

minimização das incertezas associadas aos mesmos; assim, o critério fixado para quantificar essas incertezas é outro aspecto que merece ser aprofundado.

Ainda que prematuramente, por se tratar de uma abordagem todavia em fase de experimentação, há indícios que a regressão fuzzy possa ser utilizada com êxito na representação da relação entre variáveis, com base em dados escassos e/ou imprecisos.

#### REFERÊNCIAS

- BARDOSSY, A.; BOGARDI, I.; DUCKSTEIN, L.--Fuzzy regression in hydrology. *Water Resources Research*, v. 26, n. 7, p.1497-1508, July 1990.
- KAUFMANN, A.; GUPTA, M.M.--*Introduction to fuzzy arithmetic: theory and applications*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1985. 248p.
- TANAKA, H.; UEJIMA, S.; ASAI, K.--Linear regression analysis with fuzzy model. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, SMC-12, p.903-907, 1982.

## A VAZÃO MÍNIMA DE SETE DIAS DE DURAÇÃO E DEZ ANOS DE RECORRÊNCIA NO ESTADO DO PARANÁ

074

Martha Regina von Borstel Sugai e Fabricio Müller  
Depto. de Hidrologia e Estudos Energéticos da COPEL  
R. Treze de maio, 616 - 5º andar - CEP 80510-030 - Curitiba - PR  
FAX: 331-3276

### INTRODUÇÃO

O valor da vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência ( $Q_{10,7}$ ) tem grande importância pois serve, para o Estado do Paraná, como avaliação das condições de captação do potencial de águas superficiais em uma dada bacia hidrográfica. Este trabalho surgiu da necessidade de subsidiar a JICA - JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, em seu Plano Diretor de Recursos Hídricos do Paraná, na parte referente ao potencial hídrico do Estado (JICA, 1995).

São analisadas estações em bacias hidrográficas representativas do Estado, e, para cada estação, o valor de  $Q_{10,7}$  é calculado por duas distribuições, dois métodos de obtenção da série de mínimas e dois períodos diferentes. Finalmente, são apresentadas equações empíricas relacionando o valor de  $Q_{10,7}$  com a área de drenagem, para quatro bacias diferentes e para todo o Estado.

### MÉTODOS DE CÁLCULO DE $Q_{10,7}$

Para cada estação estudada, duas distribuições foram ajustadas pelo método dos momentos: a distribuição de Weibull, escolhida pelo projeto HG-52 (Sant'ana et al, 1989) como a mais apropriada para representar séries de vazões mínimas em todo o estado do Paraná, e a distribuição de Galton, ou lognormal a três parâmetros, considerada por Roche (1963, *apud* Gomide, 1970) a mais apropriada para estudos de mínimas em regiões tropicais. As equações de distribuição utilizadas estão mostradas em Kite (1977).

Para cada uma das duas distribuições acima, foi calculado o valor de  $Q_{10,7}$  por duas séries de vazões mínimas diferentes:

- série não-extendida: é, simplesmente, a série de vazões mínimas anuais de sete dias de duração;
- série extendida: utiliza uma série composta com vazões adimensionalizadas mínimas anuais com 7, 15, 21, 30, 45, 60, 90, 120, 150 e 180 dias de duração, segundo a proposta de Gomide (1970). Esta série adimensionalizada é tomada como um única série e para a mesma são aplicadas as distribuições de Weibull e de Galton para a obtenção do fator de recorrência de dez anos. Para a obtenção do valor final de  $Q_{10,7}$ , multiplica-se este fator pela média de vazões mínimas anuais de sete dias de duração.

Finalmente, para os quatro casos descritos acima (duas distribuições e duas séries) são empregados dois períodos diferentes: o histórico, contendo todos os anos da estação, e o período disponível do ano de 1974 em diante, que é o período básico utilizado pela JICA em seu Plano Diretor.

