

## **Aplicação de técnicas de geoprocessamento para avaliação de enchentes urbanas: estudo de caso – Cáceres, MT**

Leonardo Hallak Alcantara <sup>1</sup>  
Peter Zeilhofer <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM  
Rua da Fé, 190 – Jardim Primavera  
78030 – 150 – Cuiabá, MT, Brasil  
leonardo.alcantara@dnpm.gov.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT  
Av. Fernando Corrêa da Costa, s/nº  
78060 – 900 – Cuiabá, MT, Brasil  
pitalike@terra.com.br

**Resumo.** A prevenção às enchentes urbanas pluviais ou fluviais é parte intrínseca na gestão de inúmeras cidades na área de contribuição do Pantanal Matogrossense. Este trabalho tem como propósito utilizar técnicas de geoprocessamento para a avaliação de enchentes pluviais na cidade de Cáceres em Mato Grosso. Na metodologia proposta foram processados no software de geoprocessamento SPRING (INPE) plantas planialtimétricas e interpolados modelos digitais de terreno (MDT). Análises de dados pluviométricos do período compreendido entre 1991 a 2003 e pesquisas junto à população foram efetuadas para a definição da real data do maior evento ocorrido e a estipulação da cota máxima de inundação. Um mapa temático dos riscos de enchentes pluviais foi elaborado após a geração de um modelo digital de terreno utilizando como cota média de inundação uma altitude de 117,26 m. A comparação de três algoritmos para geração do MDT indicou o interpolador por média ponderada bicúbico como mais indicado para simulação do relevo. Concluímos que a metodologia proposta pode auxiliar o trabalho dos órgãos responsáveis pela prevenção de enchentes urbanas.

**Palavras-chave:** enchentes urbanas, geoprocessamento.

**Abstract.** The prevention of pluvial or fluvial urban floods is an intrinsic part in the management of numerous cities in the Pantanal watershed. Present paper exposes the application of GIS techniques for predictive flood mapping in the city of Cáceres in the Mato Grosso state. Applied methodology included the processing of plani-altimétric cadastres and the interpolation of Digital Elevation Model (DEM) using the SPRING (INPE) GIS software. Analysis of precipitation data (years 1991 through 2003) and field campaigns were realized to identify the date of the most serious flood event and to estimate occurred maximum flood heights. A thematic map representing the pluvial flood risk was elaborated using as reference quote a height of 117,26 m. A comparison of three algorithms appointed the method of “Bilinear interpolation with weighted averages” as the most indicated for DEM generation. We conclude that proposed methodology can subsidy public authorities in the prevention of damages through urban floods.

**Key-words:** urban floods, geoprocessing.

## 1. Introdução

Um dos problemas mais significativos para a gestão de diversas cidades na bacia do Alto Rio Paraguai são as enchentes urbanas. O aumento das áreas impermeáveis e a falta de infraestrutura adequada para o escoamento da água acumulada são as principais causas das enchentes pluviais. De acordo com Tucci (1995), a falta de controle pelo poder público da urbanização e a não ampliação das redes de drenagens são os principais causadores das grandes inundações urbanas. Tucci e Marques (2000), destacam que a impermeabilização e a canalização aumentam em até sete vezes as vazões máximas das cidades urbanizadas. Localizada nas margens do rio Paraguai, na parte setentrional da bacia Pantaneira, a cidade de Cáceres apresenta problemas significativos de drenagem devido ao seu relevo plano e a falta de uma infra-estrutura de rede de drenagem adequada para escoar precipitações extremas, proporcionando nas últimas décadas eventos de enchentes pluviais relevantes.

Aliado ao estudo das enchentes pluviais, o geoprocessamento apresenta-se como ferramenta importante. Definido como o conjunto de técnicas voltadas para o estudo específico através da coleta e tratamento de dados espaciais, o geoprocessamento auxilia na análise de ocorrências reais e no estabelecimento de propostas para a prevenção de eventos futuros. Como principal tecnologia associada ao geoprocessamento, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são, segundo Câmara e Davis (2001), ferramentas computacionais que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Al-Sabhan et al. (2003) apresentaram uma proposta metodológica para o acoplamento de um modelo hidrológico com um ambiente SIGs para a previsão de enchentes. Renyi & Nan (2002) desenvolveram um SIG para o mapeamento de áreas inundadas e na estimativa dos danos causados por enchentes em Zhejiang, China.

Neste contexto, o presente trabalho visa a aplicação de técnicas de geoprocessamento para o estudo dos fatores determinantes e a extensão espacial das enchentes pluviais ocorridas na cidade de Cáceres – MT. Apresenta uma proposta metodológica simplificada, aplicável para subsidiar o planejamento urbano, tendo em vista a minimização de impactos e danos causados por enchentes.

