

Mapas de inundação a partir de geoprocessamento e georreferenciamento – o caso de Blumenau (SC)

Julio Cesar Refosco¹
Gelson Santos da Silva³
Cássio Rogério Eskelsen³
Adilson Luiz Nicoletti¹
Ademar Cordero²
Dalvino Francisco Salvador²

¹ Universidade Regional de Blumenau – FURB
Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal – PPGEF
Rua Antônio da Veiga, 140 – 89012-900 – Blumenau – SC
{refosco, nicoletti}@furb.br

² Universidade Regional de Blumenau – FURB
Departamento de Engenharia Civil
Rua Antônio da Veiga, 140 – 89012-900 – Blumenau – SC
{cordero, dalvino}@furb.br

³ 3GEO Ltda.
Rua Timbó, 301/203 – Blumenau – SC
{gelson, cassio}@3geo.com.br

Abstract. Floods were and are a constant in Itajaí Valley, Santa Catarina, South of Brazil, being registered since the beginning of colonization in 1852. After the 2011 flood event, it was clear that the flood maps should be reviewed. This paper describes the methods and results to develop new flooding maps for Blumenau. Georeferencing and geoprocessing methods were used to generate a digital model of the 2011 flood and to extrapolate it to other levels of flooding. Analysis of the results shows the impacts of the floods from 8 to 15 meters flood levels.

Palavras-chave: flood mapping, digital elevation models, digital models, geoprocessing, modelos digitais de elevação, modelos digitais, carta-enchente, hidrologia, Blumenau (SC).

1. Introdução

As inundações graduais são registradas desde a fundação do município de Blumenau. Ao longo do tempo muitos estudos e ações surgiram no sentido de minimizar as enchentes de Blumenau e de outras cidades no Vale do Itajaí. As medidas para o controle da inundação podem ser do tipo estrutural e não estrutural. As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial evitando os prejuízos decorrentes das enchentes, enquanto que as medidas não estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência do ser humano com as enchentes.

Nas últimas três décadas muitas modificações na cobertura do solo foram observadas no município de Blumenau. A população cresceu, passando de 100.000 para 300.000 habitantes e com este crescimento surgiram novas ruas, novos loteamentos, aterramentos e escavações, aceitáveis na dinâmica de crescimento de uma cidade. Outro elemento relevante foi o alargamento da calha do rio Itajaí-açu, em dois trechos a jusante de Blumenau, realizado pelo DNOS entre 1988 e 1990.

Estas modificações causaram mudanças na dinâmica do escoamento das águas do rio Itajaí-Açu e afluentes, justificando novos estudos e instrumentos de diagnóstico e monitoramento de enchentes graduais.

Em Blumenau, o fenômeno da enchente é registrado desde o estabelecimento da colônia, em 1852 e segundo registros históricos foram contabilizados em torno de 77 eventos com nível acima de 8 metros, considerado como causadores de sérios problemas à população (FRANK, 2003; FRANK e PINHEIRO, 2003).

Em 2011, os municípios da bacia do Itajaí foram mais uma vez atingidos por inundações. Neste evento, no dia 31/08, o nível do rio chegava a 8,70m e com essa medida diversas edificações residenciais e comerciais já eram atingidas. O nível máximo, alcançado nove dias depois foi de 12,80m e, praticamente, parou as atividades cotidianas da cidade, assim como em outros municípios da Bacia do Itajaí (CEOPS, 2012).

Os mapas de inundação, segundo Tucci (2001), podem ser de dois tipos: mapas de planejamento e mapas de alerta. Os mapas de planejamento mostram áreas que são inundadas por enchentes recorrentes em determinados tempos de retorno ou segundo níveis predefinidos – são as chamadas “cartas-enchente”.

Os mapas de alerta informam, em cada esquina ou em cada ponto de controle, com que nível de água a inundação se inicia neste local – são os chamados “Cotas enchente”.

Estes instrumentos podem e devem ser largamente utilizados por quem quer que seja. De forma geral, os mapas de planejamento são um instrumento mais técnico, a ser utilizado pelos técnicos das prefeituras e instituições interessadas ou responsáveis, para analisar as áreas atingidas por inundações em diversos tempos de recorrência. Também de forma geral, os mapas de alerta são utilizados pelos moradores para saber quando a área próxima à sua residência ou outro ponto de interesse será atingida por certa inundação.

