

IV-247 - ANÁLISE REGIONAL DE VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM

Viviane Dornelas Costa

Técnicóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo.

Marianna Bias Hianc

Técnicóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo.

Adriana de Oliveira Pereira dos Reis

Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Professora da Coordenadoria de Engenharia de Produção do Instituto Federal do Espírito Santo.

Jose Antonio Tosta dos Reis⁽¹⁾

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos/USP. Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo.

Endereço⁽¹⁾: Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, ES. CEP: 29.075-910. Telefone: (27) 4009-2648. e-mail: tosta@ct.ufes.br.

RESUMO

A determinação da vazão mínima em uma bacia hidrográfica desempenha um importante papel no planejamento e gerenciamento dos Recursos Hídricos. O presente estudo teve como objetivo geral estabelecer funções regionais aplicáveis à vazão média mínima de sete dias consecutivos associada ao período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$) e da vazão com 90% de permanência (Q_{90}) na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, ES. As séries históricas de vazões consideradas nesse estudo foram obtidas a partir da base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) e manipuladas nos programas computacionais HIDRO e SisCAH, programas de domínio público disponibilizados, respectivamente, pela ANA e pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa. Foram descartadas do estudo todas as séries históricas de vazões médias diárias com extensão inferior a 20 (vinte) anos. Para a definição das funções regionais, a área de drenagem figurou como variável independente. As expressões regionais obtidas para apropriação das vazões $Q_{7,10}$ e Q_{90} constituem funções que podem auxiliar nas etapas de diagnóstico e planejamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Itapemirim.

PALAVRAS-CHAVE: Regionalização de vazões, vazões mínimas, rio Itapemirim.

INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Conhecer adequadamente o comportamento dos processos hidrológicos constitui um dos maiores desafios em Hidrologia. O entendimento qualitativo das diferentes fases do ciclo hidrológico normalmente não permite o gerenciamento dos recursos hídricos dentro de bases ambientalmente sustentáveis, sendo comum a etapa de quantificação.

A quantificação dos processos hidrológicos depende da observação de variáveis que têm comportamento espacial e temporal aleatório e cuja estimativa depende de amostras confiáveis e representativas. O melhor entendimento do comportamento aleatório de uma ou mais variáveis que representam um sistema hídrico depende, em última análise, das informações observadas localmente neste sistema.

No entanto, a inexistência de amostras suficientemente longas estabelece um limite ao grau de sofisticação da análise local das informações. Em função disso, a variável espaço ganhou força frente à variável tempo, estabelecendo a análise regional de um conjunto de informações hidrológicas, apropriadas em locais diferentes, como alternativa para compensar as amostras locais de tamanho relativamente curto (NAGHETTINI e PINTO, 2007; PEARSON, 1991).

Neste contexto surge a regionalização hidrológica, técnica de análise que permite a transferência espacial de informações dentro de uma área de comportamento hidrológico semelhante. Os trabalhos de González e Valdéz (2008), Dinpashoha et al. (2004), Pearson (1991), Baena (2001) e Euclydes et al. (2001) constituem exemplos da aplicação da técnica de regionalização para a descrição do comportamento de diferentes fases do ciclo hidrológico.

Dentro da série histórica de vazões, os menores valores da série ou aqueles valores de vazão que não atendem às necessidades de demanda são normalmente denominadas mínimas ou de estiagem. Dentre as possíveis vazões mínimas de referência, a vazão média mínima de sete dias consecutivos associada ao período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$) e a vazão com permanência mínima de 90% (Q_{90}) merecem particular atenção. Além de constituírem vazões mínimas de referência recorrentemente utilizadas em estudos de avaliação de disponibilidade hídrica para projetos de abastecimento de água, irrigação e energia elétrica, a vazão Q_{90} condiciona o processo de outorga no estado do Espírito Santo.