As estações estudadas foram em número de 30, as mesmas escolhidas pela JICA como representativas do Estado, com exceção da estação 65175000 - Divisa, situada na Bacia do Iguaçu. A relação das estações, com seus códigos, bacias e rios onde estão situadas, áreas de drenagem e período de dados está mostrada na tabela 1. Esta tabela também mostra os oito valores de  $Q_{10,7}$  em  $m^3/s$  calculados para cada estação, considerando diferentes distribuições,





séries e períodos estudados. No topo de cada coluna com vazões está escrita uma letra, que corresponde a um tipo de estudo diferente, explicado na parte de baixo da tabela. Por exemplo, para a letra A: "Galton - estendida - histórico", a coluna correspondente dá os valores de  $Q_{10,7}$  calculados pela distribuição de Galton por séries estendidas com o período histórico disponível. Em algumas células da tabela há traços: são casos de períodos históricos que se iniciam depois de 1974, ou casos em que a distribuição de Weibull não pôde ser aplicada porque o valor do coeficiente de assimetria resultou fora dos limites da fórmula (11-13), pag. 135, do livro de Kite(1977), utilizada no programa computacional que calcula as vazões mínimas.

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram comparadas as estimativas dos valores de  $Q_{10,7}$  de acordo com sua distribuição, série e período. Assim, foram calculadas estatísticas relacionando a diferença entre Weibull e Galton, entre a série estendida e a não estendida, e entre os dois períodos empregados. Para cada uma destas três comparações foram elaborados dois vetores, de modo que para cada valor constante em um vetor corresponde um único valor no outro, que é o valor, para a mesma estação, de  $Q_{10,7}$  levando em conta um método diferente - aquele a ser comparado -, mas com os outros dois iguais. Por exemplo, na comparação Weibull-Galton, para um valor, em uma dada estação, calculada por Weibull com série estendida e período histórico, corresponderá, para o outro vetor, o valor calculado por Galton, mas também com série estendida e período histórico. Quando, em uma estação, não foi possível calcular o valor de  $Q_{10,7}$  por uma combinação de métodos, não há valores, correspondentes a este caso específico, no outro vetor.

Deste modo, foram elaborados três grupos de dois vetores. Estes três grupos são:

- Weibull-Galton;
- Série estendida - não estendida;
- Período histórico - 74 em diante.

Foram calculadas duas estatísticas que calculam a distância entre cada um destes três grupos de dois vetores:

valor absoluto médio das distâncias percentuais (A): sejam os valores de um vetor notados como  $x(i)$ , e os do outro  $y(i)$ . O valor de A é dado por:

$$A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{x(i) - y(i)}{x(i)} \right| \cdot 100 \quad (1)$$

onde N é o tamanho dos dois vetores.

- raiz do valor quadrático médio das distâncias percentuais (B): com  $x(i)$ ,  $y(i)$  e N conforme mostrado acima, B é dado por:

$$B = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \frac{x(i) - y(i)}{x(i)} \cdot 100 \right]^2} \quad (2)$$

Os resultados dos dois testes, em porcentagem, está mostrado na tabela 2, para cada uma das três comparações. Quanto menores os valores de A e B, maior a proximidade entre os vetores  $x(i)$  e  $y(i)$ ,  $i=1, \dots, N$ .