A carta enchente pode ser utilizada para a análise da ocupação do espaço com as edificações habitacionais, comerciais, industriais, estruturas viárias e outras estruturas. Este mapa também fornece informações para avaliar o zoneamento do Plano Diretor e as restrições impostas à ocupação em cada zona.

O objetivo geral deste trabalho é apresentar os resultados dos estudos realizados para a elaboração da carta-enchente para o município de Blumenau. Os objetivos específicos foram: (1) Identificar as marcas deixadas pela enchente de 2011 e medir o nível topográfico e (2) gerar mapas de áreas inundadas para o município de Blumenau em diversos níveis do rio Itajaí-açu.

2. Metodologia de Trabalho

Foram utilizados receptores GNSS geodésicos, receptores GNSS de navegação e todos os equipamentos auxiliares. Foi utilizado o sistema de informações geográficas ARC/INFO 10. O deslocamento foi realizado com veículo utilitário.

Foi utilizada a cartografia do município de e Blumenau, fornecida pela Prefeitura Municipal de Blumenau composta pelas seguintes camadas: as vias e os eixos das vias (ruas), rios principais, rios secundários, divisão de bairros, curvas de nível de 1m e 5m, limite municipal e as cartas de inundação anteriores, das cotas de cheia de 10, 12 e 15,46m.

Como base geodésica de referência foi utilizado o marco do IBGE (código 91858), localizado no Campus 2 da Universidade Regional de Blumenau (FURB) (IBGE, 2012). A partir desta foi estabelecida outra base precisa localizada no Campus 1 da FURB para facilitar a realização dos trabalhos.

Para a realização da carta enchente de Blumenau foram utilizados métodos de georreferenciamento e de geoprocessamento. Foram realizados levantamentos da altitude das marcas da enchente de 2011 em diversos pontos distribuídos pela cidade de Blumenau. Em seguida foi realizada interpolação dos valores encontrados para cada ponto, gerando-se um modelo digital de elevações. Este modelo digital de elevações foi analisado e validado e foi posteriormente convertido para o formato vetorial.

Para a definição dos pontos amostrais preliminares foi utilizada a antiga carta enchente, definindo-se como critério, uma grade de pontos, com equidistância de 500m, a uma distância máxima de 500m além da borda da área de inundação da enchente de 1983, representada na carta enchente anterior, correspondente a uma enchente de nível de 15,46m. Este procedimento resultou na seleção de 330 pontos que cumpriam as condições anteriores. Os pontos amostrais pré-definidos são apresentados na Figura 1.

Cabe ressaltar que alguns pontos ficaram localizados em terrenos mais elevados, sobre rios ou além da área de inundação da enchente de 2011, o que justifica o menor número de pontos efetivamente utilizados. Os pontos selecionados serviram para a navegação da equipe de campo e para planejamento das visitas aos locais preestabelecidos.

