

CAPÍTULO 7

METODOLOGIAS DISTINTAS PARA MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO EM GUAÇUÍ, ES, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

**Ivo Augusto Lopes Magalhães
Daniela Vantil Agrizzi
Carlos Roberto Lima Thiago
Alexandre Rosa dos Santos**

1 Introdução

As áreas urbanas se localizam estrategicamente próximas a corpos hídricos desde a formação das primeiras cidades. A necessidade fisiológica do ser humano pela água, a presença de solos férteis nas regiões ribeirinhas, para cultivo, a necessidade de irrigar plantações e estabelecimento de portos são os principais motivos.

No entanto, essa localização não se apresenta estratégica para conservação do meio ambiente. As Áreas de Preservação Permanente (APP's) instituídas por meio da Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965), com objetivo, dentre outros, de garantir a preservação das margens dos recursos hídricos de forma física e ecológica, pouco foi respeitada. Poucas são as cidades que respeitam a legislação vigente, de forma que a maioria vem sofrendo constantes problemas advindos de enchentes por não haverem respeitado a dinâmica de cheia dos rios.

Tucci (1993) afirma que as enchentes acontecem quando ocorre uma precipitação intensa e o total de água que chega simultaneamente ao rio é superior à sua capacidade de drenagem, resultando em inundações das áreas ribeirinhas.

Nas cidades onde as enchentes tornam-se problemas e ocasionam danos humanos e materiais, o agravamento se dará em função do aumento da urbanização, habitação de áreas de riscos, depósitos de resíduos sólidos em locais incorretos, uso indevido da terra, assoreamento, solapamentos da margem fluvial e do desmatamento da cobertura vegetal. Essas ações desencadeiam no aumento de áreas impermeáveis e assim no aumento do escoamento superficial e da vazão na bacia hidrográfica, o que intensifica as enchentes (ENOMOTO, 2004).

Desta maneira, conhecer métodos eficazes e práticos para mapear áreas que possuem grande risco de serem inundadas é essencial para evitar prejuízos e também catástrofes.

Quanto menos ocorrem as inundações de alta intensidade, mais difícil é manter as áreas com alta vulnerabilidade livres de ocupação humana (ARAÚJO et al., 1998), o que também foi observado por Tucci et al. (1995) que afirma que uma sequência de anos sem enchentes é suficiente para que áreas de risco de inundação voltem a ser ocupadas pela população.

Entretanto, é extremamente difícil evitar um desastre natural, mas é possível reduzi-lo, mitigá-lo, se cada membro da comunidade realizar a sua parte, o que certamente culminará com prejuízos e impactos reduzidos (MACHADO et al., 2009).

Assim sendo, esse estudo objetiva confrontar duas diferentes metodologias: o método de análise hierárquica ponderada e; o modelo por coleta de dados em campo, para determinação de áreas de risco de inundação para o perímetro urbano do município de Guaçuí, ES.

2 Metodologia

2.1 Caracterização da área de estudo

O município de Guaçuí está localizado na região Sul do Espírito Santo, Microrregião do Caparaó, com uma população aproximada de 28 mil habitantes (IBGE, 2010). Sua ocupação se deu às margens do rio Veado, que pertence à bacia hidrográfica do rio Itabapoana.

A área determinada para o estudo foi a mancha urbana, na latitude 20°46' S e longitude 41°40' W da sede desse município, com a aplicação de um *buffer* de 200 m (Figura 1), gerando uma área de 832,14 ha. Dentro desse perímetro, o rio Veado é afluente dos córregos Santa Catarina e Santa Cruz que também contribuem para a inundação no município.

2.3 Elaboração dos mapas da área de risco de inundação

2.3.1 Etapa 1 - Modelo por coleta de dados em campo

Em campo, foram coletados 34 pontos com GPS, ao longo das margens direita e esquerda do rio Veado e de seus afluentes Santa Catarina e Santa Cruz, de forma que foi abrangido todo o perímetro fluvial da área de estudo. Os pontos foram marcados com a distância de 1 km entre os mesmos, controlados por um odômetro. A aquisição das coordenadas de GPS foi obtida no local de nível mais alto atingindo pelo leito fluvial, no

momento de uma grande inundação. Essas informações foram adquiridas por meio de entrevistas a moradores mais antigos do local em estudo.

