

## DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA PARA O RIO PIRAPÓ COMO SUBSÍDIO PARA O GERENCIAMENTO DO RECURSO HÍDRICO PARA CARGAS POLUIDORAS PONTUAIS

*Cristhiane M. P. Okawa<sup>1</sup>; Edson S. Nagashima<sup>2</sup>; Juliane V. Vieira<sup>3</sup>; Paulo F. Soares<sup>4</sup>; Marcelo Marques<sup>5</sup>; Elaine P. A. Vital<sup>6</sup>; Andréa S. Jabur<sup>7</sup>; Fernando O. de Andrade<sup>8</sup>; Osni Pereira<sup>9</sup>*

**Resumo** – Este trabalho apresenta o cálculo da vazão de referência para o rio Pirapó, como subsídio para o gerenciamento do recurso hídrico na existência de fonte poluidora pontual, mediante o emprego dos métodos hidrológicos estatísticos de curva de permanência de vazões e de  $Q_{7,10}$ , vazão mínima de sete dias de duração e tempo de retorno de 10 anos. A série histórica de vazões médias diárias da estação Vila Silva Jardim (1.968 a 2.008), foi utilizada no estudo. Para o método da curva de permanência, adotou-se a vazão de referência  $Q_{95\%}$ . No método  $Q_{7,10}$  foi realizado o ajuste da série histórica com as distribuições de probabilidades de Gumbel, log-normal e Weibull, e verificado a existência de *outliers*, mediante análise dos resíduos studentizados. A aderência da série histórica ao ajuste foi analisada, mediante o uso do teste de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados mostraram que a vazão de referência  $Q_{95\%}$  é igual a  $17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , e que a vazão de referência calculada por  $Q_{7,10}$  não é aplicável para esta série histórica de vazões médias diárias, uma vez que não pode ser aceita a hipótese de que a série de vazões  $Q_{7,10}$  segue as distribuições de probabilidades consideradas.

**Palavras-Chave** – Vazão de referência carga pontual; Vazão de referência rio Pirapó.

## DETERMINATION OF THE REFERENCE DISCHARGE TO THE PIRAPÓ RIVER AS SUBSIDY FOR WATER RESOURCES MANAGEMENT IN THE CASE OF POLLUTANT POINT SOURCES

**Abstract** – This paper presents the determination of the reference discharge to the Pirapó River as information to be used in the water resources management when pollution point sources are present. The statistical methods of discharge permanence curve and  $Q_{7,10}$ , minimum discharge of seven days duration and ten years return period, were employed. The daily average discharge time series of the station Vila Silva Jardim (1968 to 2008), was used in the study. For the method of discharge permanence curve, it was adopted the reference discharge  $Q_{95\%}$ . In the method  $Q_{7,10}$  it was performed an adjustment of a curve to the data series using Gumbel, log-normal and Weibull probability distributions, and verified the existence of outliers by analyzing the studentized residuals. The precision of the adjustment of the time series was analyzed by using the Kolmogorov-Smirnov test. The results showed that the reference discharge  $Q_{95\%}$  is equal to  $17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , and the calculated reference discharge  $Q_{7,10}$  is not applicable to this time series of average daily discharge, because the series,  $Q_{7,10}$ , do not follow the considered probability distributions.

**Keywords** – reference discharge point source; reference discharge of Pirapó River

<sup>1</sup> Afiliação: Universidade Estadual de Maringá, crisokawa@yahoo.com.br.

<sup>2</sup> Afiliação: Instituto das Águas do Paraná, edson-nagashima@aguasparana.pr.gov.br.

<sup>3</sup> Afiliação: Universidade Estadual de Maringá, julianevier@gmail.com.

<sup>4</sup> Afiliação: Universidade Estadual de Maringá, paulofsoares@gmail.com.

<sup>5</sup> Afiliação: Universidade Estadual de Maringá, marcelomarques100@gmail.com.

<sup>6</sup> Afiliação: Universidade Estadual de Maringá, epavital@uem.br.

<sup>7</sup> Afiliação: UTFPR Pato Branco, sartorjabur@gmail.com.

<sup>8</sup> Afiliação: UTFPR Toledo, foandrade22@gmail.com.