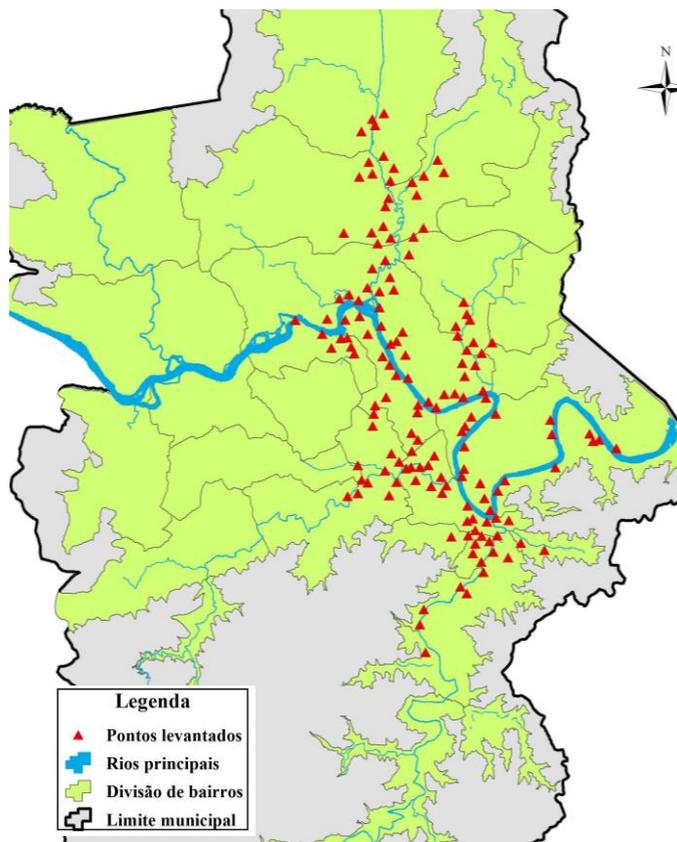


Figura 1. Distribuição dos pontos amostrais para o levantamento de campo.

A coleta de dados foi realizada visitando-se cada um dos pontos pré-selecionados e realizando um georreferenciamento dos mesmos, através de metodologia de posicionamento diferencial e respectiva correção pela ondulação geoidal para obtenção da altitude ortométrica, com a elaboração de um dossiê respectivo. Foi utilizado o modelo de ondulação geoidal do IBGE através do programa MAPGEO (IBGE, 2012).

Foi realizado monitoramento da qualidade do modelo de ondulação geoidal através de referências de nível conhecidas em toda a região (ALENCAR, 1990; ARANA, 2005; BERNARDI e LANDIM, 2002; LOPES, 2007).

Com os pontos levantados, processados e avaliados, a etapa seguinte foi a interpolação, ou seja, com a altura de cada ponto estabelecida a meta foi confeccionar um modelo digital de superfície correspondente à inundação de setembro 2011. Para geração do modelo foi utilizado um interpolador ponderado pelo inverso da distância.

Foi realizado um procedimento para avaliar o modelo gerado pela interpolação, baseado na comparação de dados de altura coletados em campo com os dados de altura da lâmina d'água gerada pelo modelo digital.

O modelo digital desenvolvido e que configura a enchente de 2011 foi extrapolado para outras alturas de nível de inundação, abaixo e também acima do nível atingido em 2011, de forma a estimar eventos de enchente variando de 6 metros a 15 metros. Este processo considerou a hipótese de que a enchente, desde o nível de 6 metros até o nível de 15 metros, tem a mesma conformação hidrológica, de forma que a extrapolação consistiu apenas no processo de considerar a mesma lâmina de água abaixada até 6 metros e elevada até 15 metros.

Os modelos digitais desenvolvidos foram convertidos para o formato vetorial através de operações matemáticas entre o modelo digital da enchente e o modelo digital de superfície elaborado a partir da cartografia de topografia na escala 1:2000.

3. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta o modelo digital de elevações que representa a enchente de 2011, realizado a partir da interpolação dos dados de campo. Os valores mais altos de nível chegam a 17,026m a montante e os mais baixos a 10,422m para jusante, indicando a inclinação da lâmina d'água da enchente.