De posse dos pontos, esses foram plotados e processados no aplicativo computacional *ArcGIS 10.0*, que também demandou as coordenadas obtidas nas entrevistas, a declividade, a altitude e as curvas de nível. Assim, obteve-se um polígono de inundação real.



Figura 1. Área de estudo, perímetro urbano do Município de Guaçuí, ES.

2.3.2 Etapa 2 - Método de Análise Hierárquica Ponderada (AHP)

O método AHP, criado por Saaty (1977), consiste em construir uma escala de importância entre os fatores analisados e posteriormente colocados em uma matriz de relacionamento para ser feita uma comparação pareada, “podendo assim haver uma percepção de que há uma hierarquia de importância” entre os mesmos (BERGER et al., 2007).

Este método determina, por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada alternativa priorizando-as ao classificar o método (GOMES et al., 2004).

Os fatores determinados como importantes e que influenciam diretamente no nível da água alcançado por uma enchente, independente da precipitação incidente são: altitude; declividade; uso da terra e; tipo de solo (SANTOS, 2010).

2.3.2.1 Fatores e justificativas

Altitude

Quanto maior a altitude, menor a probabilidade de inundação para uma determinada região, devido à ação da gravidade que direciona a água para as regiões mais baixas.

Declividade

A declividade do terreno influencia diretamente no acúmulo de água. Áreas planas apresentam maiores probabilidades de sofrer inundação do que áreas escarpadas.

Uso da Terra

A forma de ocupação da terra influencia na infiltração e escoamento superficial da água. As áreas com maior impermeabilidade tendem a acumular mais água do que em solos com cobertura florestal, por serem pouco compactados.

Tipo de Solo

O tipo de solo presente na região reflete também na capacidade de infiltração e escoamento superficial da água. No entanto, para o presente trabalho, o mesmo não foi utilizado na citada modelagem pelo fato da área em estudo apresentar somente um tipo de solo, definido por latossolo vermelho, variando apenas em suas subordens.

Matrizes de decisão

Para elaboração da matriz, utilizou-se a escala fundamental de Saaty (Tabela 1).

A elaboração é definida a partir de uma escala linearmente hierárquica de importância entre os fatores altitude, declividade, uso da terra e tipo de solo.

Tabela 1. Escala de comparadores com os respectivos pesos de importância

Valores	Importância Mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente menos importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Saaty (1997) citado por Rosot (2000).

Santos (2010), afirma que a fase de atribuição dos valores, com base na escala de comparadores, é considerada um dos momentos mais importantes durante o processo de

confeção dos mapas de inundação, já que os valores de importância atribuídos a um fator interferem diretamente no resultado obtido.

A matriz de comparação pareada desenvolvida é apresentada conforme a Tabela 2. Portanto, o fator declividade foi definido como mais importante diante dos três fatores, e a altitude como o de menor importância, de forma que a declividade foi considerada sete vezes mais importante que a altitude.

Tabela 2. Matriz de comparação dos fatores

Fatores	Altitude	Uso da terra	Declividade	Pesos
Altitude	1	0,3333	0,1429	0,088
Uso da terra	3	1	0,3333	0,2426
Declividade	7	3	1	0,6694

Fonte: Saaty (1997) citado por Rosot (2000).

Após a obtenção dos pesos de cada fator, atribuiu-se os valores conforme a Equação 1, para elaboração do mapa de área de risco de inundação.

$$RIG = 0,669 + 0,242U + 0,088 \quad (\text{eq.1})$$

Em que,

RIG : risco de inundação;

D : declividade (%);

U : uso e ocupação da terra;

A : altitude (m).

2.3.2.2 Elaboração dos mapas dos fatores analisados

Para elaboração dos mapas dos fatores analisados, os mesmos foram reclassificados em subfatores que foram aplicadas notas de acordo com o grau de susceptibilidade a inundação variando de 0 a 10, do menos susceptível ao mais susceptível, respectivamente.

Altitude

Para adquirir as altitudes da área de estudo, foi feita uma conversão dos dados do satélite *Shuttle Radar Topographic of Mission (SRTM)* para *shapes* de pontos, a partir destes pontos representativos da área de estudo foram geradas as curvas de nível que posteriormente, foram transformadas em imagem vetorial.