<sup>9</sup> Afiliação: Universidade Estadual de Maringá, opereira@uem.br.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, os padrões de qualidade para os corpos de água são fixados pela Resolução nº 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2005), que dispõe sobre as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões de lançamentos de efluentes. A vazão de referência é definida nesta Resolução como a vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH).

O rio Pirapó é a principal fonte de abastecimento de água do município de Maringá, Estado do Paraná e região. Alves *et al.* (2008) identificaram duas principais fontes poluidoras no rio Pirapó: a exploração do solo, que se estende até às margens do rio, que ocasiona o transporte, principalmente, em períodos chuvosos, de sedimentos e nutrientes ao corpo de água, e o lançamento clandestino de esgoto doméstico, responsável pelos elevados índices de matéria orgânica e de coliformes encontrados no corpo receptor.

Desta forma, o rio Pirapó encontra-se na situação mais crítica, pois nessa condição a vazão de referência para a fonte poluidora pontual é a de estiagem, quando a capacidade de diluição do rio se reduz, pois haverá menor vazão do rio para diluir a carga poluidora que é lançada. Porém, quando a fonte poluidora é difusa, a vazão de referência é a de período chuvoso, principalmente as chuvas intensas, pois o escoamento superficial gerado será responsável por carrear os sedimentos e nutrientes, provenientes da intensa atividade agrícola observada na região, para o rio (TUCCI, 2009).

Neste trabalho será abordada a situação de fonte poluidora pontual. Para essa condição, a literatura tem utilizado dois métodos hidrológicos estatísticos: a vazão  $Q_{7,10}$  e a  $Q_{95\%}$  da curva de permanência de vazões. A vazão  $Q_{7,10}$  é a vazão mínima de 7 dias de duração e com 10 anos de tempo de retorno, ou seja, assume-se um risco de 10% de ocorrência de valores de vazão menores ou iguais a  $Q_{7,10}$  em qualquer ano. A curva de permanência de vazões relaciona a vazão com sua duração no tempo, isto é, o hidrólogo assume que em uma porcentagem do tempo as vazões serão maiores ou iguais a um determinado valor. Por exemplo, a vazão  $Q_{95\%}$  indica que as vazões serão maiores ou iguais a esta vazão durante 95% do tempo (PINTO *et al.*, 1976; TUCCI, 2009).

## OBJETIVO

Determinar a vazão de referência pelos métodos hidrológicos estatísticos de curva de permanência de vazões e  $Q_{7,10}$ .

## MATERIAIS E MÉTODOS

A curva de permanência de vazões é determinada utilizando-se a série histórica de vazões médias diárias, mensais ou anuais. Os registros de vazão média são classificados em ordem decrescente e a permanência de cada vazão é expressa como uma porcentagem do tempo em que a vazão considerada é igualada ou superada (PINTO *et al.*, 1976). Geralmente, adota-se como vazão de referência a  $Q_{90\%}$  ou a  $Q_{95\%}$ .

A  $Q_{7,10}$  é determinada por retenção das mínimas das médias móveis das vazões diárias com janelas de sete dias ao longo do ano e posterior ajuste com alguma distribuição de probabilidades, como a de Gumbel para mínimos, a log-normal, a de Weibull, entre outras (NAGHETTINI; PINTO,

2007; MENDES, 2007). Após o ajuste, deve-se realizar uma investigação para verificar existência de *outliers*, que pode ser feita pela análise dos resíduos estudentizados. Deve-se também verificar a aderência dos valores ajustados à série observada. Para isto, optou-se pelo teste de hipótese de Kolmogorov-Smirnov, conforme Naghettini e Pinto (2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para este trabalho, utilizou-se a série histórica de vazões médias diárias da estação Vila Silva Jardim, código ANEEL 64550000, com latitude 22°51'25" e longitude 52°04'41" e registro de operação de 1.968 a 2.008. Os dados posteriores a 2.008 não são considerados confiáveis pelo órgão gestor que forneceu os dados, tendo sido desconsiderados no estudo.

