



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

CENÁRIOS METODOLÓGICOS DISTINTOS PARA O MAPEAMENTO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO NOS BAIRROS DO MUNICÍPIO DE MUQUI, ES

Alexandre Rosa dos Santos¹; Fernando Coelho Eugenio¹; Tais Rizzo Moreira¹;
Raphael Lima Dalfi¹; Rafael Ferraco de Campos¹; Ivo Augusto Lopes Magalhães¹;
Jeferson Luiz Ferrari²

RESUMO

A rápida expansão urbana e a ocupação desordenada de alguns municípios do País são consideradas como uma das principais causas de inundações que assola a população residente nessas áreas. Com as inundações, têm-se as perdas materiais e humanas, a qual é irreversível e de valor incalculável, sempre que ocorre chuva elevada em curto espaço de tempo. O objetivo deste trabalho foi elaborar e confrontar dois cenários metodológicos distintos para o mapeamento de inundação nos bairros do município de Muqui, Espírito Santo, sendo que, o CENÁRIO 1 apresenta uma metodologia proposta pelos autores enquanto o CENÁRIO 2 baseia-se na metodologia proposta por Saaty em 1977. Para ambos CENÁRIOS, as áreas que possuem o relevo mais suave e ao longo dos cursos d'água apresentam o maior risco de enchente. A metodologia implementada pelos autores no CENÁRIO 1 mostrou-se mais eficiente na delimitação exata dos locais com maior probabilidade de inundação.

Palavras-chave: inundação, chuva, geotecnologia.

DIFFERENT METHODOLOGICAL SCENARIOS FOR MAPPING INUNDATION AREAS IN THE NEIGHBORHOODS OF THE CITY OF MUQUI, ES

ABSTRACT

The rapid expansion and urban sprawl of some municipalities of the country are considered to be a major cause of inundation that is devastating the population living in these areas. With the inundations, there are the material and human losses, which is irreversible and incalculable value, when high rainfall occurs in short time. The objective of this study was to develop and compare two different methodological scenarios for inundation mapping in the neighborhoods of the city of Muqui, Espírito Santo, and the SCENARIO 1 presents a methodology proposed by the authors while SCENARIO 2 is based on the methodology proposed by Saaty in 1977. For both SCENARIOS, the areas that have the gentler relief and along the waterways have the highest risk of inundation. The methodology implemented by the authors in SCENARIO 1 was more efficient to define the exact locations with greater likelihood of inundation.

Keywords: inundation, rainfall, geotechnology.

Trabalho recebido em xx/xx/2011 e aceito para publicação em 10/01/2013.

¹ Departamento do Programa de Pós Graduação de Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, UFES - CCA-UFES, Alegre - ES. mundogeomatica@yahoo.com.br; coelho.fernando@yahoo.com.br; rapha663@hotmail.com; taisr.moreira@hotmail.com; rafaelerraco@yahoo.com.br. ivo-magalhaes@hotmail.com;

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, IFES - Campus de Alegre. ferrarijuliz@gmail.com.

1. INTRODUÇÃO

Figueiredo (1994) define que as áreas de risco são as áreas sujeitas às ocorrências de fenômenos de natureza geológica-geotécnica e hidráulica que impliquem na possibilidade de perda de vidas e ou danos materiais. Esses locais são, predominantemente, ocupações de fundo de vales sujeitos a inundações e solapamento, ou encostas passíveis de escorregamentos e desmoronamentos devido às altas declividades.

Segundo Vieira et al. (2006), as técnicas convencionais quando aplicadas para monitorar a expansão urbana e a ocupação de áreas de bacias hidrográficas, não têm conseguido acompanhar a velocidade com que o fenômeno se processa. Sendo assim, deve-se alertar para a necessidade da busca de novos métodos, empregando tecnologias mais adequadas, para detectar, em tempo real, a expansão urbana e as alterações ambientais decorrentes.

A inundação é um evento natural, entretanto vem acarretando cada vez mais danos humanos e materiais devido a: aumento da urbanização, habitação de áreas de riscos, uso indevido da terra, assoreamento, solapamentos da margem fluvial e do desmatamento da cobertura vegetal. Todas essas ações tem como consequência direta o aumento de áreas

impermeáveis, o aumento do escoamento superficial e da vazão de uma bacia hidrográfica, contribuindo assim para o agravamento das enchentes (ENOMOTO, 2004).

A impermeabilização excessiva do solo em ambientes urbanos é uma das principais causas do agravamento das inundações. Segundo Tucci (1995) a impermeabilização do solo afeta drasticamente as bacias hidrográficas, fazendo com que o escoamento superficial atinja a seção principal da drenagem com velocidades altas, aumentando as vazões máximas e a ocorrência de inundações.

Tucci (2004), afirma que as inundações 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.

O cenário atual que se tem é de cidades que não respeitam a legislação vigente e que sofrem constantes problemas advindos das inundações por desconhecerem a dinâmica hidrológica dos rios. Diante do exposto, as Áreas de Preservação Permanente (APP's) tem o objetivo de garantir a preservação das margens dos recursos hídricos de forma física e ecológica.

