

ANÁLISE MULTICRITÉRIO: MODELOS PARA O PLANEJAMENTO URBANO NA BACIA DO CÓRREGO DO LENHEIRO

Thiago Gonçalves Santos¹

Silvia Elena Ventorini²

Resumo

O termo desastres humanos de natureza refere-se aos desastres ocasionados pela influência antrópica. No Brasil, os desastres mais ocorrentes são as enchentes, inundações e deslizamentos, que ocasionam prejuízos econômicos e sociais. A ocupação desordenada é um dos vetores para a ocorrência desses desastres, por exemplo, os ocorridos na área urbana inserida na Bacia do Córrego do Lenheiro, localizada no município de São João del – Rei – Minas Gerais, Brasil. O objetivo deste artigo é apresentar o mapeamento que indicou as áreas propícias a expansão urbana, de interesse ambiental e de suscetibilidades aos riscos de desastres humanos de natureza na Bacia. A fundamentação teórico-metodológica teve como base a Teoria Geral dos Sistemas aplicados a Geografia Física. Os procedimentos foram: a) elaboração de base de dados cartográficos em meio digital, coleta e análise de dados secundários e elaboração de modelos por meio da Análise Multicritério. A base e os modelos foram elaborados no software ArcGis10.1[®] e a veracidade das informações foram verificadas em campo. Os resultados indicaram os graus de suscetibilidade à ocorrência de desastres humanos de natureza, além de áreas com potencial a expansão urbana mediante a análise geotécnica. Os dados secundários e os trabalhos de campo indicaram que ações antrópicas intensificam a ocorrência de enchentes e inundações, que ocasionam prejuízos econômicos e sociais aos moradores.

Palavras-chave: Cartografia digital; Desastres humanos de natureza; planejamento em bacias

INTRODUÇÃO

Os desastres naturais são conhecidos mundialmente pelo grau de destruição que os fenômenos são capazes, como por exemplo, o recente furacão *Matthew* que atingiu o Haiti em 2016, e destruiu parte significativa do país e resultou em mais de 100 mil óbitos.

O termo desastre é definido como desastre de origem natural, intensificados ou não pela ação antrópica, que ao atingir a população causam prejuízos econômicos, sociais e óbitos. Na literatura científica, o termo desastre inclui os desastres naturais, – caráter restritamente natural como os terremotos, furacões etc. – os desastres humanos de natureza – causados pela ação e/ou omissão antrópica, como as enchentes, inundações e deslizamentos – e os desastres mistos – gerados por fenômenos naturais que são intensificados pela ação antrópica (CODAR, 1995; CASTRO, 1998; TOMINAGA, SANTORO, AMARAL, 2009).

¹ Graduando em geografia pela Universidade Federal de São João del – Rei (UFSJ), Minas Gerais, Brasil. E-mail: thiiaguim.13@gmail.com

² Professora Doutora do departamento de Geociências pela Universidade Federal de São João del – Rei (UFSJ), Minas Gerais, Brasil. E-mail: sventorini@ufs.edu.br

As ocorrências de desastres dependem de três variáveis básicas: perigo (*hazards*), risco e vulnerabilidade (WISNER et al., 2003, UITTO, 1998, SDR, 2004, BRASIL, 2007; LINDELL, PRATER, PERRY, 2006). Perigo é definido como processo anterior ao risco passível de causar prejuízo e danos à população. Entende-se risco como a possível ocorrência de um fenômeno e sua intensificação dos danos causados que abrange as noções de incerteza e quanto maior o grau de perda maior o risco. Já vulnerabilidade é o grau de perda de uma área suscetível à ocorrência de algum fenômeno que pode ocasionar desastres. (CASTRO, PEIXOTO, RIO, 2005; BRASIL, 2007; TOMINAGA, SANTORO, AMARAL, 2009).

No Brasil, os desastres humanos de natureza mais ocorrentes são as enchentes, as inundações e os deslizamentos. Tais desastres são frequentes no período chuvoso (meses de outubro a março, de cada ano). Em janeiro de 2011 a região serrana do Rio de Janeiro foi atingida pelos desastres humanos de natureza, sete cidades decretaram estado de calamidade pública. Os registros mostram que 304.562 pessoas foram atingidas, resultando em 16.458 desabrigados e 905 óbitos, além de prejuízos econômicos de R\$4,7 bilhões (BANCO MUNDIAL, 2012).

As publicações de Zacharias (2007), Brasil (2007), Almeida e Ventorini (2014) e Santos e Ventorini (2016), ressaltam a importância do mapeamento das áreas de risco, perigo e vulnerabilidade. Os produtos cartográficos são importantes para o planejamento urbano e ambiental por serem capazes de espacializar fenômenos que subsidiam a tomada de decisão.

Os municípios brasileiros encontram dificuldades para elaborar uma base digital de dados. Fatores como a falta de recursos humanos especializados, a ausência de base digital de dados cartográficos e, muitas das vezes, a escassez de recursos financeiros, dificultam e/ou impedem que as prefeituras realizem ações para identificar, mapear e classificar os graus de destruições de áreas suscetíveis aos desastres humanos de natureza.