Na figura 1 observa-se a curva de permanência de vazões médias diárias. A vazão de referência mais usual para diluição de carga poluidora pontual é a  $Q_{95\%}$ , que, para o rio Pirapó com esta série histórica, assume o valor de  $17 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

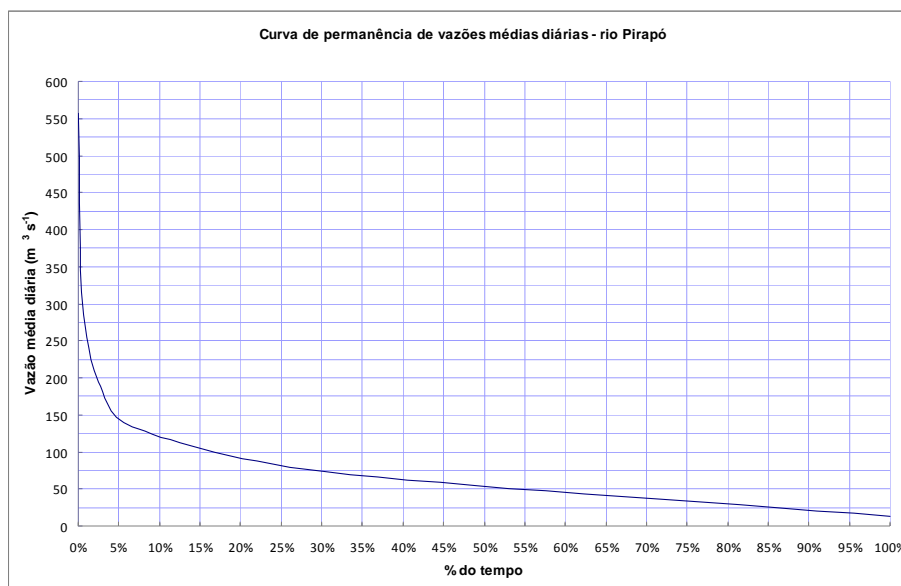


Figura 1 – curva de permanência de vazões médias diárias para o rio Pirapó no período de 1968 a 2008.

Na Figura 2 observa-se o ajuste de distribuição de probabilidades para mínimos de Gumbel. Adotando o tempo de retorno de 10 anos, tem-se que a  $Q_{7,10}$  será de  $12,79 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Quando se faz um ajuste de distribuição de probabilidades, deve-se verificar a existência de *outliers* e a aderência da série histórica ao ajuste.

Para verificar a existência de *outliers*, fez-se uma investigação pela análise dos resíduos estudentizados. Os resultados encontram-se na tabela 1 e na figura 3 são mostrados os resíduos estudentizados plotados contra a vazão  $Q_7$  observada, de onde se conclui que os valores observados possuem dois *outliers*, correspondentes às vazões observadas nos anos de 1972 e 1976 ( $57,55$  e  $64,40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , respectivamente). No entanto, os resíduos foram de 2,33 e 2,32, valores muito próximos do limite considerado de 2,00, portanto, optou-se por manter os valores observados na série de vazões mínimas anuais observadas, visto que, conforme Naghettini e Pinto (2007), a retirada só se aplica no caso de medição incorreta ou que esteja sujeita a erros de processamento.

