

HIDROLOGIA ESTATÍSTICA DA VAZÃO MÍNIMA DO RIO JAGUARI MIRIM

EDSON J. A. LEME

Prof. Adjunto Aposentado. CCA/UFSCar – Rua Ministro Santiago Dantas, 35 – CEP 13.874-117 - S.João BoaVista - SP
edsonleme@rantac.com.br

Aceito para publicação em: 12/12/2003

RESUMO

O uso de água da bacia hidrográfica do rio Jaguari Mirim para abastecimento público, indústria e irrigação é crescente e em algumas situações pode ter atingido a vazão limite do rio, apontando para problemas futuros. O presente trabalho tem o objetivo de avaliar a vazão mínima mensal do rio Jaguari Mirim, em série histórica de 50 anos tendo como base a Distribuição de Extremos Tipo I. Os resultados mostram a possibilidade de uma vez a cada 10 anos da vazão mínima do rio não atender a demanda de uso, tendo como referência o uso do ano de 2.000 e que a situação poderá se agravar nos próximos dez anos.

Palavras-chave : uso de água, vazão mínima, Rio Jaguari Mirim.

ABSTRACT

MINIMUM FLOW HYDROLOGY STATISTIC OF JAGUARI MIRIM RIVER

The water use of Jaguari Mirim river drainage basin to public, industrial and irrigation supply, is increasing and in some situations has already reached the limit flow of the river, indicating future problems. The present work has the purpose to evaluate the Jaguari Mirim river month minimum flow, in a historical series of data from 50 years by the Extreme Value Type I Distribution or Gumbel's Distribution. The results show which exist a probability of one time in ten years that the minimum river flow do not supply the water demand, based in multiple use from the year 2.000 and the situation can be graded in the next ten years.

Key-words : water use, minimum flow, Jaguari Mirim River.

INTRODUÇÃO

A política Estadual de Recursos Hídricos, estabelecida pela lei estadual 7663/91, previu a implantação do Plano Estadual de Recursos Hídricos em bacias hidrográficas ou Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH), por meio das quais se faz o planejamento e gerenciamento do uso da água no Estado de São Paulo. A bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu é a 9ª UGRH estabelecida pela referida lei, e se localiza na região nordeste do Estado de São Paulo e sudoeste de Minas Gerais e abrange todo trecho do rio situado à montante da sua confluência com o rio Pardo, até a divisa com o Estado de Minas Gerais, tendo uma área de drenagem de 14.653 km², integrada por áreas rurais e urbanizadas de 38 municípios paulistas e mais uma parte do sul de Minas Gerais, composta por 12 municípios, com uma área de drenagem de 565 km². Essa bacia hidrográfica, é hidrologicamente dividida por meio dos limites topográficos das subbacias, em seis compartimentos : Sul de Minas, Peixe, Jaguari Mirim, Alto Mogi, Médio Mogi

Superior e Médio Mogi Inferior. A bacia hidrográfica do rio Jaguari Mirim, constitui um dos compartimentos da bacia do rio Mogi Guaçu, abrangendo áreas territoriais de seis municípios paulistas : Santo Antonio do Jardim, Águas da Prata, São João da Boa Vista, Vargem Grande do Sul, Aguai e Santa Cruz das Palmeiras e seis municípios no Estado de Minas Gerais.

De acordo com Tundisi (2.003) a história da água na Terra é complexa e está diretamente relacionada ao crescimento da população humana, ao grau de urbanização e aos usos múltiplos que afetam a quantidade e qualidade de água. Speidel *et al.* (1.988) citam que o ciclo hidrológico é o princípio unificador fundamental de tudo que se refere à água na Terra, mostrando que toda água está em contínuo movimento cíclico nas fases sólida, gasosa e líquida, sendo esta a de maior interesse para as ações antrópicas. O uso da água pelo homem, através dos tempos, tem gerado conflitos em função da alteração da quantidade e qualidade, ampliando-se a percepção de que a água é um recurso finito e necessita ser devidamente planejado e gerenciado. Recentes relatórios do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA, baseado nos volumes disponíveis de água, nos efeitos dos usos múltiplos e na sustentabilidade, apontam para uma crise sem precedentes de água na história da humanidade, para um futuro próximo. Tundisi (2.003) registra que quando a retirada da água para irrigação, abastecimento público ou uso industrial excede a quantidade de água reposta na bacia hidrográfica, pelo ciclo hidrológico, através da precipitação e recarga, há um desequilíbrio que pode causar a escassez.

A SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS SANEAMENTO E OBRAS (1.994) relata que o conhecimento e a quantificação da vazão mínima conduz à verificação da necessidade de execução de barramento para a regularização de vazão, principalmente nos casos em que a demanda é maior que a vazão mínima e menor que a vazão média. Tucci (1.993) registra que as vazões mínimas se caracterizam pelos menores valores das séries anuais. O uso e quantificação da vazão mínima mensal é melhor que a vazão mínima diária, porém a associação das vazões mínimas a uma determinada duração de tempo, em geral com sete dias de duração, é mais detalhada. A quantificação da vazão mínima pode ser feita através das distribuições de probabilidade, que permite a estimativa do risco de ocorrer vazões menores que a vazão da demanda.

Segundo o censo demográfico do IBGE, de 2.000, a população residente nos municípios paulistas e mineiros, situados à montante do ponto de medição de vazão (Santo Antonio do Jardim, Águas da Prata, São João da Boa Vista, Ibitiura de Minas e Andradas), era de 126.941 habitantes. A vazão total retirada da bacia hidrográfica para abastecimento

dessa população, era 0,4775 m³/s, admitindo-se um consumo médio de 250 l/hab.dia e uma perda de 30%, entre a vazão captada e a vazão distribuída nas residências. O retorno dessa vazão ao rio é de 80%.

O Relatório Zero da bacia do rio Mogi-Guaçu, registra que a vazão de captação das indústrias localizadas nos municípios paulistas da bacia do Jaguari Mirim em 1.998, foi de 0,4311 m³/s, com vazão de lançamento de 0,2317 m³/s, registrando um índice de incorporação de 46,262% e de retorno de 53,737%.

Os censos agropecuários realizados, pelo IBGE, mostram que o aumento das áreas irrigadas na bacia do rio Mogi-Guaçu, entre 1.980 e 1.996, foi de 27.878 ha, resultando em uma taxa anual de crescimento de 1.742,375 ha/ano. De acordo com Maschio et al. (1.998) a área total irrigada nos municípios de Santo Antonio do Jardim, Águas da Prata e São João da Boa Vista, foi de 2.340 ha. A estimativa da área total irrigada nos municípios de Andradas e Ibitiura de Minas, em 1.998, foi de 936 ha. Estas áreas irrigadas correspondiam à 8,25 % da área total irrigada dos 38 municípios paulistas e dos municípios de Andradas e Ibitiura, em Minas Gerais, na bacia do rio Mogi-Guaçu, que era de 39.710 ha. Assim a área irrigada em 2.000, função do crescimento nos últimos 20 anos, naqueles municípios, foi estimada em 3.572,2 ha, resultando uma vazão contínua de irrigação de 1,65 m³/s, para um consumo bruto de 4 mm de água/ha.dia.

Considerando que o crescimento industrial nos anos de 1.999 e 2.000, ficou estático na região, portanto com a mesma demanda de água, a vazão total para atendimento aos usos de abastecimento público, indústria e irrigação, em 2.000, foi estimada em 1,98 m³/s, sendo 83% só para atender a irrigação.

Em outubro de 2.002, o jornal “Gazeta de São João” publicou matéria registrando que foi observada no referido posto fluviométrico de São João da Boa Vista (Codificado sob nº 61895000) uma vazão no rio Jaguari Mirim de 1,33 m³/s, considerada na notícia, uma das mais baixas dos últimos 50 anos.

O objetivo do trabalho foi a partir de avaliação e análise estatística hidrológica da vazão mínima mensal do rio Jaguari Mirim, estabelecer modelos hidrológicos que possibilitem a previsão da vazão mínima futura, auxiliando no planejamento e gerenciamento do uso de água da referida bacia hidrográfica.