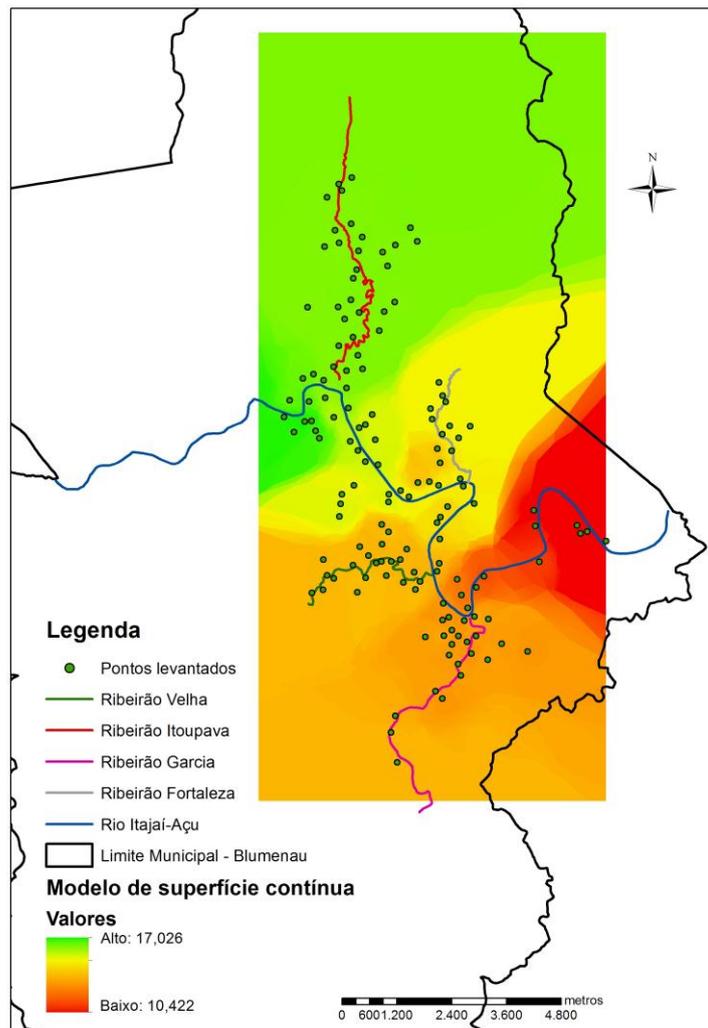


Figura 2. Modelo digital representando a superfície da lâmina d'água resultante da interpolação.

A comparação da altura da lâmina d'água da enchente de 2011 com a altura da lâmina gerada pelo modelo é apresentada na Figura 3. Nos pontos coletados, a comparação entre altura do ponto coletado e altura do ponto estimado pelo modelo, indicou que não houve diferença significativa para o fenômeno analisado.

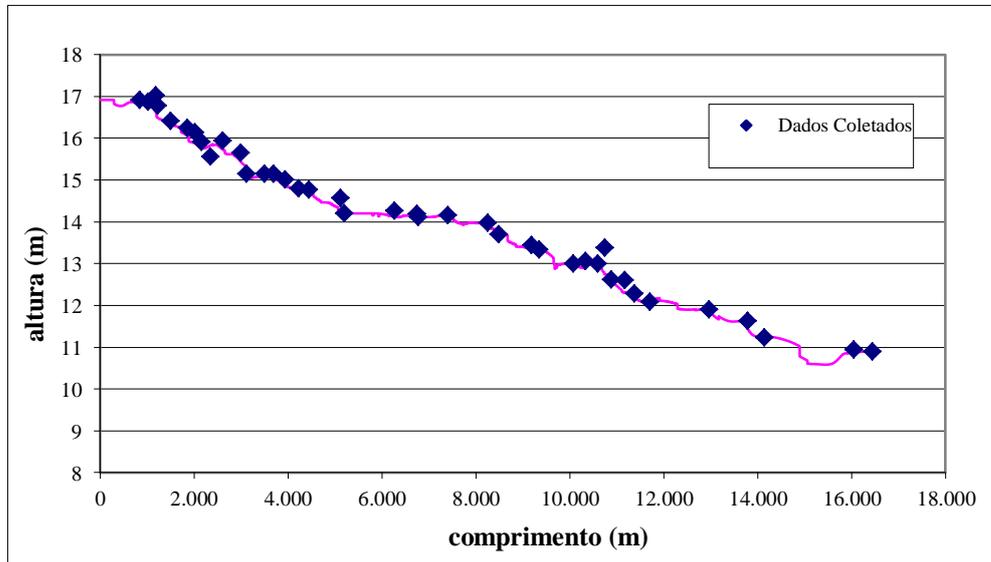


Figura 3. Comparação entre dados coletados em campo e gerados pelo modelo ao longo do perfil longitudinal do rio Itajaí-açu.

Foram produzidas cartas enchente em vários níveis de inundação, variando de 6 metros a 15 metros. Estas cartas foram produzidas em formato vetorial e são apresentadas na Figura 4.