Campana e Tucci (2001) afirmam que uns dos maiores desafios a serem

enfrentados pelo poder público é antecipação aos impactos gerados pela ocupação desordenada do espaço urbano, antes que os mesmos sejam realidades. É extremamente difícil evitar um desastre natural, mas é possível reduzi-lo e mitigá-lo se cada membro da comunidade realizar a sua parte, e, por conseguinte, minimizar os prejuízos e os impactos (MACHADO et al 2009).

O mapeamento de áreas afetadas por desastres naturais é uma das principais atividades na avaliação de danos ocorridos e população afetada. Assim, o uso de geotecnologias fornece informações de síntese para avaliação de riscos, tomada de decisões e entendimento das causas e consequências destes eventos (GILLESPIE et al., 2007; JOYCE et al., 2009; TRALLI et al., 2005).

Diante do exposto, esse trabalho objetivou elaborar e confrontar dois cenários metodológicos distintos para o mapeamento de inundação nos bairros do município de Muqui, Estado do Espírito Santo:

CENÁRIO 1: metodologia proposta pelos autores: mapeamento in loco;

CENÁRIO 2: metodologia proposta por Saaty 1977.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende os bairros do município de Muqui, Sul do Estado do Espírito Santo, localizado entre as latitudes de 20° 56' 05" a 20° 58' 00" Sul e longitudes 41° 19' 20" a 41° 22' 05" Oeste de Greewinch, com uma área de 2,77 km² (Figura 1).

O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é Cwa, caracterizado pelo Inverno seco e o Verão chuvoso. De maneira geral, a topografia possui relevo bastante acidentado, intercalada por reduzidas áreas planas. Basicamente, estão estabelecidas na área, as culturas de subsistência, café e, predominantemente, as pastagens, além dos remanescentes florestais nativos localizados principalmente nos topos dos morros.

2.1 CENÁRIO 1: metodologia proposta pelos autores: mapeamento in loco

Para a elaboração da metodologia proposta, pelos autores, para o CENÁRIO 1, foram utilizados os seguintes materiais: GPS; Netbook; Veículo; Trena; Odômetro; Câmera digital; Software ArcGIS 10.0; e Aerofoto de 20cm de resolução espacial.

De posse dos materiais listados acima, os seguintes foram implementados em campo:

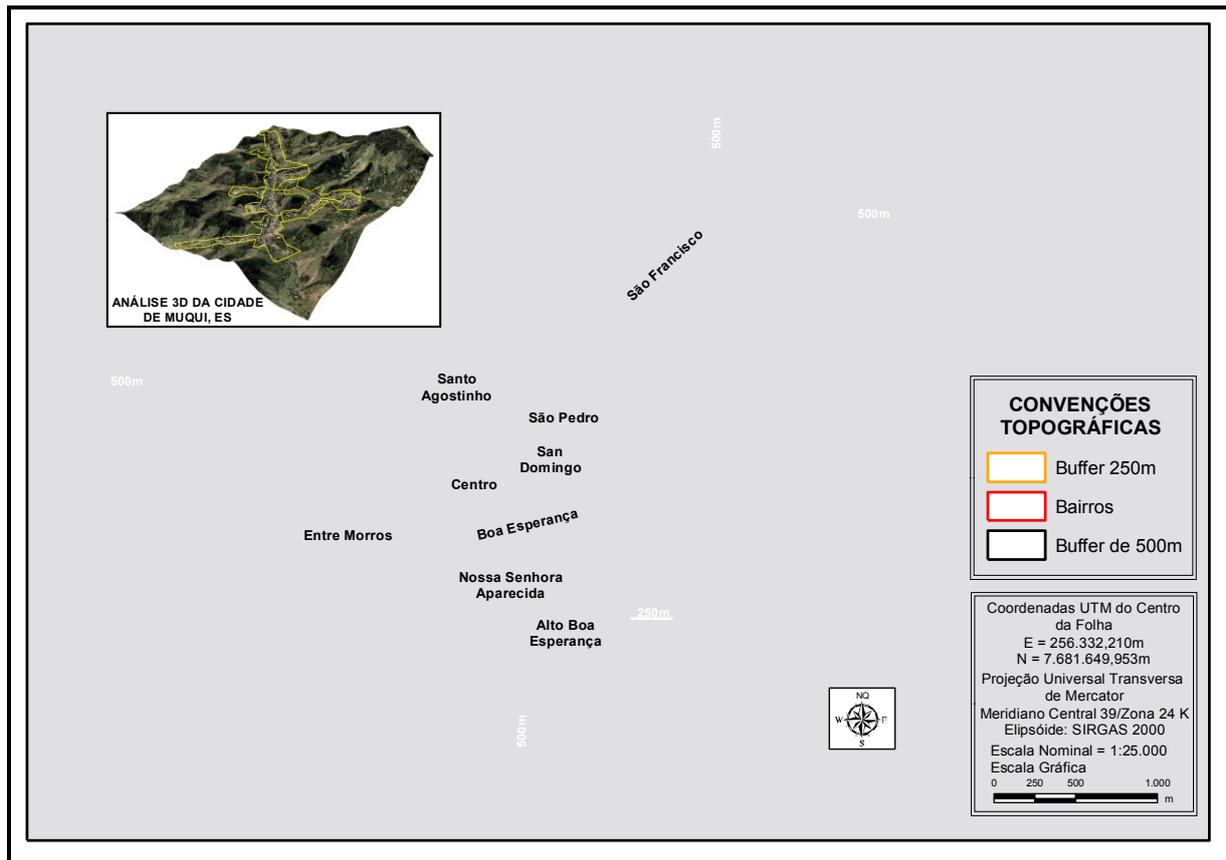


Figura 1. Localização da área de estudo.