MATERIAL E MÉTODOS

Os processos hidrológicos como a chuva, a vazão de um rio, são aleatórios, assim a evolução de seus valores não pode ser conhecida ao longo do tempo ou do espaço. O tratamento e a quantificação da aleatoriedade dos dados hidrológicos com base estatística, é feita por modelos probabilísticos, que são distribuições teóricas de probabilidade aplicadas às séries hidrológicas formadas por variáveis discretas ou contínuas. As variáveis discretas estão relacionadas com o número de ocorrência ou de intervalo de tempo até a observação de um evento de interesse. Os modelos aplicáveis às variáveis discretas são de derivação simples. A análise e o ajuste de variáveis contínuas como a vazão, a precipitação, e outras, requer o conhecimento de modelos probabilísticos teóricos e sua aplicação à distribuição amostral de frequência. Haan (1.979) e Lanna (1.993) registram que as

séries com variáveis discretas podem ser analisadas pelas seguintes distribuições : Geométrica, Binomial, Exponencial, Multinomial e Gama, enquanto o ajuste das variáveis aleatórias contínuas pode ser feito através das Distribuições Normal ou Log-Normal e as Distribuições Assintóticas de Extremos, entre as quais a Tipo I (Distribuição de Gumbel) e Tipo III (Distribuição de Weibull). O ajuste da Distribuição de Gumbel, pode ser realizado com o uso das variáveis reduzidas, conforme citam Mattos & Villela (1.975), Coimbra (1.982) e Linsley et al. (1.982). No entanto, Haan (1.979) e Lanna (1.993) registram que o ajuste dos dados de vazão mínima aos vários modelos de probabilidade, é obtido com melhor precisão através da teoria dos momentos.

O estudo foi feito com dados de vazão mínima mensal durante o período de 1.944 a 2.002, registrados no posto fluviométrico situado na zona urbana de São João da Boa Vista, coordenadas 21°58'45” de latitude e 46°48'23” de longitude (Codificado sob nº 61895000), abrangendo área de drenagem de 619 km² e fornecidos pela Superintendência de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Aguas - ANA. Os dados da série total de 54 anos, foram analisados visando a seleção e exclusão dos anos que apresentavam falhas, série anual incompleta ou com dados inconsistentes. Assim a série usada para elaboração do trabalho foi composta por 50 anos de vazão mínima mensal. A avaliação estatística dos dados de vazão do rio Jaguari Mirim, foi feita através da Distribuição de Extremos Tipo I ou de Gumbel, recomendada por CHOW (1.988), para estudos de vazão mínima de rios, com o emprego da teoria dos momentos.

A distribuição de Gumbel para valores mínimos, representa a parte inferior da distribuição de dados (x) e trata dos valores mínimos menos frequentes. A função acumulativa de probabilidade, é do tipo exponencial e expressa por :

$$FCP : P [Y \geq y] = e^{-e^{\alpha(y-\beta)}} \dots\dots\dots 1$$

Os dois primeiros momentos da distribuição são :

$$E(Y) = \beta - 0,5772/\alpha = x_m$$

$$VAR(Y) = \sigma^2 = \pi^2/(6 \alpha^2) = 1,645/\alpha$$

O momento central de terceira ordem representa a assimetria da população de dados, é constante e igual a : A(Y) = - 1,1396. O ajuste dos parâmetros pelo método dos momentos é realizado pela solução do sistema de equações por meio da substituição de E(Y) e VAR(Y), por suas estimativas amostrais da média (x_m) e da variância (σ²), resultando :

$$(\alpha_{estimado} = 1,2826 / \sigma) \text{ e } (\beta_{estimado} = x_m + 0,451 \sigma)$$

O ajuste linear da equação 1 é dado pela equação 2, que permite a determinação dos valores de vazão mínima em função dos tempos de retorno :

$$y = \beta_{estim} + \{ (1 / \alpha_{estim}) \cdot \ln [- \ln (1 - 1/T_R)] \} \dots\dots\dots 2$$

onde, y é o resultado esperado do evento analisado (vazão mínima) que poderá ocorrer pelo menos uma vez em cada

período de recorrência (T_R), α e β são parâmetros de escala e de locação da distribuição, T_R é o período de recorrência (anos), x_m é a média aritmética e σ é o desvio padrão dos dados da série.