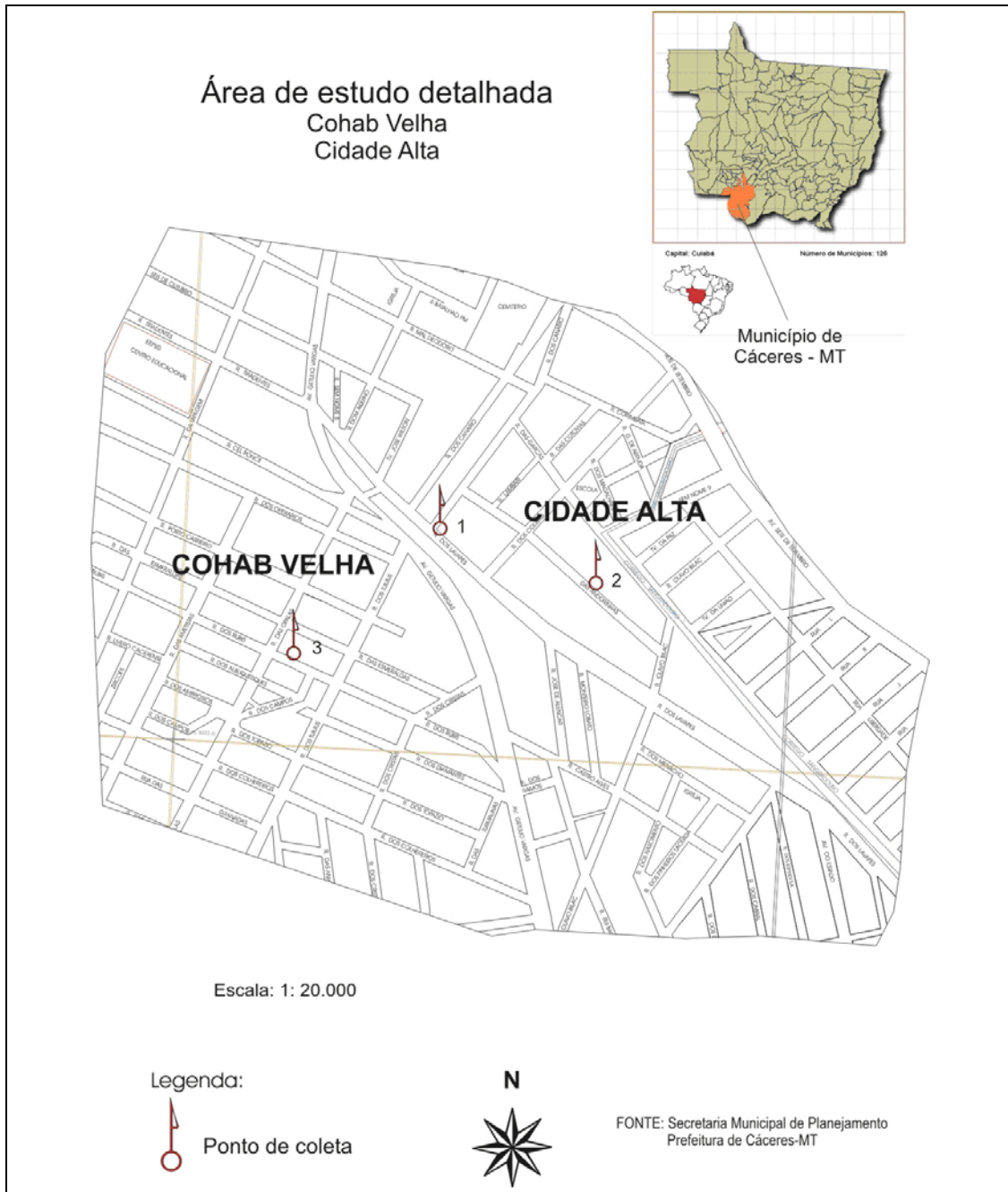
## 2. Material e Métodos

Para a realização do trabalho foram utilizados dados obtidos em levantamentos de campo, dados climatológicos e dados espaciais detalhados a seguir.

Para a correta definição do maior evento ocorrido em função das enchentes pluviais no período de 1991 a 2003, foi necessário a realização de uma pesquisa junto à população e no

arquivo público do município em estudo. A pesquisa realizada no Arquivo Público do município de Cáceres não identificou qualquer documento que revelasse a correta data do evento, assim como níveis numéricos importantes para a realização do trabalho.

As entrevistas informais realizadas com a população local tiveram resultados importantes para a correta identificação da data do evento. A estimativa das cotas de inundações foi obtida através dos vestígios das paredes das residências medidas por meio de uma régua milimetrada identificadas na **Figura 1**.