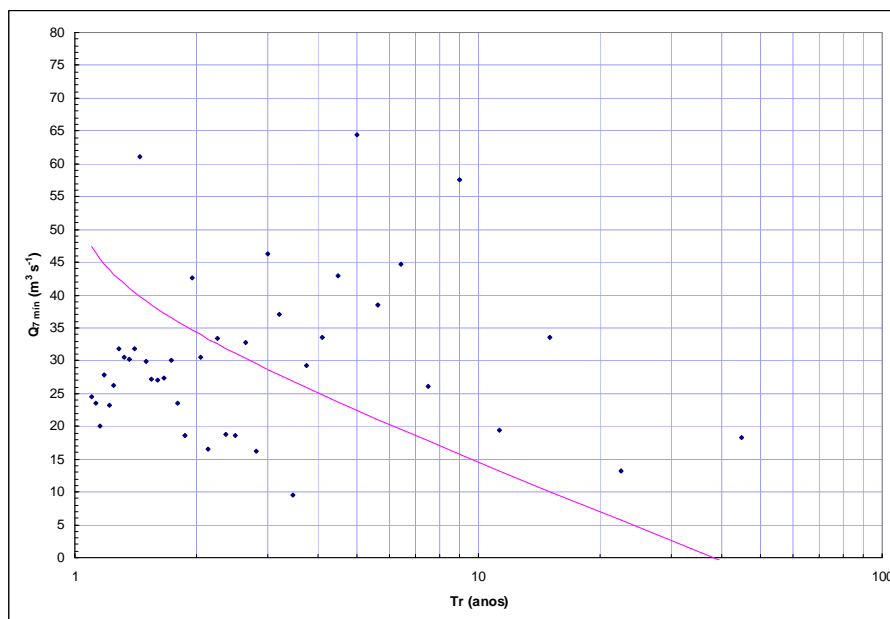


Figura 2 – Ajuste de distribuição de probabilidades para mínimos de Gumbel para o rio Pirapó no período de 1968 a 2008.

Foi aplicado o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para verificar a aderência dos valores ajustados à série observada e os resultados são mostrados na tabela 2. Percebe-se que, para os níveis de significância testados de 1% a 20%, não se pode aceitar a hipótese de que a série de vazões mínimas  $Q_7$  siga a distribuição de Gumbel. Na Figura 4 são plotadas as frequências acumuladas teórica e empírica e percebe-se que a máxima diferença absoluta entre elas é grande em vários pontos, o que configura a não-aderência da série a este ajuste de distribuição de probabilidades.

Tabela 1: Resíduos estudentizados para a distribuição de probabilidades de Gumbel.

$n$	$Q_7$ observado	$Q_7$ calculado	Resíduo	Resíduo estudentizado
1	18,34	-3,46	21,80	1,19
2	13,17	4,31	8,86	0,48
3	33,58	8,92	24,67	1,35
4	19,37	12,23	7,14	0,39
5	57,55	14,83	42,72	2,33
6	26,03	16,99	9,04	0,49
7	44,66	18,83	25,82	1,41
8	38,55	20,46	18,09	0,99
9	64,40	21,92	42,48	2,32
10	42,88	23,24	19,64	1,07
11	33,58	24,45	9,13	0,50
12	29,29	25,58	3,70	0,20
13	9,48	26,64	-17,16	-0,94
14	37,04	27,64	9,40	0,51
15	46,33	28,58	17,74	0,97
16	16,27	29,49	-13,22	-0,72
17	32,72	30,35	2,37	0,13
18	18,56	31,19	-12,63	-0,69
19	18,78	32,00	-13,22	-0,72
20	33,46	32,78	0,68	0,04
21	16,47	33,55	-17,08	-0,93
22	30,51	34,29	-3,78	-0,21
23	42,62	35,03	7,59	0,41
24	18,56	35,76	-17,20	-0,94
25	23,50	36,48	-12,98	-0,71
26	30,02	37,19	-7,17	-0,39
27	27,36	37,90	-10,54	-0,58
28	27,01	38,62	-11,61	-0,63
29	27,25	39,34	-12,09	-0,66
30	29,94	40,07	-10,12	-0,55
31	61,11	40,81	20,30	1,11
32	31,74	41,56	-9,82	-0,54
33	30,27	42,34	-12,08	-0,66
34	30,57	43,15	-12,58	-0,69
35	31,86	44,01	-12,14	-0,66
36	26,19	44,92	-18,72	-1,02
37	23,20	45,90	-22,70	-1,24
38	27,89	47,00	-19,11	-1,04
39	20,10	48,27	-28,17	-1,54
40	23,50	49,85	-26,35	-1,44
41	24,43	52,11	-27,67	-1,51