A Tabela 1 mostra as vazões médias mínimas anuais de determinado mês, obtidas a partir da série com 50 anos de dados de vazão mínima do rio Jaguari Mirim, no período de 1.944 a 2.002, no posto fluviométrico estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

| Anos | Vazão Mínima (m ³ /s) |
|-------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|----------------------------------|
| 1.944 | 2,96 | 1.961 | 2,67 | 1.971 | 3,97 | 1.982 | 5,44 | 1.993 | 5,0 |
| 1.945 | 3,82 | 1.962 | 4,25 | 1.972 | 5,17 | 1.984 | 4,12 | 1.994 | 2,70 |
| 1.946 | 2,35 | 1.963 | 2,49 | 1.973 | 3,73 | 1.985 | 3,37 | 1.995 | 2,96 |
| 1.947 | 6,29 | 1.964 | 2,52 | 1.974 | 3,3 | 1.986 | 3,48 | 1.996 | 6,04 |
| 1.948 | 4,01 | 1.965 | 3,94 | 1.975 | 2,0 | 1.987 | 4,80 | 1.997 | 4,46 |
| 1.949 | 3,46 | 1.966 | 3,88 | 1.977 | 4,47 | 1.988 | 3,36 | 1.998 | 3,62 |
| 1.950 | 2,99 | 1.967 | 3,66 | 1.978 | 2,53 | 1.989 | 4,67 | 1.999 | 3,04 |
| 1.951 | 3,92 | 1.968 | 2,48 | 1.979 | 5,21 | 1.990 | 4,53 | 2.000 | 3,82 |
| 1.959 | 4,44 | 1.969 | 1,47 | 1.980 | 6,01 | 1.991 | 3,93 | 2.001 | 2,43 |
| 1.960 | 3,51 | 1.970 | 5,01 | 1.981 | 3,35 | 1.992 | 4,96 | 2.002 | 1,98 |

Tabela 1. Vazão média mínima anual de um mês (m³/s) do Rio Jaguari Mirim – série histórica de 50 anos, entre 1.944 a 2.002.

A figura 1, mostra a variação anual dos dados de vazão mínima de um mês no período de 1.944 a 2.002, registrando a ocorrência de dois períodos (1944 a 1958) e (1976 a 1983) onde as vazões mínimas foram mais elevadas, inclusive com picos de 8,53 e 11,0 m³/s e dois períodos críticos de vazões muito baixas, o primeiro de 1.959 a 1.975,

com duração de 17 anos, e vazão média mínima de 3,25 m³/s, com valores extremos de 1,47 m³/s e 5,17 m³/s e um segundo período de 1.984 até 2.002, com duração de 19 anos, e vazão média mínima de 3,86 m³/s, com valores extremos de 1,98 m³/s e 6,04 m³/s.