**Figura 1.** Área de estudo.

A confirmação do maior evento ocorreu após a aquisição e tabulação dos índices pluviométricos adquiridos na Estação Meteorológica situada no município de Cáceres/MT através do 9º Distrito Meteorológico (9º DisMet) situado em Várzea Grande/MT. Após a

coleta dos dados, foram elaborados hietogramas para a identificação dos eventos ocorridos, com seus volumes e duração.

Todos os trabalhos de geoprocessamento foram efetuados utilizando o software SPRING, versão 4.0 (INPE). A aquisição de dados espaciais inclui a digitalização de quatro plantas plani-altimétricas na escala 1:8.000 com equidistância de um metro entre as curvas de nível, obtidas em forma analógica através da empresa de saneamento da cidade (antiga SANEMAT). As plantas escaneadas foram georreferenciadas. Em seguida foram vetorizados quatro planos de informação: arruamentos, áreas urbanas (quadras, edificações etc.), curvas de nível e pontos cotados.

Para a elaboração do mapa da área de risco de inundação foi necessária a geração de um Modelo Digital de Terreno (MDT), permitindo análises multiníveis em formato matricial. Os interpoladores utilizados na pesquisa foram: vizinho mais próximo, média simples e média ponderada. A interpolação por vizinho mais próximo é definida pela escolha de apenas uma amostra vizinha para cada ponto da grade mantendo os valores de cota das amostras, sem gerar valores intermediários. A interpolação por média simples estima o valor de cota de cada ponto da grade a partir da média simples das cotas dos oito vizinhos mais próximos desse ponto. Já o interpolador por média ponderada calcula o valor de cota de cada ponto da grade a partir da média ponderada das cotas dos oito vizinhos mais próximos a este ponto, porém atribui-se pesos variados para cada ponto amostrado através de uma função que considera a distância do ponto cotado ao ponto da grade (Namikawa, 2003). Para geração dos MDTs definitivos foi utilizado o módulo do SPRING "refinamento" que consiste em diminuir o espaçamento entre pontos da grade.

Para a elaboração dos mapas com as áreas de risco de enchentes, considerando o maior evento do período de 1991 a 2003, realiza-se o fatiamento através da grade regular retangular "refinada" dos MDTs gerados. O fatiamento consiste em definir intervalos (fatias) com a finalidade de gerar uma imagem temática. Foram atribuídos seis intervalos de valores de cotas para as diferentes fatias, de acordo com a cota de inundação média estipulada através da coleta *in-loco* dos índices de inundação: Córrego / Margem, Altíssimo risco de inundação, Alto risco de inundação, Médio risco de inundação, Baixo risco de inundação, Risco não considerado.

Após a geração do mapa com as áreas de risco, calcula-se, a partir de operações de sobreposição, a área total atingida bem como a área urbana atingida por cada uma das seis classes.

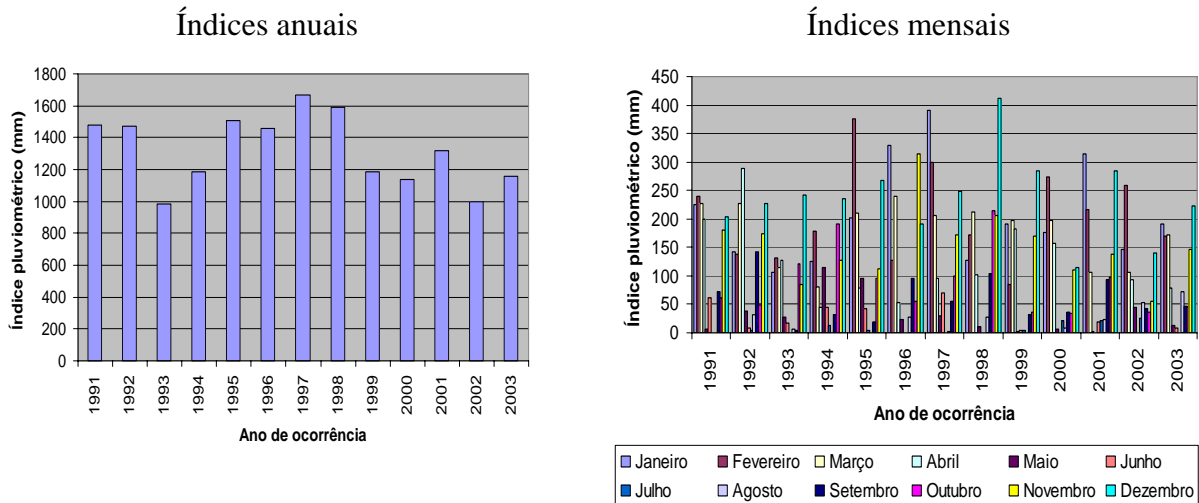
#### 4. Resultados e Discussão

A realização das pesquisas junto à população foi essencial para a estipulação da cota de inundação utilizada no trabalho. Com o registro da altura da enchente nos três pontos mostrado na **Figura 1**, onde o ponto nº 1 mediu 100 cm; o ponto nº 2 mediu 35 cm e o ponto nº 3 mediu 20 cm, estipulou-se a altitude absoluta (em metros) de cada cota de inundação através da soma entre a altura da enchente no ponto e a altitude do local de medição.