Desta forma, o presente trabalho tem por finalidade estabelecer e comparar a resposta de funções regionais aplicáveis à avaliação das vazões $Q_{7,10}$ e Q_{90} nos diferentes cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, importante sistema hídrico da porção sul do Estado do Espírito Santo.

ÁREA DE ESTUDO

O Rio Itapemirim possui 320 quilômetros de comprimento da nascente, na Serra do Caparaó, até sua foz, no município de Itapemirim, tendo como principais afluentes o Braço Norte do Rio Muqui do Norte (margem direita), Braço Norte Esquerdo, Castelo, Caxixe (margem esquerda). Com a falta de vegetação, as chuvas carreiam grandes quantidades de sedimento para o leito dos córregos e rios; em 128 quilômetros do rio a partir de Rive, município de Alegre, existem 40 ilhas, algumas de grande porte, o que é indicativo de erosão e assoreamento (ALVES, 2003).

O clima da região da bacia hidrográfica do rio Itapemirim apresenta estação seca no inverno e chuvosa no verão, com temperatura anual média entre 17°C e 23,1 °C. A precipitação anual varia entre 1.000 mm e 1.700 mm, com média girando em torno de 1.200 mm.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dados fluviométricos

Os registros fluviométricos utilizados neste trabalho foram obtidos a partir da base de dados gerenciada pela Agência Nacional das Águas (ANA). Para a manipulação dos dados fluviométricos foi utilizado o programa computacional HIDRO, programa de domínio público produzido e disponibilizado pela ANA.

As estações fluviométricas consideradas neste estudo, incluídas as coordenadas geográficas e as áreas de drenagem, estão listadas na Tabela 01.

Tabela 01 - Estações fluviométricas selecionadas na Bacia do Itapemirim

Estação	Área de drenagem (Km ²)	Latitude	Longitude
Itaici	1045	-20°31'42"	-41°30'41"
Terra Corrida - Montante	602	-20°25'49"	-41°30'10"
Ibitirama	342	-20°32'26"	-41°39'56"
Usina São Miguel	1458	-20°42'09"	-41°10'25"
Castelo	975	-20°36'22"	-41°11'59"

Preenchimento de falhas de séries históricas de vazões

A análise de regressão, detalhadamente apresentada por Levine et al. (2005) e Neghettini e Pinto (2007), constitui alternativa recorrentemente empregada para o preenchimento [ou extensão] de séries históricas de vazão. Neste trabalho empregou-se, para o preenchimento de falhas, a análise de regressão simples. Para a aplicação da análise de regressão foi empregada a planilha eletrônica Microsoft Excel®.

A seleção dos diferentes pares de estações fluviométricas considerados para o preenchimento de falhas envolveu a adoção dos seguintes critérios:

- a) a menor distância possível entre estações e;
- b) a existência de estações num mesmo curso d'água.

Após a seleção dos pares de estações fluviométricas, o procedimento de análise de regressão envolveu as seguintes tarefas:

- a) Construção, por par de estações fluviométricas, de gráficos de dispersão. Nesta etapa foram realizados testes que envolveram vazões médias diárias.
- b) Ajuste de uma linha de tendência aos dados resumidos nos diagramas de dispersão. Nesta etapa foram testados os modelos linear, exponencial e potencial.
- c) A seleção do modelo mais adequado se deu em função do coeficiente de correlação. Não foram considerados modelos cujos coeficientes de correlação associados apresentaram valores inferiores a 70%. A adoção do coeficiente de correlação mínimo de 70% reproduz critério sugerido por Eletrobrás (1985).

Foram descartadas do estudo de regionalização todas as estações fluviométricas instaladas na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim que, após o procedimento de preenchimento de falhas, não apresentassem séries históricas contínuas de vazões médias diárias com extensão mínima de 20 (vinte) anos;

Apropriação das vazões mínimas de referência

Neste trabalho, para a apropriação das vazões mínimas de referência foi empregado o programa SisCah, programa de domínio público produzido e disponibilizado pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa. Além da determinação da curva de permanência para cada estação fluviométrica estudada, a partir da qual foi estabelecida a vazão Q_{90} , aplicação do programa SisCAH permitiu a apropriação da vazão $Q_{7,10}$ a partir de cinco diferentes distribuições de probabilidade (Weibull, LogPearson III, Pearson III, LogNormal II e LogNormal III).