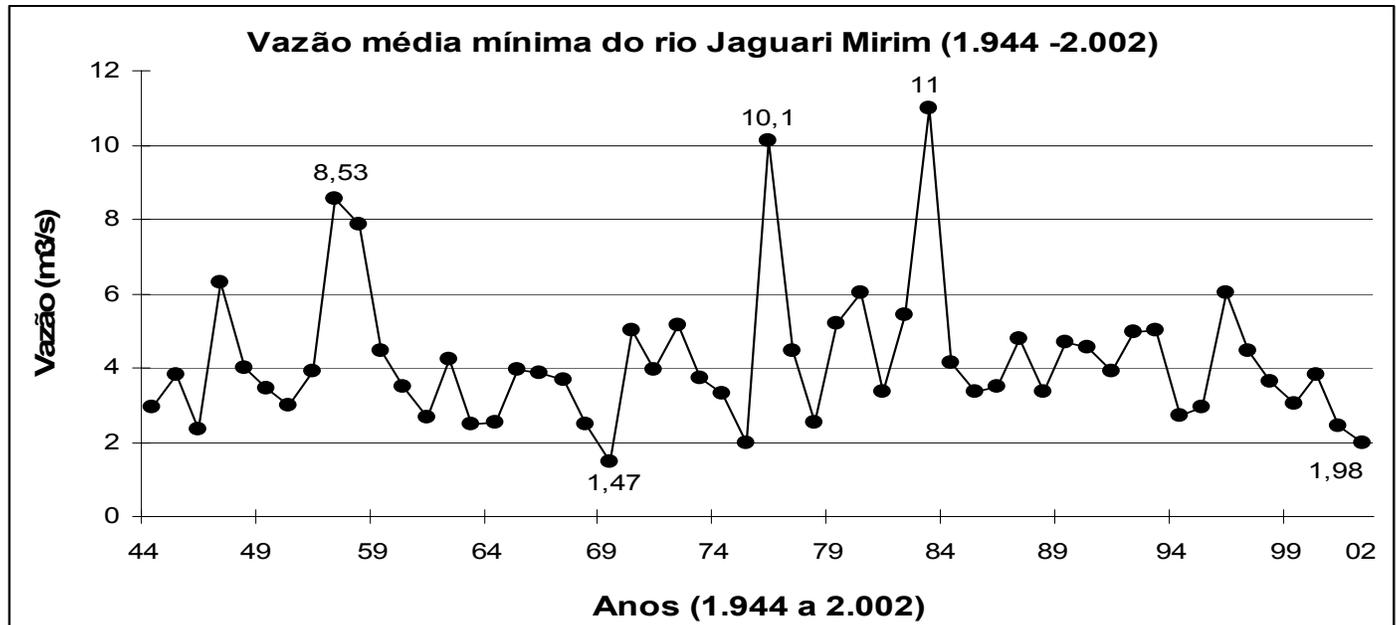
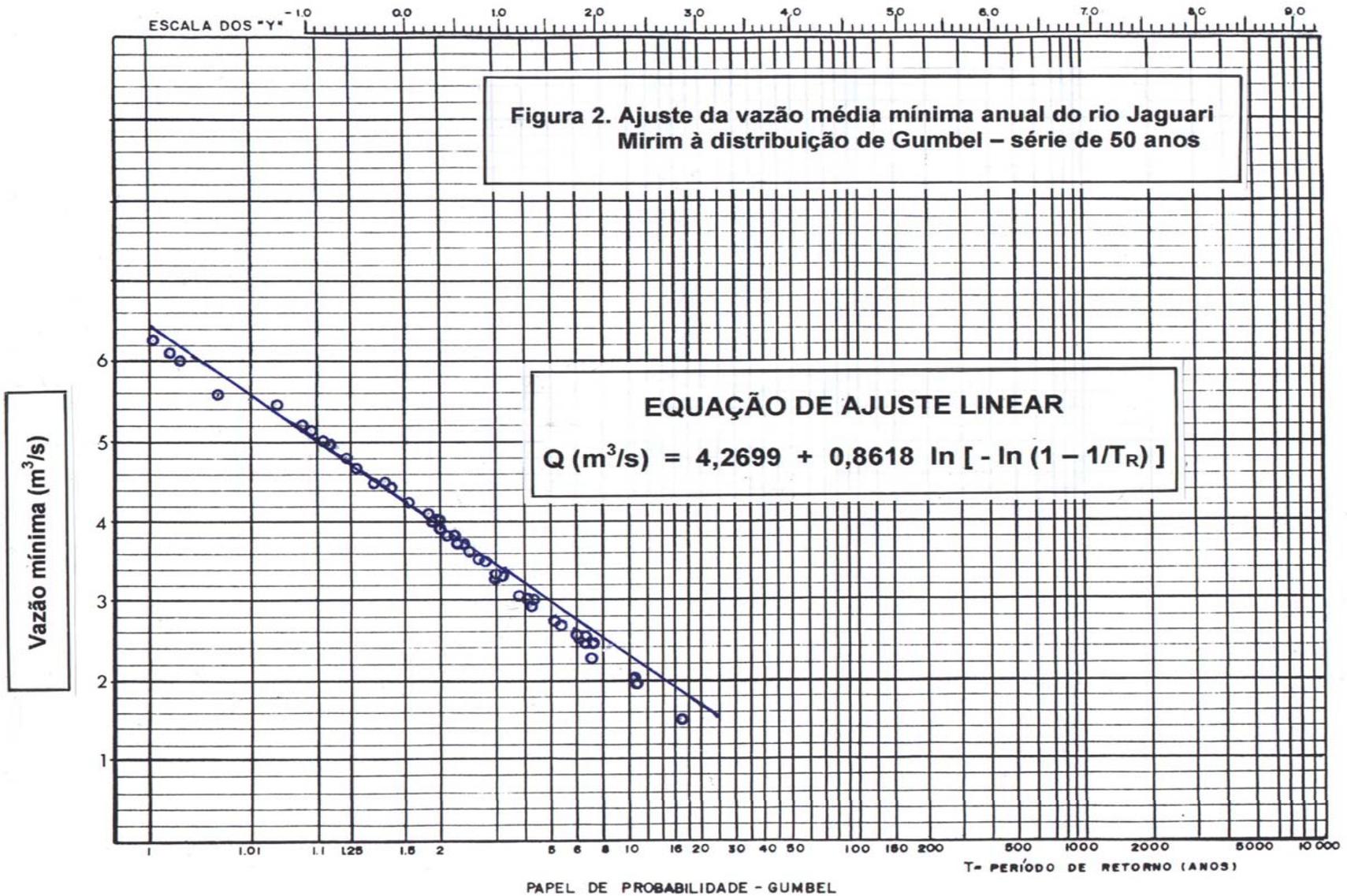