O ponto nº 1 situado à rua dos Lavapés (altitude = 116,14 m / altura da inundação = 1,00 m) registrou a marca de 117,14 m como cota de inundação; o ponto nº 2 situado à rua das Andorinhas (altitude = 117,00 m / altura da inundação = 0,35 m) registrou a marca de 117,35 m como cota de inundação; o ponto nº 3 situado à rua dos Rubis (altitude = 117,10 m / altura da inundação = 0,20 m) registrou a marca de 117,30 m como cota de inundação.

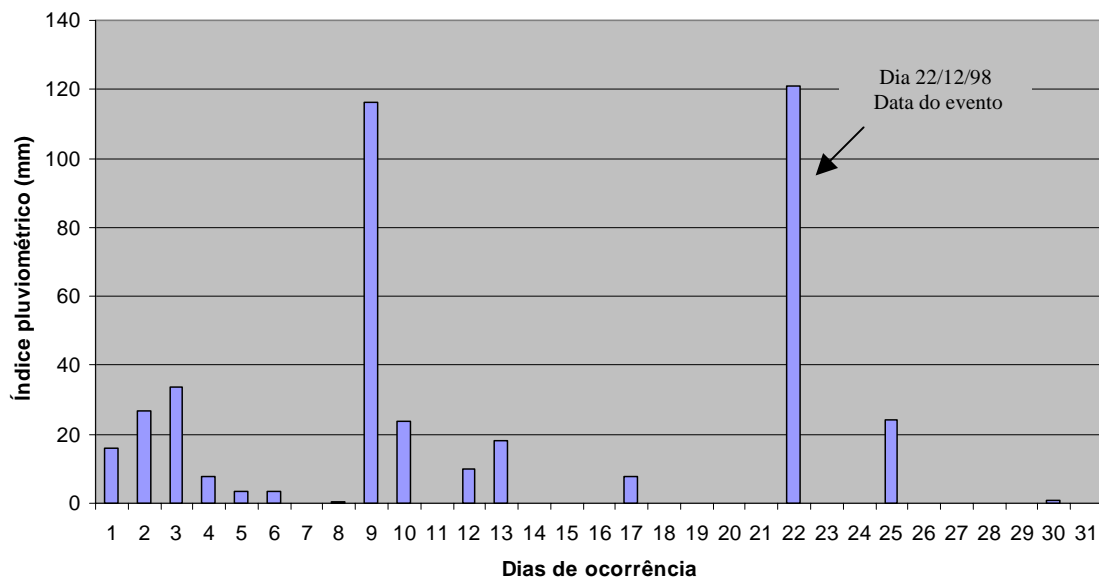
A média aritmética dos três pontos resultou em uma cota de inundação média de 117,26 m. Este valor foi utilizado como referencia para gerar o mapa de risco de inundação bem como definir um parâmetro para a definição das seis classes.

A partir da análise da **Figura 2**, que representa os índices pluviométricos registrados no período de 1991 a 2003, verifica-se que três anos tiveram um volume de precipitação elevado durante pelo menos um dos meses. Em fevereiro de 1995 foi atingido um índice de precipitação de 376,7 mm; em janeiro de 1997 foi atingido um índice de 390,5 mm e em dezembro de 1998 foi atingido um índice de 412,5 mm.



