



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
Reg.: 120.2.095 – 2011 – UFVJM
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 14 – Ano VII – 10/2018
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Uso de geotecnologias para mapeamento da suscetibilidade a inundações e escorregamentos em Teófilo Otoni, Minas Gerais: potencialidades e limitações

Caio Mário Leal Ferraz

Mestre e Doutorando em Geografia – UFMG
Docente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
Teófilo Otoni – UFVJM – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5030555619653926>
E-mail: caio.ferraz@ufvjm.edu.br

Roberto Célio Valadao

Mestre e Doutor em Geologia Sedimentar - UFBA
Docente da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Belo Horizonte – UFMG – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7250719881028769>
E-mail: valadao@ufmg.br

Renata Jordan Henriques

Mestre e Doutoranda em Geografia Física - UFMG
<http://lattes.cnpq.br/8301651694643121>
E-mail: renatajhques@gmail.com

Barbara Costa Trindade

Graduada em Ciência e Tecnologia na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM – Brasil
Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária – Uni Doctum
Pós-graduanda em MBA em Gestão Ambiental e Sustentabilidade - UFSCar
<http://lattes.cnpq.br/9865175737581787>
E-mail: babii-costa@hotmail.com

Felipe Fernandes Ladislau

Graduado em Geografia - UFMG

Pós-Graduando em Geoprocessamento e Análise Espacial - PUC-MG

<http://lattes.cnpq.br/4919543508438151>

E-mail: felipe.fernandesladislau@live.com

Resumo: Com o crescimento rápido e desordenado das cidades, especialmente em países subdesenvolvidos, crescentes contingentes populacionais passam a ocupar áreas suscetíveis a inundações e escorregamentos. Em função disso, importantes esforços de diversos atores sociais são destinados à identificação e mapeamento destas áreas, fazendo-se uso de distintas ferramentas tecnológicas disponíveis para tais fins. Assim sendo, objetiva-se com este trabalho discutir acerca das potencialidades de métodos que empregam geotecnologias para a identificação, tipificação e mapeamento de áreas suscetíveis a inundações e escorregamentos em Teófilo Otoni, Minas Gerais. Mediante uso de imagens de satélites, de análise multicritério e de trabalhos de campo foi possível mapear a suscetibilidade aos fenômenos destacados, resultando em mapas preliminares, cujas aplicabilidades podem servir ao ordenamento territorial futuro do município. São apresentadas e discutidas potencialidades e limitações dos métodos adotados, mediante associação destes a bancos de dados de ocorrências pretéritas de inundações e ao reconhecimento e mapeamento de cicatrizes de escorregamentos nas encostas.

Introdução

Embora inundações e escorregamentos constituam fenômenos cujas ocorrências podem ser naturais, suas manifestações podem também ser potencializadas ou induzidas pela ação humana, em função de alterações promovidas na morfologia das vertentes, nas propriedades do solos e nas condições de drenagem (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; SELBY, 1993; FERNANDES e AMARAL, 1996; TUCCI, 1997; OGURA *et al.*, 2004; AMARAL e RIBEIRO, 2009; TOMINAGA *et al.*, 2009; CARMO, 2014; MAZOTO, 2015). Em função das profundas transformações e dos inadequados usos e ocupações do solo promovidos ao longo da história da urbanização brasileira, acompanhada de intenso crescimento populacional de modo desordenado no espaço, nas áreas urbanas processaram-se contundentes interferências nos condicionantes naturais das inundações e escorregamentos (GUIMARÃES *et al.*, 2008; GONÇALVES e GUERRA, 2009; AMARAL, 2013; AMARAL e REIS, 2014).

Neste cenário, importantes trabalhos objetivam não apenas compreender os mecanismos que deflagram estes fenômenos, como também investigar métodos capazes de identificar áreas suscetíveis à sua ocorrência. Tendo em vista este intuito, destacam-se metodologias que objetivam, além de determinar áreas críticas, caracterizar os riscos envolvidos, quer em função da possibilidade de ocorrência, quer quanto aos danos decorrentes de inundações e escorregamentos (FERNANDES *et al.*, 2001). Em parcela considerável destes estudos lança-

se mão de ferramentas de geoprocessamento, sobretudo em função do amplo leque de aplicações e possibilidades, uma vez que a utilização de geotecnologias pode aprimorar o diagnóstico e a análise dos riscos de ocorrência de ambos os fenômenos aqui abordados. Para Amaral e Reis (2014, p.2032), “o emprego de imagens de satélite e radar somados aos trabalhos de campo é inerente para promover maior agilidade nos resultados e estes apresentarem melhor qualidade de acordo com cada especificidade”.

Considerando as possibilidades do emprego do geoprocessamento para análise e avaliação de suscetibilidade a escorregamentos e inundações em meio urbano, objetiva-se com este trabalho avaliar os caminhos metodológicos adotados para o mapeamento das áreas suscetíveis a esses fenômenos em Teófilo Otoni, Minas Gerais, apontando as contribuições e potencialidades do uso de geotecnologias para esta finalidade. Parte-se aqui do princípio defendido por Brookfield (1999), ao considerar não ser possível prescindir da análise da suscetibilidade na avaliação do risco. Segundo o autor, a vulnerabilidade se relaciona tanto com as características físicas (naturais) do local quanto com as condições econômicas e sociais das populações que a habitam, uma vez que forças físicas e humanas atuam na produção da vulnerabilidade e dos danos, sendo necessário analisar a sensibilidade do ambiente sem sobrepujar as causas naturais envolvidas na produção do risco.

A área de estudo

O objeto deste trabalho abrange a cidade de Teófilo Otoni, localizada no nordeste de Minas Gerais (Figura 1 – A), a aproximadamente 450km de Belo Horizonte. Apresenta população de 134.745 habitantes (IBGE, 2016) e área urbana de 19,620 km². À cidade foram acrescidas porções periurbanas, configurando objeto total de estudo com área total de 64,173km² (Figura 1–B). O objetivo de compreender porções não urbanizadas adjacentes à área de estudo baseou-se na perspectiva de que tais áreas, menos afetadas pela produção do tecido urbano, seriam possuidoras de significativo acervo de condicionantes naturais mobilizadores de escorregamentos e inundações que, em princípio, se manifestam no interior da cidade.

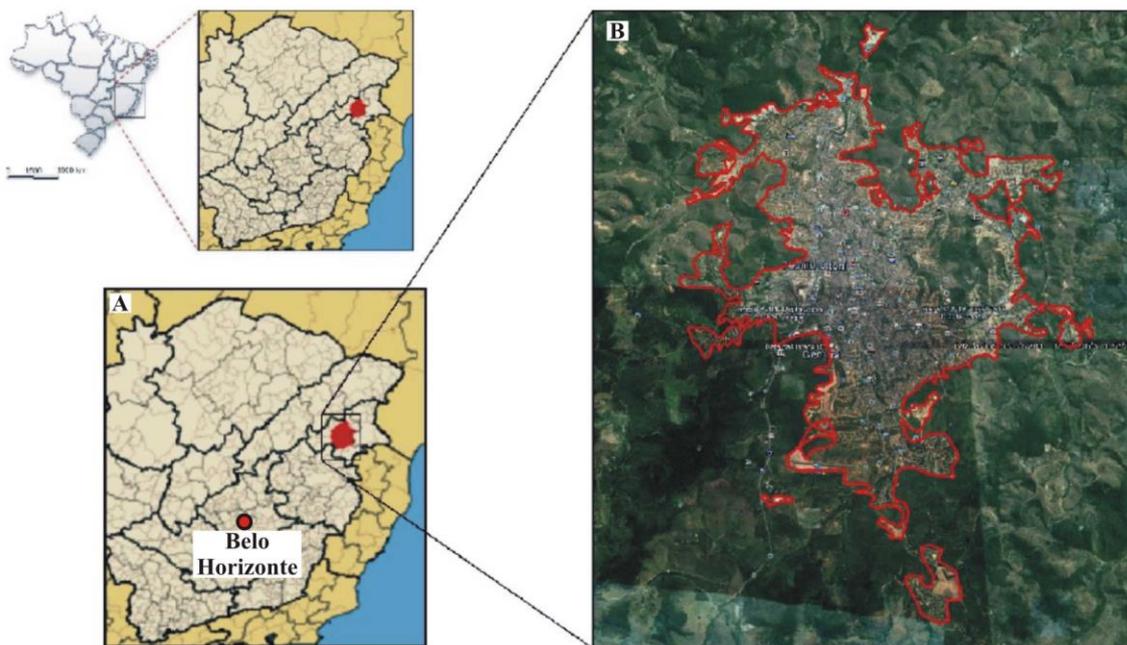


Figura 1 – Localização da área de estudo com relação ao estado de Minas Gerais (A) e área total investigada (B).

O substrato geológico da área é composto por rochas proterozoicas de variado grau metamórfico e granitoides de mesma idade, ambos truncados por lineamentos brasileiros de direções principais NE-SW (FERRAZ, 2006). As principais litologias constituem-se de “biotita gnaisse cinza, fino ou, ocasionalmente, médio, com bandamento submilimétrico a poucos milímetros” e “biotita-tonalito, hornblenda-biotita tonalito e, subordinadamente, biotita granodiorito” normalmente foliadas (PAES, 2001, s.p.). Predominam Argissolos nas superfícies mais declivosas e Latossolos em níveis de cumeada (SANTOS *et al.*, 1987; FERRAZ, 2006; ALVARENGA, 2016).

O clima pode ser entendido como tropical úmido (MARTINS, 2010), apresentando temperaturas médias superiores aos 18°C (REBOITA *et al.*, 2015) e índice pluviométrico médio de 1009mm ao ano (FERRAZ *et al.*, 2016a), concentrado em estação chuvosa entre outubro a março, quando ocorre cerca de 80% da precipitação total anual (FERRAZ *et al.*, 2016b).

O sítio de ocupação é descrito por Ferraz e Valadão (2006) como formado por planaltos de dissecação fluvial estruturalmente direcionada, estando presentes (i) morfologias moderadamente planas e alongadas, que correspondem às áreas de menores altitudes, nas quais se concentra a maior parte do tecido urbano de Teófilo Otoni; (ii) relevo com maior grau de dissecação fluvial, não sendo, porém, as feições mais declivosas da área,

correspondendo ao seu patamar topográfico intermediário; (iii) feições de maiores amplitudes topográficas e vertentes de mais elevada declividade (FERRAZ *et al.*, 2016a).

