

Uso da modelagem matemática para a previsão de enchentes no Vale do Taquari – RS

Grasiela Cristina Both

Centro de Informações Hidrometeorológicas – CIH; Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento - PPGAD; Centro Universitário Univates UNIVATES
gboth@univates.br

Claus Haetinger

Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento – PPGAD; Centro Universitário UNIVATES
chaet@univates.br

Everaldo Rigelo Ferreira

Centro de Informações Hidrometeorológicas – CIH; Curso de Engenharia Ambiental; Centro Universitário Univates UNIVATES
ferreira@univates.br

Vianeí Luís Diedrich

Centro de Informações Hidrometeorológicas – CIH; Núcleo de Geoprocessamento; Centro Universitário Univates UNIVATES
vaneidiedrich@yahoo.com.br

José Luiz Fay de Azambuja

Administração das Hidrovias do Sul – AHSUL
azambuj@uol.com.br

Resumo: A região do Vale do Rio Taquari, situada na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, no Rio Grande do Sul, sofre frequentemente com o fenômeno das enchentes em resposta às precipitações intensas, causando um impacto socioeconômico e ambiental nos municípios localizados às margens do Rio Taquari. A cada ocorrência de um evento, a população ribeirinha precisa ser removida destas áreas inundáveis, onerando o poder público e retratando, assim, um problema histórico de uso inadequado do solo. A UNIVATES e a AHSUL vem desenvolvendo um sistema de alerta de enchentes desde 2003. O presente trabalho aborda uma das etapas deste sistema, que consiste na previsão hidrológica (método de previsão das cotas máximas de enchentes). O método de previsão foi desenvolvido através de uma série cronológica de dados de cotas máximas de enchentes, coletados e adquiridos em vários órgãos e entidades regionais e estaduais, a partir dos quais elaborou-se um modelo matemático correlacionando pontos da montante à jusante do Rio Taquari. O modelo matemático apresenta resultados satisfatórios para a previsão de enchentes do Vale do Taquari.

Palavras-chave: Modelagem matemática; Previsão de enchentes; Vale do Taquari.

VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

30 de abril a 3 de maio de 2008, Serra Negra, SP

1. Introdução

Desde os primórdios da humanidade, a possibilidade dos rios serem utilizados como fontes de água para o consumo humano, agricultura, vias de transporte de cargas, fonte de energia e lazer, estimulou a instalação de aglomerados humanos (Tucci & Bertoni, 2003).

O uso inadequado do solo em áreas inundáveis provoca inúmeros efeitos negativos para a população ribeirinha a cada evento de enchente.

Neste trabalho, entende-se por enchente, o extravasamento do volume de água excedente de um rio que atinge o seu leito maior excepcional.

Os principais impactos sobre a população consistem nos prejuízos com as perdas materiais e humanas, interrupção da atividade econômica das áreas inundadas, contaminação por doenças de veiculação hídrica e a contaminação da água pela inundação de depósito de material tóxico, estações de tratamento, entre outros (Tucci & Bertoni, 2003).

A região do Vale do Rio Taquari (Figura 1), situada na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, no Rio Grande do Sul, sofre frequentemente com o fenômeno das enchentes em resposta às precipitações intensas, passando o rio Taquari a ocupar seu leito maior, o qual sofre intervenção antrópica por meio dos mais diferentes usos (cultivo, moradia, instalações industriais, etc).

A própria irregularidade do evento dá uma “margem de segurança” quanto à ocupação dessas áreas. Porém, a cada nova ocorrência, a população ribeirinha precisa ser removida destas áreas inundáveis, onerando o poder público (Ferreira *et al.*, 2007).