PASSO 01 - Localização da montante do rio na zona limítrofe do primeiro bairro:

Após fotointerpretação em tela na escala cartográfica de trabalho de 1:400, identificou-se a localização precisa da montante do rio na zona limítrofe do primeiro bairro. Posteriormente, a equipe de trabalho dirigiu-se para o local supracitado.

PASSO 02 – Entrevista com o morador mais antigo localizado nas proximidades do ponto de coleta:

Já no local identificado no PASSO 01, entrevistou-se o morador mais antigo da localidade a fim de coletar informações

primárias do histórico das Inundações e Enchentes ocorridas nos últimos anos no local.

PASSO 03 – Observação sensorial dos vestígios de inundação máxima das margens direita e esquerda do leito do rio:

De posse das informações coletadas por meio da entrevista realizada no PASSO 02, realizou-se a observação sensorial dos vestígios de inundação máxima de ambas as margens do leito do rio baseado na marcação erosiva, nos taludes inclinados, nas inclinações das árvores, nas marcações da lâmina d'água sobre árvores,

edificações e pedras, entre outras características.

PASSO 04 – Marcação dos pontos com GPS:

Utilizou-se aparelho GPS e trena para marcação, respectivamente, do ponto vetorial, em coordenadas UTM, e da distância em linha reta máxima de Inundação em relação às margens direita e esquerda do leito do rio.

PASSO 05 – Adição das coordenadas X e Y (m) dos pontos no Software ArcGIS 10.0:

Com os dados obtidos no PASSO 04, utilizou-se o Software ArcGIS 10.0 para transformação das colunas X, Y e Z (distância em linha reta máxima de Inundação), em formato .xls, para o formato vetorial de pontos (formato shapefile). Posteriormente, por meio da técnica de fotointerpretação em tela foi realizada, em estado de edição, a correção espacial dos pontos vetoriais supracitados, sobrepostos sobre a aerofoto digital em alta resolução espacial (20 cm).

PASSO 06 – Utilização do odômetro do veículo para marcação do próximo ponto distante 1.000 metros do ponto anterior:

Apoiando-se em conceitos da física convencional, relacionada com a cinemática, foi utilizado um veículo dotado com o aparelho odômetro, mantendo-se velocidade constante de 40 km/h,

delimitando-se a distância efetivamente percorrida de 1.000 metros, em média, com objetivo de demarcar o segundo ponto de controle. Essa distância média foi percorrida em estrada que margeia o leito do rio. Caso não existam estradas que margeiem o leito do rio, os autores sugerem que seja utilizada a técnica de fotointerpretação em tela sobre imagem matricial de alta resolução, a fim de se delimitar a localização do ponto posterior distante, em média, 1.000 metros do anterior.

PASSO 07 – Implementação em campo dos PASSOS 01, 02, 03, 04, 05 e 06, até a jusante do rio na zona limítrofe do último bairro:

Todos os PASSOS listados anteriormente (de 01 ao 06) deverão, obrigatoriamente serem seguidos para a demarcação dos demais pontos vetoriais, até a zona limítrofe do último bairro.

PASSO 08 – Mapeamento do risco de Inundação e Enchentes (CENÁRIO 01):

De posse de um banco de dados espacial, georreferenciado e com controle de erros, representados pelos mapas: a) Modelo Digital de Elevação (MDE), b) declividade reclassificada de 0 a 10%, c) direção do fluxo d'água, e d) uso e ocupação da terra, fotointerpretou-se sobre a aerofoto digital de alta resolução, o polígono representativo das áreas de

Inundação e Enchentes classificadas como sendo de risco muito alto – R4.

O fluxograma metodológico contendo todas as etapas necessárias para a

implementação da metodologia proposta pelos autores (CENÁRIO 01) é mostrado na Figura 02.