No município de São João del – Rei, Minas Gerais, Brasil, os desastres humanos de natureza são frequentes e atinge parte significativa dos bairros localizados as margens dos cursos hídricos e em alta declividade. A ausência de dados cartográficos dificulta ações, por parte da prefeitura municipal, no que se refere as medidas mitigadoras relacionadas ao planejamento urbano. Os documentos disponíveis consistem no Plano de Contingência e Proteção da Defesa Civil - CPDC (DEFESA CIVIL, 2015), que apresenta um mapeamento precário com imagens do *Google Maps* elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Departamento de Gestão Territorial (DEGET).

Por isso, no ano de 2013 iniciou-se a pesquisa com o objetivo de mapear as áreas propícias a expansão urbana, de interesse ambiental e de suscetibilidades aos riscos de desastres humanos de natureza na Bacia do Córrego do Lenheiro. Desta forma, este artigo tem como objetivo apresentar a referida pesquisa. Nos procedimentos metodológicos foram utilizados a técnicas de Análise Multicritério e de álgebra de mapas, por isso, julgou-se importante apresentar, a seguir, discussão teórica sobre esses procedimentos no planejamento urbano em áreas localizadas em bacias hidrográficas.

ANÁLISE MULTICRITÉRIO E PLANEJAMENTO URBANO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

No Brasil, o surgimento e crescimento das cidades ocorreram de modo desordenado, sem planejamento prévio dos possíveis impactos causados ao sistema natural. A substituição da vegetação pelos espaços urbanos – influência antrópica – reflete em conflitos, como por

exemplo, os desastres humanos de natureza. Segundo Magalhães (2013, p. 33) o processo de ocupação urbana:

Provoca situações significativas no equilíbrio original, modificando o balanço hídrico e a infiltração, por conta da impermeabilização do solo. Isso aumenta o volume e velocidade dos escoamentos superficiais das águas, provocando alagamentos em áreas antes não alagáveis e aumentando ou mesmo adiantando o pico de uma cheia.

No município de São João del – Rei, a ocupação desordenada possui origem secular. No início do século XVIII, a exploração aurífera motivou a ocupação dos bandeirantes as margens do Córrego do Lenheiro, no qual foi formado o primeiro núcleo urbano cujo crescimento ocorreu em forma de “espinha de peixe”, ou seja, a ocupação nas margens do córrego principal e depois de seus afluentes (MALDOS, 2000). Este fato intensifica as frequentes inundações que atinge os moradores da Bacia do Córrego do Lenheiro.

O planejamento urbano neste artigo é entendido como uma proposta de ações para minimizar danos causados pelos desastres humanos de natureza, por meio de uma visão sistêmica que permite a análise das variáveis naturais e urbanas especializadas por meio de dados cartográficos (CHRISTOFOLLETTI, 1999; ALVES, 2004; MAGALHÃES, 2013).

A Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) baseado nos fundamentos do Art.1º parágrafo V que institui a bacia hidrográfica como unidade de implementação da PNRH e atuação do SNGRH ao planejamento, estudo e gestão.

Ao adotar uma bacia hidrográfica como área de estudo e planejamento, procura-se “considerar os impactos da urbanização sobre o funcionamento natural e procurar planejar a ocupação dentro das possibilidades de expansão da bacia natural” (MAGALHÃES, 2013 p.41).

Os produtos da ciência Cartográfica são capazes de subsidiar o planejamento urbano em bacias hidrográficas. As representações cartográficas das realidades naturais e antrópicas permitem ao planejador analisar dados integrados nos quais todos os fatores possuem algumas influências nas situações e/ou fenômenos modelados (ALMEIDA, 2007; MOURA, 2007).

A Análise Multicritério, utilizada em Sistema de Informação Geográfica (SIG), é um método capaz de gerar modelos espaciais que simulam situações reais que determinadas ações antrópicas e/ou fenômenos naturais podem gerar, ou seja, simulam causa e efeito com base em variáveis pré-determinadas pelos pesquisadores. O objetivo desse método é o apoio à tomada de decisão baseado na análise de alternativas para a resolução de um determinado problema e entendimento da realidade local. (FIDALGO, 2003, VALENTE, 2005; ALMEIDA, 2007; MOURA, 2007).

Araújo (2016) em seu estudo denominado *Princípios para Análise Espacial Multicritérios: Capacidade de Suporte e Estoque de Potencial Construtivo no Espaço Urbano* utilizou como objeto de estudo a cidade de Belo Horizonte, no qual adotou procedimentos referentes a análise multicritério para determinar as áreas de relevância ambiental, potencial para ocupação e a síntese da proposta de ocupação e proteção. Segundo o autor,

[...] a utilização da Análise de Multicritérios como recurso para a construção de cenários alternativos, revelou-se um poderoso instrumento para a explicitação e ilustração de

conflitos socioespaciais e para apoio a processos de participação e tomada de decisão em políticas públicas integradas de desenvolvimento urbano e ambiental. (ARAÚJO, 2016 p.110).