Em seguida, a imagem vetorial foi convertida em imagem *raster* (ou matricial) para elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) e MDE-Fill, este último com a eliminação das depressões espúrias do relevo.

Para a geração do mapa de altitude, o MDE-Fill foi reclassificado em 4 classes e as notas aplicadas conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Peso do MDE

Classe de altitude (m)	Notas
575 – 600	10
600 – 650	9
650 – 700	5
700 - 750	2

Declividade

Para a geração do mapa de declividade, o MDE foi reclassificado em 6 classes e as notas aplicadas de acordo com a Tabela 4, sendo que declividades de 0 – 3 denomina-se relevo (Plano), de 3 – 8 (suavemente ondulado), de 8 – 20 (ondulado), de 20 – 45 (fortemente ondulado), de 45 – 75 (montanhoso) e maior que 75 (escarpado).

Tabela 4. Pesos da declividade

Classe de declividade (%)	Notas
0 – 3	10
3 – 8	7
8 – 20	5
20 – 45	4
45 – 75	3
> 75	1

Uso e ocupação da terra

O mapa de uso e ocupação da terra foi elaborado a partir de uma fotointerpretação em tela, na escala de 1:1.500, sobre a imagem aérea do satélite orbital *GEOEYE*, referente ao ano de 2010. Foram encontrados 14 tipos de ocupação da terra no perímetro de estudo (Figura 2).

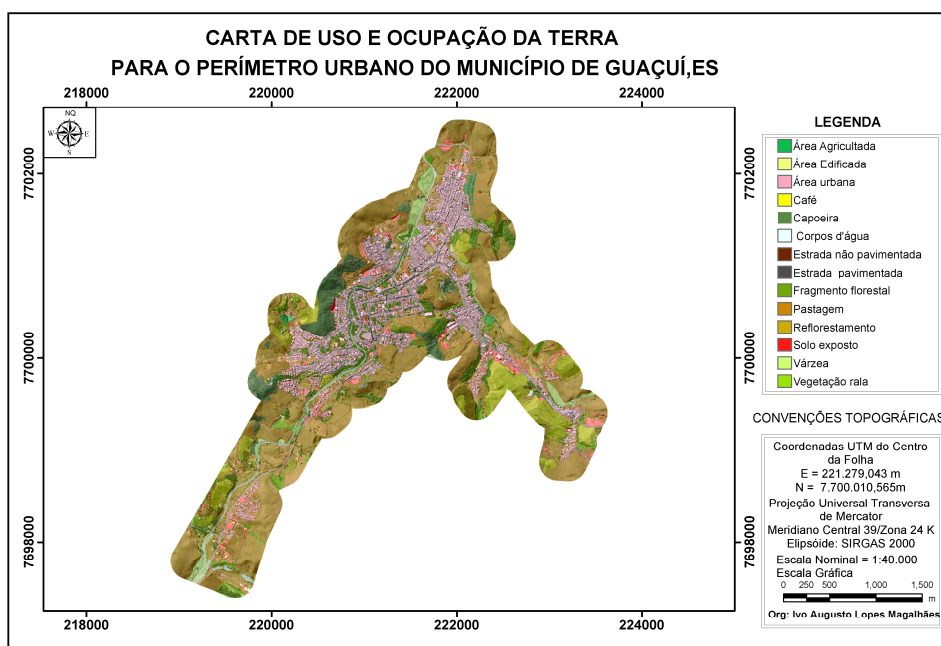


Figura 2. Perímetro urbano do município de Guaçuí, ES, fotointerpretado com 14 classes de uso e ocupação da terra.

O reconhecimento das áreas de uso e ocupação da terra no município de Guaçuí, foi elaborado após análise da verdade de campo no perímetro urbano. Dessa maneira, aumentou-se a confiabilidade dos dados para execução desta etapa do trabalho. Para a elaboração do mapa de uso da terra, foram estabelecidos pesos distintos referentes a cada ocupação da terra no município, com a finalidade de atribuir valores para cada cobertura da terra. A atribuição desses valores (Tabela 5), foi decidida após a análise e opinião da equipe multidisciplinar que fez um estudo minucioso na região embasando-se no conhecimento sobre qual a interferência que cada objeto, vegetação e construção exercem na infiltração de água no solo, diretamente relacionado com inundação.