Tabela 1 - Valores de  $Q_{10,7}$  ( $m^3/s$ ) nas estações estudadas

CÓDIGO	ESTAÇÃO	BACIA	RIO	PER.	AREA ( $km^2$ )	VAZÃO $Q_{10,7}$ ( $m^3/s$ ) CALCULADA CONFORME (ver legenda abaixo):							
						A	B	C	D	E	F	G	H
64242000	TAMANDUA	Itararé	Jaguariava	7793	1622	7,86	7,26			7,93	7,55		
64360000	TOMAZINA	Cinzas	Cinzas	2793	2015	3,49	3,1	6,72	6,06	3,42	3,08	6,61	5,99
64370000	ANDIRA	Cinzas	Cinzas	3293	5622	6,70	7,21	10,34	10,46	6,84	7,32	10,14	10,29
64444000	UVAIA	Tibagi	Tibagi	7593	4450	11,29	11,7			11,44	12,11		
64465000	TIBAGI			3293	8948	18,09	16,73	19,68	16,47	19,07	16,77	19,1	15,76
64491000	B. DO RIB. DAS ANTAS			4293	15600	43,85	38,76	46,52	41,42		39,26		41,19
64507011	JATAIZINHO (EXT.)			3293	21955	41,86	42,36	54,25	48,85	41,7	43,46	52,46	47,76
64550000	VILA SILVA JARDIM	Pirapó	Pirapó	6993	4627	20,95	19,15	19,65	19,48	20,62	19,13	21,23	19,94
64625000	TEREZA CRISTINA	Ivaí	Ivaí	5791	3572	4,56	4,91	4,15	4,26	4,75	4,94	4,33	4,25
64645000	PORTO ESPANHOL			6693	8600	14,31	14,94	12,69	13,52	14,32	14,6	12,51	13,08
64675002	PORTO BANANEIRAS			7593	24200	43,64	43,87			42,14	42,15		
64685000	P. PARAÍSO DO N.			5493	28427	70,72	68,23	78,41	67,31	70,52	67,51	76,68	65,02
64693000	N. PORTO TAQUARA			7593	34432	141,25	141,24			144,07			
64771500	PORTO GUARANI	Piquiri	Piquiri	7793	4223	4,54	4,23			4,28	4,13		
64795500	PONTE DO PIQUIRI			7193	11303	27,07	26,24	23,94	23,15	26,1	25,68	22,96	22,85
64820000	PORTO FORMOSA			6793	17500	72,43	71,63	74,30	73,16	70,99	71,38	72,92	73,37
64830000	B. DO SANTA MARIA			7093	20982	92,17	87,72	86,50	85,33	90,47	85,93	85,25	84,38
65010000	FAZENDINHA	Iguaçu	Iguaçu	5693	110	0,50	0,50	0,50	0,5	0,5	0,49	0,52	0,5
65025000	GUATUVIRA			2304	2304	4,84	4,23			4,81	4,29		
65035000	PORTO AMAZONAS			3693	3662	7,45	8,09	6,21	6,06	7,43	8,31	6,09	6,42
65060000	SÃO MATEUS DO SUL			3193	6065	13,91	15,52	12,77	14,57	14,47	15,99	13,51	15,29
65310000	UNIÃO DA VITÓRIA			3193	24211	59,90	66,42	62,65	64,64	61,19	68,32	63,79	68,04
65895002	SALTO OSÓRIO			4193	45824	132,07	135,51	158,65	133,8	131,56	140,02	155,97	134,4
65993000	SALTO CATARATAS			4393	67317	188,08	178,06	240,36	210,48	186,43	174,41	235,35	203,52
65260000	FOZ DO CACHOEIRA			8693	693	2,41	2,12			2,38	2,15		
65825000	SANTA CLARA			5093	3913	13,05	13,52	12,43	11,84	12,98	13,54	12,21	11,55
65960000	ÁGUAS DO VERÊ	Chopim	Chopim	5793	6696	16,94	16,68	16,58	15,25	16,6	16,24	16,11	14,66
81200000	CAPELA DO RIBEIRA	Ribeira	Ribeira	3793	7252	39,72	40,01	48,76	49,29	40,09	40,59	49,21	50,24
82170000	MORRETES (NHUND.)	Litorânea	Nhundiãq.	3893	217	1,80	1,67	1,20	1,04	1,77	1,62	1,18	1,01
82195002	MORRETES (MAR.)	Litorânea	Marumbi	7692	53	0,42	0,3			0,43	0,31		

Legenda:

A	GALTON - EXTENDIDA - HISTORICO
B	GALTON - NAO EXTENDIDA - HISTORICO
C	GALTON - EXTENDIDA - 74 EM DIANTE
D	GALTON - NAO EXTENDIDA - 74 EM DIANTE
E	WEIBULL - EXTENDIDA - HISTORICO
F	WEIBULL - NAO EXTENDIDA - HISTORICO
G	WEIBULL - EXTENDIDA - 74 EM DIANTE
H	WEIBULL - NAO EXTENDIDA - 74 EM DIANTE

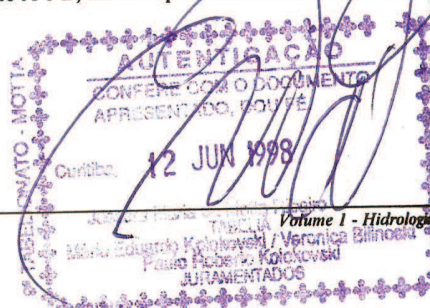




Tabela 2 - Resultados para os testes efetuados

COMPARAÇÕES	x(i)	y(i)	TESTES (%)	
			A	B
GALTON - WEIBULL	GALTON	WEIBULL	2,19	2,66
EXTENDIDA - NÃO EXTENDIDA	EXTENDIDA	NÃO EXTENDIDO	6,87	8,78
HISTÓRICO - 74 EM DIANTE	HISTÓRICO	74 EM DIANTE	16,50	26,47

Pela tabela 2 nota-se que praticamente não houve diferença em se aplicar a distribuição de Weibull ou de Galton, o que era de certa maneira esperado, tendo em vista que quase todas as estações estudadas tinham pelo menos 20 anos de dados, e este estudo se resume em 10 anos de recorrência. Também a diferença entre séries, estendida ou não, não altera sobremaneira o resultado de  $Q_{10,7}$ . O grande fator de alteração dos resultados foi o período utilizado: pela tabela 1, vê-se que para a grande maioria das estações o valor de  $Q_{10,7}$  calculado é maior no período de 1974 em diante do que no período histórico como um todo.

#### FÓRMULAS EMPÍRICAS RELACIONANDO $Q_{10,7}$ E ÁREAS DE DRENAGEM

Neste trabalho foram calculados, para quatro bacias selecionadas e para o total das estações estudadas, fórmulas relacionando  $Q_{10,7}$  com a área de drenagem. As equações são obtidas pelo método dos mínimos quadrados e são de segundo ou terceiro grau. A tabela 3 fornece, para cada caso, o grau da curva empregada, os parâmetros obtidos e coeficientes de correlação entre os dados e a curva. As curvas são do tipo:

$$Q_{10,7} = a + b_1(\text{ÁREA}) + b_2(\text{ÁREA})^2 + b_3(\text{ÁREA})^3 \quad (3)$$

Na tabela 3, os coeficientes  $b_3$  não existem para as equações de segundo grau e o bacia "TODAS" se refere ao estudo envolvendo todos os valores da Tabela 1.

Tabela 3 - Coeficientes da curva de regressão para as equações empíricas

BACIA	GRAU	COEFICIENTES DA CURVA DE REGRESSÃO				CORREL
		a	$b_1$	$b_2$	$b_3$	
IGUAÇU	3°	1,27	$1,83 \cdot 10^{-3}$	$4,46 \cdot 10^{-7}$	$-4,07 \cdot 10^{-1}$	0,9922
IVAÍ	3°	-9,61	$5,10 \cdot 10^{-3}$	$-3,61 \cdot 10^{-7}$	$9,89 \cdot 10^{-1}$	0,9991
PIQUIRI	2°	-5,45	$1,35 \cdot 10^{-3}$	$1,54 \cdot 10^{-7}$	-----	0,9893
TIBAGI	2°	-6,42	$3,83 \cdot 10^{-3}$	$-6,15 \cdot 10^{-7}$	-----	0,9547
TODAS	3°	1,18	$2,08 \cdot 10^{-3}$	$4,76 \cdot 10^{-7}$	$-5,07 \cdot 10^{-1}$	0,9593