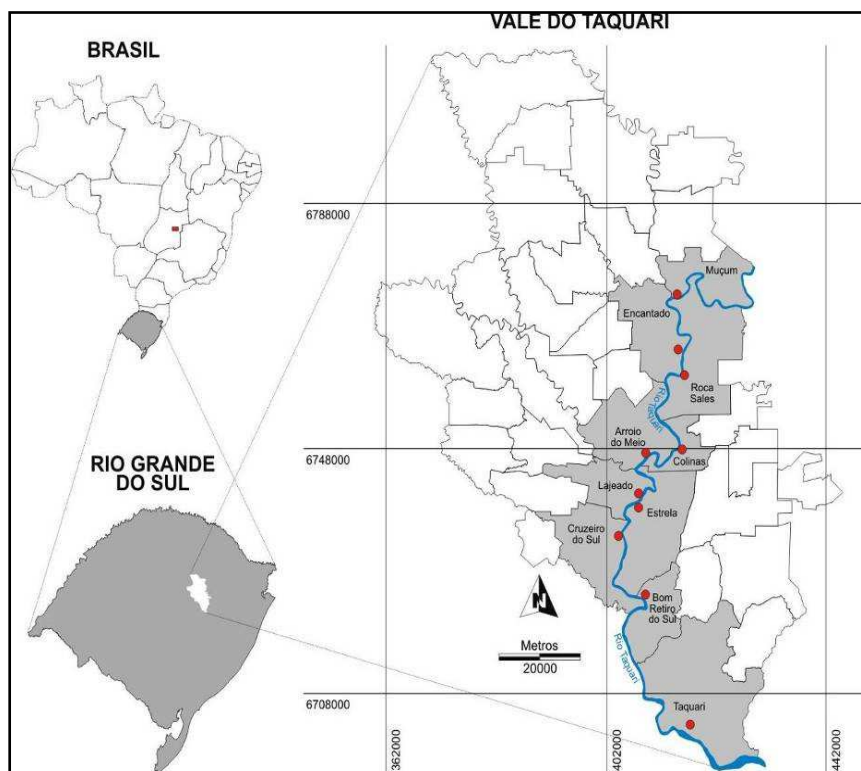


FIGURA 1 - Localização do Vale do Taquari (RS) com destaque aos municípios atingidos pelas enchentes.

VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

30 de abril a 3 de maio de 2008, Serra Negra, SP

Segundo Tucci (2002), as medidas não-estruturais são consideradas as mais recomendadas e ideais no controle de enchentes, pois envolvem menos investimento e não causam impactos ambientais, atuando na minimização das conseqüências advindas destes eventos.

A previsão de enchentes consiste na medida não-estrutural adotada no Vale do Taquari a fim de reduzir os prejuízos gerados na ocorrência freqüente deste fenômeno (Ferreira *et al.*, 2007), utilizando a modelagem matemática como um dos procedimentos metodológicos para simulação e previsão deste evento hidrológico.

A utilização da modelagem para a simulação de eventos hidrológicos extremos, como por exemplo, as enchentes, pode auxiliar na tomada de decisão imediata (Christofoletti, 1999). Desta forma, a partir do alerta da iminência de uma enchente com sua cota máxima de alcance pré-determinada, a população a ser atingida pode ser removida das áreas inundáveis com antecedência, reduzindo os prejuízos com perdas materiais.

Este trabalho tem por objetivo principal apresentar o método de previsão de enchentes desenvolvido a partir da modelagem matemática, e adotado pelo Sistema de Alerta de Enchentes da Região do Vale do Taquari – RS - Brasil, que tornou-se uma ferramenta de informação e gestão pública das áreas inundáveis dos municípios atingidos pelas cheias do Rio Taquari.

2. Sistema de Alerta de Enchentes do Vale do Taquari

O Sistema de Alerta de Enchentes (SAE, por brevidade) está em operação desde o ano de 2003 e é coordenado pela UNIVATES e pela Administração das Hidrovias do Sul - AHSUL. O SAE é composto pelo monitoramento hidrometeorológico e pela previsão hidrológica com a finalidade de alertar 10 municípios da Região do Vale do Taquari quanto ao risco de ocorrência de enchentes. O funcionamento do SAE pode ser visualizado na Figura 2.