Após a elaboração da imagem matricial representativa do Risco de Inundação de Guaçuí (RIG), utilizando a função de álgebra de mapa (mapemática) do SIG, esta foi convertida para polígono, possibilitando o cálculo e delimitação das áreas de risco de inundação nas classes: baixo baixíssimo risco; médio baixo risco; médio risco; alto médio risco e; alto altíssimo risco.

Tabela 5. Pesos do uso da terra

Classe de declividade (%)	Notas
Área agricultada	5
Área edificada	7
Área urbana	8
Café	4
Capoeira	6
Corpos d'água	10
Estrada não pavimentada	7
Estrada pavimentada	8
Fragmento florestal	1
Pastagem	3
Reflorestamento	2
Solo exposto	7
Várzea	3

2.3.3 Etapa 3 - Confronto entre os mapas de risco de enchente gerados pelos dois métodos

Foi realizada uma sobreposição de ambas as áreas de risco de inundação geradas pelos dois métodos em análise, permitindo observar a variação entre os mesmos e as relativas estimativas referentes ao município. O fluxograma metodológico das etapas desenvolvidas encontra-se na Figura 3.

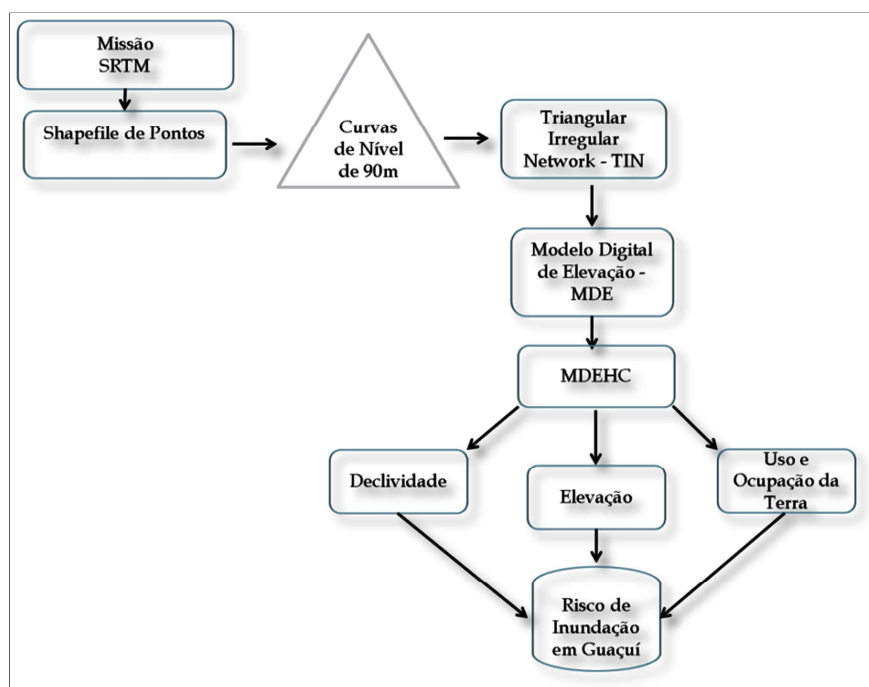


Figura 3. Fluxograma metodológico para elaboração dos mapas das áreas de risco a inundação correspondente das etapas 1, 2 e 3.

3 Resultados e discussão

Para quantificar a área correspondente ao risco de inundação para o município de Guaçuí, foi elaborado o mapa de inundação pelo método de análise de campo. A partir deste método, mensurou-se uma área de risco a inundação correspondente a 137,79 ha, representando 16,56% da área de estudo no município (Figura 4).