A adoção dos pesos é uma etapa que pode ser realizada com base na Análise Hierárquica de Pesos (AHP), proposta pelo Prof. Thomas Saaty em 1978, na Universidade da Pensilvânia. A AHP auxilia o especialista na tomada de decisão e tem o objetivo de determinar a contribuição de cada variável dentro do foco de estudo. (MOURA, 2007). O método da AHP é aplicado por meio de comparação de dois a dois, dentro de cada um dos critérios apresentados na tabela I.

TABELA I
Análise Hierárquica de Pesos (AHP)
Análise Hierárquica de Pesos (AHP)

Pesos	Definição
1	Importância igual: Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada: Um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial: Um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada: Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema: A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos: Possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Adaptado de STAAAY (2008, p.86).

A álgebra de mapas consiste em uma operação matemática de média ponderada onde são considerados os valores de influência de cada variável e os pesos atribuídos a cada uma de suas classes. Cada mapa apresentará uma legenda baseada nos critérios da AHP, por exemplo, em uma escala de 1 a 9, tal variável possui a legenda com as seguintes classes: “alto”, “médio a alto”, “médio”, “médio a baixo”, “baixo” e “nulo”; consideram-se os valores numérico “9”, “7”, “5”, “3”, “1” e “0” respectivamente. Ressalta-se que, para o método da Análise Multicritério, é necessário ter um material cartográfico de qualidade para não interferir nos resultados finais (MOURA, 2007; MAUS, et. al., 2014).

Os modelos obtidos pelo método da Análise Multicritério permitem a análise sistêmica das áreas de interesse, e subsidia os órgãos públicos a tomada de decisão, gestão e proteção de áreas ambientais além de, contribuir para a adoção de ações mitigadoras que reduzam os prejuízos ocasionados pelos desastres humanos de natureza.

Na pesquisa apresentada neste artigo foram analisadas e utilizadas a colocações abordadas pelos autores citados anteriormente, conforme descrito a seguir.

MATERIAIS E MÉTODOS

A fundamentação teórica teve como base a Teoria Geral dos Sistemas (TGS) aplicados à Geografia, proposta por Christofolletti (1979). O autor destaca a importância de trabalhos publicados em 1950 e 1952 por Straller, e ressalta que, embora estas publicações sejam as pioneiras, o uso da TGS em Geografia Física “começaram a se avolumar na década de 1960, servido como ponto de partida o artigo de Chorley” (CHRISTOFOLETTI, 1990 p.21).

A abordagem sistêmica é amplamente utilizada na Geografia Física e os pesquisadores obtêm resultados produtivos no que se refere às questões ambientais e o trabalho integrado entre as áreas específicas que contribuem para a construção de conhecimentos. Além disso, tem permitido a geração de documentos cartográficos e modelos que atendam as necessidades multitemáticas dos objetos de estudos (ROSS, 1995).

As investigações e produtos realizados envolvem a geração e análise de mapas e para isso é necessária à definição do objeto de estudo, das características das variáveis estudadas e das relações entre as partes, modelando, assim, um sistema e ajustando-o frente à realidade (ROSS, 1995, MOURA, 2003; SOUZA e CUNHA, 2012).

A primeira etapa da pesquisa consistiu em levantamento de material cartográfico e dados secundários sobre a ocorrência de desastres humanos de natureza. Os dados foram coletados em órgãos públicos como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Prefeitura Municipal de São João del - Rei – MG, Defesa Civil Municipal, Comitê de Bacias do Estado de Minas Gerais e base digital e analógica de dados cartográficos do Departamento de Geociências da Universidade Federal de São João del – Rei.

O material cartográfico é composto por: uma carta topográfica elaborada pelo IBGE, ano 1971, escala de 1:50.000, equidistância de 20 metros, imagem do satélite *Landsat 8/OLI (Operation Land Imager)*, órbita/ponto 218/75, ano de 2015, resolução espacial 30 metros (bandas 4, 5 e 6) e 15 metros (banda pancromática) e mapa pedológico do Campo das Vertentes, escala 1: 250.000 (EMBRAPA, 2006) . A elaboração da base digital de dados foi realizada pelo software ArcGis® 10.1 (módulos ArcMap, ArcCatalog e ArcToolbox).

Inicialmente, realizou-se o georreferenciamento da Carta Topográfica na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) Datum Córrego Alegre e a reprojeteu para Datum da base South American Datum (SAD-69). O mapa pedológico foi georreferenciado na projeção UTM Datum SAD-69. Por meio da carta topográfica, foi vetorizado o limite da bacia hidrográfica, hidrografia, curvas de nível e pontos cotados. As curvas de nível e pontos cotados foram utilizados para elaborar o Modelo Numérico do Terreno (MNT) e conseqüentemente, o mapa de declividade. A hidrografia permitiu à elaboração dos buffers representando a distância euclidiana de 130 metros. Tal distância para os buffers foi determinada a partir de dados sobre os locais com registros de enchentes e/ou alagamentos. Os dados foram coletados em campo na Defesa Civil do município (SANTOS; VENTORINI, 2016). Além disso, foram elaborados *buffers* com distância euclidiana de 50 e 30 metros para as nascentes e cursos hídricos do córrego do Lenheiro e afluentes respectivamente, tendo como base o Código Florestal.