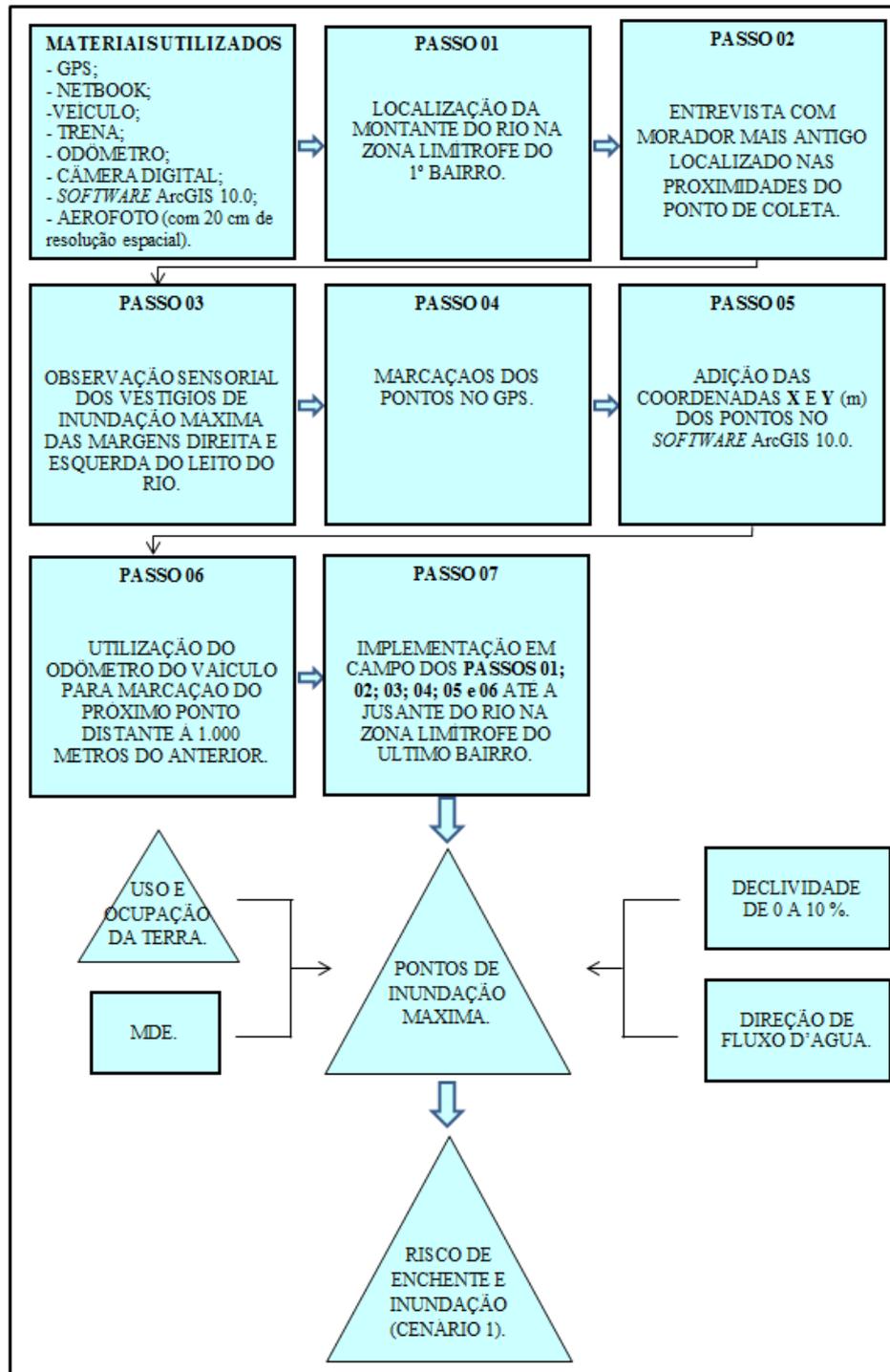


Figura 2. Fluxograma metodológico das etapas desenvolvidas para o CENÁRIO 1

2.2. CENÁRIO 2: metodologia proposta por Saaty 1977.

a) Reclassificação da elevação

Para o diagnóstico correto do risco de enchentes e inundações para os bairros do município de Muqui, ES, foram utilizadas curvas de nível com equidistância de 2m e rede hidrográfica fotointerpretada em tela (escala de 1:400) sobre aerofotos digitais com resolução espacial de 20 cm, disponibilizada com cortesia pela Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN).

As curvas passaram por um processo de interpolação a fim de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizando o algoritmo de interpolação TOPO TO RASTER, disponível no módulo ArcToolbox do aplicativo computacional ArcGIS 10.0, sendo posteriormente corrigido (função FILL) com o intuito de eliminar a ocorrência de imperfeições (depressões espúrias). De acordo com Tribe (1992) e Garcia & Camarasa (1999), essas imperfeições são muito frequentes nos MDEs e deriva-se de erros presentes nos dados de entrada ou introduzidos no processo de interpolação.

De posse do MDE corrigido, foi feita uma reclassificação das alturas encontradas por meio da função RECLASSIFY. Foram atribuídos os seguintes valores a cada classe de altitude (Tabela 1).

b) Reclassificação da declividade

De posse do MDE corrigido, elaborou-se a declividade em porcentagem da área de estudo por meio da função SLOPE. Após a elaboração da declividade em porcentagem, foi feita a reclassificação por meio da função RECLASSIFY, sendo atribuídos os seguintes valores a cada classe de declividade (Tabela 2).

c) Reclassificação do uso e ocupação da terra

Utilizando fotointerpretação em tela, na escala de 1:400, sobre aerofotos com resolução espacial de 20cm, foi gerado um arquivo vetorial poligonal para cada classe de uso e ocupação da terra, totalizando 19 classes, presente nos bairros do município de Muqui. Após a elaboração do mapa de uso e ocupação da terra, foi feita a reclassificação por meio da função RECLASSIFY, sendo atribuídos os seguintes valores a cada classe de uso da terra (Tabela 3).

d) Modelagem do risco de enchente e inundação

Tabela 1. Valores atribuídos para cada classe de altitude.

Classes de Altitude (m)	Peso
225-250	10
250-300	7
300-350	6
350-400	5

Tabela 2. Valores atribuídos para cada classe de declividade.

Classes de Declividade (%)	Peso
0 - 3	10
3 - 8	3
3 - 100	1

Tabela 3. Valores atribuídos para cada classe de uso da terra.