Materiais e métodos

O desenvolvimento dos mapas de suscetibilidade a inundações e escorregamentos derivou de esforços que incluíram desde a interpretação inicial de imagens de satélite e de cartas topográficas até a coleta de informações em campo. O produto cartográfico inicial, alicerce para muitos dos demais mapas produzidos, consistiu em modelo digital de elevação hidrologicamente condicionado (MDEHC), cuja elaboração teve início a partir de base cartográfica vetorial disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:25.000. Foram utilizadas ainda carta referente ao limite da área urbana – obtida por meio de planta fornecida pela Prefeitura Municipal de Teófilo Otoni, extraída de Metzker *et al.* (2014) – e imagens SRTM (*Shuttler Radar Topography Mission*), adquiridas gratuitamente em 16 de fevereiro de 2016 no *site* da USGS – *Earth Explorer*. As imagens utilizadas foram geradas pelo sensor LandSat 8 e possuem resolução espacial de 15 metros (banda pancromática), 30 metros (multiespectral), e 100 metros (termal), contemplando resolução radiométrica de 16 bits por pixel e resolução temporal de 16 dias. Utilizou-se do software *ArcGis* versão 10.0 para o tratamento de dados.

Por meio de um conjunto de ferramentas para análise hidrológica, denominado *ArcHydro*, foi possível gerar a drenagem da área investigada a partir do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC). Este empenho foi necessário para se evitar distorções existentes entre o modelo digital de elevação e a drenagem mapeada pelo IBGE, uma vez que a hidrografia apresentada, em ambos os mapeamentos, exibiu incoerências. Eventuais imperfeições do resultado obtido pelo modelo foram corrigidas manualmente com base em informações oriundas de trabalhos de campo da interpretação de imagens do *Google Earth Pro* (Figura 2).

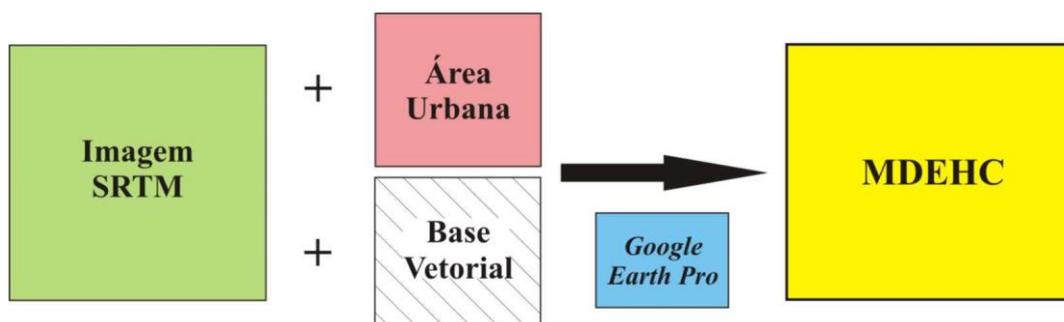


Figura 2 – Etapas de elaboração do modelo digital de elevação hidrologicamente condicionado da área investigada.

Para a confecção do mapa de suscetibilidade a inundações de Teófilo Otoni foi elaborada análise multicritério, conforme Magalhães *et al.* (2011). Esta análise, segundo os autores, produz mapa de risco de inundação, e foi proposta ainda com contribuições metodológicas advindas de Silva e Rosa (2017), sendo, para tanto, construído novo MDEHC (Figura 3), a fim de obter melhor resolução e fidelidade dos resultados. Neste caso, utilizou-se imagens do satélite ALOS com resolução espacial de 12,5 metros, disponibilizadas de forma gratuita no *site* da *Alaska Satellite Facility*. As imagens foram unidas por meio de mosaico e projetadas no sistema de coordenadas UTM e o *datum* SIRGAS 2000 zona 24S, assim como todos os anteriores. O mosaico passou por um processamento prévio para a eliminação de erros e correção das depressões espúrias, manipulado com auxílio das ferramentas do *ArcHydro*, disponíveis no software *ArcGis*, para obtenção de novo modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC) da área investigada (Figura 3 – A).

Este produto serviu de base para elaboração de mapa de declividade da área investigada (Figura 3 – B), formulado através da manipulação do MDEHC, utilizando o comando *Slope*, inserido no pacote ferramentas *Spatial Analyst* do programa *ArcGis*. As determinações das classes de declividade adotadas foram as propostas pela EMBRAPA (2013), conforme adaptação sugerida por Almeida *et al.* (2017), definindo-se assim as condições de declividade do relevo, que variam de plano a fortemente montanhoso.

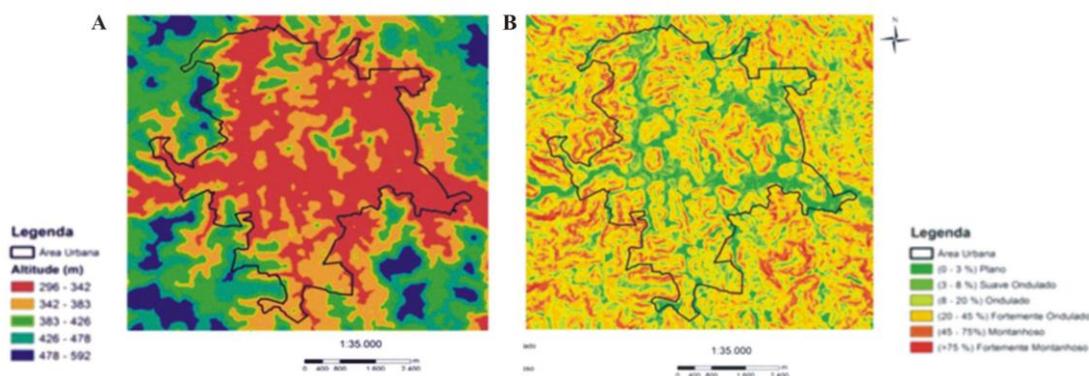


Figura 3 – Modelo digital de elevação hidrologicamente consistente da área investigada (A) e mapa de declividade da área investigada (B), cujas classes de declividade seguem proposta elaborada por Almeida *et al.* (2017).

O método utilizado para análise multicritério (SILVA e ROSA, 2017) prevê ainda classificação do uso e ocupação do solo, elaborado a partir das imagens do satélite *RapidEye*, com resolução espacial de 5 metros, disponibilizadas e pré-processadas pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF), regional nordeste. Para a classificação supervisionada empregou-se o método da máxima verossimilhança, seguindo o procedimento de classificação de imagens *RapidEye* no software *ArcGis*, conforme adotado por Costa *et al.* (2016). O mapeamento foi elaborado considerando as seguintes classes: água, floresta, mancha urbana, campo e solo exposto. Com o intuito de modificar detalhes geométricos no estudo, gerando uma imagem mais limpa e sem pixels isolados, portanto mais condizentes com a realidade, procedeu-se à aplicação de filtros através dos comandos *Majority Filter*, *Boundary Clean*, *Region Group*, *Set Null* e *Nibble*, segundo Alvarenga (2016) e Almeida *et al.* (2017). A análise multicritério para elaboração de mapa de suscetibilidade a inundações considerou também método de análise hierárquica proposto por Saaty (1997), definindo-se critérios selecionados e representados por pesos estatísticos relacionados aos objetivos do estudo a ser elaborado. Os critérios avaliados foram altitude (utilizando o MDEHC), declividade e uso e ocupação do solo e, para a definição dos pesos referentes a cada critério, seguiu-se metodologia proposta por Magalhães *et al.* (2011), definindo-se matriz de comparação que pode ser verificada por meio do Quadro 1. Dessa forma, segundo os autores, “o fator declividade foi definido como mais importante diante os três fatores, e a altitude com menor importância. De forma que a declividade é sete vezes mais importante que a altitude (MAGALHÃES *et al.*, 2011, p.65).

Quadro 1 – Matriz de comparação de valores e pesos para altitude, uso do solo e declividade, conforme Saaty (1997), citado por Rosot *et al.* (2000).

Fator	Altitude	Uso do solo	Declividade	Peso
Altitude	1	0,333	0,1429	0,0882
Uso do solo	3	1	0,3333	0,2431
Declividade	7	3	1	0,6687

A Equação 1, para análise do risco de inundação, foi definida após a determinação dos pesos com atribuição para cada fator.

$$RI = 0,0882*A + 0,2431*U + 0,6687*D \quad (1)$$

Onde,

RI = Risco de Inundação;

A= Altitude;

U= Uso e Ocupação do Solo;

D= Declividade.

Para a obtenção do mapa de risco de inundação conforme análise multicritério, a área foi examinada pixel a pixel e a Equação 1 foi aplicada pela ferramenta *Raster Calculator*, ocorrendo reclassificação do MDEHC, uso do solo e declividade, pelo comando *Reclassify*, considerando as notas relacionadas a cada classe, que seguiram os do estudo feito por Magalhães *et al.* (2011) e estão dispostos na Quadro 2. O resultado foi o mapa de risco de inundações de acordo com Magalhães *et al.* (2011) segundo análise multicritério da área investigada, oportunamente apresentado neste trabalho, o qual dispõe de cinco classes de risco.

Quadro 2 – Notas (pesos) atribuídos às classes altitude, uso e ocupação do solo e declividade para geração do mapa de risco de inundação para a área investigada, conforme proposto por Magalhães *et al.* (2011).

Altitude (m)	Nota	Uso e ocupação do solo	Nota	Declividade (%)	Nota
296-342	10	Água	10	0-3	10
342-383	9	Mancha urbana	8	3-8	7
383-426	5	Solo exposto	7	8-20	5
426-478	2	Campo	3	20-45	4
478-596	1	Floresta	1	45-75	3
				Maior que 75	1

A este mapa foi acrescentado *shapefile* que contém (i) elementos morfológicos de interesse (linhas de cumeada, reentrâncias¹ e anfiteatros das vertentes, anteriormente elaborado) e (ii) direções de escoamento superficial, interpretados a partir da morfologia e declividade a partir de imagens *Google Earth Pro*, resultando no mapa de concentração de do escoamento superficial da área investigada, necessário para elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações.