As figuras 1 a 3 mostram os valores de  $Q_{10,7}$  em  $m^3/s$  plotados nas ordenadas contra a área de drenagem em  $km^2$  nas abcissas para, respectivamente, a bacia do Iguaçu, a bacia do Ivaí e para todos os valores estudados. Nestas figuras, os pontos representam os valores constantes na Tabela 1 para cada caso; a curva representa a equação de regressão mostrada na Tabela 3.

As equações resultaram em altos valores do coeficiente de correlação; é preciso tomar cuidado, entretanto, quando da extrapolação para áreas de drenagem maiores ou menores que

aquelas para as quais foram calculadas as equações (mostradas na Tabela 1). Estas fórmulas podem ser empregadas como uma primeira estimativa do valor de  $Q_{10,7}$  para uma dada área de drenagem.

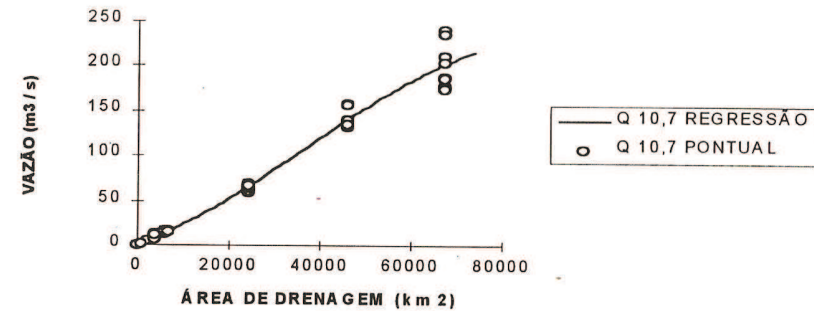


Figura 1 -  $Q_{10,7}$  na Bacia do Iguaçu: Vazão contra Área de Drenagem

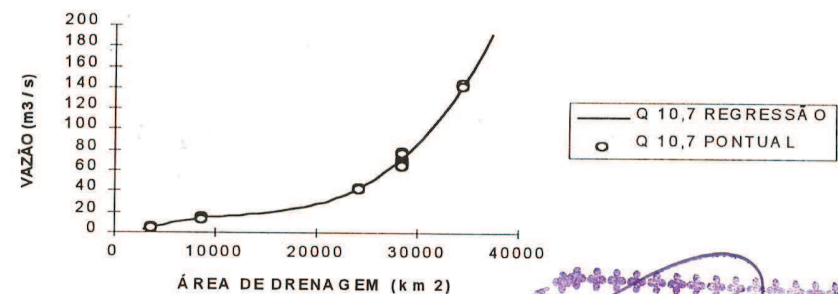


Figura 2 -  $Q_{10,7}$  na Bacia do Ivaí: Vazão contra Área de Drenagem





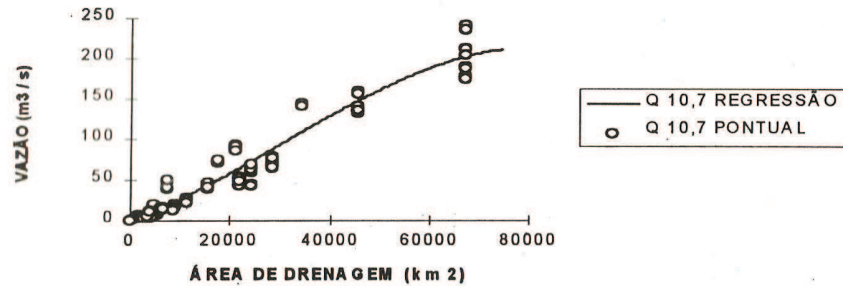


Figura 3 -  $Q_{10,7}$  na Estado do Paraná: Vazão contra Área de Drenagem

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para os casos estudados, o período de dados utilizados mostrou-se a variável mais importante no estudo do valor de  $Q_{10,7}$ .