Classes de Uso da Terra (%)	Peso
Área agriculturada	5
Área edificada	7
Área urbana	7
Café	5
Campo sujo	4
Capoeira	3
Corpos d'água	10
Estradas não pavimentadas	6
Estradas pavimentadas	7
Formação rochosa	7
Fragmentação florestal	1
Pastagem	4
Reflorestamento	1
Reservatório	10
Solo exposto	6
Várzea	9
Vegetação rala	4
Árvores	2
Voçoroca	7

Para o cálculo do risco de enchente e inundação, utilizou-se o método de Análise Hierárquica Ponderada (AHP), proposto por Saaty (1977), o qual consiste na elaboração de uma escala de importância entre os fatores (altitude, declividade e uso e ocupação da terra) e, posteriormente, colocados em uma matriz de relacionamento para ser feito uma comparação pareada.

A fase de atribuição dos valores, com base na escala de comparadores, é considerada um dos momentos mais importantes durante processo de confecção dos mapas de inundação, já que os valores de importância atribuídos a um fator interferiram diretamente no resultado obtido (SANTOS, 2010).

A matriz de comparação pareada desenvolvida é apresentada conforme a (Tabela 4). Portanto o fator declividade foi definido como mais importante diante os três fatores, e a altitude com menor importância. No presente estudo, os valores dos pesos foram obtidos por meio

do script AHP customizado no aplicativo computacional ArcGIS 10.0.

A modelo proposto, validado pela razão de consistência de 0,037, é representado por:

$$REI = 0,6370 DEC + 0,2583 UOT + 0,1047 MDE \quad (1)$$

em que, REI: risco de enchente e inundação; DEC: declividade reclassificada; UOT: uso e ocupação da terra; MDE: modelo digital de elevação reclassificado.

De posse do mapa preliminar de risco de enchente e inundação, foi realizada a filtragem por meio da função FILTER com o objetivo de eliminar a ocorrência de pixels isolados não representativos da análise em estudo.

Finalmente, foi aplicada a função RECLASSIFY, com o intuito de gerar quatro classes de risco, sugeridas pelo Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (BRASIL, 2007), descritas abaixo:

Tabela 4: Matriz de comparação dos fatores.

FATORES	Altitude	Uso da Terra	Declividade	Pesos
Altitude	1	0,3333	0,1249	0,0880
Uso da Terra	3	1	0,3333	0,2426
Declividade	5	3	1	0,6694

R1 (baixo risco): baixa ou nenhuma processo de deslizamentos e solapamentos. Não apresentam evidências de instabilidade de encostas e de ocorrência de eventos destrutivos.

R2 (médio risco): médio processo de deslizamentos e solapamentos. Apresenta algumas evidências de instabilidade de encostas e reduzida ocorrência de eventos destrutivos.

R3 (alto risco): alto processo de deslizamentos e solapamentos. Apresenta evidência de instabilidade de encostas e ocorrência de eventos destrutivos, durante período chuvoso.

R4 (muito alto risco): muito alto processo de deslizamentos e solapamentos. Apresenta expressivas evidências de instabilidade de encostas e ocorrência de eventos destrutivos.

O fluxograma metodológico contendo todas as etapas necessárias para a realização do método de Análise Hierárquica Ponderada (AHP), proposto por Saaty (1977) (CENÁRIO 02) é apresentado na Figura 3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o CENÁRIO 1, foi mensurada uma área de inundação e enchente de risco muito alto – R4 correspondente a 43,23 ha, representando 15,66% em relação à área

dos bairros, conforme pode ser observado nas Figuras 4 e 5.

O método proposto por Saaty (1977) (CENÁRIO 2) “demarca” para toda região de estudo índices que variam de R1 (baixo) a R4 (muito alto), conforme pode ser observado na Figura 6. No CENÁRIO 2, foi mensurada uma área de inundação e enchente de risco muito alto – R4 correspondente a 16,62 ha, o que representa 6,02% em relação à área dos bairros, evidenciando uma diminuição de 38,44% do que fora obtido por meio do método proposto pelos autores (CENÁRIO 1) (Tabela 5).

Conforme pode ser observado na Figura 6 (CENÁRIO 2), a região de índice R4 se apresenta também ao longo dos rios, entretanto a mesma possui uma menor continuidade no decorrer dos cursos d’água, tendo uma dispersão mais heterogênea do que quando comparada com a distribuição evidenciada no CENÁRIO 01. Essa diferenciação é justificada pelo fato da metodologia implementada no CENÁRIO 1 manter continuidade e sequenciamento dos pontos de coleta no campo desde a montante até a jusante dos pontos vetoriais limítrofes dos bairros, representativos das distâncias de inundação máxima em relação ao leito dos rios.