Definição das funções regionais

Para a definição das funções regionais aplicáveis à apropriação das vazões mínimas de referência foi empregado o método proposto pela Eletrobrás, detalhadamente apresentado por Eletrobrás (1985). A área de drenagem das estações fluviométricas figurou como a variável independente nas funções regionais definidas neste trabalho.

RESULTADOS

Vazões mínimas de referência

Após o preenchimento das falhas existentes nas séries históricas de vazões médias diárias, a vazão $Q_{7,10}$ associada a cada estação fluviométrica foi estimada com auxílio do programa SisCAH. Nesta etapa do trabalho, o referido programa permitiu o ajuste de cinco diferentes distribuições de probabilidade (Weibull, LogPearson III, Pearson III, LogNormal II e LogNormal III), sendo a vazão $Q_{7,10}$ escolhida a partir da estimativa da distribuição de probabilidade que apresentou menor erro padrão. Os resultados desta etapa do trabalho estão resumidos nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Valores de $Q_{7,10}$ estimados pelas diferentes distribuições de probabilidade.

Estação fluviométrica	Vazão $Q_{7,10}$ (m ³ /s)				
	Weibull	LogPearson III	Pearson III	LogNormal II	LogNormal III
Itaici	3,13	3,23	3,24	3,23	3,09
Terra Corrida Montante	2,73	2,74	2,78	2,74	2,71
Ibitirama	1,51	2,11	1,54	1,51	1,49
Usina São Miguel	4,82	5,10	4,79	5,08	-
Castelo	1,83	1,98	1,89	2,05	1,82

Tabela 3 - Erro padrão associado às diferentes distribuições de probabilidade para as estações fluviométricas selecionadas.

Estação fluviométrica	Erro padrão				
	Weibull	LogPearson III	Pearson III	LogNormal II	LogNormal III
Itaici	0,36	0,31	0,37	0,43	0,43
Terra Corrida Montante	0,19	0,19	0,19	0,22	0,22
Ibitirama	0,11	0,12	0,12	0,14	0,14
Usina São Miguel	0,61	0,32	0,68	0,45	-
Castelo	0,19	0,21	0,20	0,21	0,21

A partir da simples inspeção da Tabela 3 é relevante observar que, dentre as distribuições de probabilidade testadas, a distribuição de probabilidade LogPearson tipo III foi a que apresentou melhor ajuste quando da apropriação das vazões $Q_{7,10}$, apresentando o menor valor para o erro padrão médio.

A partir da utilização do programa SisCAH, foram obtidas as curvas de permanência para as estações fluviométricas selecionadas neste estudo. A Figura 01 apresenta a curva de permanência obtida para a estação fluviométrica de Itaici. As vazões Q_{90} para as estações fluviométricas analisadas estão reunidas na Tabela 4.