Para elaboração do mapeamento das planícies de inundação, bem como intervenções nos cursos d'água, os quais focam área urbana de Teófilo Otoni, procedeu-se à delimitação das planícies aluviais, tomando-se como referência inicial o valor médio de 25 metros a partir

¹ Neste trabalho o termo reentrâncias é utilizado para se referir, de modo genérico, a morfologias côncavas em planta, a exemplo de anfiteatros, também reconhecidos como *hollows* na literatura geomorfológica internacional.

de cada margem dos cursos d'água para elaboração de *buffer* partindo dos rios (utilizando-se a cartografia de base previamente confeccionada, que resultou do primeiro MDEHC elaborado). De posse destes resultados, as planícies de inundação foram pontualmente redesenhadas por análise e interpretação do relevo (com auxílio das curvas de nível geradas pelo MDEHC e imagens do *Google Earth Pro*). As demais informações, obtidas em trabalho de campo, como localização de pontes, gabiões e determinação de área urbanizada, dentre outras, foram adicionadas ao mapa por meio da criação de novos *shapefiles*, um para cada característica mapeada. Para isso foram consideradas as informações de campo e imagens do *Google Earth Pro* (Figura 4).

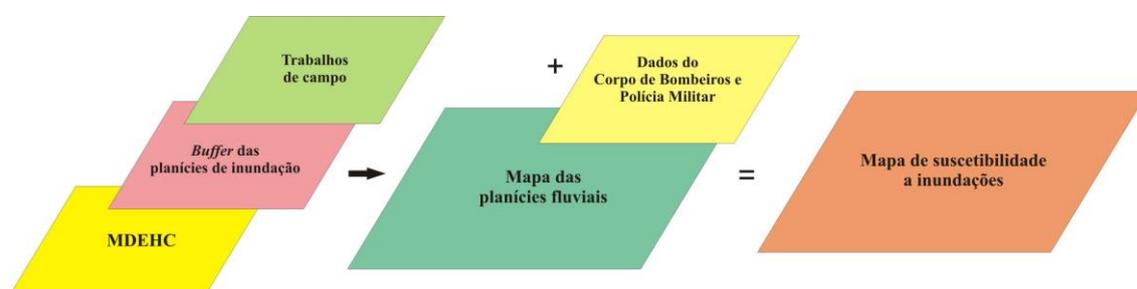


Figura 4 – Elaboração do mapeamento das planícies de inundação e das áreas suscetíveis a alagamentos e inundações de Teófilo Otoni.

A construção do mapa de suscetibilidade a inundações também se valeu da criação de *shapefiles* para as informações resultantes da tabulação dos dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros e pela Polícia Militar, compreendidos como parâmetro de refinamento do modelo. Para tanto, os dados foram transferidos para a base do mapa gerado na etapa anterior, como novo *shapefile*, obtendo-se um mapeamento que localiza no espaço, de modo quantitativo, os eventos de inundações e alagamentos na área investigada entre 2011 e 2015 (Figura 4).

O mapa de suscetibilidade a escorregamentos aqui proposto foi elaborado a partir de informações oriundas de trabalhos de campo, geoprocessamento e dados obtidos por meio de consulta bibliográfica. Em princípio, a partir dos resultados de obtidos em campo, foram determinadas as características geomorfológicas a serem consideradas para a construção do mapa de suscetibilidade a escorregamentos a partir de análise multicritérios. Para tanto, procedeu-se a criação e tratamento de banco de dados com informações de fenômenos pertinentes à modelagem do mapa, o qual foi utilizado na análise multicriterial, que, no caso deste trabalho, realizada com *software ArcGis*, versão 10.4.1, se desenrolou com os

procedimentos a saber: (i) discriminação das variáveis; (ii) preparação das bases; (iii) atribuição de pesos; (iv) álgebra de mapas e (v) mapa de suscetibilidade a escorregamentos.

As variáveis selecionadas para o modelo de susceptibilidade foram a curvatura horizontal das formas de relevo e a declividade, medida em graus, considerados condicionantes geomorfológicos de maior influência para deflagração dos fenômenos na área investigada. Tais bases estão disponíveis no banco de dados Geomorfométricos Topodata², do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), os quais foram incorporados ao banco de dados e tiveram suas informações espaciais – referentes a sistema de referência e datum – padronizadas para o sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 24S, em Datum SIRGAS 2000³.

Foi necessário definir os pesos de cada variável, tanto de uma em relação às demais, quanto de cada uma em relação a si mesma, considerando-se suas classes temáticas, sejam essas de natureza discreta ou contínua, de forma a condicionar o modelo. Todo este processo que envolve a seleção de variáveis, bem como a atribuição de pesos é conhecido como “regra de decisão” (VETORAZZI, 2006). As notas de 0 a 5 são aplicadas para ponderar as classes de cada variável em relação ao fenômeno pretendido (Quadro 3) – a susceptibilidade a escorregamentos – e os pesos de 0 a 100% são aplicados para diferenciar o grau de importância de cada variável.

Quadro 3 – Classes e notas das variáveis para um fenômeno pretendido.

Nota	Grau de Importância
0	Nulo
1	Muito baixo
2	Baixo
3	Médio
4	Alto
5	Muito alto

Para a atribuição de notas, foram consideradas a importância de cada classe dos dados disponíveis para o processo de escorregamentos. Considerou-se que, no caso da curvatura horizontal do terreno, as classes de curvatura “muito convergente” e “convergente” com peso

² Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>> Acesso em: out. 2018

³ Para a apresentação final dos mapas, foi estabelecida a apresentação no Sistema de Coordenadas Geográficas (SIRGAS 2000).

5, pois são as que tem a predominância do fenômeno pretendido, enquanto as classes “planar”, “divergente” e “mais divergente” foram classificadas com nota 1, pela pertinência nos deslizamentos muito baixa (Quadro 4). Já para a base de declividade, foram estabelecidos intervalos específicos de grau de inclinação, correspondentes a variação de declividade na mancha urbana de Teófilo Otoni, de modo a evidenciar formas de declividade de maior ângulo de inclinação em formas de terreno mais convergentes. Dessa forma, declividades com inclinação de até 15 graus tiveram nota 1, de influência muito baixa, declividades com inclinação entre 15 e 20 graus nota 4, de alta influência; e declividades com inclinação superior a 20 graus nota 5, de máxima influência (Quadro 4).

Quadro 4 – Atributos do relevo e notas atribuídas.

Tipo de curvatura	Nota atribuída	Declividade (°)	Nota atribuída
Muito divergente	1	Até 5	1
Divergente	1	Entre 5 e 10	1
Planar	1	Entre 10 e 15	1
Convergente	5	Entre 15 e 20	4
Muito convergente	5	Acima de 20	5

Os resultados, ponderados com suas respectivas notas, foram separados para a realização da álgebra de mapas, ponderadora da susceptibilidade. Para tal cálculo, considerou-se, tanto a declividade como a curvatura horizontal ponderadas com mesmo peso de atribuição – 50% numa escala de 100%. O resultado obtido a partir da álgebra de mapas fora classificado em cinco intervalos, de 1 a 5, onde 1 corresponde a valores com menor susceptibilidade a escorregamentos e 5 como susceptibilidade muito alta. O resultado é um mapeamento preliminar da suscetibilidade natural do terreno a escorregamentos da área investigada (Figura 5).

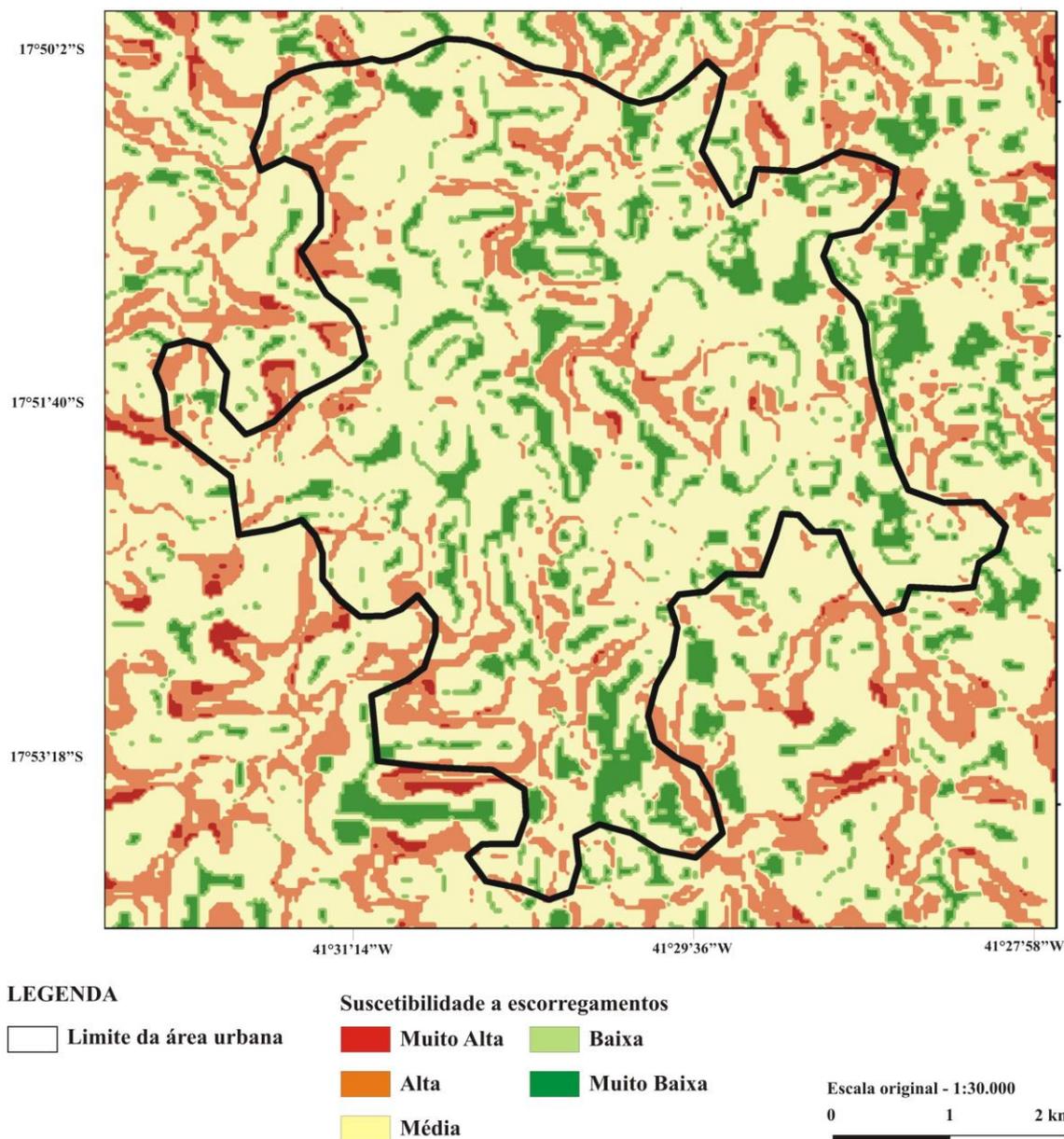


Figura 5 – Mapa de suscetibilidade a escorregamentos das áreas urbana e periurbana de Teófilo Otoni (MG).