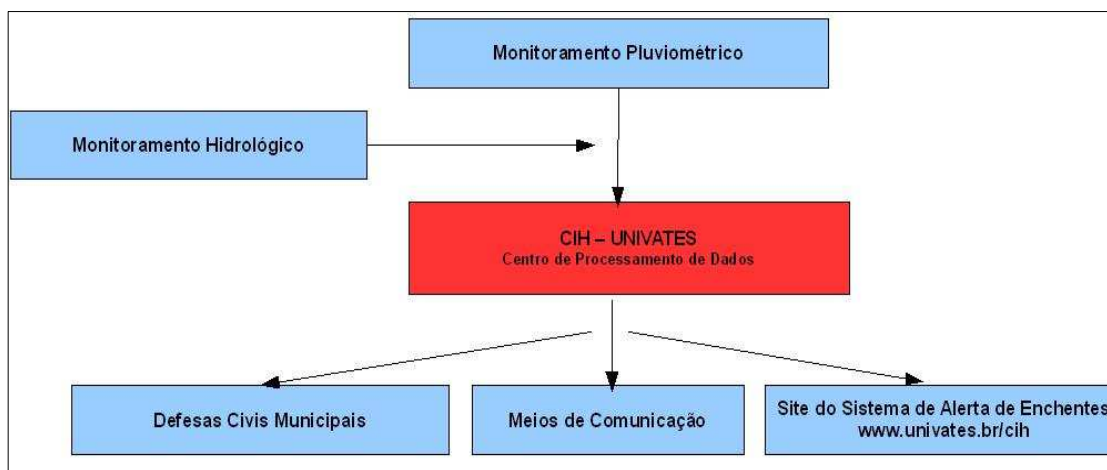


FIGURA 2 - Organograma do Sistema de Alerta de Enchentes do Vale do Taquari.

3. Método de previsão de enchentes

Logo após a constatação de um grande volume de chuvas ocorrido na Bacia Taquari-Antas, inicia-se o monitoramento hidrológico através de linígrafos instalados em diversos pontos da Bacia para acompanhar a evolução dos níveis dos rios (Figura 3).

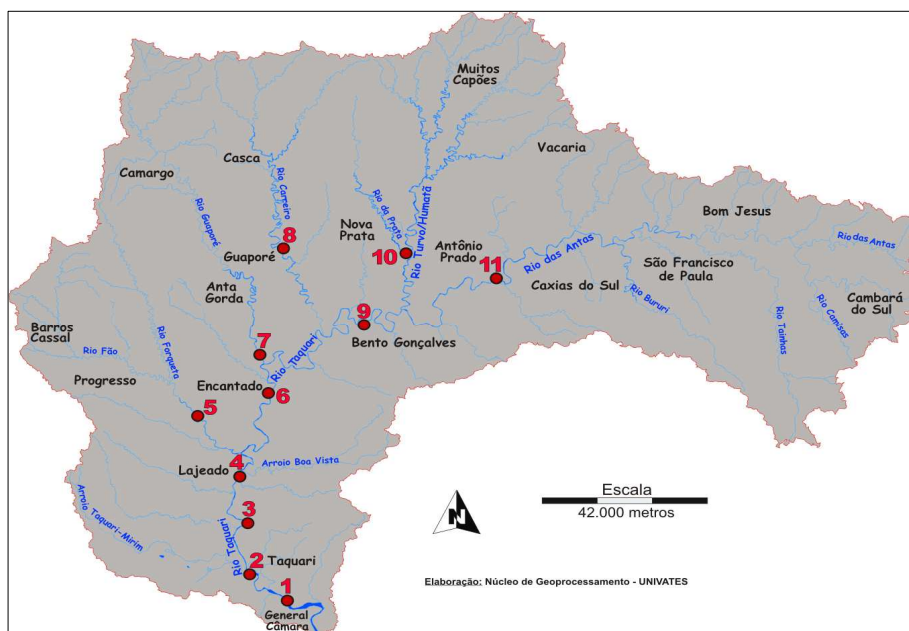


FIGURA 3 - Localização dos equipamentos de monitoramento hidrológico (linígrafos) na Bacia Taquari-Antas.