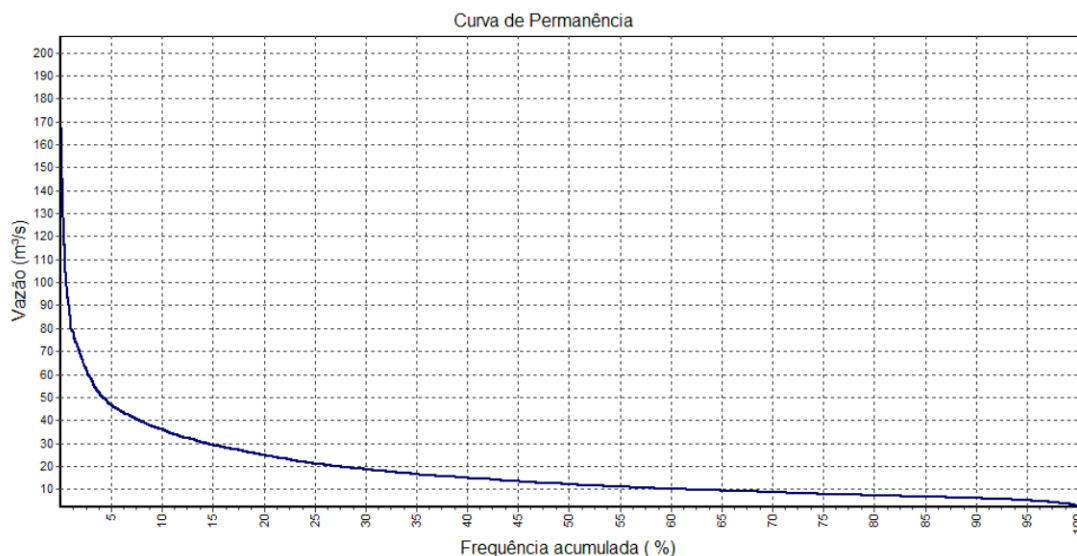


Figura 1 - Curva de permanência estimada para a estação fluviométrica de Itaici.

Tabela 4 - Estações fluviométricas selecionadas e sua respectiva vazão de permanência

Estação Fluviométrica	Q ₉₀ (m³/s)
Itaici	6,02
Terra Corrida Montante	4,03
Ibitirama	2,56
Usina São Miguel	7,91
Castelo	4,11

Regionalização de vazões Q_{7,10}

Após a análise probabilística, correlacionou-se a área de drenagem com as vazões Q_{7,10} estimadas em cada posto, obtendo-se funções regionais para apropriação da referida vazão mínima de referência. As funções regionais e coeficientes de correlação associados aos diferentes modelos de regressão testados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Expressões regionais avaliadas para apropriação da vazão Q_{7,10}

Modelos de tendência	Expressão regional	Coeficiente de Correlação (R²)
Linear	$Q_{7,10} = 0,0027.A + 0,947$	0,63
Potencial	$Q_{7,10} = 0,1327.A^{0,459}$	0,46
Exponencial	$Q_{7,10} = 1,5524.e^{0,0007.A}$	0,58

A função definida pelo modelo linear foi a que apresentou melhor ajuste, sendo escolhida como função regional para apropriação da vazão Q_{7,10}. É relevante registrar, no entanto, que a referida função não atende ao critério proposto por Eletrobrás (1985), segundo o qual as funções regionais obtidas por análise de regressão deveriam apresentar coeficiente de correlação de, no mínimo, 70%.

A partir da aplicação da função regional estabelecida, foram obtidos os valores de vazão Q_{7,10}, consideradas as áreas de drenagem de para cada estação originalmente empregada neste estudo, assim como os desvios relativos a elas associados. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6 e na Figura 2.

Tabela 6 - Vazões Q_{7,10} obtidas a partir da aplicação da função regional selecionada

Estação	Área de drenagem (Km²)	Vazão Q _{7,10} (m³/s)		Desvio Relativo (%)
		Real	Regionalizada	
Itaici	1045	3,23	3,76	-16,41
Terra Corrida - Montante	602	2,67	2,57	3,75
Ibitirama	342	2,11	1,87	11,37
Usina São Miguel	1458	5,10	4,88	4,31
Castelo	975	1,98	3,57	-80,30