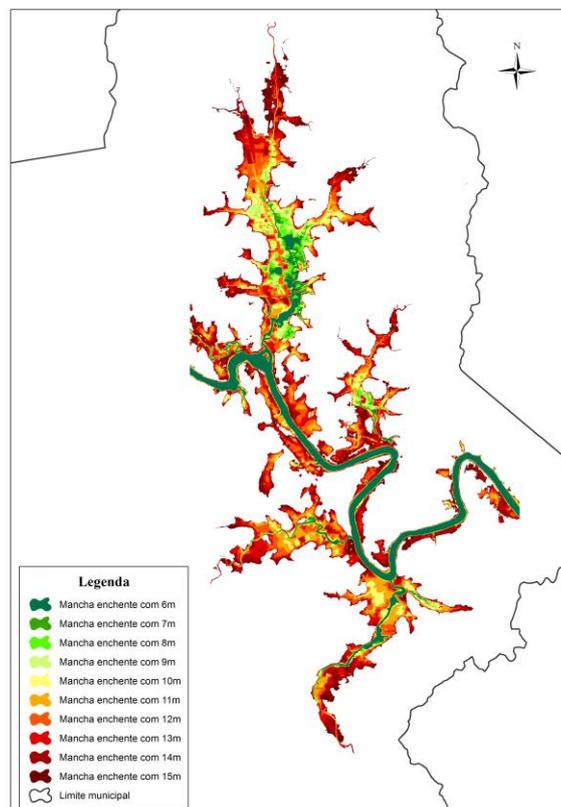


Figura 4: Áreas de inundação para Blumenau com diversos níveis do rio Itajaí-açu.

Uma análise dos resultados permite examinar os dados, extrair e gerar informações secundárias, as quais servem como subsídio à tomada de decisão e ao trabalho relacionado à gestão de eventos de enchentes, bem como ao planejamento urbano.

Uma primeira análise realizada foi em relação ao número de edificações atingidas durante eventos de enchentes. O mapa de edificações utilizado para esta análise foi fornecido pela Prefeitura Municipal de Blumenau. Uma enchente de menor impacto atinge quase duas centenas de edificações, enquanto uma enchente de grande monta atinge mais que 25.000 edificações.

Na sequência, são apresentados a cota de enchente e o número respectivo de edificações atingidas: 8,00m-180 edificações; 9,00 - 622 edificações; 10,00m - 2.771 edificações; 11,00m - 7.185 edificações; 12,00m - 11.771 edificações; 13,00m - 16.932 edificações; 14,00m - 22.200 edificações; 15,00m - 26.494 edificações.

A Tabela 1 apresenta a análise dos bairros atingidos por enchentes de 6 a 15 metros, informando a área do bairro atingida. Observa-se que os bairros Ponta Aguda e Itoupava Norte são, inicialmente, os mais atingidos.

Tabela 1. Área dos bairros de Blumenau atingida para as cotas enchentes em m².

Bairro	8m	9m	10m	11m	12m	12.80m	13m	14m	15m
Água verde	0,00	0,00	0,00	0,11	0,33	1,47	1,79	5,47	8,27
Tribess	0,00	0,06	0,23	0,98	2,55	3,69	3,83	5,03	6,27
Bom retiro	0,00	0,27	1,24	3,70	7,92	9,70	10,12	12,71	14,90
Valparaíso	0,19	0,26	0,60	1,20	2,63	5,84	6,35	13,79	16,79
Total	0,23	0,59	2,08	5,98	13,43	20,70	22,08	37,00	46,24
Ponta aguda	67,28	70,14	74,00	80,36	86,76	98,00	100,32	116,08	131,55
Itoupava norte	53,38	64,14	76,74	105,08	150,45	188,88	200,20	241,33	273,74
Vorstadt	43,09	44,71	46,65	51,15	58,71	64,13	67,31	91,38	107,08
Itoupava seca	42,04	44,68	50,13	64,64	89,17	111,57	114,42	133,38	149,82
Salto do norte	43,76	48,13	57,79	76,32	99,94	118,06	122,76	145,32	161,63
Boa vista	28,35	29,45	30,74	32,09	37,57	42,72	43,97	49,16	53,33
Centro	17,67	19,77	32,65	64,80	84,33	96,61	98,36	108,19	118,84
Fidelis	35,00	44,62	57,34	70,92	86,70	96,56	101,78	118,01	133,24
Garcia	16,79	19,11	26,88	49,10	68,30	81,76	86,11	108,15	127,58
Itoupavazinha	33,13	58,18	83,26	106,97	136,34	149,42	156,43	174,14	187,79
Do salto	10,63	11,80	14,30	16,13	18,15	21,08	21,83	25,78	28,95
Fortaleza	16,95	22,82	33,26	43,97	56,51	69,95	72,35	87,55	101,62
Victor konder	6,60	7,64	9,62	20,35	29,40	34,97	35,77	41,54	44,12
Vila formosa	4,99	5,70	6,96	8,44	10,71	13,53	15,19	17,90	20,63
J. Blumenau	2,95	3,52	13,25	21,10	28,31	33,24	34,02	36,10	37,35
It. central	16,50	31,43	50,29	75,79	117,93	144,19	159,72	206,46	257,52
N. esperança	2,14	2,45	2,90	3,40	4,47	5,45	5,69	7,06	8,03
Ribeirão fresco	2,32	4,93	9,15	13,74	16,53	18,73	19,24	22,65	25,82
Vila nova	1,74	2,42	6,36	13,92	26,97	34,90	36,17	44,58	52,01
Velha	1,51	2,17	6,39	18,84	32,55	50,60	53,10	68,22	78,85