Constatada a elevação do nível do rio no ponto de monitoramento em Veranópolis (ponto 9), passa-se a aplicar o modelo de previsão do tipo cota-cota para estimar os níveis a serem alcançados à jusante do rio Taquari nos municípios de Encantado (ponto 6) e Estrela (4).

O modelo de previsão consiste na utilização de uma curva modelada a partir da correlação linear simples dos seguintes locais:

1. Veranópolis – Encantado
2. Veranópolis – Estrela
3. Encantado – Estrela

Este modelo utiliza uma série cronológica de cotas máximas de cheias obtidos a partir de diversos órgãos, tais como rádios locais e porto fluvial de Estrela.

Estabelecendo a correlação entre estes pontos foi possível encontrar os seguintes resultados:

1. Veranópolis – Encantado

Coefficiente de Pearson (r) = 0,94

Coefficiente de Determinação (R^2) = 0,8912 = 89%

$$Y = 1,1309x + 25,97 \tag{1}$$

Onde: Y = Encantado; x = Veranópolis

2. Veranópolis – Estrela

Coefficiente de Pearson (r) = 0,88

VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
30 de abril a 3 de maio de 2008, Serra Negra, SP

Coefficiente de Determinação (R^2) = 0,78 = 78%

$$Y = 1,045x + 7,8472 \quad (2)$$

Onde: Y = Estrela; x = Veranópolis

3. Encantado – Estrela

Coefficiente de Pearson (r) = 0,96

Coefficiente de Determinação (R^2) = 0,9225 = 92%

$$Y = 0,9082x - 15,471 \quad (3)$$

Onde: Y = Estrela; x = Encantado

Os coeficientes de Pearson (r) encontrados foram significativos, indicando uma relação entre as duas variáveis. Os coeficientes de determinação (R^2) indicam uma forte correlação entre as cotas destes locais, principalmente, a correlação entre Encantado e Estrela que apresentou 92% de dependência, possivelmente devido à proximidade dos referidos municípios, sofrendo assim menor influência de outras variáveis não consideradas no modelo.

Após a verificação da existência de correlação positiva, estabeleceu-se a equação da reta (equação 1, 2 e 3) que é utilizada na previsão do nível de alcance das enchentes nos municípios de Encantado e Estrela, localizados na Região do Vale do Taquari.

Com estas informações, os demais municípios situados às margens do Rio Taquari projetam a proporção da enchente em seu município.

Através deste método é possível obtermos uma previsão confiável de pelo menos 10 horas de antecedência, tomando como base dados que chegam de Veranópolis, quanto à proporção da enchente (pequena, média ou grande) a ocorrer no Vale do Taquari. A partir da correlação Encantado-Estrela pode-se apontar a cota que o rio alcançará no município de Estrela.

Na Tabela 1, encontra-se um comparativo do desempenho do modelo matemático de previsão desenvolvido, considerando a correlação Veranópolis – Encantado (equação 1) e Encantado - Estrela (equação 3) com seus respectivos resíduos.

TABELA 1 – Resultados verificados na correlação das enchentes no período de 1956-2007

Enchente	Cota real (observada)			Cota projetada (modelo)			
	Veranópolis	Encantado	Estrela	Encantado	Resíduo	Estrela	Resíduo
06/04/1956	17,20	47,18	27,77	45,42	-1,76	27,38	-0,39
22/08/1965	18,00	45,53	26,40	46,33	+0,80	25,88	-0,52
20/09/1967	16,50	45,23	26,33	44,63	-0,60	25,61	-0,72
29/06/1982	13,62	43,18	25,40	41,37	-1,81	23,74	-1,66
10/07/1983	16,58	45,33	24,75	44,71	-0,62	25,70	+0,95
15/09/1988	14,45	43,74	24,25	42,31	-1,43	24,25	0,00
12/09/1989	18,76	45,65	25,20	47,30	+1,65	25,99	+0,79
25/09/1989	19,45	46,67	25,89	46,55	-0,12	26,91	+1,02

VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
30 de abril a 3 de maio de 2008, Serra Negra, SP