**Figura 2.** Índices pluviométricos registrados no período de estudo.

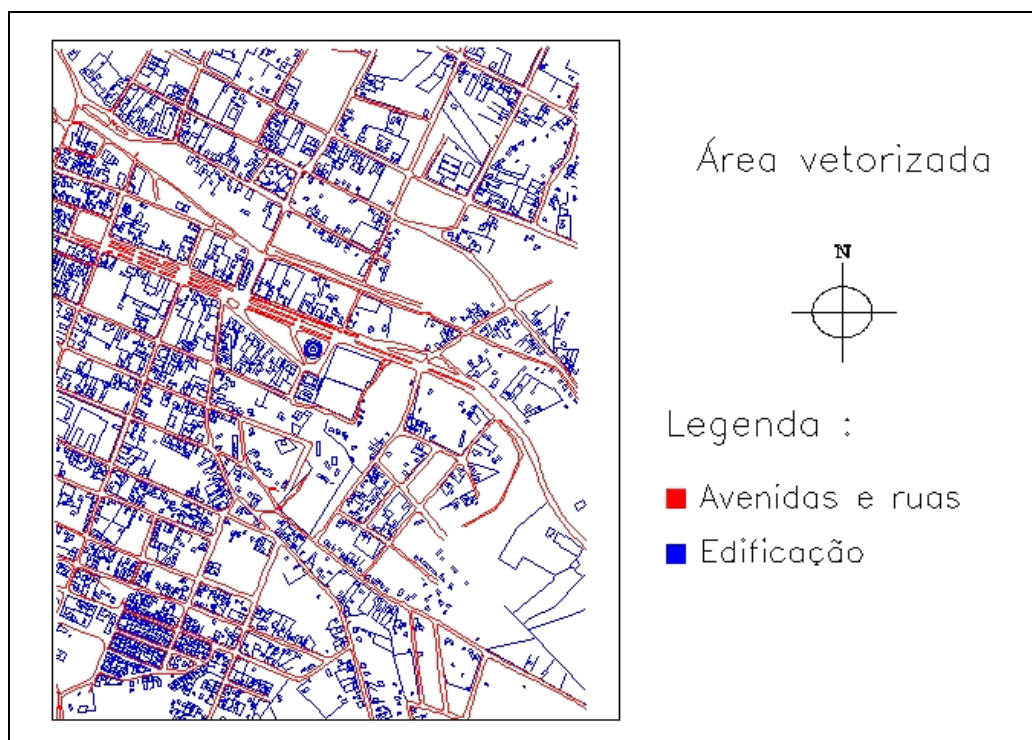
Com o auxílio das entrevistas realizadas junto a moradores da área de estudo, a data correta do evento (22/12/1998) foi confirmada através da análise da **Figura 3** que identifica os picos de precipitação e seus respectivos dias.



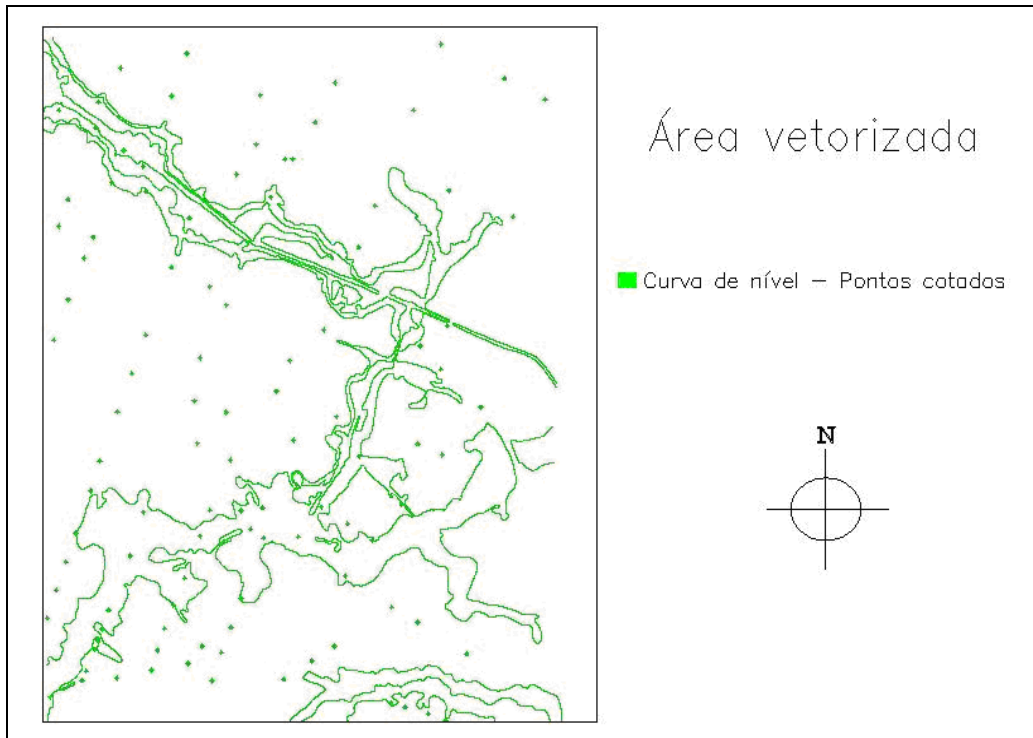
**Figura 3.** Índice pluviométrico registrado no mês de dezembro de 1998.

