

## Análise do comportamento hidrológico do rio Japarutuba a partir de distribuições de probabilidade e curva de permanência de vazões

*Marcus Aurélio Soares Cruz<sup>1</sup>*

A bacia hidrográfica constitui-se, legalmente, na unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos no Brasil, estabelecida como um sistema "fechado" de balanço dos processos constituintes do ciclo hidrológico. Assim sendo, a avaliação das alterações sobre esses processos decorrentes de intervenções humanas no uso e cobertura do solo e/ou de mudanças de clima, em uma determinada região, deve considerar a bacia como o espaço geográfico de ação. Um instrumento para esta avaliação é constituído pela análise do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica por meio de suas séries históricas de vazão. Este procedimento permite a avaliação da disponibilidade hídrica e a detecção de mudanças no regime hidrológico significativas em longos períodos, que, por sua vez, fornecem elementos indispensáveis ao processo de gestão dos recursos hídricos associado aos usos múltiplos da água, como irrigação, abastecimento público e geração de energia hidroelétrica.

Os registros diários de vazões, na maioria dos rios brasileiros, são obtidos por operadores mediante leituras de níveis d'água em réguas instaladas em uma seção transversal do rio. Essa seção deve estar localizada em ponto de fácil acesso, sem influência de remanso, com leito estável e em

trecho retilíneo de preferência (TUCCI, 1993). A partir dos valores de níveis d'água registrados, são obtidas as vazões correspondentes por meio de uma curva que relaciona a altura de lâmina d'água à vazão, denominada curva-chave. Os dados de vazão das séries históricas submetidos a ajustes de funções de probabilidade e análises estatísticas fornecem vazões de referência e curvas de permanência que se caracterizam por possibilitar a determinação dos limites de vazões de retirada outorgadas para atendimento aos usos múltiplos da água de um corpo hídrico (LANNA, 1993).

A bacia do Rio Japarutuba possui um baixo potencial hídrico, no entanto se caracteriza como estratégica para o Estado de Sergipe por estar situada completamente dentro do território sergipano e abrigar atividades econômicas importantes, como a extração de petróleo, gás e potássio e o cultivo de cana-de-açúcar. Tais atividades têm provocado alterações nos usos da terra e, conseqüentemente, nos regimes hidrológicos dos corpos hídricos locais. Este estudo objetivou contribuir para o entendimento do comportamento hidrológico do Rio Japarutuba por meio da análise estatística de registros diários provenientes de um posto fluviométrico de série histórica com 37 anos.

<sup>1</sup>Pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Av. Beira Mar, 3250, C.P. 44, Jardins, Aracaju, SE. CEP: 49025-040. E-mail: mascruz@cpac.embrapa.br.

## Materiais e Método

O estudo foi desenvolvido na bacia do Rio Japaratuba, em Sergipe, que se constitui na menor bacia em extensão territorial das seis principais, com cerca de 1.700 km<sup>2</sup>, o que representa aproximadamente 7,8% da área do estado, estando totalmente contida pelos limites deste. O Rio Japaratuba tem aproximadamente 92 km de extensão, nasce na Serra da Boa Vista, na divisa entre os municípios de Feira Nova e Gracho Cardoso, e deságua no Oceano Atlântico, no Município de Pirambu (JICA/SEPLANTEC, 2000). Seus principais afluentes são os rios Japaratuba-Mirim, pela margem esquerda, e Siriri, pela direita. A população residente na área da bacia é de aproximadamente 92.200 habitantes (representando 5,6% da população do estado), dos quais 61% moram nas áreas urbanas de municípios como Capela, Japaratuba, Carmópolis, Rosário do Catete e Siriri, entre outros.

A bacia do Rio Japaratuba localiza-se entre os paralelos 10°13' e 10°47' de latitude sul e os meridianos 36°49' e 37°19' de longitude oeste. Esta localização propicia a ocorrência de um clima tropical, apresentando as variações úmido, sub-úmido e semiárido, onde as temperaturas são elevadas durante todo o ano, com médias térmicas anuais em torno de 24° C (SEMARH, 2009). Segundo a classificação climática de Köppen, há a predominância do clima tropical com estação seca de verão (As), com período chuvoso compreendido entre abril e agosto, concentrado nos meses de maio, junho e julho. A precipitação pluvial na bacia apresenta valores anuais médios de 1.270 mm, com cerca de 900 mm ano<sup>-1</sup> na sua porção extrema noroeste e 1.500 mm ano<sup>-1</sup> próximo à sua foz.