As equações empíricas relacionando  $Q_{10,7}$  e área de drenagem resultaram em altos valores para o coeficiente de correlação, mas devem ser empregadas apenas como uma primeira estimativa para o valor de  $Q_{10,7}$ .

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Eng. Eloy Kaviski, pelo programa CHPE003, que nos possibilitou o cálculo das vazões de estiagem.

### REFERÊNCIAS

- GOMIDE, Francisco Luiz Sibut. Contribuição ao estudo de períodos de estiagem. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRAULICA (4.: 1970: Oaxtpec Morelos) Anais. Oaxtpec Morelos: IAHR, 1970. v.2, p.25-36.
- JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. The master plan study on the utilization of water resources in Paraná State in the Federative Republic of Brazil: interim report. Tóquio, Jan. 1995. p. S-8.
- KITE, G. W. Frequency an risk analyses in hidrology. Fort Collins: Water Resources Publ., 1978. 224p.
- SANT'ANA, Ruy Fernando et al. Projeto HG-52. Aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte: volumes 1 a 4. Curitiba: CEPAR, 1982.

## APLICACIONES DEL MODELO EVAPOCLIMATONOMICO AL ESTUDIO DEL BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL EN EL NORDESTE DE BRASIL

José A. Marengo  
 CNPq / CPTEC / INPE  
 Rodovia Presidente Dutra, Km. 40, Caixa Postal 001  
 Telefono: (0125)-612.822 - Fax: (0125)-612.835  
 CEP 12630-000 - Cachoeira Paulista, SP. - Brasil

### INTRODUCCION

Uno de los primeros modelos climáticos desarrollados fue el "Modelo Climatológico" de LETTAU (1969). La palabra "climatología" deriva de aerología y aeronomía, indicando no primer intento de cuantificar lo que era antes la disciplina cualitativa de climatología. "Climatología" es una representación unidimensional del clima, que incluye una completa descripción de los balances de energía e hídrico en superficie.

Una versión revisada del modelo original de Lettau es descrita en NICHOLSON et al (1995a), y ha sido utilizado en el modelaje de clima de superficie en regiones semiáridas de Africa (NICHOLSON y LARE, 1994). El modelo ha sido validado con observaciones climatológicas e hidrológicas del experimento regional HAPEX-Sahel en Niamey, Africa por MARENGO et al. (1995) and NICHOLSON et al. (1995b), y es ahora aplicado al Nordeste brasileiro.

### DESCRIPCION DEL MODELO EVAPOCLIMATONOMICO

El modelo evapoclimatológico es esencialmente una solución numérica del balance hídrico simplificado. Permite una distinción entre procesos inmediatos y retardados de evapotranspiración y runoff. El modelo es forzado por radiación solar absorbida por la superficie y lluvia; salidas del modelo son humedad de suelo, evapotranspiración y runoff (Figura 1). El modelo contiene dos niveles de suelo: un nivel superficial de 0 a 0.1 m y el nivel profundo de 0 a 1 m. Runoff en el modelo es generado por drenaje profundo de agua del suelo (retardado) y superficial (inmediato) cuando precipitación excede a la infiltración. Drenaje profundo es una función de la textura de suelo y el contenido de humedad; infiltración es una función de la textura de suelo.

### APLICACION DEL MODELO

#### Información climática

El modelo ha sido aplicado en las estaciones indicadas en Tabla I. Los datos de precipitación fueron compilados de los resúmenes climáticos de la SUDENE, por un periodo promedio mínimo de 10 años. Adicionales datos de entrada son radiación solar, interpolados para cada estación (BISHOP y ROSSOW, 1991). Evapotranspiración potencial fue estimada en base a los datos de evaporación de Tanque clase A (MOLLE, 1989).