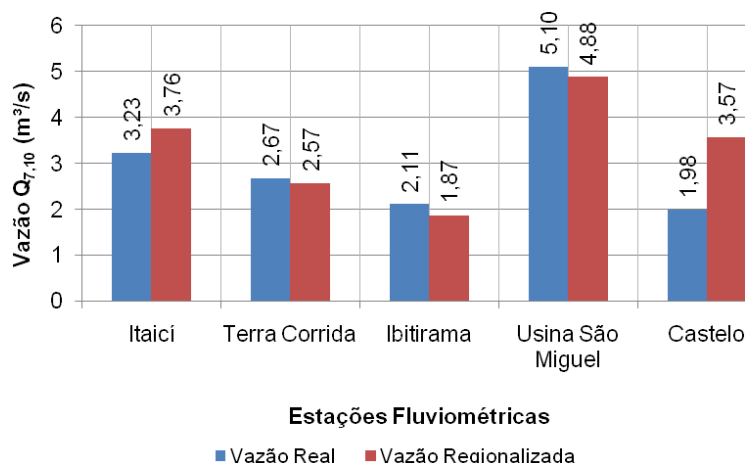


Figura 2 – Comparação entre as vazões $Q_{7,10}$ real e regionalizada.

A partir da análise dos desvios relativos apresentados na Tabela 6 é relevante observar que a função regional proposta para avaliação da vazão $Q_{7,10}$ apresentou desvios relativos absolutos que oscilaram entre 16% e 80%, com desvio médio absoluto de aproximadamente 23%. Ainda que este valor de desvio médio seja inferior ao limite estabelecido pela Eletrobrás (1985), segundo a qual são aceitáveis desvios de até 30%, a função regional proposta produziu desvios superiores a 80% para a estação fluviométrica de Castelo, sugerindo que, do ponto de vista da vazão $Q_{7,10}$, esta estação apresenta comportamento diverso daquele observado nas demais estações consideradas neste estudo.

Regionalização de vazões Q_{90}

As funções regionais e coeficientes de correlação associados aos diferentes modelos de regressão testados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Expressões regionais avaliadas para apropriação da vazão Q_{90}

Modelos de tendência	Expressão regional	Coeficiente de Correlação (R^2)
Linear	$Q_{90} = 0,004.A + 0,906$	0,88
Potencial	$Q_{90} = 0,038.A^{0,715}$	0,88
Exponencial	$Q_{90} = 1,979.e^{0,001.A}$	0,89

A função definida pelo modelo exponencial foi a que apresentou maior coeficiente de correlação, ainda que muito próximo daqueles apropriados para os demais modelos de regressão testados. No entanto, quando avaliados os desvios relativos entre valores reais e estimados de vazão Q_{90} , a função potencial foi a que apresentou melhores resultados, sendo sugerida como função regional para apropriação da vazão Q_{90} .

A partir da função regional foram obtidos os valores de vazão com 90% de permanência, consideradas as áreas de drenagem de cada estação originalmente empregada nesse estudo. As vazões Q_{90} assim obtidas, bem como os desvios que lhe são associados, estão indicados na Tabela 8 e representados graficamente na Figura 3.

Tabela 8 - Vazões Q_{90} obtidas a partir da aplicação da função regional.

Estação Fluviométrica	Área de influência (Km²)	Vazão Q_{90} (m³/s)		Desvio Relativo (%)
		Real	Regionalizada	
Itaici	1045	6,02	5,48	9,04
Terra Corrida - Montante	602	4,03	3,69	8,40
Ibitirama	342	2,56	2,46	3,76
Usina São Miguel	1458	7,91	6,95	12,16
Castelo	975	4,11	5,21	-26,79