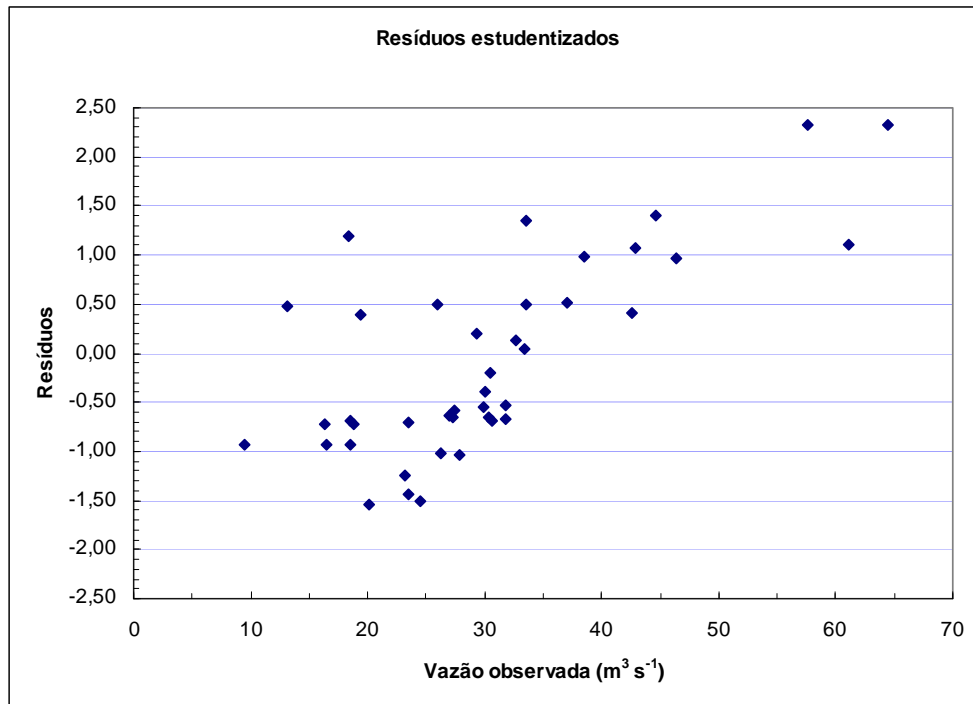


Figura 3 – Resíduos estudentizados para verificação da existência de *outliers*.

Tabela 2: Resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov – ajuste de Gumbel

$\alpha$	$D\alpha$	$D_{\max}$	$D\alpha > D_{\max}$
1%	0,246	0,5060	Não
5%	0,205	0,5060	Não
20%	0,184	0,5060	Não

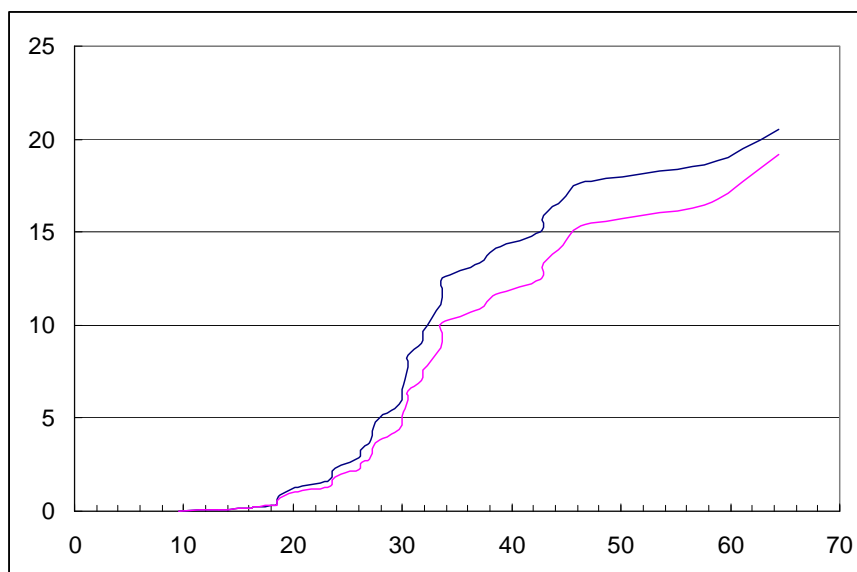


Figura 4 – Frequências empíricas e teóricas para o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov.

O ajuste de distribuição de probabilidades pode ser feito utilizando outras formulações estatísticas, mas as distribuições log-normal e de Weibull resultaram em ajustes tão ruins quanto a de Gumbel para mínimos. Portanto, conclui-se que, para o rio Pirapó neste período de observação

de vazões médias diárias, o método de  $Q_{7,10}$  para determinação da vazão de referência não é aplicável. Ainda assim, o ajuste com a distribuição de probabilidades log-normal resultou em  $Q_{7,10}$  de  $17,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , coincidentemente igual a  $Q_{95\%}$  da curva de permanência de vazões, como se observa na Figura 5.