Ainda foram geradas informações sobre o número de ruas atingidas pela enchente em cada um dos níveis. Para uma enchente de 6 metros o modelo indica 33 ruas atingidas e para uma enchente de 15 metros, 872 ruas atingidas. A mesma tabela informa a extensão em metros inundada em eventos de 6 a 15 metros.

4. Conclusões

Os resultados do trabalho realizado permitem concluir que os métodos utilizados possibilitaram suficiente precisão para o mapeamento de eventos de enchentes graduais. O modelo geoidal utilizado (IBGE, 2012) foi preciso o suficiente para a região analisada. O modelo digital gerado a partir da interpolação pelo método do inverso da distância apresentou

bons resultados. Os dados gerados são grande valor para o estudo do impacto das enchentes e sua gestão.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com financiamento do Convênio entre a Universidade de Blumenau e a Prefeitura Municipal de Blumenau.

Referências Bibliográficas

ALENCAR, J. C. M. de. **Datum Altimétrico Brasileiro**. Diretoria de Geociências. Departamento de Geodésia. Separata de Cadernos de Geociências, nº 5, IBGE, Rio de Janeiro, 1990.

ARANA, J. M.. **Estratégia para Determinação da Ondulação do Geóide com Uso do GPS/Nivelamento**. In UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. *As ciências geodésicas nas políticas de desenvolvimento*. Curitiba: 2005. p. 111-123. v.5 (Série em ciências geodésicas).

BERNARDI, J. V. E.; LANDIM, P. M. B.. **Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na coleta de dados**. UNESP/Rio Claro, Laboratório Geomatemática, Texto Didático 10, 31 pp. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/>>. Acesso em: 24 de maio 2012.

CEOPS. **Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia do Itajaí**. Blumenau 2012. Disponível em: <<http://ceops.furb.br>> Acesso em: 14 maio 2012.

CORDERO, A.; REFOSCO, J. C.; SILVA, G. S. da; ESKELSEN, C. R.. **Projeto Cotas de Cheias, Carta-enchente e Rota de Fugas de Enchente para Blumenau/SC**. Projeto. Blumenau, 2011. Não publicado.

FRANK, B.. **Uma História das Enchentes e Seus Ensinamentos**. In FRANK, Beate; PINHEIRO, Adilson (Org) *Enchentes na Bacia do Rio Itajaí: 20 anos de experiências*. Blumenau: Edifurb, 2003. p. 15-62.

FRANK, B.; PINHEIRO, A.. **Enchentes na Bacia do Rio Itajaí: 20 anos de experiências**. Blumenau : Edifurb, 2003. 237 p, il.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados Geodésicos**. Sistema Geodésico Brasileiro - SGB. Estações GPS, maio de 2012.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Modelo de Ondulação Geoidal**. Sistema Geodésico Brasileiro - SGB; maio de 2012.

LOPES, A. B. **O Geóide Gravimétrico e o Nível Médio do Mar no Datum Altimétrico do Brasil**. Revista Brasileira Geofísica; vol.25 no.1 São Paulo jan-mar, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia - Ciência e Aplicação**. Carlos E. M. Tucci (Org.). 2.ed.; 2 reimpr. – Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS ; ABRH, 2001.