O mapa de pedológico foi vetorizado e classificado de acordo com os solos inseridos na bacia. A imagem de satélite *Landsat 8/OLI* foi recortada, reprojeteada e depois se aplicou o método de fusão de bandas por meio da ferramenta *Create Pan-Sharpned e Raster Dataset*, ambas disponibilizadas no ArcGis. Posteriormente, a imagem foi vetorizada através de métodos de interpretação, como tonalidade, textura, forma, padrão, sombra e tamanho,

sendo possível gerar o mapa de uso da terra em duas escalas de análise: a) Ambiental: corresponde às classes Afloramento com vegetação, Mata ciliar, Vegetação Rasteira, Área urbana, Plantação, Pastagem, Voçoroca e Solo exposto, e b) Urbano: corresponde às classes Zona de Preservação Ambiental (ZPAM), Áreas saturadas, Área de Preservação Permanente (APP) e Área Propícia a Ocupação (APO)

O método da análise multicritério permitiu a elaboração de modelos sínteses focado ao planejamento urbano em bacias hidrográficas. Foram gerados os mapas: a) áreas propícias à expansão urbana, b) áreas de interesse ambiental, e c) áreas suscetíveis aos riscos de desastres humanos de natureza. O modelo de áreas suscetíveis aos riscos de desastres humanos de natureza foi elaborado pelo cruzamento dos modelos de inundação e erosão³ conforme a equação 1 e 2 respectivamente:

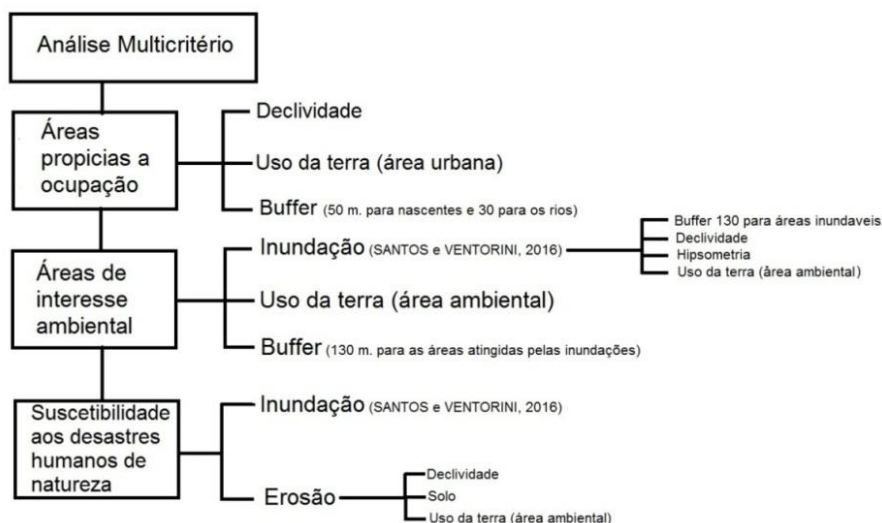
$$\frac{(HIP*15) + (DEC*35) + (BUF*35) + (USO*15)}{100} \quad (1)$$

Onde: HIP: Hipsometria, influência de 15%; DEC: Declividade, influência de 35%; BUF: Buffer, influência de 35%; USO: Uso da terra, influência de 15%.

$$\frac{(USO*50) + (DEC*30) + (PED*20)}{100} \quad (2)$$

Onde: USO: Uso da terra, influência de 50%; DEC: Declividade, influência de 30%; PED: Pedológico, influência de 20%.

Para a álgebra de mapas foi utilizado a ferramenta *Weighted Overlay* que permite a inserção de pesos de no mínimo de 1 até o máximo de 9, onde as influências são distribuídas de acordo com a importância de cada mapa, cuja soma seja igual a 100%. O método consiste ainda, na comparação de dois a dois conforme o método AHP onde o software realizará uma operação matemática baseada na média ponderada. O fluxograma (figura 1) ilustra os procedimentos adotados e os pesos e influencia estão descritos na tabela II.



³ Os modelos síntese das áreas suscetíveis a inundação e erosão foi elaborado pelos autores e compõem a base de dados do LabCar – UFSJ (Laboratório de Cartografia da UFSJ).