No dia 22 de dezembro de 1998 o índice de precipitação alcançou a marca de 121 mm. É importante ressaltar que a data do evento foi precedida de outro evento importante, mais precisamente no dia 09 de dezembro de 1998, onde o índice de precipitação alcançou 116,2 mm de precipitação. Este evento contribuiu para o aumento da saturação do solo e conseqüente diminuição da infiltração da chuva, supostamente causando e/ou agravando a enchente do dia 22 de dezembro de 1998.

As **Figuras 4 e 5** representam as áreas edificadas e arruamentos e as curvas de nível e pontos cotados, respectivamente.

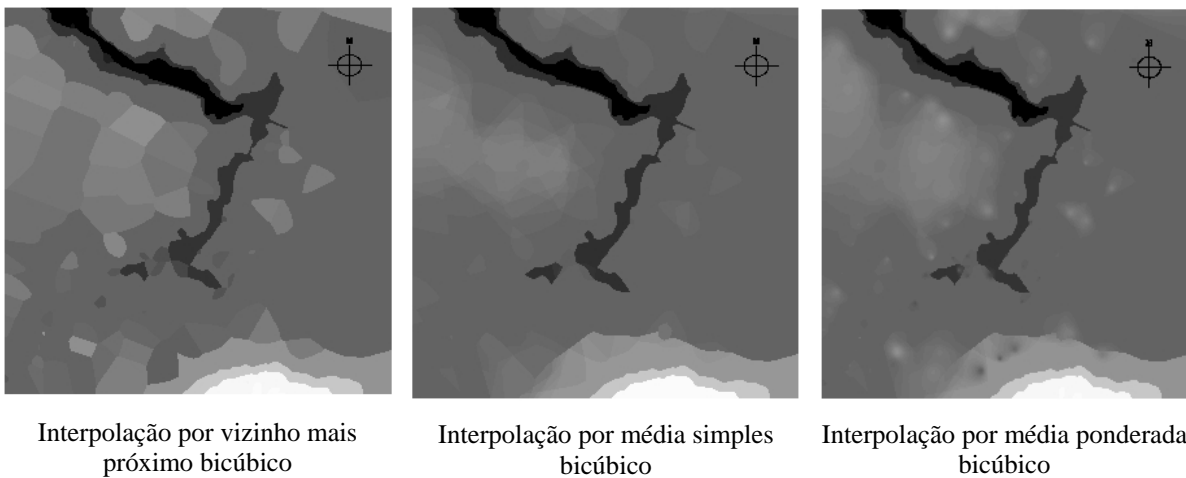


**Figura 4.** Área vetorizada (arruamento e edificação)



**Figura 5.** Área vetorizada (curvas de nível e pontos cotados)

Os MDTs gerados pelos três interpoladores estão representados na **Figura 6** (Vizinho mais próximo, média simples e média ponderada acrescido do interpolador bicúbico). Nota-se uma divisão acentuada na imagem gerada através do interpolador por vizinho mais próximo bicúbico, comprovando a inexistência de valores intermediários entre duas amostras. As imagens geradas pelos interpoladores por média simples bicúbico e por média ponderada bicúbico apresentam um limite entre os valores imperceptíveis, suavizando o aspecto da imagem. Enfim, o interpolador por média ponderada, por considerar a distância de cada uma das oito amostras, atribui ao ponto um valor próximo à realidade encontrada.



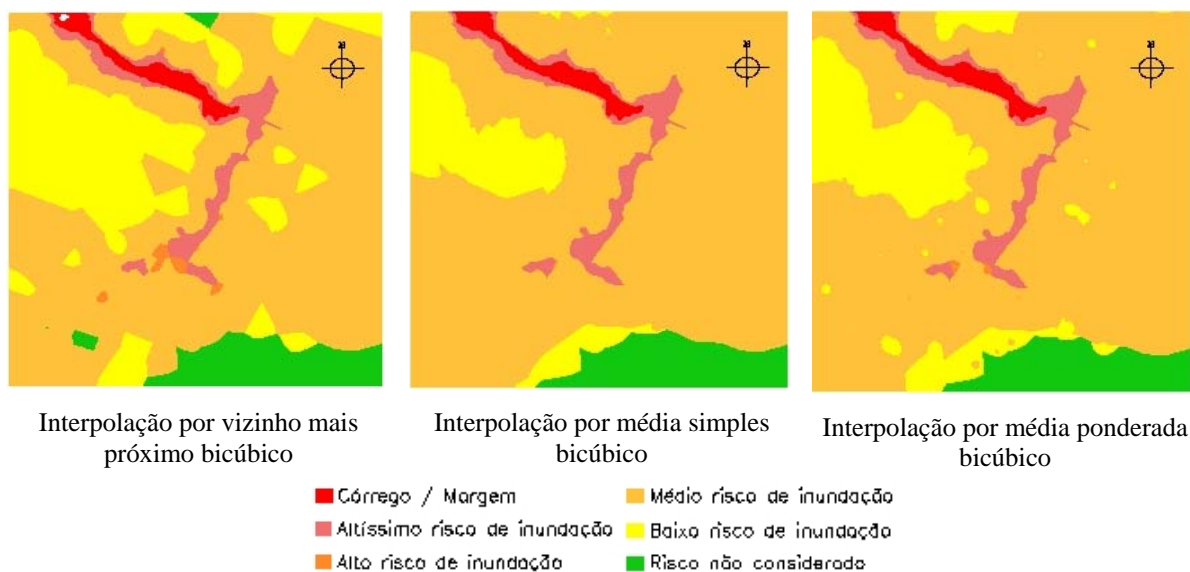
**Figura 6.** Imagens geradas através da grade regular retangular (refinamento)

