para fins de estudos hidrológicos, as magnitudes dos deltas, tanto daqueles observados nas vazões máximas quanto nas médias de longa duração, não devem gerar grandes preocupações quando da utilização das vazões naturais na estimativa destes tipos de vazão.

As vazões mínimas, de uma maneira geral, foram aquelas que apresentaram o maior impacto quando do uso das vazões naturais. Sabe-se que a Q_{7,10} é a mais restritiva dentre as três apresentadas, com os menores valores de vazão; já a Q₉₅ é mais res-

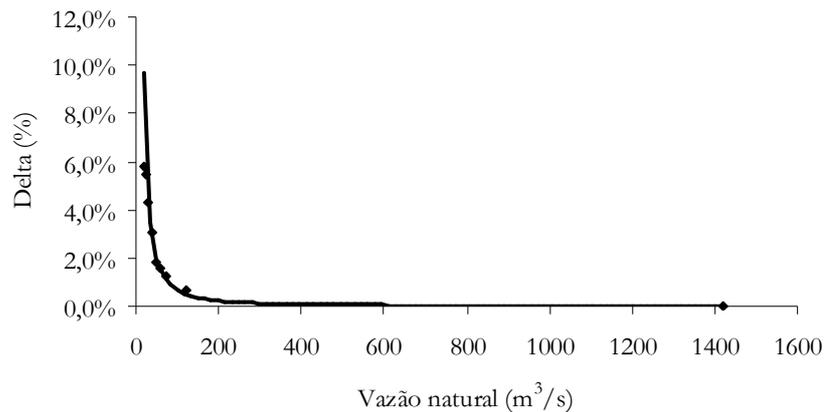


Figura 2 - Comportamento do delta frente à magnitude da vazão natural.

tritiva que a Q_{90} . A vazão mínima $Q_{7,10}$ teve o maior valor de delta (5,76%) dentre todas as outras estudadas, mostrando que o impacto do uso de vazões naturais é mais expressivo quando do uso dessa vazão. Já a Q_{95} apresentou um delta médio de 5,45% e a Q_{90} de 4,26%. A variação dos deltas foi de 35 a 57% entre as estações estudadas. Os deltas desses três índices foram também considerados significativos estatisticamente e foram bem mais expressivos que os das vazões máxima e média de longa duração, mostrando que as vazões mínimas são mais suscetíveis a sofrerem reduções quando ocorre a interferência humana no meio ambiente.

Na comparação estatística entre as médias dos deltas dos cinco tipos de vazão, pode-se observar que o impacto gerado pelo uso das vazões naturais da $Q_{7,10}$ não diferiu estatisticamente daquele observado na Q_{95} ; mas foi superior e, portanto, diferente de todos os outros impactos analisados. Já o delta da Q_{95} não diferiu também do da Q_{90} , porém se distinguiu dos da média de longa duração e da máxima. As vazões média de longa duração e máxima possuem deltas que diferenciam entre si e de quaisquer outros estudados. De uma maneira geral, pode-se dizer que as vazões mínimas sofreram os maiores impactos; a média de longa duração, um impacto intermediário, porém bem reduzido; e a máxima, o menor deles, sendo evidenciada diferença estatística entre o impacto das vazões mínimas, média de longa duração e máxima.

Os graus de correlação observados na Tabela 1 são todos muito baixos, variando de 0,28 a -0,07. De acordo com a análise estatística realizada,

infe-re-se que não existe relação linear entre o tamanho da área de drenagem e a magnitude do delta, já que todos os coeficientes foram considerados não significativos. Portanto, não se pode associar a intensidade do impacto do uso das vazões naturais com o tamanho das bacias hidrográficas.

De maneira geral, nota-se que os tipos de vazão de maior magnitude conduziram a valores menores de delta. Pela Tabela 1 é possível verificar que os menores valores de delta de cada estação corresponderam sempre à vazão máxima e que os maiores às vazões mínimas. Houve um aumento gradual dos deltas em função da redução da magnitude da vazão. O comportamento do delta, em função da vazão natural, segue um modelo potencial não se enquadrando em uma regressão linear (Figura 2). A equação gerada apresentou um bom ajuste dos dados, com um coeficiente de determinação de 0,9842 e declividade negativa, conforme evidenciada na equação

$$\Delta(\%) = (7,8218 Q_{\text{nat}}^{-1,5375}) 100 \quad (3)$$

Os deltas obtidos foram todos inferiores a 10%. Em estudos hidrológicos, é comum que dados de vazão estejam associados a alguns tipos de incertezas, seja pela medida indireta da vazão ou pelo uso de modelos matemáticos não adequados. Desta forma, com base nos resultados obtidos para a bacia do Paracatu, considera-se que não constitui preocupação o uso das vazões naturais para a estimativa das vazões máximas e médias de longa

duração; já no caso das vazões mínimas, deve-se ter certo cuidado quando do uso das vazões naturais, já que o impacto observado foi um pouco mais expressivo.