Figura 1: Fluxograma metodológico da Análise Multicritério

Tabela II
Atribuição de pesos as variáveis temáticas

Modelo	Variáveis	Influências	Classes	Pesos
Áreas propícias à ocupação urbana	Declividade	30%	2° a 65°	Peso 5: para as classes 2°, 5°, 40° e 65° Peso 3: para as classes 25° Peso 1: para as classes 10° e 15°
	Uso da terra	40%	Áreas saturadas, APP, ZPMAs e APO	Peso 5: Áreas saturadas, APP e ZPMAs Peso 1: APO
	Buffer	30%	Nascente (50m.) e Buffers (30m.)	Peso 5: Nascente e buffers
Áreas de interesse ambiental	Inundação	20%	Muito forte, forte, médio, baixo e muito baixo	Peso 5: Muito forte Peso 4: Forte Peso 3: Médio Peso 2: Baixo Peso 1: Muito baixo
	Uso da terra	60%	Área urbana, Mata ciliar, afloramento com vegetação, solo exposto, vegetação rasteira, plantação, pastagem e voçoroca	Peso 5: Mata ciliar, afloramento com vegetação, vegetação rasteira Peso 3: Solo exposto, plantação e pastagem Peso 1: Área urbana
	Buffer	20%	Nascente (50m.) e Buffer (30m.)	Peso 5: Buffer e nascente
	Suscetibilidade aos desastres humanos de natureza	Erosão	50%	Muito forte, Forte, Médio e Baixo
Inundação		50%	Muito forte, Forte, Médio, Baixo e Muito Baixo	Peso 5: Muito forte Peso 4: Forte Peso 3: Médio Peso 2: Baixo Peso 1: Muito baixo

O procedimento consistiu na conversão dos mapas vetorizados em formato *raster* com resolução espacial do pixel de 28 metros para todos os mapas. Tal resolução espacial foi adotada por causa do mapa pedológico que não possui escala grande, 1:250.000. A adoção dos pesos foi de 1 a 5 para as classes de acordo com o grau de importância.

A coleta de dados secundários incluiu os dados do PCPDC (DEFESA CIVIL, 2013, 2015), Leis e decretos municipais, Atlas Brasileiro de Desastres Naturais - Volume Minas Gerais de 2011 (CEPED, 2011) e as publicações de Pôssa e Ventorini (2014), Almeida et, al. (2014), Almeida e Ventorini (2015), Maus (2015) e Santos, Ventorini e Almeida (2016).

RESULTADOS

A bacia do Córrego do Lenheiro (figura 2) está localizada na porção sul do município de São João del – Rei, Minas Gerais, Brasil, onde estão inserido os bairros Fábricas (Setor 2); Segredo, Centro, Viça Marchetti, São Judas Tadeu, Colinas Del Rey, Guarda-mor, Bonfim, Vila Belizário (Setor 3); Araçá, Dom Bosco, Bela Vista (Setor 4) e Tijuco, Alto das Mercês, Residencial Lenheiro, Barro Preto, São José Operário, Aguas Férreas, Vila Jd. São José (Setor 5). A proximidade com o centro da cidade acarreta o processo de adensamento populacional, que contribui para a ocorrência dos desastres humanos de natureza.

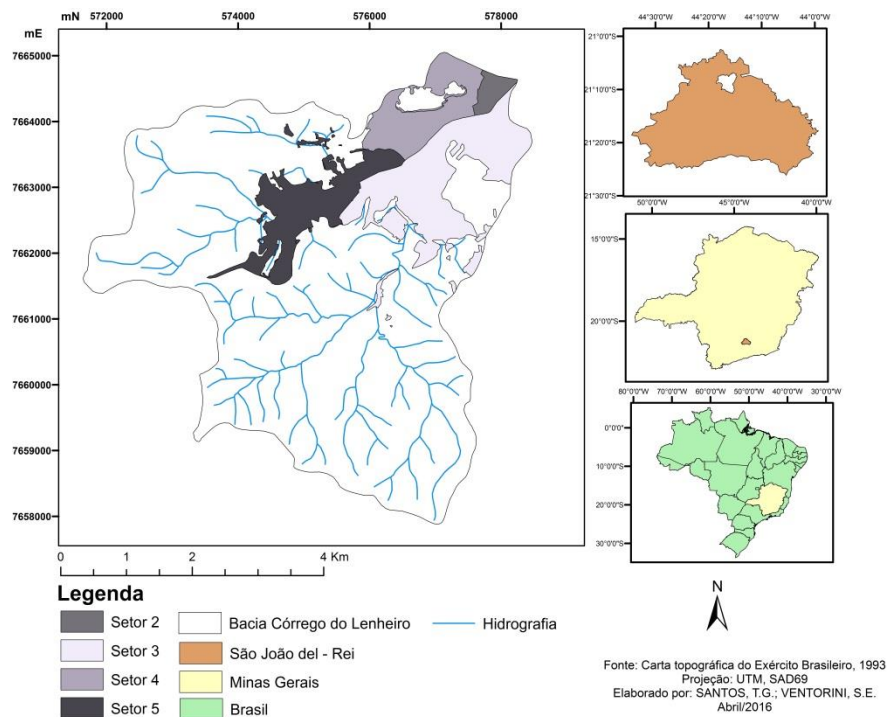


Figura 2: Localização da Bacia do Córrego do Lenheiro

As características físicas representam uma área com amplitude altimétrica de 320 metros (900 a 1220 metros) e declividades entre 2° a 25° na área urbana e 25° a 65° próximo a Serra do Lenheiro. O perímetro urbano está inserido em um vale, fato que condicionou a expansão urbana do município em forma de “espinha de peixe” (MALDOS, 2003; SANTOS e VENTORINI, 2014).

A área possui os solos CXbd3, CXbd18 e CXbd47 referente aos Cambissolos Háplicos, cuja características consistem em um forte grau de suscetibilidade a erosão e o solo RLd referente ao Neossolo Flúvico localizado na Serra do Lenheiro, que também apresenta um forte grau a suscetibilidade a erosão (EMBRAPA, 2006).