A elaboração dos planos de informação das áreas de risco de inundação, considerando o maior evento pluviométrico do período de 1991 a 2003, realizou-se utilizando o fatiamento através



da grade regular retangular “refinada”. As fatias foram divididas em seis classes escalonadas de acordo com o risco de inundação, em função da altitude da área. Córrego / Margem – altitude (114,9 até 115,5) metros; Altíssimo risco de inundação – altitude (115,5 até 116,1) metros; Alto risco de inundação – altitude (116,1 até 116,7) metros; Médio risco de inundação – altitude (116,7 até 117,3) metros; Baixo risco de inundação – altitude (117,3 até 117,9) metros; Risco não considerado – altitude (117,9 até 120,1) metros.

A **Figura 7** mostra as imagens com as áreas de risco de enchentes pluviais geradas a partir das grades regulares retangulares refinadas.



**Figura 7.** Imagens com as áreas de risco de enchentes pluviais.

Para determinação final da extensão da área ocupada por cada uma das seis classes foi utilizado o mapeamento de risco baseado na interpolação por média ponderada bicúbico (**Tabela 1**).

**Tabela 1.** Extensão das áreas de risco de inundação na área de estudo.

Classes	Área (m <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Córrego / Margem	50.523,4	2,50
Altíssimo risco de inundação	86.011,8	4,3
Alto risco de inundação	3.497,4	0,17
Médio risco de inundação	1.251.436,0	62,12
Baixo risco de inundação	502.820,1	24,96
Risco não considerado	119.999,2	5,95
<b>Total de área ocupada</b>	<b>2.014.287,4</b>	<b>100</b>

A **Figura 8** representa o mapa temático “Área de risco de enchentes pluviais” sobreposto com as áreas urbanas e arruamentos vetorizados.