Apesar da sua baixa disponibilidade hídrica, os usos múltiplos da água superficial apresentam-se intensos na bacia, destacando-se o uso da água para atividades de exploração mineral, principalmente petróleo, gás e potássio, de abastecimento humano e de irrigação. Segundo Pantaleão (2006), a exploração de petróleo na bacia, que se constitui no maior campo petrolífero terrestre do País, o campo de Carmópolis, com mais de 150 km<sup>2</sup> e 1.200 poços, faz uso da porção inferior do Rio Japaratuba para o despejo das águas residuárias do processo de exploração, causando alterações significativas na biota do rio, resultado da presença de metais pesados na água e no sedimento. A poluição das águas por efluentes urbanos é observada nas proximidades dos municípios de Japaratuba, Capela e Nossa Senhora das Dores, com predominância de esgotos domésticos não-tratados. O uso agrícola na bacia está concentrado na produção de cana-de-açúcar, próximo à planície aluvial do rio, e em pastagens, estas espalhadas ao longo de toda a bacia. Estas atividades têm provocado a remoção significativa da mata ciliar, contribuindo para a aceleração dos processos erosivos e para o assoreamento

dos leitos dos rios. A mata ciliar no Rio Japaratuba encontra-se atualmente reduzida a aproximadamente 1% do que a legislação ambiental determina como adequado, chegando a 0,14% no seu principal afluente, o Rio Japaratuba-Mirim (ROCHA et al., 2009).

O monitoramento de vazões no Rio Japaratuba é realizado, atualmente, em um posto fluviométrico denominado JAPARATUBA, sob o código 50040000, localizado no município de mesmo nome nas coordenadas 36°57' W e 10°35' S, com área de contribuição de 750 km<sup>2</sup>. Este posto é mantido pela Agência Nacional de Águas (ANA), que disponibiliza os dados diários em seu portal HidroWeb (ANA, 2009). A série histórica disponível inicia-se em 1969, totalizando 40 anos de registros, com falhas em alguns anos.

Os dados obtidos em formato ASCII foram submetidos a análises de consistência e exploratória, em que foram descartados os anos com elevada incidência de falhas e com erros grosseiros. A análise de consistência foi realizada por meio da plotagem dos registros em gráficos de *vazão x tempo* e *precipitação média x tempo*, supondo-se uma confiabilidade maior dos dados de chuva médios. A análise exploratória foi executada por meio da determinação de parâmetros estatísticos de medida de tendência central (média e mediana) e de dispersão (desvio padrão, quartis, coeficiente de assimetria e de variação). Para esta tarefa, foi desenvolvido um programa em linguagem FORTRAN 90 associado a uma planilha de cálculo.

Selecionados os dados consistentes, foram aplicadas técnicas de ajuste de distribuições estatísticas e determinação de curvas de permanência de vazões para a avaliação do comportamento hidrológico do rio. Foram selecionadas as distribuições de Weibull (TUCCI, 1993), para o ajuste de valores mínimos, e Gumbel (Lanna, 1993), para valores máximos. Foi realizada a verificação do ajuste das distribuições por meio do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KIRKMAN, 2009). A plotagem dos dados observados seguiu a fórmula de Cunnane (Tucci, 1993). A curva de permanência foi obtida por meio da metodologia empírica que consiste na ordenação de valores e plotagem em gráfico contra a função de probabilidade (TUCCI, 1993):

$$F = \frac{i}{n+1} \cdot 100$$

em que  $i$  é a posição da ordem (1 ... n) e  $n$  é o tamanho da amostra.