Em relação ao deslocamento do delta ao longo do tempo, pode-se esperar que o mesmo cresça à medida que o aumento do consumo de água se concretize e se intensifique.

CONCLUSÕES

O impacto do uso das vazões naturais em substituição às vazões observadas foi considerado significativo estatisticamente quando se estimou as vazões máxima, média de longa duração e mínimas.

Para fins de utilização hidrológica, esses impactos verificados podem ser considerados inexpressivos para a estimativa das vazões máxima e média de longa duração e pouco expressivos para a estimativa das vazões mínimas.

Não há uma relação linear entre a magnitude do impacto e a área de drenagem das sub-bacias hidrográficas estudadas.

O comportamento do impacto do uso das vazões naturais frente à magnitude da vazão natural segue uma função potencial negativa.

REFERÊNCIAS

- FERREIRA, P.A.; EUCLYDES, H.P. Recursos hídricos e tecnologia necessária aos projetos hidroagrícolas: bacia do Paracatu. Viçosa, MG: UFV/DEA, 1997. 200 p.
- HAAN, C.T. Statistical methods in hydrology. Iowa, Iowa State University, 1977. 378 p.
- ONS, Operadora Nacional do Sistema Elétrico; FAHMA/DREER; RODRIGUEZ, R. del G. Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água nas principais bacias do sistema interligado nacional - Metodologia e resultados consolidados. Brasília: Operadora Nacional do Sistema Elétrico - Consórcio FAHMA/DREER, 2003. v. 1. 209 p.
- PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.da; KOETZ, M. Estudo da vazão em cursos d'água. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa. 2006. 151 p. (Caderno didático 43).
- RODRIGUEZ, R. del G. Metodologia para a estimativa das demandas e disponibilidades hídricas: estudo de caso da bacia do Paracatu. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 94 p. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- RODRIGUEZ, R. del G.; PRUSKI, F.F.; NOVAES, L.F. de; SILVA, D.D. da; RAMOS, M.M.; TEIXEIRA, A.F. Vazões consumidas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano (urbano e rural) na bacia do Paracatu no período de 1970 a 1996. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 223 - 234, jul/set 2006.
- SOUSA, H.T.; PRUSKI, F.F.; BOF, L.H.; CECON, P.R.; SOUSA, J.R.C. SisCAH 1.0: Sistema Computacional para Análises Hidrológicas. Viçosa, MG, 2007. 65p.

Impact of the Use of Natural Discharges in Hydrologic Studies

ABSTRACT

A major effort has been dedicated to the reconstitution of natural discharges. The natural discharge is the sum of the consumed discharges and the observed ones. The effect of anthropic actions in the Paracatu basin increased water consumption about 11 times in the last 27 years. This study was undertaken to evaluate the impact of the use of natural discharges to substitute the observed ones in different sections of Paracatu basin. The data of the observed and natural discharges of 21 rivergaging stations from 1976 to 2000 were analyzed. The impact of the use of the natural discharges was estimated to the maximum (Q_{max}), the medium of long duration (Q_{mld}) and the minimums discharges ($Q_{7,10}$, Q_{95} and Q_{90}) by using an index, characterized in this study as Δ (delta). The correlation between the drainage area of each section and its respective delta was calculated. The delta behavior was analyzed using a graphic, according to the values of the natural discharges. The statistical analysis used the Student t test ($\alpha = 5\%$). The mean value of the Δ for Q_{max} , Q_{mld} , Q_{90} , Q_{95} and $Q_{7,10}$ was, respectively, 0.01%, 0.66%, 4.26%, 5.45% and 5.76%. All these deltas were considered significant ($\alpha = 5\%$). The highest values of discharges led to the lowest values of delta. The deltas of the maximum, medium of long duration and minimums discharges were statistically different. The correlation between the drainage area and the delta was not significant. The delta behavior according to the values of the natural discharges followed a potential model with negative declivity at a high R^2 (0.9842). For the purpose of hydrologic studies of the Paracatu basin, the use of natural discharges in the case of the maximum and medium of long duration is not a concern,

but in the case of the minimum discharges, it is recommended to take some precautions.

Key-words: Water resources; anthropic actions; natural discharge.