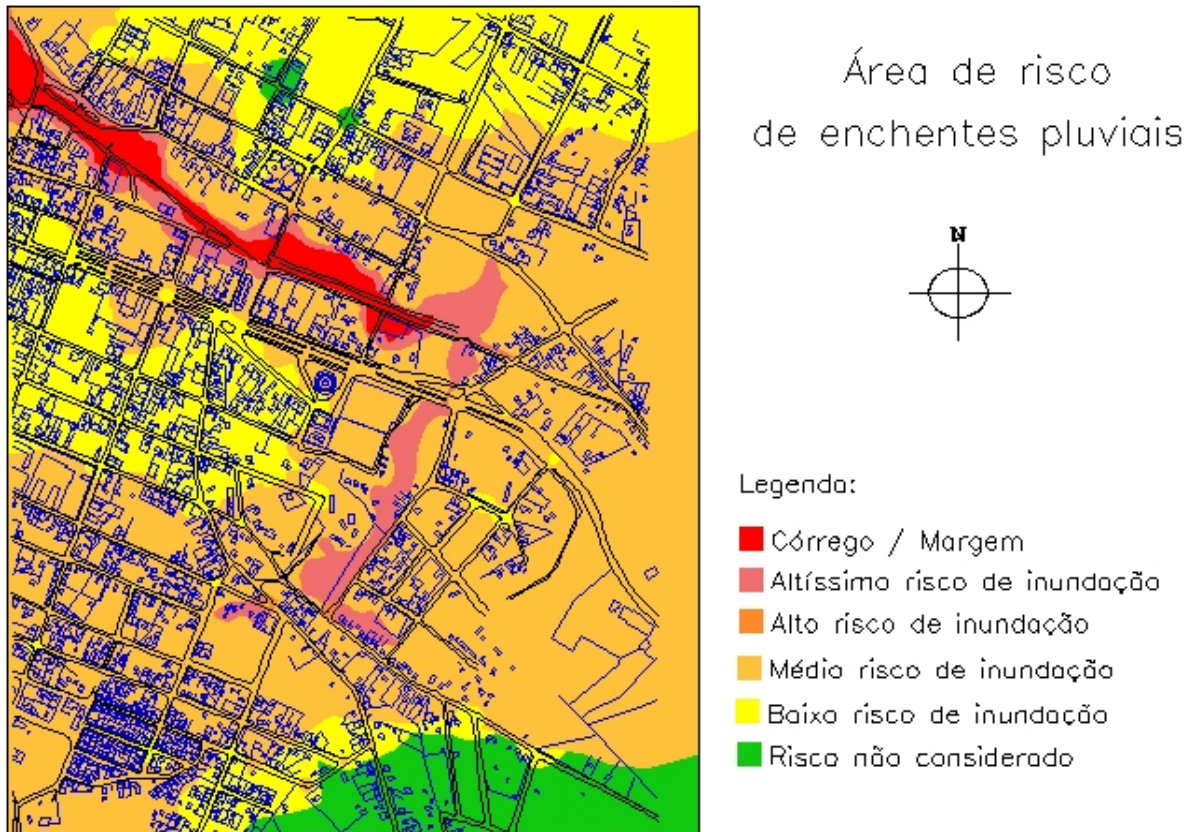


Figura 8. Mapa temático “Área de risco de enchentes pluviais”

## 5. Conclusões e Sugestões

A metodologia utilizada para a execução da pesquisa demonstrou ser apropriada para auxiliar na elaboração do mapa temático das áreas de risco de enchentes pluviais. Observando a simulação gerada e comparando-a com as áreas mais atingidas dentro da área de estudo, de acordo com relatos da população, conclui-se que a classe titulada como “Altíssimo risco de inundação” inclui as áreas mais atingidas pela enchente durante o evento em dezembro de 1998.

É importante ressaltar as diferenças existentes entre os planos de informação temáticos gerados, utilizando como base MDTs provenientes de diferentes algoritmos de interpolação.

Verificam-se modificações entre as classes, principalmente entre as classes de “Alto risco de inundação”, “Médio risco de inundação” e “Baixo risco de inundação”. Este fato ocorreu devido à metodologia empregada por cada interpolador, determinando valores diferentes para os pontos da grade regular retangular entre as altitudes de 116,1 a 117,9 metros. Desta forma, a utilização do software SPRING demonstrou ser eficiente no tangente ao auxílio à elaboração de mapas de áreas de risco de enchentes pluviais.

Sugere-se para futuros estudos uma análise específica do solo, considerando a capacidade de infiltração e saturação do mesmo além do estudo detalhado dos meios estruturais responsáveis pelo escoamento da água e o cálculo do volume de precipitação necessário para a ocorrência de futuras enchentes pluviais.

## 6. Referências

- Al-Sabhan W.; Mulligan M.; Blackburn G. A. A real-time hydrological model for flood prediction using GIS and the WWW. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 27, n. 1, p. 9-32, 2003.
- Blaschke, T.; Glasser, C.; Lang, S. **Processamento de Imagens num Ambiente Integrado SIG / Sensoriamento Remoto – Tendências e Conseqüências**. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. (org) Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: Novos Sistemas Sensores; Métodos Avançados. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, 11-18.
- Ferraz, F. F. et al. Previsão de áreas inundadas na cidade de Piracicaba (SP) através de Sistema de Informações Geográficas (SIG). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH, v. 3, n. 3, p. 17 – 27, 1998.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <<http://www.inpe.org.br>>. Acesso em: 10 mar. 2006.
- Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro A. M. V.; (org). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2 ed. INPE, São José dos Campos, 2001.
- Namikawa, L. M. et al. **Modelagem Numérica de Terrena e Aplicações**. INPE, São José dos Campos, 2003.
- Neto, A. A. B. F.; Souza C. R. Modelagem Dinâmica de Escoamento Superficial. **Anais XI Sociedade Brasileira de Sensoriamento Remoto**. Belo Horizonte: 10 abr 2003, p. 2427 – 2434.
- Renyi, L.; NAN, L. Flood area and damage estimation in Zhejiang, China. **Journal of Environmental Management**, v. 66 n. 1, p. 1-8, 2002.
- Silva, A. B. **Sistema de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 2003.
- Sinnaka Udan, S. K.; Ab Ghani, A.; Ahmad, M.S.S.; Zakaria, N. A. Flood risk mapping for Pari River incorporating sediment transport. **Environmental Modelling & Software**, v. 18, n.2, p. 119-130, 2003.
- Tucci, C. E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH, v. 2, n. 2, p. 5 – 12, 1997.
- Tucci, C.E.M.; Marques, D. M. L. M. (org) **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2000. p. 9 – 11.
- Tucci, C. E. M.; Porto, R. L. L.; Barros, M. T. (org) **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS,1995.