Figura 1. Variação da vazão mínima anual do rio Jaguari Mirim . Série de 50 anos de dados de vazão média mínima do rio Jaguari Mirim

A aplicação da estatística básica à série de 50 anos de dados de vazão média mínima resultou : média aritmética (x_m) de 3,7714 m³/s, variância (σ^2) de 1,2219 m³/s e desvio padrão (σ) de 1,1054 m³/s. Com esses dados obteve - se a estimativa amostral dos parâmetros de escala ($\alpha_{\text{estimado}} = 1,2826/1,1054 = 1,1603$)

e de locação [$\beta_{\text{estimado}} = 3,7714 + (0,451.1,1054) = 4,2699$]. Substituindo esses dados na equação 2, obtém-se a equação 3, que computada para períodos de retorno (T_R) de 1,1 anos e 2, 5, 10, 20, 40, 50, 75, 100 anos, resulta a Tabela 2 :

$$y = 4,2699 + 0,8618 \ln [- \ln (1 - 1/T_R)] \dots\dots\dots 3$$



| Parâmetros | Resultados | | | | | | | | |
|-------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1,1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| T_R (anos) | 1,1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 40 | 50 | 75 | 100 |
| Q (m ³ /s) | 5,024 | 3,954 | 2,977 | 2,331 | 1,710 | 1,102 | 0,907 | 0,555 | 0,305 |
| P (%) | 100 | 50 | 20 | 10 | 5 | 2,5 | 2 | 1,33 | 1,0 |

Tabela 2. Previsão da vazão mínima anual para o rio Jaguari Mirim. P = probabilidade de não-excedência da vazão mínima mensal (%). T_R = tempo de recorrência ou de retorno (anos)