Ao produto dessas etapas foi adicionada camada (*layer*) correspondente às reentrâncias anteriormente mapeadas, sendo considerados os resultados a elas correspondentes. As demais feições foram classificadas como “susceptibilidade indiscriminada”. Como resultado, obteve-se um mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos focado nas reentrâncias da área investigada, o qual serviu como resultado parcial para a elaboração do mapa de suscetibilidade a escorregamentos.

Trabalhos de campo visaram, em primeiro momento, reconhecimento e avaliação das calhas e planícies fluviais do Rio Todos os Santos e seus principais afluentes, no interior do

tecido urbano de Teófilo Otoni, com foco principal nas estruturas urbanas eventualmente presentes e demais formas de uso e ocupação do solo às margens dos cursos d'água. Buscou-se, como regra geral, atentar-se para e registrar características dos terrenos, naturais ou advindas de alterações urbanas, que possam se relacionar a alterações no sistema hidrológico correlacionáveis a inundações, como a supressão de setores meandantes por canalizações ou existência de obstáculos ao fluxo dos rios.

Em todos os casos, tendo como objeto as calhas fluviais, tratou-se de determinar os trechos dos canais que apresentam intervenções diretas no leito, como gabiões ou outras formas de canalização. Utilizando-se de pontos físicos de referência, a exemplo de pontes ou passarelas, os rios foram seccionados em trechos específicos de acordo com as características verificadas. Foram também identificados pontos de estrangulamento ou estreitamento das calhas fluviais, que variavam de construções residenciais ou comerciais, pontes e aterros. Para esta tarefa, quando não havia referenciais materiais facilmente identificáveis, as coordenadas locais foram determinadas com a utilização de ferramentas de posicionamento global (GPS).

Em uma segunda etapa destes trabalhos, procedeu-se, em campo, ao exame do uso e ocupação do solo nas áreas marginais aos cursos d'água, tendo sido identificadas aquelas (i) ocupadas por edificações, ruas ou demais aparelhos urbanos; (ii) com predominância de extratos vegetativos de diferentes portes e estados de degradação e (iii) de solo exposto ou aterro. Atenção especial foi dedicada às relações entre a localização das residências existentes nessas áreas e os cursos d'água, no sentido de identificar aquelas que apresentavam moradias muito próximas às margens dos canais, ou ainda as que foram construídas sobre o leito fluvial.

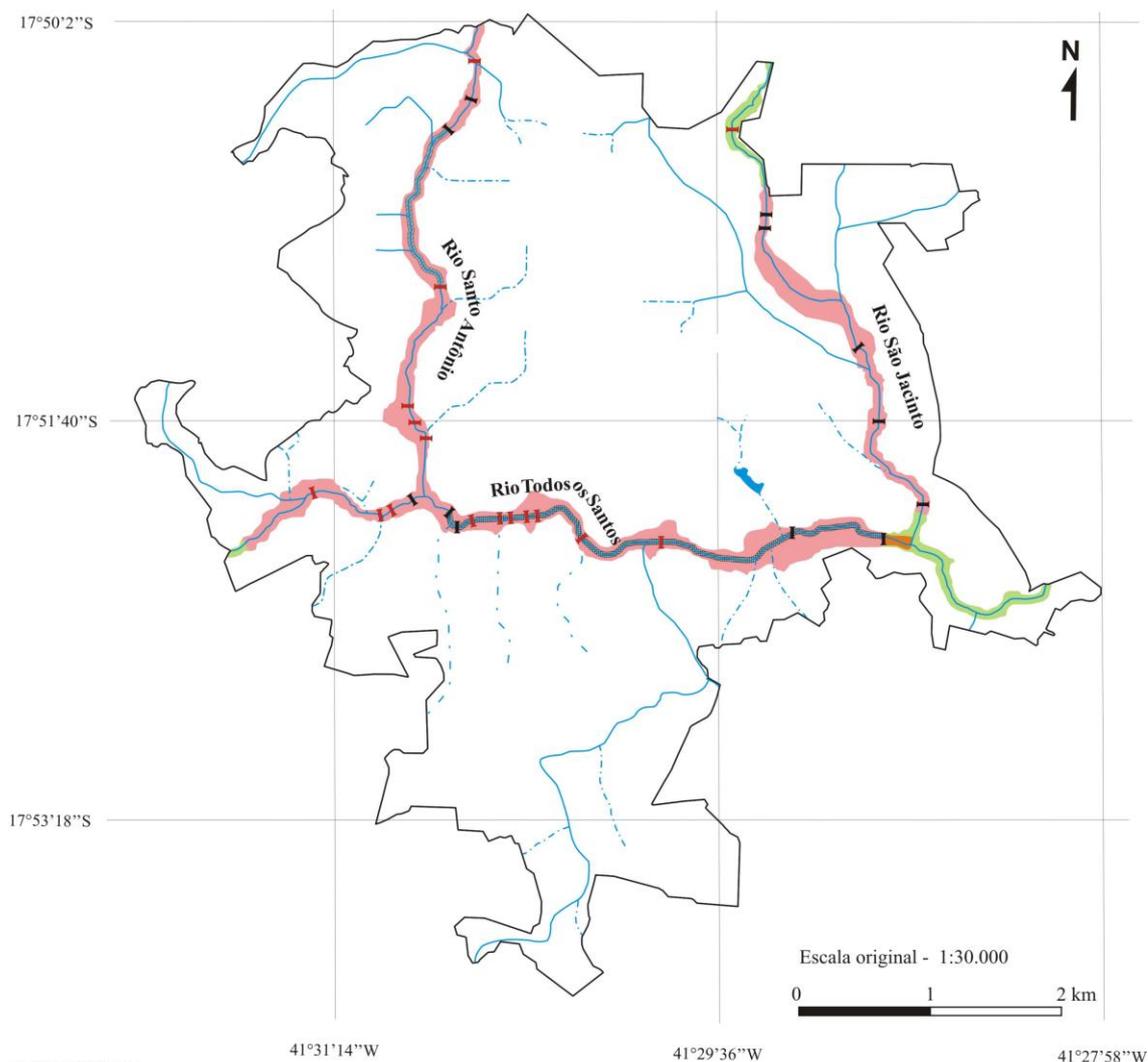
No que diz respeito às reentrâncias da área investigada, buscou-se, em campo, (i) avaliar parâmetros físicos dos solos. (ii) identificar potenciais discontinuidades hidráulicas que possam figurar como superfícies de ruptura no interior desses solos e (iii) reconhecer cicatrizes de escorregamentos. As reentrâncias verificadas em campo foram definidas por similaridade àquelas feições nas quais ocorreram escorregamentos, áreas nas quais procedeu-se ao reconhecimento das características mecânicas das coberturas superficiais que as recobrem, como estrutura, textura, presença de materiais grossos e calhaus, espessura dos horizontes ou camadas, porosidade e existência de possíveis discontinuidades hidráulicas. Para a espessura dos horizontes, estrutura, textura e cor dos solos, e todas as avaliações de cor foram baseadas na Carta de Cores Munsell para Solos (MUNSELL SOIL COLOR COMPANY, 2013).

Resultados e discussões

A suscetibilidade a inundações em Teófilo Otoni

Propostas de mapeamento de áreas suscetíveis a inundações devem ser elaboradas considerando uma intrincada relação de fatores que podem deflagrar a ocorrência do fenômeno, muitos dos quais têm relação direta com as alterações promovidas junto aos cursos d'água e planícies de inundações. Para Herrmann (1998), ainda que inundações sejam acontecimentos naturais, é necessária a efetivação de análise que considere diversos fatores, inclusive modificações causadas pelo homem, uma vez que qualquer alteração sobre o sistema de drenagem pode gerar desequilíbrios que agravam os impactos ambientais, notadamente a jusante da área afetada. Como exemplo, Fritzen e Blinda (2012) apresentaram as causas de inundações em Chapecó, Santa Catarina, as quais incluem: obstrução de bueiros por lixo e sedimentos; obras de drenagem pluvial subdimensionadas; canalização (aberta ou fechada); retificação ou dragagem sem estudo prévio; estrangulamento dos canais fluviais, principalmente nas proximidades de pontes ou trechos canalizados; e redução da capacidade do canal por assoreamento e carga de lixo lançado nos cursos d'água.

A realidade que se observa na área aqui investigada em muito se assemelha àquela verificada por Fritzen e Blinda (2012). Os principais canais fluviais localizados no interior da área urbana de Teófilo Otoni apresentam trechos de considerável extensão confinados por gabiões ou estruturas de concreto, o que limita suas margens e os tornam retilíneos (Figura 6). Tal como nos principais canais fluviais, seus tributários também possuem trechos canalizados, sendo comum inclusive sua completa supressão da paisagem urbana quando integralmente canalizados (Figura 6). O histórico de crescimento do tecido urbano de Teófilo Otoni, conforme demonstrado por Ferraz *et al.* (2016a), está intimamente relacionado à ocupação das margens dos cursos d'água, seja em um primeiro momento durante os primórdios da cidade, seja em décadas mais recentes, como atesta o processo de ocupação verificado segundo eixos de expansão urbana. Como resultado, as planícies de inundação dos principais canais fluviais da cidade se apresentam quase que totalmente descaracterizadas pela expansão urbana, podendo ser consideradas, indiscriminadamente, como áreas urbanizadas.



LEGENDA

Limite da área urbana

HIDROGRAFIA

Rede hidrográfica principal não canalizada
 Rede hidrográfica intermitente ou canalizada

PLANÍCIES FLUVIAIS - USO E OCUPAÇÃO

Vegetação degradada
 Urbanizada
 Solo exposto e aterro

INTERVENÇÕES JUNTO À HIDROGRAFIA

ESTRUTURAIS NÃO PREVENTIVAS

Barragem de recreação
 Ponte
 Ponte com estreitamento do canal

ESTRUTURAIS PREVENTIVAS

Calha fluvial de concreto em forma trapezoidal
 Calha fluvial com gabiões adjacentes
 Barragem de contenção

Figura 6 – Rede hidrográfica de Teófilo Otoni (MG): condições hidrológicas, uso e ocupação do solo nas planícies e tipologia das intervenções estruturais e não estruturais.