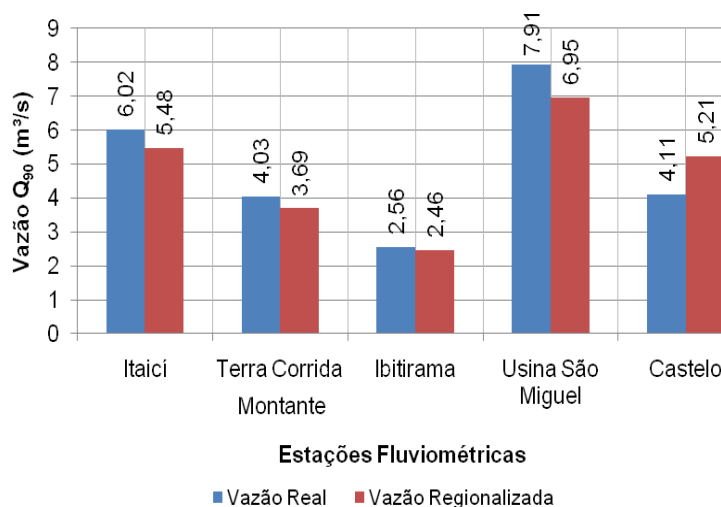


Figura 3 - Comparação entre as vazões Q_{90} reais e regionalizadas para as estações fluviométricas selecionadas.

Da simples inspeção da Tabela 8 e na Figura 3 é possível observar que as vazões Q_{90} estimadas a partir da função regional apresentaram-se substancialmente próximas daquelas originalmente apropriadas pelo SisCAH, apresentando desvios relativos absolutos que oscilaram entre 3% e 26% e desvio médio absoluto de 12%.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dentre as estações fluviométricas instaladas e em funcionamento na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, apenas cinco (Itaici, Terra Corrida – Montante, Ibitirama, Usina São Miguel e Castelo) permitiram a obtenção de séries históricas contínuas de registros diários de vazão com extensão igual ou superior a 20 anos. A partir dos registros de vazões médias diárias destas estações, foi estabelecido o banco de dados de registros fluviométricos empregado neste estudo.

Dentre as distribuições probabilísticas, empregadas neste trabalho com auxílio do programa SisCAH, a distribuição LogPearson III foi a que apresentou os menores valores para o erro padrão, quando da apropriação da vazão $Q_{7,10}$.

A função regional obtida para avaliação da vazão $Q_{7,10}$ produziu erro percentual absoluto médio de 23%. No entanto, o desvio associado à estação fluviométrica de Castelo foi superior a 80%, sugerindo que, do ponto de vista da avaliação da vazão $Q_{7,10}$, esta estação não se comporta hidrológicamente como as demais estações consideradas neste trabalho.

A função regional obtida para avaliação da vazão Q_{90} apresentou erro percentual absoluto médio de 12%, sendo considerada adequada para avaliação da referida vazão de referência na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim.

Como a vazão Q_{90} é critério de outorga no Estado do Espírito Santo recomenda-se a condução de estudos de regionalização nos quais outras variáveis fisiográficas ou climatológicas sejam avaliadas como variáveis independentes das funções regionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, M. H. "SIHBRI: Sistema de Informações Hidrológicas da Bacia do Rio Itapemirim". In: V Seminário Estadual de Saneamento Ambiental e Meio Ambiente – SESMA da ABES. Vitória, 2003.
2. BAENA, L. G. N. Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir do modelo digital de elevação hidrológicamente consistente. Viçosa, 2002. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
3. DINPASHOHA, Y; FAKHERI-FARDA, A.; MOGHADDAMB, M.; JAHANBAKHSH, S.; MIRNIA, M. Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods. *Journal of Hydrology*, n. 297, p.109-123, 2004.
4. ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras SA. Metodologia para regionalização de vazões. Brasília: ELETROBRAS, 1985.
5. EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; RUBERT, O. A. V.; SANTOS, R. M. Regionalização hidrológica na bacia do Alto São Francisco a montante da barragem de Três Marias, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.6 , n.2, p.85-105, 2001.
6. GONZÁLEZ, J.; VALDÉS, J. B. A regional monthly precipitation simulation model based on an L-moment smoothed statistical regionalization approach. *Journal of Hydrology*, n. 348, p. 27-39, 2008.
7. LEVINE, D. M.; STEPHAN, D.; KREHBIEL, T. C.; BERENSON, M. L. (2005). *Estatística - Teoria e Aplicações*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.
8. NEGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007.
9. PEARSON, C. P. Regional Flood frequency for small New Zealand basins 2: flood frequency groups. *Journal of Hydrology (New Zealand)*, n. 30, p. 53-64, 1991.