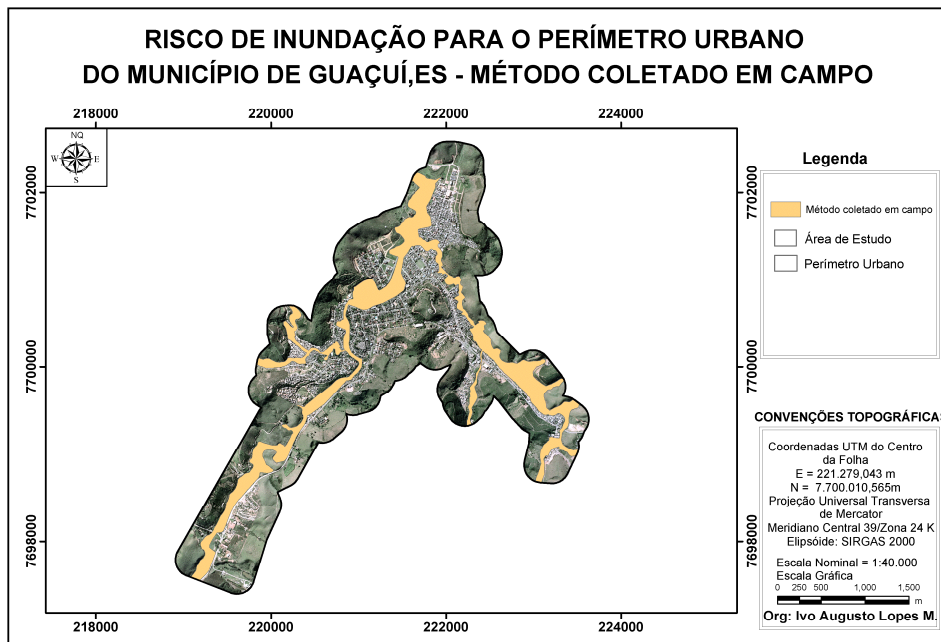


Figura 4. Área de inundação gerada pelo método coletado em campo.

De acordo com o mapa de risco de inundação mostrado na Figura 4, as áreas com maiores riscos de intensidade a inundação são as áreas centrais e Sudeste. Entretanto, destaca-se também toda a extensão do município que é margeada pelos corpos hídricos, pois o córrego Veado atravessa todo o perímetro urbano de Guaçuí.

As áreas que apresentam o relevo mais suave apresentam o maior risco de enchente, por constituírem menor grau de declividade e menor capacidade de escoamento da água, pois quanto maior a altitude e declividade, menos susceptível a ocorrência do fenômeno natural, conforme é demonstrado pela Figura 5.

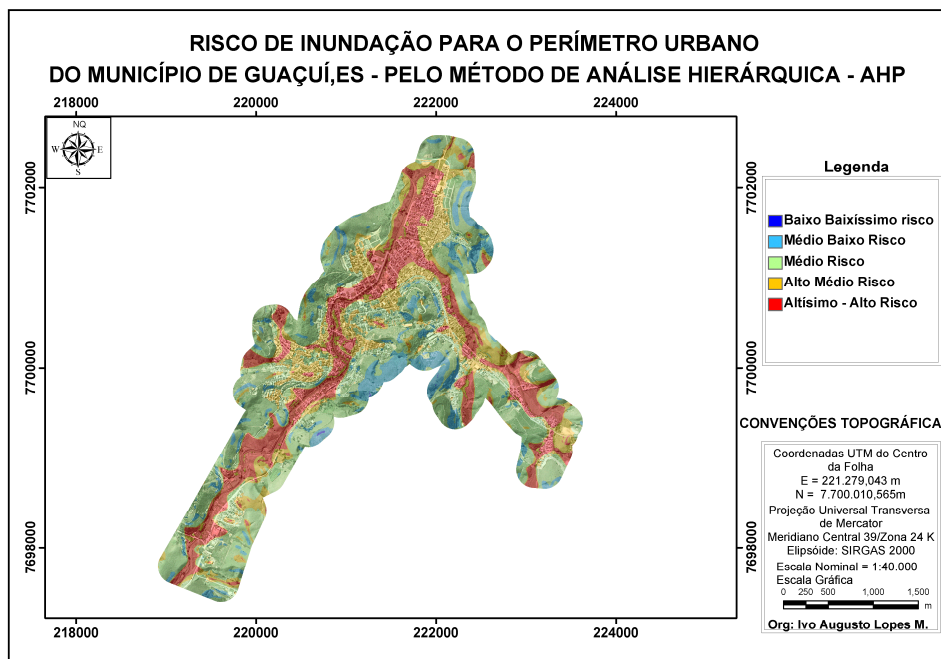


Figura 5. Mapa das áreas de risco de inundação gerado pelo método AHP.