A partir das funções ajustadas, foram obtidos valores de referência para a seção de medição no Rio Japaratuba, tais como:  $Q_{7,10}$  – vazão mínima com duração de 7 dias e período de retorno de 10 anos;  $Q_{med}$  – vazão média de

longo período;  $Q_{50}$  – vazão com 50% de permanência na série;  $Q_{90}$  – vazão com 90% de permanência na série;  $Q_{95}$  – vazão com 95% de permanência na série;  $Q_{2TR}$  – vazão máxima com 2 anos de tempo de retorno;  $Q_{10TR}$  – vazão máxima com 10 anos de tempo de retorno; e  $Q_{100TR}$  – vazão máxima com 100 anos de tempo de retorno.

Essas vazões de referência foram selecionadas por serem utilizadas frequentemente em processos de gestão dos recursos hídricos no Brasil, envolvendo vazões ecológicas, limites de outorga, disponibilidade hídrica, regularização de vazões e delimitação de faixas de domínio para cheias.

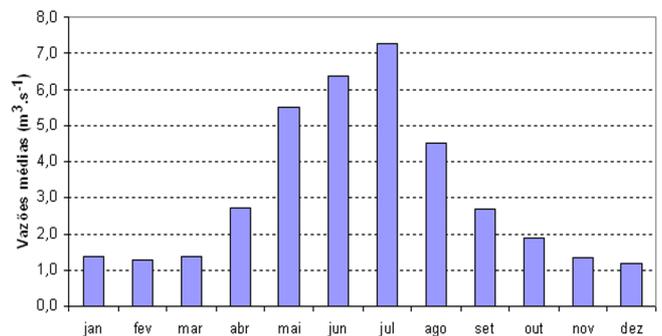
## Resultados

A análise de consistência dos dados diários do período disponível resultou na redução da série (de 40 anos originalmente) para 37 anos, sendo descartados os anos de 1980, 1994 e 1995, por excesso de períodos de falhas e por estas ocorrerem em períodos críticos (máximos ou mínimos) durante o ano. A verificação utilizando-se informações das precipitações não forneceu parâmetros suficientes para a eliminação de nenhum ano da série, pois houve boa correlação entre picos de precipitação e vazão. A análise exploratória foi realizada com intervalos diário e mensal. Na Tabela 1 são apresentados os principais valores obtidos e, na Figura 1, o resumo das informações médias mensais. Observa-se a confirmação da baixa disponibilidade hídrica do rio na seção considerada, com uma vazão máxima regularizável ( $Q_{med}$ ) igual a  $3,15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . A obtenção do valor da mediana tão diferente da média sugere um comportamento possivelmente não-normal para a distribuição dos dados originais, suscitando uma normalização dos mesmos (pela aplicação de função logarítmica) para efeito de ajustes estatísticos de funções de probabilidade deste tipo. Os valores diários da série apresentam alta dispersão, o que se reflete no desvio padrão elevado e amplitude entre o valor mínimo e o máximo.

**Tabela 1.** Análise exploratória de vazões diárias na seção 50040000 no Rio Japarutuba para o período 1969-2008.

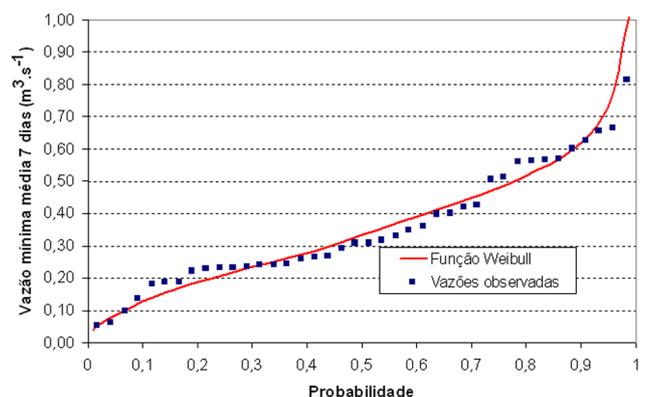
Parâmetro estatístico	Vazão diária ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )
Média	3,15
Mediana	1,19
Mínima	0,04
Primeiro quartil	0,60
Terceiro quartil	2,96
Máxima	56,37
Desvio Padrão	5,30
Coef. de assimetria	3,46
Coef. de variação	1,69

A variação interanual dos valores registrados na série permite demonstrar que o comportamento das precipitações na bacia foi refletido de forma clara nas vazões registradas, com valores máximos concentrados no mês de julho ( $7,20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) e mínimos em dezembro ( $1,10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Observou-se ainda uma redução média de aproximadamente 85% nos valores médios registrados no período chuvoso com relação ao período seco. Os valores indicaram uma contribuição de base média da ordem de  $1,00 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  mensal, ou seja, a vazão presente na seção do rio estudada, mantida pelo aporte subterrâneo ou outros escoamentos superficiais não provenientes de precipitações.