A respeito das planícies fluviais do Rio Santo Antônio (Figura 6), é possível afirmar que, no interior da área urbana, a ocupação do solo tem se processado ao longo de sua

extensão, tanto em sua margem esquerda quanto direita. Para Ferraz *et al.* (2016a, s.p.), a intensa ocupação das planícies fluviais deste rio ocorre por ser um dos principais e mais antigos eixos de crescimento da cidade, pois:

(...) “a geometria da malha urbana configura alongamento na direção nortesul concordante com o Ribeirão Santo Antônio, e um segundo alinhamento na mesma direção, de menor proporção, mas não menos importante, ao longo do vale do Ribeirão São Jacinto. Já na porção centro-sul exibe um prolongamento no eixo leste-oeste, determinado pela planície aluvial do Rio Todos os Santos. A mais importante malha viária de Teófilo Otoni – avenidas e rodovias que cortam o município – está de acordo com a geometria proposta, especialmente no que diz respeito ao Ribeirão Santo Antônio e Rio Todos os Santos. Embora sejam incomuns amplas planícies de inundação na área investigada, estas são as feições mais planas existentes na cidade, motivo pelo qual tanto a área central quanto os bairros mais antigos foram edificadas ao longo das margens destes rios”.

A principal consequência deste modelo de ocupação irracional é a rápida elevação do caudal do Rio Santo Antônio durante os picos de chuva, o que obriga o Poder Público Municipal a intervenções. A opção dos gestores se materializou na canalização aberta de parte do leito fluvial (Figura 7), no intuito provável de aumentar a velocidade de vazão do canal durante episódios pluviométricos concentrados.



Figura 7 – Aspectos do setor canalizado do Rio Santo Antônio, em Teófilo Otoni (MG). Em A se verifica a proximidade entre as residências e o canal e, em B, o estágio degradado da intervenção de natureza estrutural junto à calha fluvial.

É no Rio Todos os Santos, principal canal fluvial que drena a área analisada, que se concentram as principais ocorrências de inundações que ocorrem na cidade e, de modo semelhante ao Rio Santo Antônio, as planícies fluviais que o margeiam se encontram alteradas pela ocupação urbana em sua quase totalidade. Em primeira análise, merece

destaque o segmento do canal fluvial canalizado por gabiões⁴, construídos ao longo de significativa extensão do Rio Todos os Santos no interior da área urbana. O que se observa ao longo desta seção do rio é a redução da sinuosidade do canal, visto que ocorreu significativa supressão de trechos meandantes por traçados retilíneos. Neste cenário a dinâmica fluvial, em princípio, se caracteriza por maior velocidade de escoamento do caudal.

Para a compreensão da suscetibilidade a inundações de trecho do médio curso do Rio São Jacinto, parece ser imprescindível avaliar os motivos pelos quais esta área apresenta significativo número de diligências dos órgãos de segurança pública durante inundações, se comparado com as demais seções da várzea do rio. O Rio São Jacinto é um curso d'água de pequena extensão e volume, sendo a maior parte do seu canal compreendido como baixa suscetibilidade a inundações. Neste setor específico, junto ao bairro homônimo, residências foram edificadas a poucos metros do canal ou, em sentido literal, no próprio leito ou acima dele (Figura 8). Nestas condições, eventos pluviométricos acima dos parâmetros médios fatalmente caracterizam a materialização do risco (desastre), pois, não havendo possibilidade de escoar o fluxo, a elevação do nível do rio causa danos à propriedade ou mesmo a vida nesta área. De qualquer forma, o estrangulamento dos canais, relacionado ao confinamento dos mesmos e redução da capacidade de vazão máxima, incrementa em muito a possibilidade de ocorrência de inundações neste trecho do Rio São Jacinto.



Figura 8 – Aspecto do leito do Rio São Jacinto na área urbana de Teófilo Otoni (MG). Observe que passarelas rudimentares de madeira ligam a rua às residências, bem como há residências construídas sobre o canal (A). A canalização do rio está, em alguns trechos, parcialmente comprometida pelo entulhamento por sedimentos e lixo (B).

⁴ Segundo Barros (1992) gabiões ou muros em gabiões são estruturas de arimo tipo gravidade, flexíveis e permeáveis, constituídas por caixas de tela metálica em malha hexagonal de dupla torção, preenchidas por pedra de mão ou britadas, cujo diâmetro deve estar entre uma vez e meia a duas vezes e meia a máxima abertura da malha.

O trecho canalizado do Rio Todos os Santos atravessa, além do centro da cidade, alguns bairros localizados a jusante da área central. Em alguns destes bairros ocorreram 16 (dezesseis) operações de salvamento durante inundações, no período compreendido entre 2011 e 2015, segundo informações cedidas pelo Corpo de Bombeiros e Polícia Militar (Quadro 5). É importante salientar que nos bairros situados a montante não houve ocorrências para salvamento no período. A jusante destes estão registradas apenas 16 ocorrências, especialmente no setor oriental, trecho mais a jusante do Rio Todos os Santos.

Quadro 5 – Operações de salvamento e avaliações de risco em Teófilo Otoni (MG), entre 2011 e 2015, segundo Corpo de Bombeiros e Polícia Militar.

Bairros	Avaliações de risco	Operações de salvamento
Bela Vista	3	4
Castro Pires		1
Cidade Nova		1
Concórdia		1
Dr. Laerte Leander		4
Esperança		1
Frei Dimas		1
Grão Pará		1
Jardim Floresta		2
Jardim Iracema	1	2
Jardim São Paulo		2
Jardim Serra Verde	1	
Joaquim Pedrosa	1	3
Lourival Soares Da Costa		1
Manoel Pimenta		2
Marajoara		1
Matinha	1	1
Mucuri		1
Novo Horizonte		1
Olga Correia Prates		4
Palmeiras	1	1
São Cristóvão	1	1
São Jacinto	1	4
Solidariedade	1	1
Tabajaras		1
Teófilo Rocha	1	
Turma 37		1
Vila São João		13

Considerando estes dados e o relevo da área em análise, intensamente dissecado pela incisão dos canais fluviais, e caracterizado por morros isolados, a maior parte deles exibindo vertentes de elevada declividade, é possível verificar que pequenas microbacias de drenagem são eficientes áreas concentradoras do escoamento superficial, as quais não se restringem

apenas aos vales fluviais, resultando em áreas críticas, altamente suscetíveis a inundações, como se pode verificar na Figura 9.

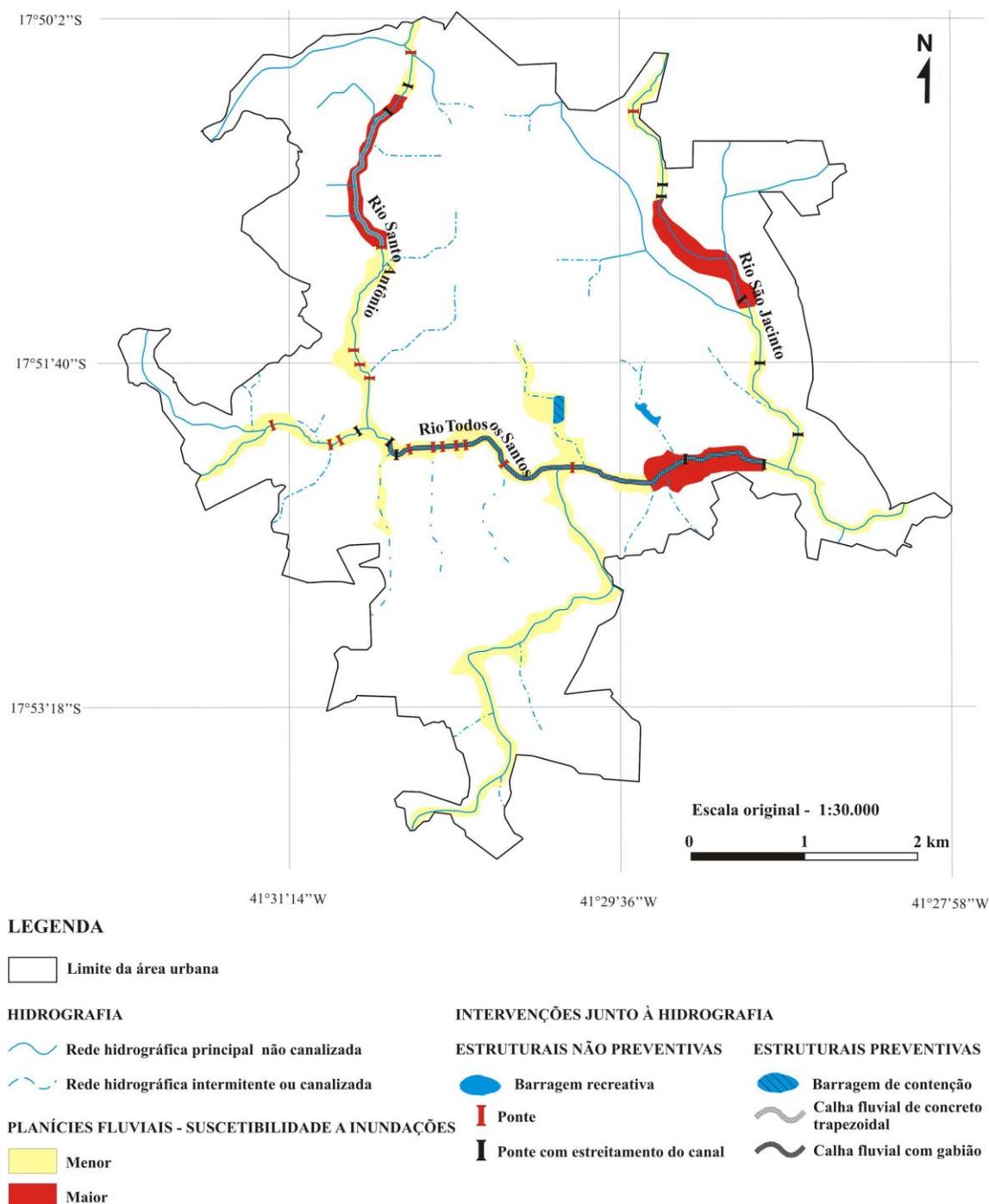


Figura 9 – Mapa de suscetibilidade a inundações de Teófilo Otoni, Minas Gerais.