O mapa de áreas propícias a expansão urbana (figura 3) indica as áreas muito baixo e baixo para a área urbana já consolidada e ao longo dos cursos hidrográficos, onde se localiza as matas ciliares. A Lei nº 6.766/79 que dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano prevê no Art. 3º, Parágrafo único, Inciso I que não será permitido o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeito a inundações, fato que reforça a necessidade de preservação e planejamento das áreas de APP. As áreas consideradas de médio grau de ocupação correspondem às áreas onde estão localizadas principalmente as áreas de pastagem e solo exposto. Nota-se que próximo a Serra do Lenheiro, o grau médio refere-se especificamente as classes físicas mapeadas, como por exemplo, Afloramento com vegetação, no entanto a área é por lei uma APP, onde a legislação brasileira não permite a ocupação urbana nessas áreas. Já as áreas representadas por forte e muito forte correspondem às áreas propícias a expansão urbana, mediante aos estudos geotécnicos que possa permitir a ocupação urbana de maneira adequada. Tais investigações são de extrema importância considerando que nos trabalhos de campo foram verificados processos erosivos como ravinas e voçorocas.

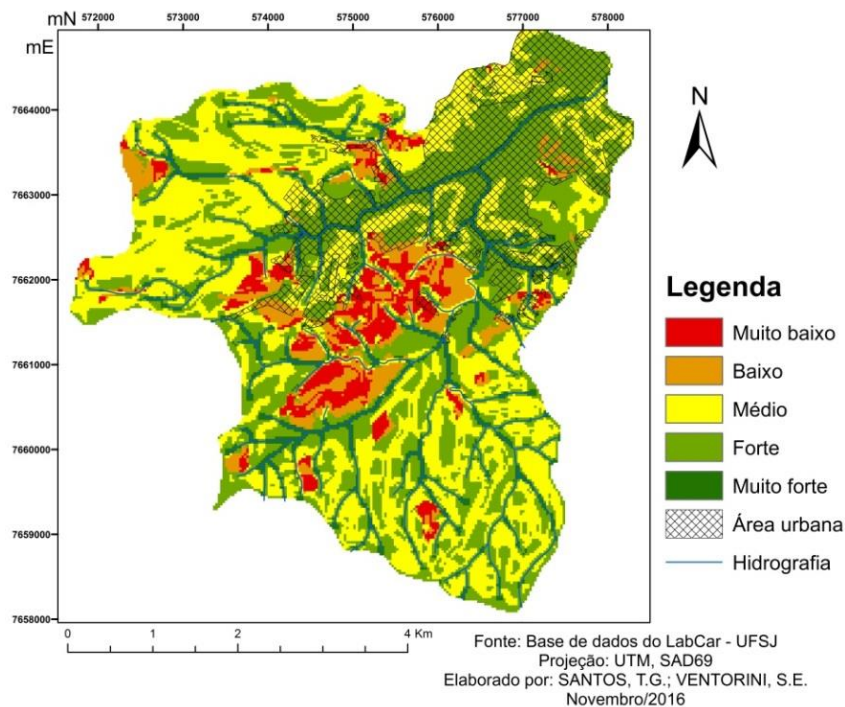


Figura 3: Áreas propícias à expansão urbana

O mapa de interesse ambiental (figura 4) indica grau de interesse muito forte e forte nas áreas onde há maior necessidade de preservação, como o caso das matas ciliares e cursos hídricos que não foram ocupados, localizada com maior expressão na porção sul e noroeste (Serra do Lenheiro). O grau de interesse baixo e muito baixo corresponde à área urbana já consolidada e as áreas onde as declividades variam entre 10° a 15°.

Os resultados indicam ainda que a área propícia a expansão urbana apresentada na figura 3 corresponde à área de baixo a muito baixo interesse ambiental, fato que reforça a proposta de expansão urbana tendo como base critérios técnicos e científicos de estudos geotécnicos.