A Figura 2 mostra o gráfico e a equação resultante do ajuste dos dados de vazão mínima e dos tempos de recorrência, obtidos da série de 50 anos, pela distribuição de extremos tipo I, aplicados em papel probabilístico de Gumbel. De acordo com os resultados mostrados na tabela 2 e figura 2, existe a possibilidade de uma vez a cada 10 anos, da vazão mínima do rio não atender a demanda de 1,98 m³/s, referente ao uso para abastecimento público, irrigação e indústria na região, no ano de 2.000. O tempo de retorno da vazão mínima diária de 1,33 m³/s, observada em outubro/2.002, é de uma vez a cada 19 anos. Considerando um crescimento populacional no compartimento de 1.835 hab/ano (taxa anual de 1,451% ao ano), o provável crescimento industrial e que as áreas irrigadas vem aumentando na região (em 2.002 foram autorizadas pela ANA, outorgas de uso de água da referida bacia para irrigação de 115 ha, a uma vazão de 0,05 m³/s), se não houver uma alteração no uso de água na bacia hidrográfica, é de se esperar que a situação atual seja agravada entre os próximos cinco a dez anos. Nas áreas imediatamente à jusante do ponto de medição de vazão a situação não é diferente, pois MACHIO et al. (1.998) citam que só no município de Aguai, existia uma área irrigada de 1.934 ha. De acordo com LEME (2.003) a irrigação dessa área requer uma vazão contínua de 0,895 m³/s. Portanto, com base nos resultados obtidos pode-se concluir que poderá ocorrer problemas com a gestão do uso da água na bacia do rio Jaguari Mirim, nos próximos anos, sendo necessária uma ação conjunta e imediata entre o comitê da bacia, municípios, estados e federação, visando o planejamento e gerenciamento do uso regional da água, com objetivo de se evitar o agravamento da situação.

LITERATURA CITADA

CHOW, V.T. , MAIDEMENT, D.R. e MAYS, L.W. *Applied Hydrology*. Ed. McGraw-Hill Company, 1.988. 571 p.
 COIMBRA, A. R. S. R. *Hidrologia*. Curso de Drenagem de Várzeas da Amazônia Ocidental. ABID-SUFRAMA, 1.982. 67p.

HAAN, C.T. *Statiscal Methods in Hydrology*. Iowa State University Press, Ames, 1979. 378 p.
 LANNA, A. E. Elementos de Hidrologia Estatística. In : TUCCI, C. E. M. (org.). *Hidrologia : ciência e aplicação*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, EDUSP, Editora da Universidade/UFRGS, São Paulo, 1993. p. 79-176.
 LEME, E. J. A. Recursos hídricos e saneamento ambiental em São João da Boa Vista - projeção para o ano 2.014. In : SEMANA DA ÁGUA. São João da Boa Vista . *Palestra*. Delegacia Regional de Ensino. 2003, 78p.
 LINSLEY, R.K., KOHELER, M.A. e PAULHUS, L.H. *Hidrology for engineers*. 3.ed. Ed. McGraw Hill Book Company. New York, 1.982. 508 p.
 MACHIO, J.H., MEDEIROS, G.A. e MATSURA, E.E. Levantamento da área irrigada da bacia do rio Mogi Guaçu – resultados censitários do projeto LUPA. In : WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES DA BACIA DO RIO MOGI GUAÇU, 1, 1.998, Espírito Santo do Pinhal. *Caderno de Resumos* : CBH- MOGI, 1.998, p. 62 - 63.
 SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS SANEAMENTO E OBRAS. *Manual de cálculo das vazões máximas, médias e mínimas nas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo*. São Paulo : Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1.994. 64 p.
 SPEIDEL, D.H. , RUEDISILI, L.C. e AGNEW, A.F. *Perspectives on water : uses and abuses*. Oxford University Press, New York, 1.988. 388p.
 TUCCI, C.E.M. Regionalização de vazões. In : TUCCI, C. E. M. (org.). *Hidrologia : ciência e aplicação*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. EDUSP, Editora da Universidade/UFRGS. São Paulo, 1993. p. 573-619.
 TUNDISI, J.G. *Água no século XXI – enfrentando a escassez*. RiMa Editora, São Carlos, 2.003. 247 p.
 VILELLA, S.M. & MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. Ed. McGraw Hill Ltda, São Paulo, 1975. 245 p.