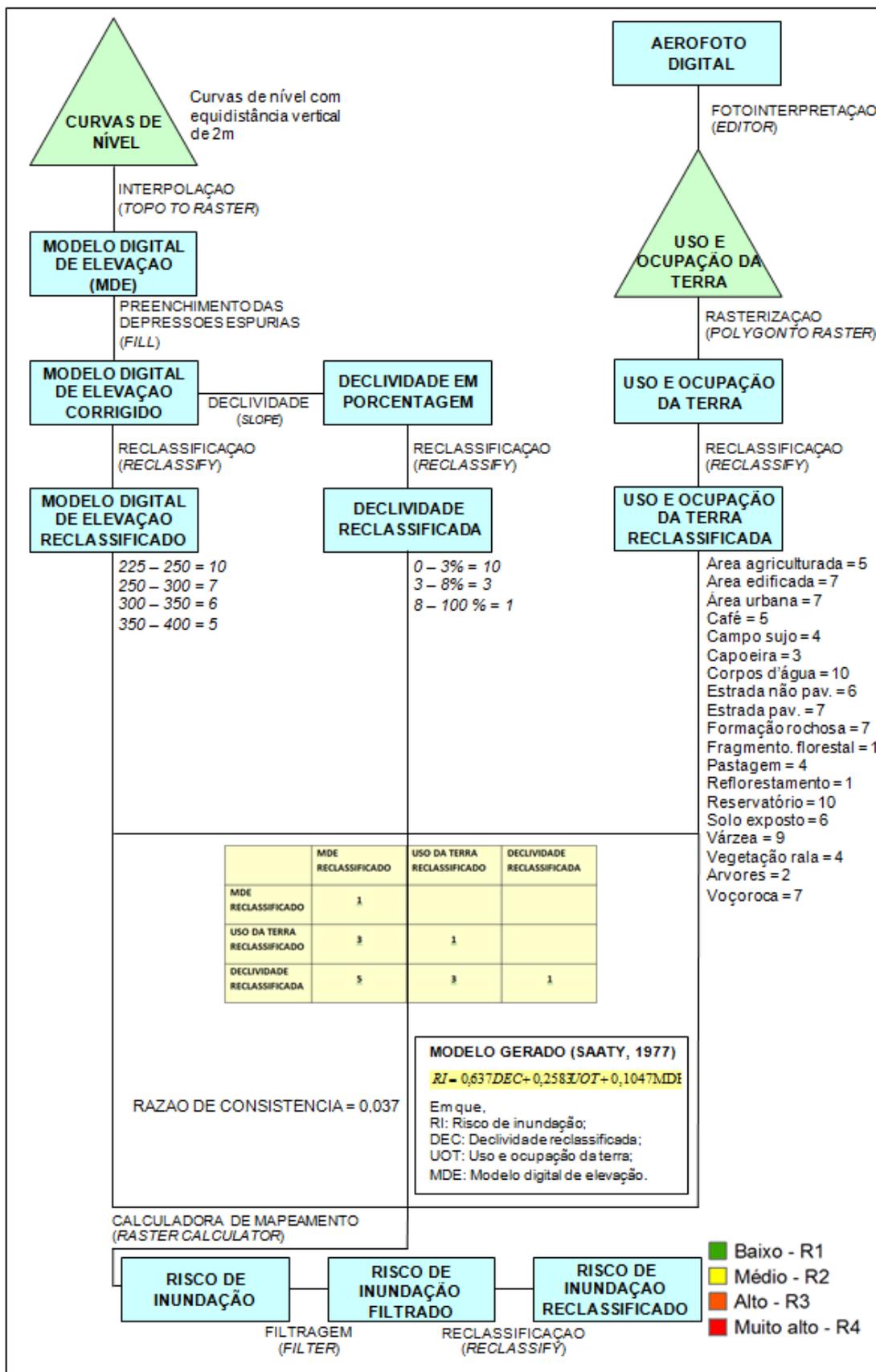


Figura 3: Fluxograma metodológico das etapas desenvolvidas para o CENÁRIO 2.