A geomorfologia da área investigada parece, portanto, favorecer o escoamento superficial, motivo pelo qual os eventos pluviométricos extremos tendem a refletir em elevação rápida da vazão dos cursos d'água, especialmente no baixo curso do Rio Todos os

Santos na área urbana, principal feição concentradora de fluxos no interior da cidade. Ainda que as alterações promovidas pela urbanização exerçam participação direta na deflagração de inundações em Teófilo Otoni, parece consensual serem tais fenômenos também resultantes de elementos de ordem natural. Para Amaral e Ribeiro (2009) as formas do relevo são condicionantes naturais para a ocorrência de inundações, enchentes ou alagamentos. Segundo os autores, magnitude e frequência dos processos hidrológicos são determinados pelos seguintes condicionantes: intensidade, quantidade e distribuição da precipitação, taxa de infiltração de água no solo, grau de saturação do solo e características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem.

Os escorregamentos na área investigada: suscetibilidade natural

Avaliação de imagens do programa *Google Earth Pro* permite determinar a ocorrência de escorregamentos na área investigada, mais especificamente naquela obtida no ano de 2002, na qual cicatrizes de escorregamentos podem ser verificados, conforme Figura 10.



Figura 10 – Imagem Google Earth Pro, de agosto de 2002, da zona urbana e periurbana de Teófilo Otoni (MG), cujo limite está apresentado em vermelho. As áreas de ocorrência dos escorregamentos estão delimitadas pelos círculos pretos.

Em fevereiro de 2002 ocorreu evento de 246 mm de precipitação pluviométrica acumulada em período inferior a 10 horas (FERRAZ *et al.*, 2006b), o qual pode ser

considerado elemento deflagrador dos escorregamentos ocorridos no mesmo ano. Essa interpretação se ampara no histórico de chuvas de Teófilo Otoni, no qual evento de precipitação igual ou superior a 100mm em 24 horas anterior a este somente ocorreu em 1981 (FERRAZ *et al.*, 2006b), não sendo viável atribuir tais cicatrizes a tão longínqua precipitação. Além destes testemunhos, não foram verificadas outras evidências de escorregamentos em imagens anteriores a 2002, sequer posteriores, sendo também razoável admitir que não houve recorrência de escorregamentos, a julgar pela ausência de feições semelhantes nas imagens mais recentes do que a observada na Figura 10.

Este evento pluviométrico mais intenso deflagrou escorregamentos quase que exclusivamente nas reentrâncias do relevo, tão comuns na área investigada, evidenciando correlação entre essas feições e a suscetibilidade a escorregamentos, já retratada na literatura geomorfológica, uma vez que relevantes trabalhos consideraram significativa a tendência à ocorrência destes movimentos no interior de *hollows*, áreas de convergência de fluxos superficiais e subsuperficiais (FERNANDES *et al.*, 1994; FERNANDES *et al.*, 2001; COELHO NETTO, 2011; MONECHE, 2012). A dinâmica hidrológica nestas reentrâncias, segundo Guidicini e Nieble (1984), favorece a infiltração e conseqüente saturação dos solos, causando poro-pressão positiva e deflagrando escorregamentos, o que contribuem para a sua elevada suscetibilidade (RENEAU e DIETRICH, 1987). Com base nisso, admite-se neste trabalho que o comportamento hidrodinâmico das reentrâncias exerça significativo papel para os escorregamentos sucedidos na área investigada, visto que a maior parte das suas cicatrizes se localiza em feições cuja curvatura horizontal é convergente.

As cicatrizes de escorregamentos foram ainda avaliadas com relação às classes de declividade da área investigada, uma vez que este constitui parâmetro geomorfológico compreendido como fundamental na análise de escorregamentos (FERNANDES *et al.*, 2001; CERRI, 2006; RODRIGUES e LISTO, 2016; SANTANA e LISTO, 2018). A declividade das vertentes que exibem cicatrizes de escorregamentos parece ter exercido papel preponderante para a deflagração dos fenômenos, já que todas as suas cicatrizes ocorrem em encostas com angulações superiores a 22° (Figura 11). Isso indica que tanto as curvaturas horizontais quanto a declividade das vertentes configuram condicionantes para a ocorrência dos escorregamentos na área investigada.

Considerando-se que os escorregamentos ocorreram em formas de relevo convergentes, associadas a setores declivosos da área investigada, percebe-se que o arcabouço

geomorfológico exerce ação preponderante para sua deflagração, ação essa que pode ser preponderante à expansão da cidade, até o presente.

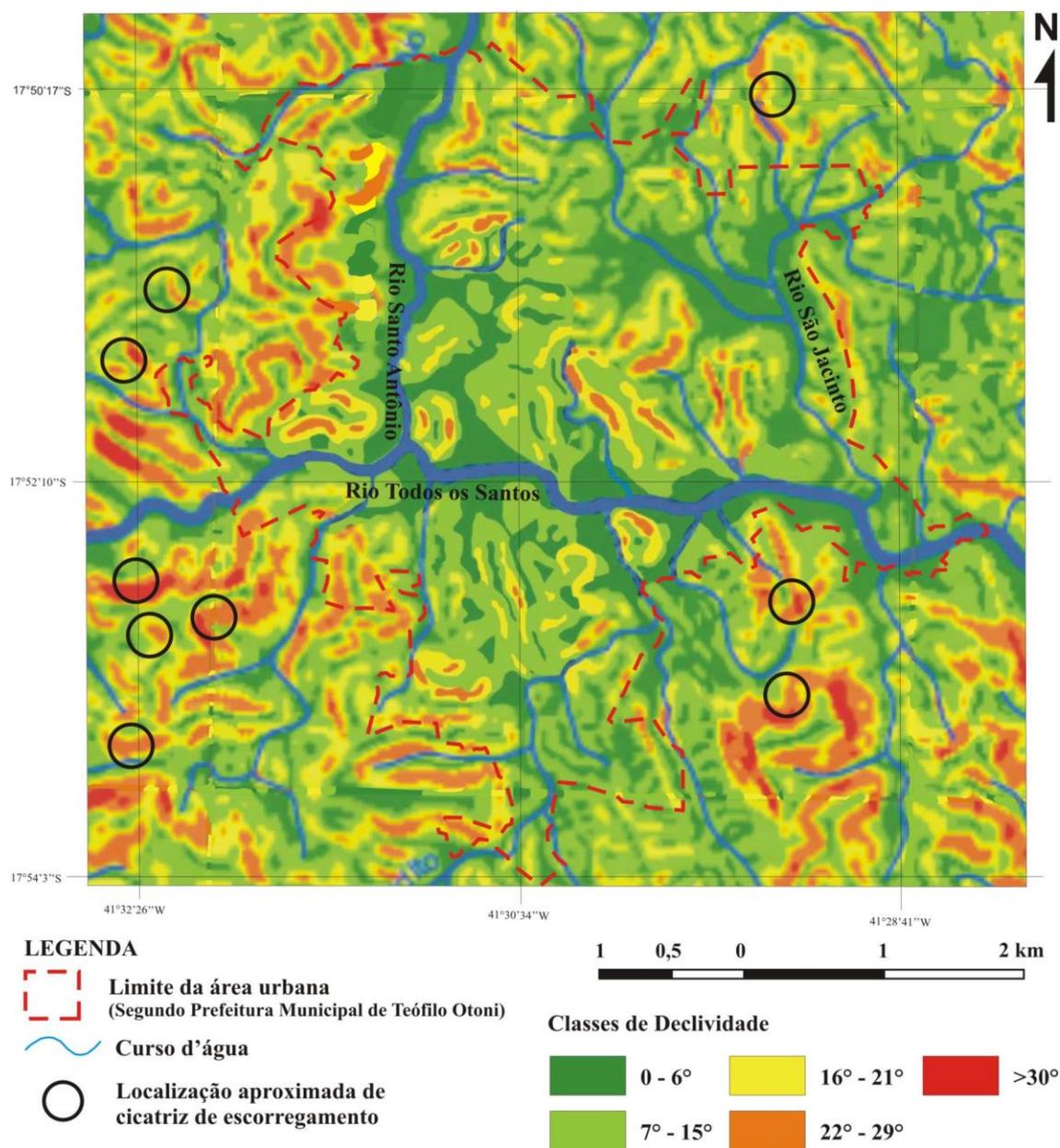


Figura 11 – Localização aproximada das principais cicatrizes de escorregamento com relação às classes de declividade da área investigada.

Diante do exposto, tornou-se possível reconhecer na área investigada a suscetibilidade de ocorrência de escorregamentos nas reentrâncias do relevo, mediante emprego da declividade como fator condicionante (Figura 12).