02/06/1990	20,10	47,97	26,64	48,70	+0,73	28,09	+1,45
16/10/1990	13,83	40,89	22,10	41,61	+0,72	21,66	-0,44
28/05/1992	15,20	45,94	25,35	43,16	-2,78	26,25	+0,90
05/08/1997	15,70	45,97	25,60	43,72	-2,25	26,28	+0,68
13/10/2000	13,75	42,57	23,80	41,52	-1,05	23,19	-0,61
22/07/2001	19,00	46,67	26,30	47,46	+0,79	26,91	+0,61
03/10/2001	20,80	48,32	26,95	49,49	+1,17	28,41	+1,46
13/06/2002	12,10	38,07	22,40	39,65	+1,58	19,10	-3,30
21/02/2003	11,54	41,37	21,80	39,02	-2,35	22,10	+0,30
09/07/2003	7,81	37,97	19,65	34,80	-3,17	19,01	-0,64
25/10/2003	13,46	39,22	20,73	41,19	+1,97	20,15	-0,58
15/12/2003	11,03	38,81	20,38	38,44	-0,37	19,78	-0,60
19/05/2005	13,30	40,72	20,94	41,01	+0,29	21,51	+0,57
17/10/2005	15,04	43,06	22,95	42,98	-0,08	23,64	+0,69
27/07/2006	12,57	38,73	19,86	40,18	+1,45	19,70	-0,16
11/07/2007	19,48	45,64	24,51	48,00	+2,36	25,98	+1,47
23/07/2007	12,57	38,21	18,66	40,18	+1,97	19,23	+0,57
24/09/2007	16,34	44,80	26,25	44,45	-0,35	25,22	-1,03

Conforme Christofletti (1999), os modelos para previsão geralmente são construídos com base nas análises de regressão.

Embora o modelo obtido através do método de regressão, de um modo geral, apresente bom desempenho, principalmente na correlação Encantado – Estrela, este apresenta algumas limitações, sobretudo quanto à distribuição espacial da chuva sobre a Bacia Taquari-Antas. Quando a precipitação não ocorre de uma maneira uniforme, chovendo, por exemplo, excessivamente em alguma área da Bacia Taquari-Antas, ocorre uma contribuição mais significativa de determinados afluentes, refletindo no desempenho do modelo.

As limitações dos modelos hidrológicos também foram apontadas por Tucci (1998) e Tucci & Bertoni (2003), que apesar de considerarem uma ferramenta extremamente útil que permite, através da equacionalização dos processos, representar, entender e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica, apontam ser impossível ou inviável traduzir todas as relações existentes entre os diferentes componentes da bacia hidrográfica em termos matemáticos. Assim, na maioria dos casos, a modelagem hidrológica torna-se somente uma representação aproximada da realidade.

4. Considerações Finais

O modelo pode ser adotado para a previsão de enchentes do Rio Taquari, sobretudo, na projeção de Encantado para Estrela, porém é necessário adotar margens de erro no momento de alerta à população. No presente momento, estudam-se outras formas de ajuste para os dados de cotas máximas da série cronológica, através de modelos hiperbólicos ou quadráticos, por exemplo. A tônica da discussão refere-se à questão de priorizar o menor resíduo médio,

VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

30 de abril a 3 de maio de 2008, Serra Negra, SP

ou o melhor coeficiente de determinação. As limitações concernentes à distribuição espacial das chuvas também serão consideradas em futuros aprimoramentos do modelo, podendo aumentar ainda mais a antecedência na previsão.

Referências

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

TUCCI, C.E.M. Modelos Hidrológicos. 10. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1998.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia – Ciência e Aplicação. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2000.

TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C (Org.). Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: ABRH, 2003.

FERREIRA, E.R; ECKHARDT, R.R.; HAETINGER, C.; BOTH, G. SILVA, J.F; DIEDRICH, V.L; AZAMBUJA, J.L.F. Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes da Região do Vale do Taquari – RS - Brasil. *In:* Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos, 2., 2007, Santos. **Anais...** Santos: ABGE, 2007.