Conforme a elaboração do mapa de áreas de risco gerado pelo método AHP foi relacionado a áreas susceptíveis a enchentes interligadas ao relevo do município. O mapa foi desenvolvido com um efeito de 50% de transparência para a possível distinção das áreas de riscos do município, contribuindo para a precisão do método.

O município foi dividido em cinco classes de áreas susceptíveis aos riscos a enchentes, onde a classe de baixíssimo risco representa a menor proporção do município, apresentando apenas 0,34 ha. A classe de médio a baixo risco representa 79,36 ha, sendo que essas duas classes representam apenas 9,58% da área de estudo.

As áreas de médio risco representam 397,39 ha, situando-se próximo aos cursos d'água e no perímetro urbano, necessitando de monitoramento de chuvas mais prolongadas. As áreas com classes de alto a médio risco e altíssimo risco a alto risco representam 45% do total do município, representando um grave problema para perdas humanas, estruturais e materiais, caso venha ocorrer um fenômeno natural, como uma chuva intensa e prolongada nesta região. Um fator que deve ser reforçado, é que uma grande área no centro da cidade e próxima as moradias ribeirinhas corresponde a 188,78 ha ou 22,69% da área de estudo, com altíssimo risco de inundação representado pela Figura 6. O método AHP apresentou pequenas superestimações de áreas inundáveis com pouca significância quando comparado aos valores extrapolados com a área equivalente do estudo.

A superestimação ocorrida pelo método AHP foi de 51 ha ou 6,13% da área de estudo quando confrontados pelo método levantado em campo. Por ser um modelo

desenvolvido mais próximo do real, e por ser mensurada a área inundável em campo junto com entrevistas dos mais antigos moradores este modelo de levantamento de campo obteve mais precisão e aproximação da realidade, conforme demonstra a Figura 7.

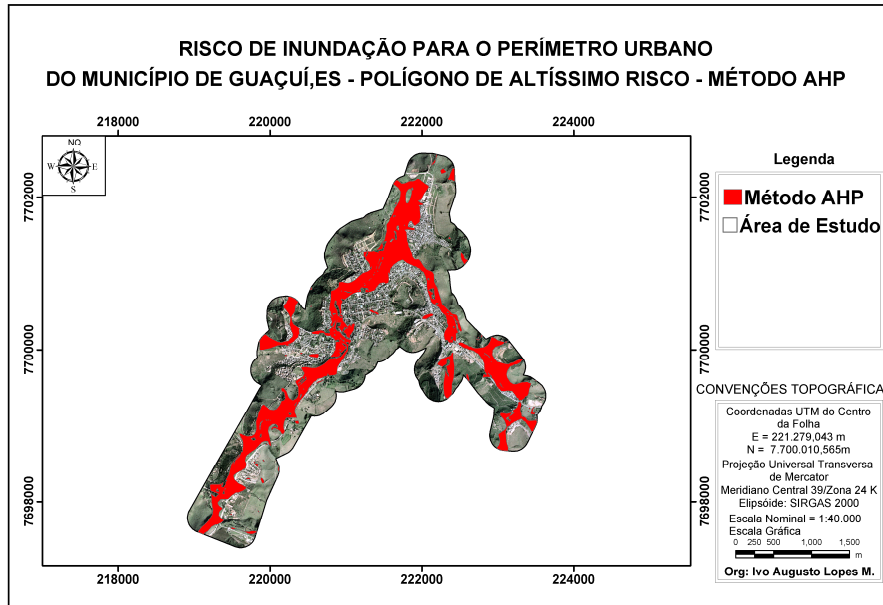


Figura 6. Área susceptível de altíssimo risco a inundação gerado pelo RIG.