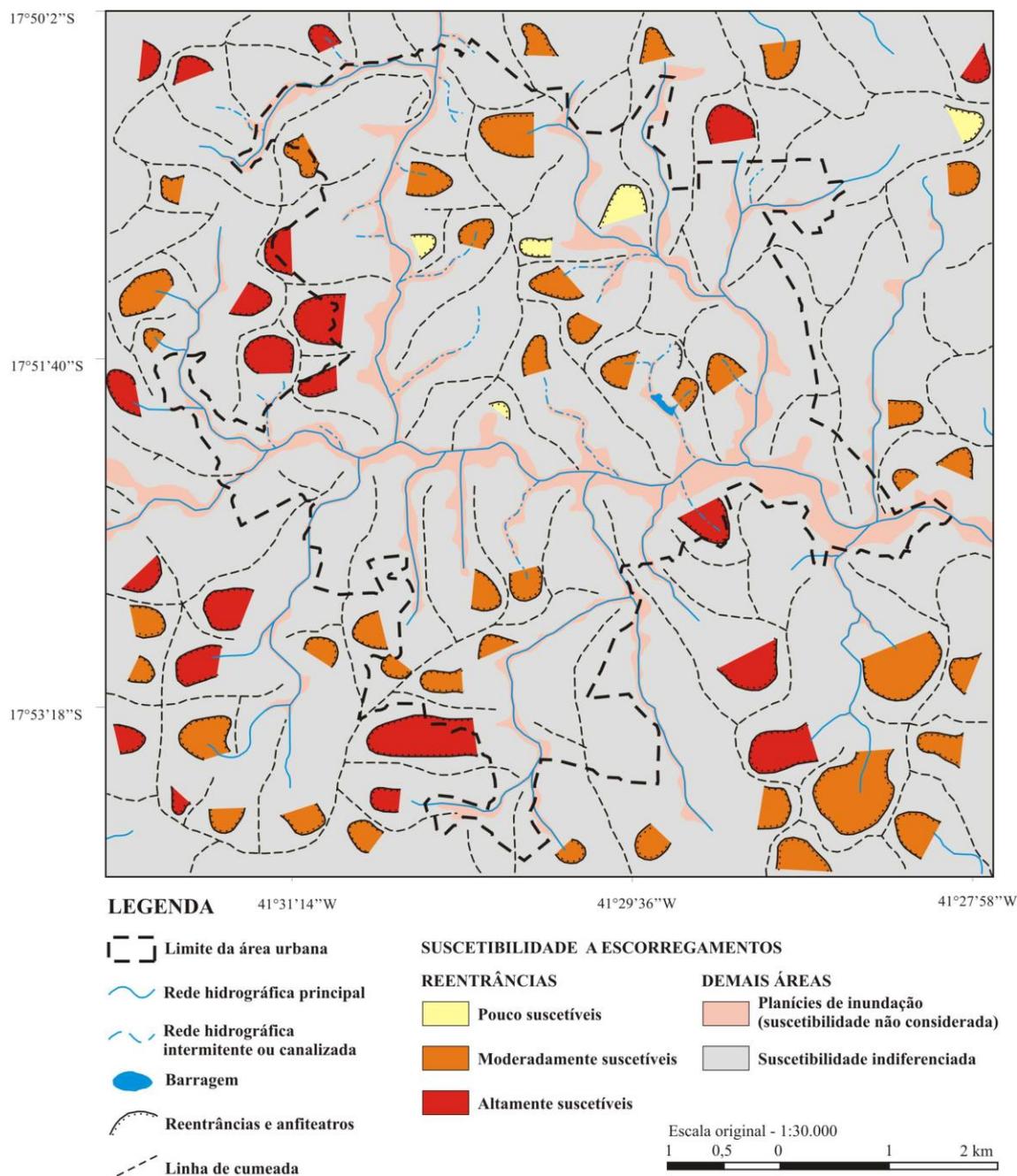


Figura 12 – Mapa da suscetibilidade a escorregamentos nas reentrâncias do relevo presentes nas áreas urbana e periurbana de Teófilo Otoni (MG).

O emprego de geotecnologias para o mapeamento da suscetibilidade a inundações e escorregamentos: ponderações oportunas

O mapeamento da suscetibilidade a inundações em Teófilo Otoni apresentado neste trabalho deve ser compreendido como uma proposta de caráter preliminar, uma vez que não são reconhecidas outras anteriores a esta, ao menos em perspectiva integrada. Esforços

anteriores se limitaram a bairros ou setores da cidade, sem que haja, necessariamente, correlação entre eles.

Nesse contexto, a proposta metodológica de Magalhães *et al.* (2001) possui perspectivas promissoras, muito mais no sentido de indicar as áreas dispersoras de fluxos superficiais do que na confecção do risco de inundação. Embora os mapas de uso e ocupação da terra façam parte da análise multicritério pelos autores proposta, a vulnerabilidade das populações ao perigo não é abordada para a configuração do risco, motivo pelo qual, neste trabalho, foi utilizado como método parcial para a obtenção dos mapas de concentração do escoamento superficial e de suscetibilidade a inundações de Teófilo Otoni.

Por outro lado, uma vez que são criteriosamente consideradas altitude e declividade, em associação com o uso e ocupação do solo, a proposta em questão é ferramenta extremamente útil para a confecção de mapa de concentração ou direções dos fluxos do escoamento superficial. Neste trabalho, os resultados obtidos com auxílio deste método (Figura 13 – A), embora ainda em uma primeira aproximação, foram considerados para a produção de mapa de concentração do escoamento superficial da área investigada (Figura 13 – B). Para tanto, as classes (i) “baixíssimo – baixo” e (ii) e “baixo – médio” foram convertidas na classe áreas dispersoras de fluxos, visto que estas não apresentam caráter de concentrar o escoamento superficial. As áreas agrupadas na classe (iii) “médio” e (iv) “médio – alto” passaram a ser consideradas como áreas de concentração de fluxos, e a classe (v) “altíssimo” compreendida como áreas de máxima concentração de fluxos, uma vez que para estas feições, as mais baixas e convexas do modelado, fluem o escoamento das duas classes anteriores. Foram adicionadas, ainda, informações a respeito dos elementos do relevo de interesse, notadamente reentrâncias e linhas de cumeada, além das direções predominantes do escoamento superficial, interpretadas com auxílio das curvas de nível resultantes do modelo digital de elevação previamente elaborado, com apoio de imagens *Google Earth Pro*.

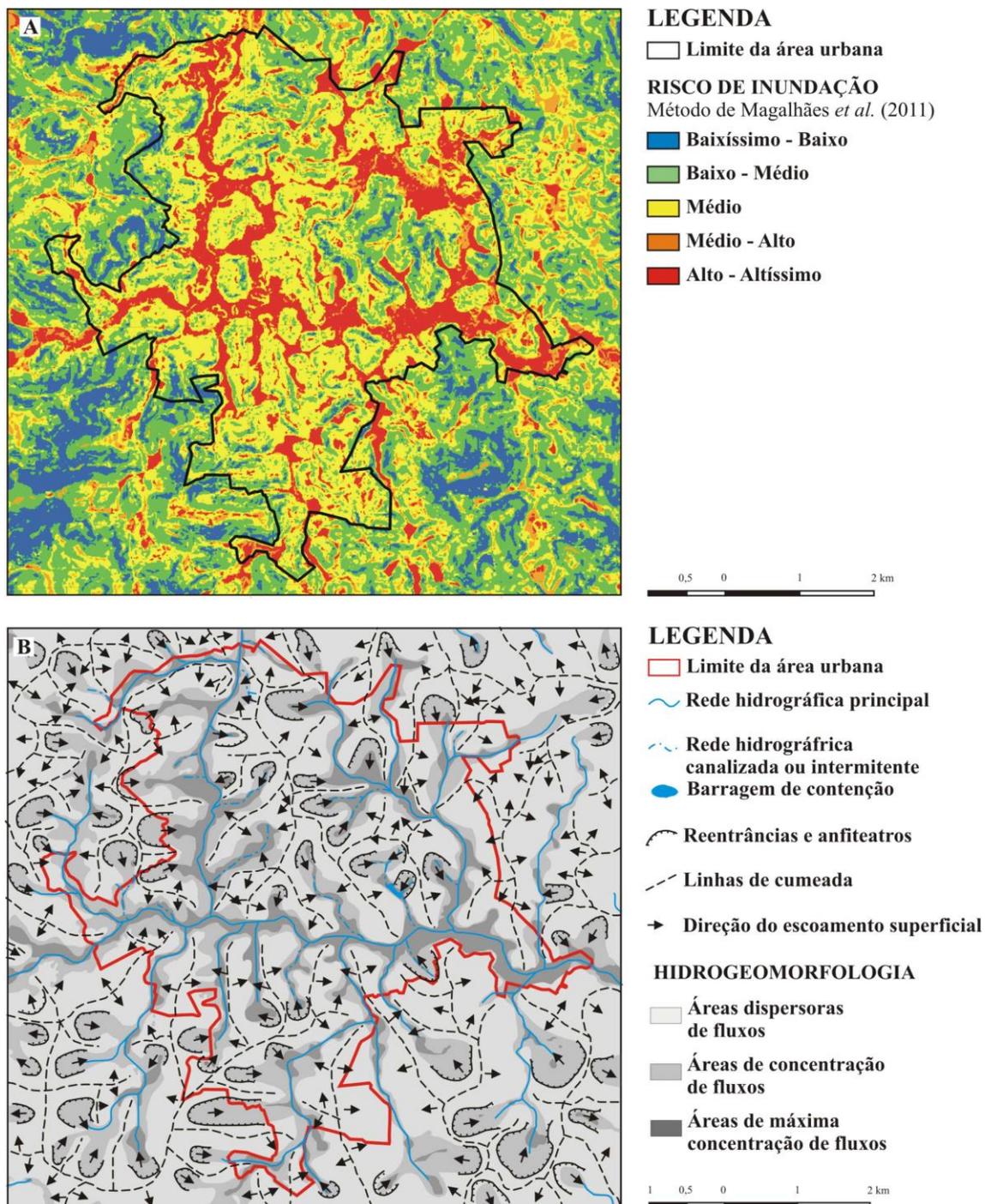


Figura 13 – Mapa de risco de inundação, segundo método de Magalhães *et al.* (2011), em A, e mapa de concentração do escoamento superficial da área investigada, em B.

Por se tratar de uma pesquisa cuja duração se estende por um período relativamente longo, com duração de 5 anos, o modelo digital de elevação hidrológicamente condicionado (MDEHC) confeccionado, foi substituído por um mais refinado, nas etapas finais do trabalho – conforme descrito em tópico específico. Embora o primeiro modelo tenha sido extremamente útil para o mapeamento das planícies de inundação e drenagem da área

investigada, o segundo se mostrou mais preciso, em função da resolução e qualidade das imagens utilizadas. Não se trata, portanto, de uma recomendação para a elaboração de dois modelos digitais de elevação, mas de uma descrição do método adotado ao longo das etapas de elaboração deste trabalho.

A análise multicritérios adotada para confecção do mapa de suscetibilidade a escorregamentos obedeceu a critérios definidos após os trabalhos de campo, uma vez que foram evidenciadas, dentre outras, as ações condicionantes das formas do terreno e da declividade. Por esta razão, as reentrâncias foram consideradas para a primeira proposta de mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos da área investigada, a qual também apresenta caráter de primeira aproximação. As classes de declividade figuram como elemento de gradação da suscetibilidade, uma vez que as cicatrizes de escorregamento encontradas na área investigada ocorrem no interior das reentrâncias mais declivosas do relevo.

Considerações finais

Os resultados obtidos por meio do emprego de geotecnologias aliadas aos trabalhos de campo permitiram a avaliação e o mapeamento da suscetibilidade a inundações e escorregamentos na área investigada. Os métodos aqui empregados, ainda que apresentem alguma limitação, especialmente no que diz respeito à avaliação da vulnerabilidade e risco, quando no contexto do mapeamento do risco de inundações. Mesmo nesse caso, as limitações observadas parecem muito menos se relacionarem com o método utilizado e muito mais com a interpretação da vulnerabilidade para a avaliação do risco. Ainda assim, figuraram como ferramentas extremamente viáveis para trabalhos propostos, fundamentalmente em se tratando de área carente de conhecimentos anteriores.