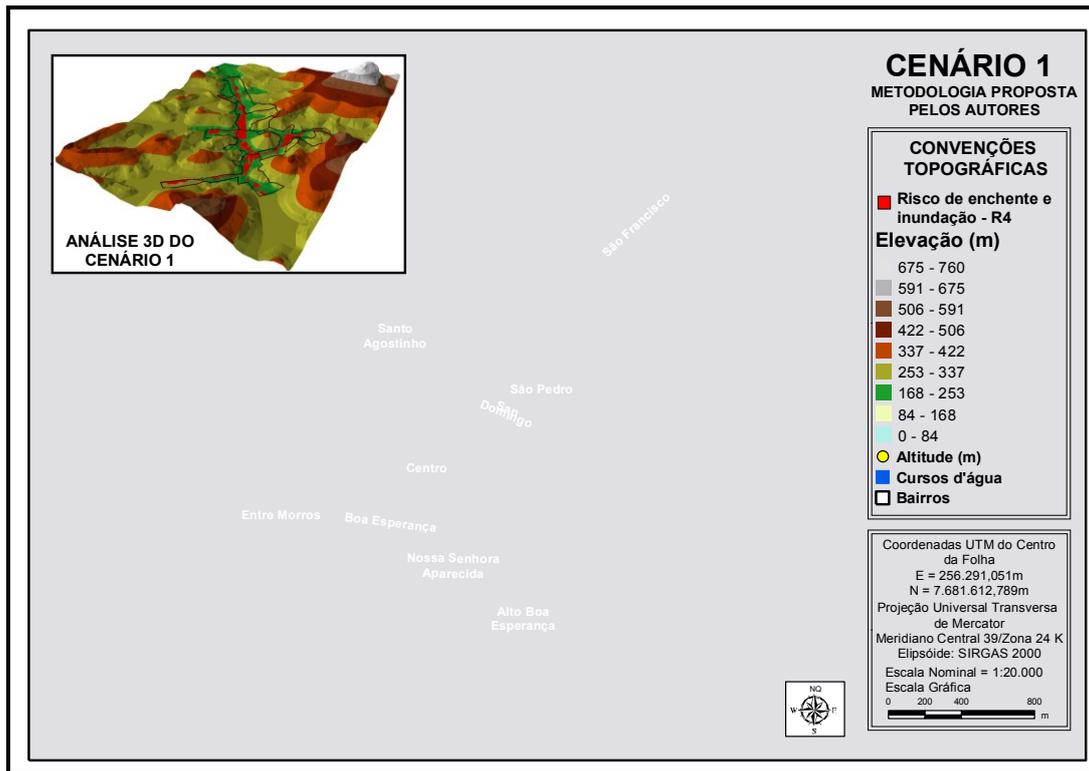


Figura 4: Risco de Enchente e inundação (CENÁRIO 1) sobre o TIN para os bairros do município de Muqui, ES.

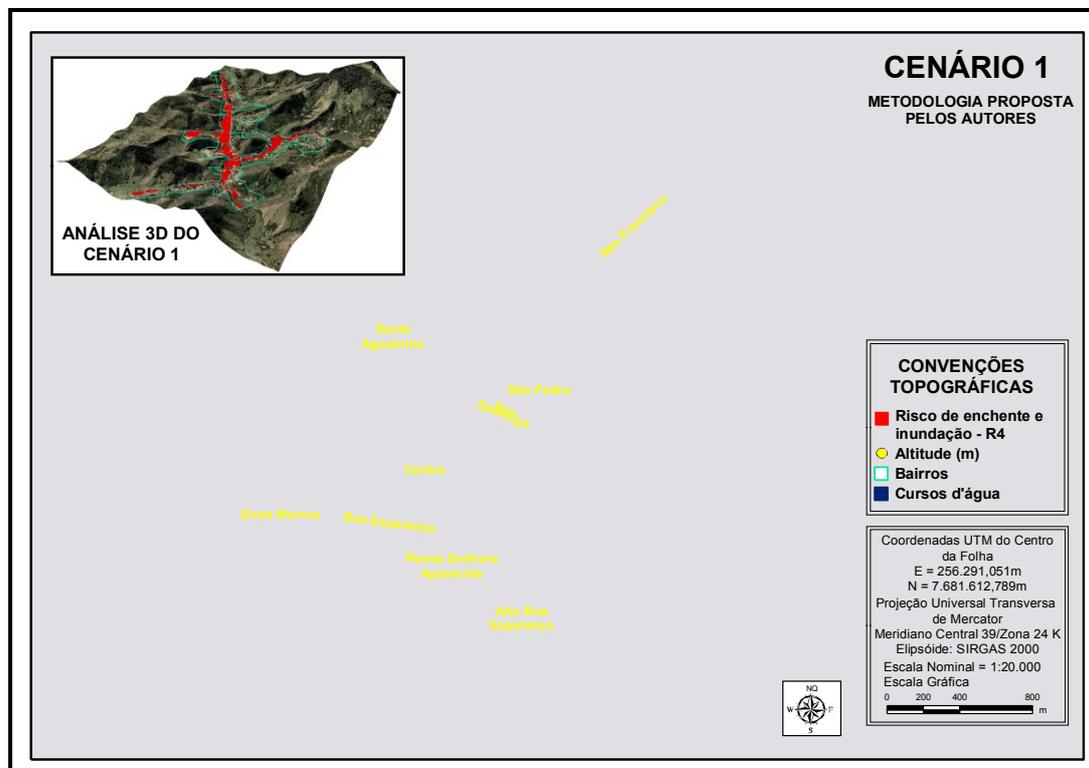


Figura 5: Risco de Enchente e inundação (CENÁRIO 1) para os bairros do município de Muqui, ES.