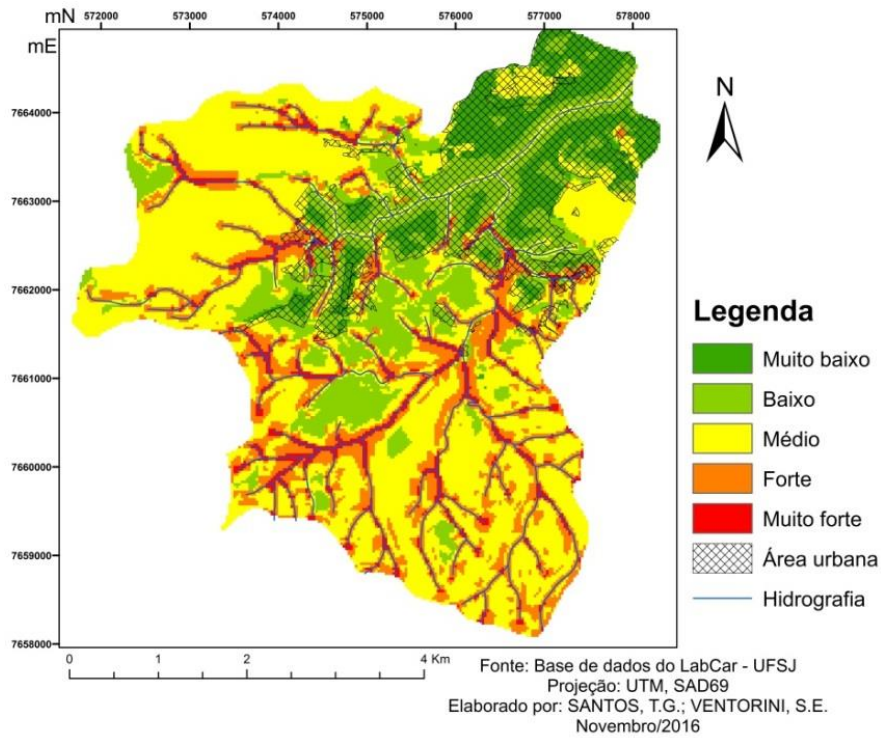


Figura 4: Mapa de interesse ambiental

A figura 5 indicam os modelos de suscetibilidade a erosão (a) onde o grau muito forte e forte encontram-se próximo as voçorocas e as ocupações em áreas de maior declividade em direção a Serra do Lenheiro – divisor de águas da bacia hidrográfica. O modelo de inundação (b) indica grau muito forte e forte nas áreas com declividade inferior a 10° de inclinação onde houveram registros pelo PCPDC.

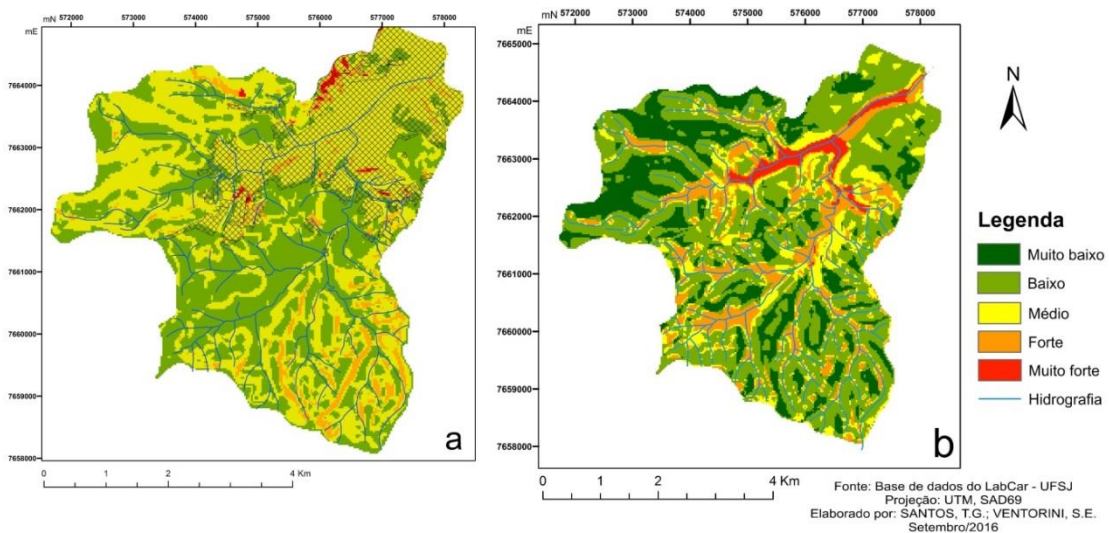


Figura 5: Modelos de erosão (a) e inundação (b)

O mapa de suscetibilidade aos desastres humanos de natureza (figura 6) aponta que a Bacia do Córrego do Lenheiro possui forte grau aos riscos de enchentes e inundações. Os fatores que geram estes fenômenos são decorrentes dos processos históricos de ocupação das áreas de várzea e a impermeabilização dos solos, que contribui para o escoamento rápido e deposição das águas pluviais direto para o Córrego do Lenheiro. As áreas indicadas aos processos de deslizamentos estão localizadas próximas às voçorocas expondo os moradores ao risco.

Ao analisar a área adequada à expansão urbana, o grau de suscetibilidade aos riscos de desastres humanos de natureza varia entre baixo e médio. Vale ressaltar que em ambientes naturais, o limite rígido expresso pelas delimitações geradas nos modelos, como por exemplo, o grau de suscetibilidade aos desastres humanos de natureza podem tanto ultrapassar como recuar em relação as indicada no mapa. Assim os modelos não podem ser adotados como verdades absolutas, mas como apoio ao planejamento e gestão dos espaços urbanos e de investigações sobre os graus de variações de suscetibilidades de ocorrências dos desastres humanos de naturezas.