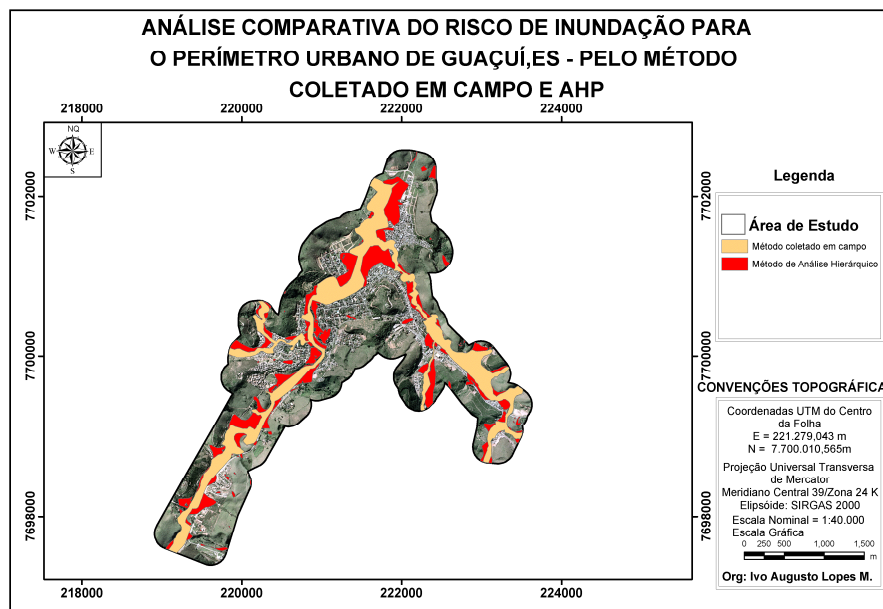


Figura 7. Comparação e sobreposição entre as duas áreas obtidas pelos métodos AHP e pelo método coletado em campo.

4 Conclusões

Nas condições em que os estudos foram realizados, a análise dos resultados permitiu apresentar as seguintes conclusões:

- Na avaliação dos níveis dos riscos de inundação para o município de Guaçuí, tanto pelo método AHP como pelo levantamento de campo foram realísticos;
- o método AHP superestimou o risco de inundação em relação aos dados gerados em levantamentos de campo;
- o modelo AHP apresentou-se como um método de mapeamento satisfatório para determinação de risco de inundação;
- o método AHP tem grande aplicabilidade e fornece em geral bons resultados, especialmente em locais de difícil acesso e distante de análise de campo e;
- por ser uma pesquisa qualitativa, o método sofre influência direta do pesquisador no momento de atribuir notas e pesos aos fatores.

5 Referências bibliográficas

ARAUJO, D. S. D.; SCARANO, F. R.; SA, C. F. C.; KURTZ, B. C.; ZALUAR, H. L. T.; MONTEZUMA, R. C. M. E OLIVEIRA, R. C. 1998. Comunidades vegetais do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. Pp. 39-62. In: F. A. Esteves (ed.). **Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)**. Rio de Janeiro, NUPEM-UFRJ.

BRASIL. Lei nº 4.775, de 15 de setembro de 1965. **Institui o novo Código Florestal**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm> Acesso em: 19 nov. 2011.

BERGER, M. V. S.; SILVA, M. C. da.; SALDANHA, J. C. S. Análise de vulnerabilidade da RPPN Cafundó. In: MORAES, A. C. de; SANTOS, A. R. dos. (Org.). **Geomática e Análise Ambiental**. Vitória, ES: EDUFES, 2007.p. 32-46.

ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná**. 2004. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisão em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão**. Pioneira. Thompson Learning, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>> Acesso em: 19 nov. 2011.

MACHADO, M. dos S.; MACHADO, S. W. S.; COHEN, S. C. A rota das chuvas em Petrópolis: cenário de uma inundação. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE DEFESA CIVIL, 5., 2009, São Paulo. **Anais Eletrônicos – Artigos**. São Paulo: DEFENCIL, 2009. p. 1-9.

ROSOT, M. A., BARCZAK, C. L. e COSTA, D. M. B. Análise da vulnerabilidade do manguezal do Itacorubià ações antrópicas utilizando imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 6., 2000, Florianópolis. **Resumos expandidos**. Santa Catarina: COBRAC, 2000. P. 1-12.

SAATY, T. H. A scaling method form priorities in hierarquical structures. **JournalofMathematicalPsychology**, v.15, n. 3, p.234-281, 1997.

SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R de O.; EUGENIO, F. C. (Coord.). **ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados especiais**. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 180 p., 2010.

TUCCI, C. E. M. (Coord.). **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Associação Brasileira de Recursos Hídrico/UFRGS - ABRH, 952 p., 1993.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L., BARROS, M. T. (Coord.). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Associação Brasileira de Recursos Hídrico/UFRGS - ABRH,430 p., 1995.