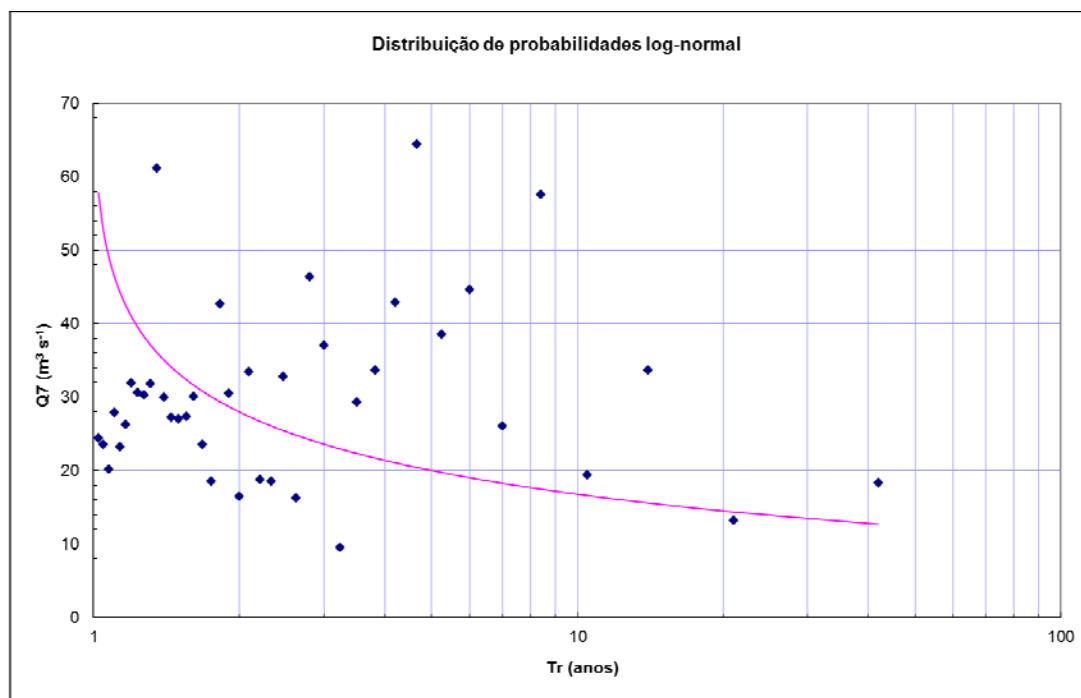


Figura 5 - Ajuste de distribuição de probabilidades log-normal para o rio Pirapó no período de 1.968 a 2.008.

## CONCLUSÃO

A vazão de referência para gerenciamento de lançamento de efluentes para cargas poluidoras pontuais no rio Pirapó é de  $17 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , calculada pelo método da curva de permanência de vazões com a série histórica de vazões médias diárias no período considerado. A vazão considerada foi a  $Q_{95\%}$ , ou seja, em 95% do tempo a vazão observada no rio será maior ou igual a  $17 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Nota-se que esta é uma vazão restritiva que representa situação de estiagem, visto que esta é a situação mais crítica para lançamento de carga poluidora pontual no rio.

A vazão de referência por  $Q_{7,10}$  não é aplicável para esta série histórica de vazões médias diárias no período considerado, visto que o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov não permitiu aceitar a hipótese de que a série de vazões mínimas  $Q_7$  siga a distribuição de Gumbel ou a de log-normal ou a de Weibull.

## REFERÊNCIAS

ALVES, E.C., SILVA, C.F., COSSICH, E.S., TAVARES, C.R.G., SOUZA FILHO, E.E., CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Acta Sci. Technol. Maringá, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília: Conama, 2005.

MENDES, L.A. 2007. Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 187 p.

NAGHETTINI, M. & PINTO, E.J.A. 2007. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM. 552 p.  
PINTO, N. L. S., HOLTZ, A. C. T, MARTINS, J. A., GOMIDE, F. L. S. 1976. *Hidrologia Básica*. 2ª ed. Editora Edgard Blücher Ltda. Rio de Janeiro, RJ. 278 p.

TUCCI, C.E.M. Vazão de referência. Disponível em <http://rhama.net/wordpress/?p=113>. Acesso em 30/04/2013.