**Figura 1.** Variação anual das vazões médias na seção 50040000 no Rio Japarutuba para o período de 1969 a 2008.

A partir dos registros de vazão diária selecionados, foram ajustadas funções estatísticas às vazões mínimas de 7 dias de duração e vazões máximas diárias. A função de probabilidade de Weibull mostrou-se adequada para o ajuste de vazões mínimas, conforme pode ser observado na Figura 2, e corroborado pelo teste de aderência aplicado. A vazão de referência com relação às mínimas de 7 dias mais utilizada é a  $Q_{7,10'}$ , que resultou, para o posto em questão, em  $0,13 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , valor extremamente baixo, refletindo a baixa garantia de vazões do rio em períodos maiores que um dia.



**Figura 2.** Ajuste da função de probabilidade de Weibull aos registros de vazões mínimas de 7 dias de duração no posto 50040000 no Rio Japarutuba para o período de 1969 a 2008.

A função de probabilidade de Gumbel foi aplicada aos valores de vazões máximas diárias, apresentando também um ajuste adequado segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov. Na Figura 3 é apresentado o ajuste obtido por meio do gráfico de probabilidade x vazão. Os valores de vazões de referência mais usuais, para fins de avaliação de áreas de passagem de cheias, por exemplo, são referentes a 2, 10 e 100 anos de período de retorno, que representam probabilidades de excedência de 0,5, 0,1 e 0,01, respectivamente. Assim, obtiveram-se os seguintes valores:  $Q_{2TR} = 27,30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ,  $Q_{10TR} = 48,20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $Q_{100TR} = 61,60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Isso demonstra uma elevada capacidade de resposta da bacia aos eventos intensos de precipitação, com subidas rápidas de nível d'água na seção e inundações intensas de suas planícies. Estes valores de vazões representam, a partir da curva-chave disponível (ANA, 2009), respectivamente as cotas 3,74 m, 4,54 m e 4,93 m.

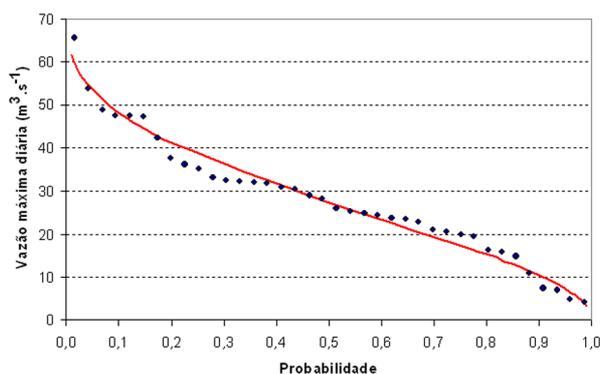


Figura 3. Ajuste da função de probabilidade de Gumbel aos registros de vazões máximas diárias no posto 50040000 no Rio Japarutuba para o período de 1969 a 2008.

A curva de permanência foi determinada para os dados de vazão, sendo apresentada em escala logarítmica no eixo y, na Figura 4. A partir da curva de permanência são obtidos valores para vazões de referência mínimas de grande importância para estudos de potencial de aproveitamento hidrelétrico, limites de outorga e manutenção da vida no rio, entre outros. As vazões obtidas foram  $Q_{50} = 1,19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ,  $Q_{90} = 0,34 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $Q_{95} = 0,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Pode-se concluir, por exemplo, ser mais favorável ao rio a utilização da vazão  $Q_{90}$ , como parâmetro de cálculo de vazões ecológicas do que a  $Q_{7,10}$  para esta seção do Rio Japarutuba. Verificou-se ainda, pela inclinação acentuada nos extremos da curva de permanência, a existência de períodos críticos intensos e baixa capacidade de regularização de vazões.