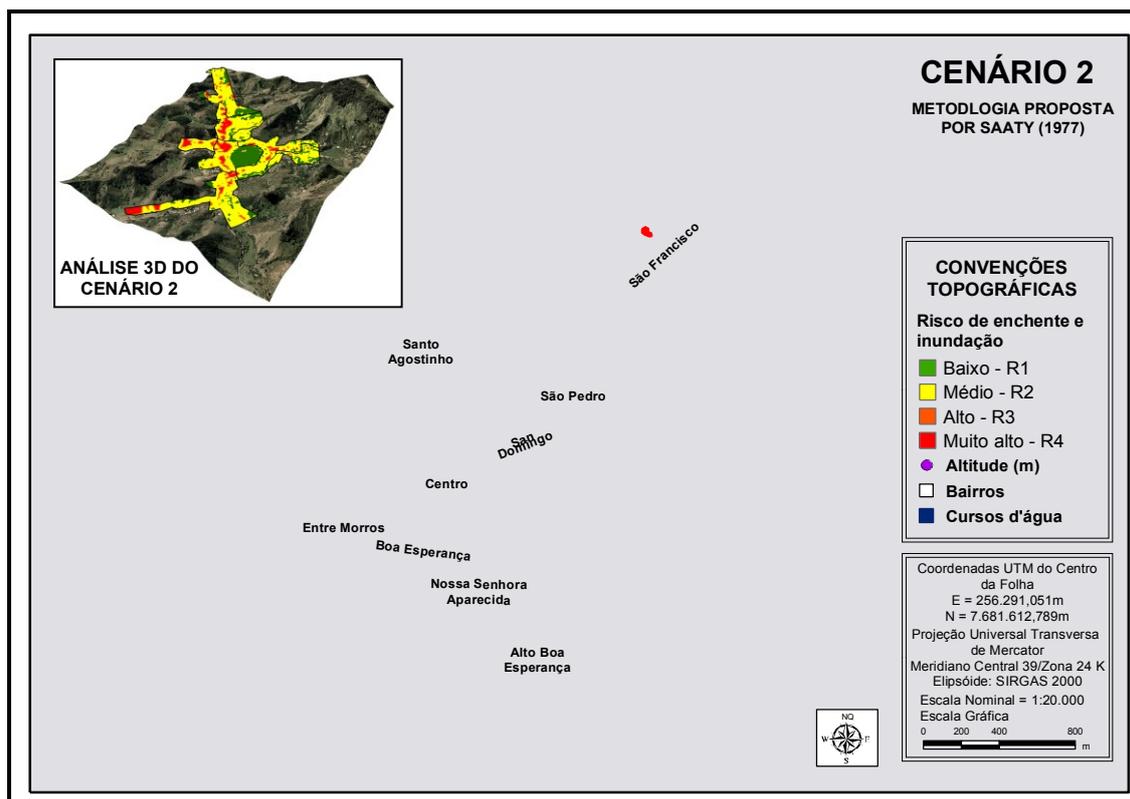


Figura 6: Risco de Enchente e inundação (CENÁRIO 2) para os bairros do município de Muqui, ES.

Tabela 5. Resultados estatísticos do risco de enchente e inundação calculado para os CENÁRIOS 1 e 2 na área total dos bairros do município de Muqui, ES.

Riscos	Área de Inundação e Enchente (ha)		Percentual de Inundação e Enchente em Relação à Área dos Bairros (%)	
	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2
Baixo - R1	-	60,99	-	22,09
Médio -R2	-	179,03	-	64,83
Alto - R3	-	19,50	-	7,06
Muito alto - R4	43,23	16,62	15,66	6,02
TOTAL	43,23	276,14	15,66	100,00

Nos CENÁRIOS 1 e 2, as áreas que possuem 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. As áreas com maiores

riscos de intensidade a inundações são as áreas que margeiam todo o leito do rio que atravessa os bairros da cidade.

Pelo fato da metodologia implementada no CENÁRIO 1 mensurar as áreas de inundações máximas em campo, a partir de entrevistas com os mais antigos moradores, esta metodologia de levantamento de campo mostra-se mais precisa e aproximada da realidade.

4. CONCLUSÕES

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

Para o CENÁRIO 1, obteve-se uma área de inundações e enchente (muito alto risco - R4) de 43,23 ha, representando 15,66% em relação à área dos bairros.

O método proposto por Saaty (1977) (CENÁRIO 2) mensurou uma área de inundações e enchente de risco muito alto – R4 correspondente a 16,62 ha, o que representa 6,02% em relação à área dos bairros.

Para ambos CENÁRIOS, as áreas de inundações são as áreas que margeiam todo o leito do rio que atravessa os bairros da cidade.

Para ambos CENÁRIOS, as áreas que possuem o relevo mais suave apresentam o maior risco de enchente.

A metodologia implementada pelos autores no CENÁRIO 1 mostrou-se mais eficiente na delimitação exata dos locais com maior probabilidade de inundações.

REFERÊNCIAS

- CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. Predicting floods from urban development scenarios: case study of the Diluvio basin, Porto Alegre, Brazil. *Urban Water*, v. 3, 2001. p. 113-124., 2001.
- ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundações: estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná. 2004.** Dissertação (Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná-PA 2004.
- FIGUEIREDO, R. B. **Engenharia Social: Soluções para áreas de risco.** São Paulo. Makron Books.1994.
- GILLESPIE, T. W.; CHU, J.; FRANKENBERG, E.; THOMAS, D; Assessment and prediction of natural hazards from satellite imagery. *Progress in Physical Geography*, v. 31, n. 5, p. 459-70, 2007.
- JOYCE, K. E.; Belliss, S. E.; V, S.; MCNEILL, S. J.; GLASSEY, P. J. A review of the status of satellite remote sensing and image processing techniques for mapping natural hazards and disasters. *Progress in Physical Geography* v. 33, n. 2, p. 183-207, 2009.

- 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. Disponível em:
<<http://www.defencil.gov.br/artigo.php?artigo=07>>. Acesso em: 13 ago. 2010.
- SAATY, T. H. A scaling method form priorities in hierarquical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v.15, n 3, p.234-281, 1977.
- TRALLI, D. M.; BLOM, R. G.; ZLOTNICKI, V.; DONNELLAN, A.; EVANS, D. L. Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing** v. 59, p.185-198, 2005.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004.
- TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.L., BARROS, M. T.. “Inundações Urbanas”, in Drenagem urbana. ABRH, ed. UFRGS, Porto Alegre – RS, 1995.
- VIEIRA, P. B. H., PINTO, J. F., GALVÃO, M. L., SANTOS, L. K. S. Utilizando SIG na Análise Urbana da Microbacia do Rio Itacorubi, Florianópolis-SC, In: COBRAC 2006. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC-Florianópolis. 15 a 19 de Outubro, 2006, p. 1-9. Disponível em: <http://www.geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2006/107.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2011.