O uso das geotecnologias na avaliação da suscetibilidade a inundações e escorregamentos demonstrou-se ainda mais eficaz quando associada a trabalhos de campo, sobretudo quando as análises multicriteriais são propostas com base em critérios definidos após a verificação da realidade da área investigada. Mesmo que não se possa considerar como elemento de validação o banco de dados que contém informações sobre ocorrências de eventos de inundações e as imagens que registram cicatrizes de escorregamentos, ambos colaboraram efetivamente na sofisticação dos modelos gerados mediante emprego das geotecnologias, o que contribuiu para a aproximação dos resultados aos fatos registrados em campo.

Referências

- ALMEIDA, R. A.; ROSA, D. R. Q.; FERREIRA, R. G.; DELAZARI, F. T.; ALMEIDA, I. A. Análise morfométrica de uma sub-bacia do rio Piracicaba (MG) utilizando sistemas de informação geográfica. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.25, n.4, p.372-380, 2017.
- ALVARENGA, R. A. **Modelagem hidrológica na Bacia do Rio Mucuri com a utilização do modelo SWAT**. 2016. 112 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa (MG), 2016. [Online]. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10384/texto%20completo.pdf?sequencia=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 31 maio 2017.
- AMARAL, C. M. **Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Matirumbide em Juiz de Fora-MG**. Juiz de Fora, 2013. 88 f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2013.
- AMARAL, C. M. REIS, C. H. **Suscetibilidade a escorregamentos e inundações: hierarquização dos graus de riscos na área urbana de Viçosa-MG**. Revista da Anpege, v. 13, p. 199-219, 2017.
- AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L.D.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org) **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, cap. 3, p. 39-52.
- BARROS; P. L. A. **Análise e Dimensionamento de Muros de Arrimo de Gabiões**. São Paulo: GCP, 1992.
- BROOKFIELD, H. Environmental damage: distinguishing human from geophysical causes. **Environmental hazards: Human and Policy Dimensions**, v.1, n.1, jun., 1999.
- CARMO, L. R. Urbanização e desastres: Desafio para a segurança humana no Brasil. In: _____ (Org.). **Segurança Humana no contexto dos Desastres**. São Carlos: Rima, 2014, cap. 1, p. 1-14.
- CERRI, L. E. S. Mapeamento de risco nos municípios. In: BRASIL. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (orgs.). **Prevenção de deslizamentos em encostas: um guia para a elaboração de políticas municipais**. Brasília: Ministério das Cidades. Cities Alliance, 2006, p.46-44.
- COELHO NETTO, A. L. Hidrologia na encosta em interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, cap. 3, 2011.
- COSTA, E.M.; ANTUNES, M.A.H.; DEBIASE, P.; ANJOS, L.H.C. *Processamento de imagens RapidEye no mapeamento de uso do solo em ambiente de Mar de Morros*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p. 1417-1427, 2016.

FERNANDES, N. F. et. al. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: Avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. [S.l.]: UGB, 2001, v. 2, n. 1, p. 51-71. [Online]. Disponível em:

<http://www.ugb.org.br/home/artigos/SEPARATAS_RBG_Ano_2001/Revista2_Artigo05_2001.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológica-geomorfológica**. In Guerra, A.J.T. e Cunha, S.B. (org.) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro, 1996: 123- 194.

FERNANDES, N. F.; COELHO NETTO, A. L.; LACERDA, W. A. **Subsurface hydrology of layered colluvium mantles in unchannelled valleys - southeastern Brazil**. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19: 609-626. 1994.

FERRAZ C. M. L.; VALADÃO, R.C. Geomorfodinâmica adjacente a margem continental passiva: estudo de caso do nordeste de Minas Gerais e sul da Bahia. In: Congresso Brasileiro de Geografia Física Aplicada. XII. 2016. Natal. **Anais...** Natal, 20 p. 2006.

FERRAZ, C. M. L. **A Evolução do relevo Adjacente à Margem Continental Passiva Brasileira: das “Chapadas” do Jequitinhonha à Planície Costeira do Sul da Bahia**. 2006. 104 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FERRAZ, C. M. L.; ANDRADE, J. R.; COSTA, A. S. V. A previsibilidade climática e o planejamento hídrico: Análise preliminar sobre a pluviosidade em Teófilo Otoni/MG. In: Workshop Internacional de Biorremediação de Áreas Contaminadas, I, e SESMA, XI, 2016, Vila Velha. **Anais...** Vila Velha, 2016b.

FERRAZ, C. M. L.; VALADÃO, R. C.; HENRIQUES, R. J. Geomorfologia do espaço urbano de Teófilo Otoni (MG): contribuições ao ordenamento territorial. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia. XII. 2016a. Londrina. **Anais...** Londrina (PR): [s.n], 2016. [Online]. Disponível em: <<http://sinageo.org.br/2016/trabalhos/8/8-408-1053.html>>. Acesso em: 06 dez. 2016a.

FRITZEN, M.; BINDA, A. L. Inundações e Alagamentos em Chapecó-SC: Repercussões do Uso e Ocupação da Bacia Hidrográfica do Lajeado Passo dos Índios. In: Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFFS, II, 2012, Chapecó. **Anais...** [S.l.]: Pesquisa e Extensão da UFFS, 2012.

GONÇALVES, L. F. H.; GUERRA, A. J. T. Movimentos de massa na cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro). In: CUNHA, S. B; GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p. 189 – 252.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgard Blucher, p. 216, 1983.

GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F. Movimentos de massa. In: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 159 – 184.

HERRMANN, M. L. de P. **Análise dos Episódios Pluviais e seus Impactos em Locais do Aglomerado Urbano de Florianópolis - SC. Período de 1980 a 1985.** Ed. Esp. Florianópolis: Geosul. [S.l.]: 1998, v. 14, n. 27, 711p.

IBGE Cidades. Rio de Janeiro: IBGE. 2016. [Online]. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=316860>>. Acesso em: 3 de abr. 2017.

MAGALHÃES, I. A. L; THIAGO, C. R. L; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R dos. Uso de Geotecnologias Para Mapeamento de Áreas de Risco de Inundação em Guaçuí, ES: Uma Análise Comparativa Entre Dois Métodos. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, 2011.

MARTINS, M. L. Ocupação e desflorestamento numa área de fronteira: Vale do Mucuri, MG – 1890 a 1950. **Revista de História Regional**. [S.l.: s.n], Verão, 2010, v. 15, n.1, p. 40-77.

MAZOTO, M. L. **Índice de vulnerabilidade social para a análise da ocorrência de inundações no estado do rio de janeiro: 2000 a 2013.** 2015, 266 p. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. [Online]. Disponível em: <<http://www.posgraduacao.iesc.ufrj.br/media/tese/1457027155.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2017.

METZKER, M. C. R., SAIS, A. C., LEITE, J. A. O, FERRAZ, C. M. L. **Uso de geotecnologias na caracterização de áreas de risco na cidade de Teófilo Otoni, Minas Gerais.** *Revista Geonorte*, v,4, p. 324-328. 2014.

MONECHE, M. S. de F. **Análise da distribuição dos fatos geomorfodinâmicos para identificação de zonas de perigos naturais.** Dissertação (Mestrado). Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2012. 113p.

MUNSELL SOIL COLOR COMPANY, **Munsell soil color chats**, Munsell color, Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore, Maryland, USA. 2013, revised 2009.

OGURA, A. T.; SILVA, F. C.; VIEIRA, A. J. N. L. Zoneamento de risco de escorregamento das encostas ocupadas por vilas operárias como subsídio à elaboração do plano de gerenciamento das áreas de risco da Estância Climática de Campos do Jordão - SP. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GDN/UFSC, p.44-58, 2004.

PAES, V. J de C. **Projeto Leste-MG.** Folha Teófilo Otoni (SE.24-V-C-IV), escala 1:100.000, texto explicativo. Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM, 2001, CDRom.

REBOITA, M. S. et al. Aspectos Climáticos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**. Curitiba: UFPR, 2015, v. 17, p. 206-226. [Online]. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/41493>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

RENEAU, S. L.; DIETRICH, W. E. **The importance of hollows in debris flow studies; examples from Marin County, California.** In COSTA, J.E. e WIECZOREDK, G.F. (eds.) *Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition and Mitigation*. Geological Society of America, Boulder: 165- 179. 1987.

RODRIGUES, F. de S., LISTO, F. de L.R. **Mapeamento de áreas de risco a escorregamentos e inundações em áreas marginais a rodovias na Região Metropolitana de São Paulo**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. v.21 n.4 . 2016.

ROSOT, M. A., BARCZAK, C. L. e COSTA, D. M. B. **Análise da vulnerabilidade do manguezal do Itacorubi à 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. **Journal of Mathematical Psychology**, v.15, n. 3, p. 234-281, 1997.

SANTANA, J. K. R. ; LISTO, F. L. R. Alterações morfológicas de encostas e deflagração de escorregamentos em áreas densamente urbanizadas: uma análise evolutiva em uma sub-bacia do município de Recife (PE). **REVISTA DE GEOGRAFIA (RECIFE)**, v. 35, p. 1-19, 2018.

SANTOS, J. H. G.; VIEIRA, E.I.; SILVA, G.B. Pedologia: levantamento exploratório de solos. In: INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Folha SE. 24 Rio Doce**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, p. 229-252, 1987.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7ª. ed. revista e ampliada. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017, 102 p.

SELBY, M. J. **Hillslope materials and processes**. 2ed. Oxford: Oxford Univ. Press, p. 480, 1993.

SILVA, M. K. A.; ROSA, R. Metodologia para simulação de vazão em bacias hidrográficas: o caso da sub-bacia hidrográfica Fazenda Letreiro – MG. **Caderno Geografia**, v.27, n.48, p. 44-72, 2017.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 197 p., 2009. [Online]. Disponível em: <<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2017.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1993, cap. 2, p. 11-44.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos**. 2006. Tese (Livre Docência em Geoprocessamento) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/11/tde-06072007-103043/>>. Acesso em: 26 set.2015

Processo de Avaliação por Pares: *Blind Review*

Publicado na Revista Vozes dos Vales - www.ufvjm.edu.br/vozes em: 10/2018

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

www.facebook.com/revistavozesdosvales

UFVJM: 120.2.095-2011 - QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524 - ISSN: 2238-6424

Periódico Científico Eletrônico Multidisciplinar - UFVJM