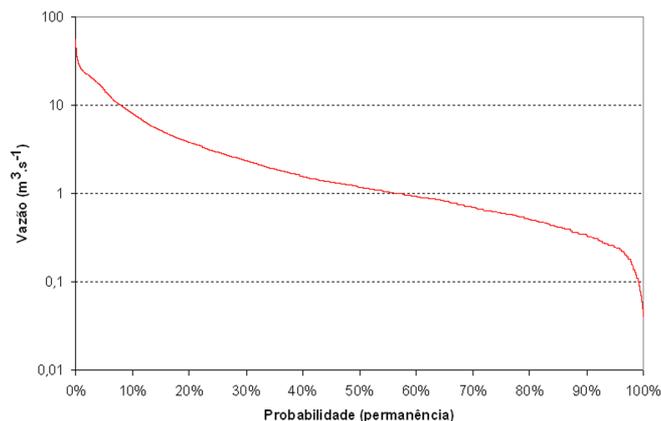


Figura 4. Curva de permanência para os registros de vazões no posto 50040000 no Rio Japarutuba para o período de 1969 a 2008.

### Conclusões

- A utilização de distribuições estatísticas e de curva de permanência possibilitou importantes informações para o entendimento do regime hidrológico do Rio Japarutuba;
- A variação interanual média das vazões possibilita a ocorrência de valores de  $7,20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  no mês de julho e de  $1,10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  no mês de dezembro;
- Na seção avaliada, o rio apresenta baixas disponibilidade hídrica e capacidade de regularização e elevadas respostas a eventos críticos;
- Os valores de referência obtidos foram: vazão média de  $3,15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , vazões mínimas representadas pela  $Q_{7,10} = 0,13 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e pela  $Q_{90} = 0,34 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e vazão máxima, pela  $Q_{100TR} = 61,60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

### Referências Bibliográficas

ANA. Agência Nacional de Águas. **Hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 03 jan. 2009.

JICA/SEPLANTEC. Japan International Cooperation Agency. Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia. **Estudo sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos no Estado de Sergipe na República Federativa do Brasil**. Aracaju, 2000.

KIRKMAN, T.W. **Statistics to Use**. 1996. Disponível em: <<http://www.physics.csbsju.edu/stats/KS-test.html>>. Acesso em: 14 out. 2009.

LANNA, A. E. Elementos de estatística e probabilidade. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 1993. p. 79-176.

PANTALEÃO, S. M. **Impacto genotóxico de poluentes químicos presentes na água e sedimentos do rio Japaratuba**. 2006. 107f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Genética e Bioquímica, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2006.

ROCHA, J. C. S., CORREIA, C. O., ROCHA, C. L. Bacia hidrográfica do rio Japaratuba: uma visão da gestão de recursos hídricos frente ao uso e ocupação da terra. In: ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE, 2., 2009, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009.

SEMARH. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Centro de Meteorologia da SEMARH/SRH**. Disponível em: <<http://www.semarh.se.gov.br/meteorologia/>>. Acesso em: 05 jan. 2009.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Recursos Hídricos. **Atlas digital sobre recursos hídricos**. Aracaju: SEPLANTEC/SRH, 2004. CD-Rom.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 1993. 946 p.

### Comunicado Técnico, 101

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Tabuleiros Costeiros**  
Endereço: Avenida Beira Mar, 3250, CP 44,  
CEP 49025-040, Aracaju - SE.  
Fone: (79) 4009-1344  
Fax: (79) 4009-1399  
E-mail: sac@cpatc.embrapa.br  
Disponível em <http://www.cpatc.embrapa.br>  
1ª edição (2009)

### Comitê de publicações

**Presidente:** *Ronaldo Souza Resende.*  
**Secretária-Executiva:** *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*  
**Membros:** *Semíramis Rabelo Ramalho Ramos, Julio Roberto Araujo de Amorim, Ana da Silva Lédo, Flávia Karine Nunes, Ana Veruska Cruz da Silva Muniz, Hymerson Costa Azevedo.*

### Expediente

**Supervisora editorial:** *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*  
**Tratamento das ilustrações:** *Bryene Santana de Souza Lima*  
**Editoração eletrônica:** *Bryene Santana de Souza Lima*