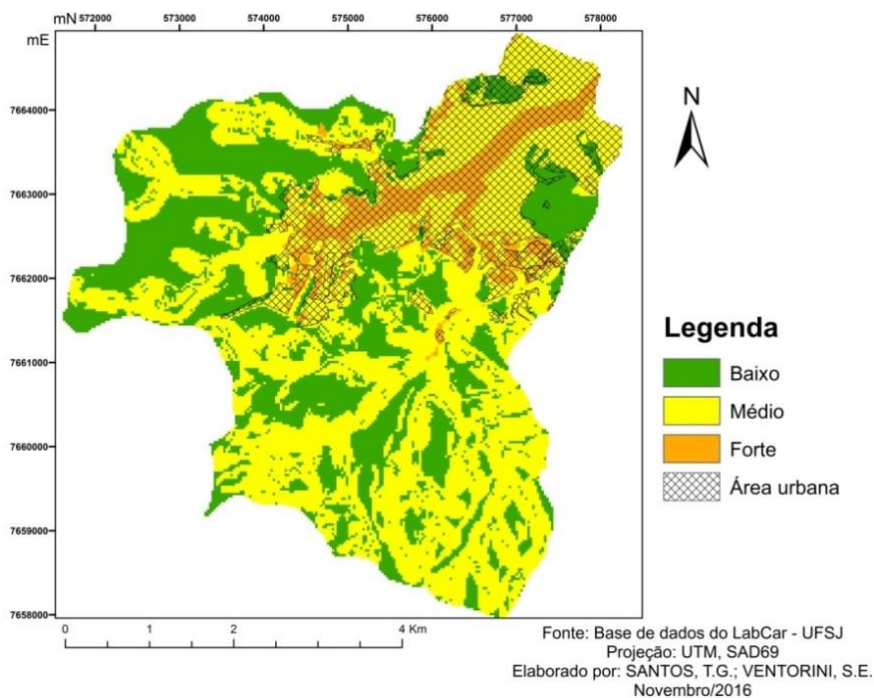


Figura 6: Mapa do grau de suscetibilidade aos desastres humanos de natureza

O PCPDC (DEFESA CIVIL, 2015) indica registros atualizados referentes às ocorrências de desastres humanos de natureza no município de São João del – Rei e aponta que nos anos de 2001, 2004, 2007, 2012 e 2013, a área urbana da Bacia do Córrego do Lenheiro foi atingida pelas enchentes, inundações e deslizamentos. O período chuvoso de 2011/2012, as enchentes, inundações e deslizamentos afetaram 2.218 pessoas, onde 143 ficaram desalojadas e duas desabrigadas. Os prejuízos materiais resultaram em 18 residências danificadas, sete imóveis comerciais danificados, 12 pontes danificadas e/ou destruídas além

de, danos em estradas, vias urbanas, rede de água e esgoto etc., O valor total do prejuízo econômico foi de R\$ 2.780.865,00.

Já no período chuvoso de 2013/2014, 1.500 pessoas foram atingidas pelas enchentes e inundações no município, vias públicas e os muros a margens do Córrego do Lenheiro foram danificados e os prejuízos econômicos foram estimados no valor de R\$ 170.868,36. Os dados citados confirmam a veracidade das informações mapeadas.

Os trabalhos de campo indicam que a retificação (canalização) do curso do Córrego do Lenheiro que corre na área urbana, somada a infraestrutura precária e antiga contribui para a ocorrência de enchentes e inundações na bacia. Em alguns bairros há ausência de rede para coleta de águas pluviais (bocas de lobo), lançamento de esgoto *in natura* direto das casas para o Córrego do Lenheiro, acúmulo de lixo nas ruas e no Córrego, dentre outros.

CONCLUSÕES

O histórico da ocupação urbana no município de São João del – Rei possui origem secular e esse fato reforça o fenômeno do adensamento populacional, que ocorre devido a proximidade da área urbana da bacia do Córrego do Lenheiro com as áreas centrais.

Uma base digital de dados pode auxiliar os órgãos públicos na tomada de decisões para o planejamento eficiente dos espaços urbanos inseridos em bacias hidrográficas, assim como na mitigação dos riscos causados pelos desastres humanos de natureza (SANTOS; VENTORINI, 2016). A Análise Multicritério é um método eficaz que permite a tomada de decisão e avalia a importância das variáveis por meio da AHP. Os modelos gerados indicam as áreas possíveis para a expansão urbana dentro da Bacia do Córrego do Lenheiro.

Os pesquisadores entendem que o processo de expansão urbana nas áreas indicadas pelos modelos devem ser validadas a partir de investigações com base critérios técnicos e científicos de estudos geotécnicos.

A ocorrência dos desastres humanos de natureza na área urbana esta atrelada a ocupação irregular das áreas de várzea e voçorocas, cuja ação antrópicas potencializa os danos causados por estes desastres, fato validado por meio das publicações do PCPDC de 2015 (DEFESA CIVIL, 2015).

Desta forma a pesquisa e o mapeamento digital será disponibilizada gratuitamente para pesquisadores, planejadores, gestores e demais profissionais interessados na temática abordada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. M. O dialogo entre as dimensões real e virtual urbano. In ALMEIDA, M. C; CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M. V (org.) **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. Oficina de Texto, 2007

ALMEIDA, G. P.; VENTORINI, S. E. Mapeamento participativo de áreas de risco a movimento de massa no bairro Senhor dos Montes – São João del-Rei, MG. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 24, n. 1, p.79-93, 1 jun. 2014. Semestral. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/issue/archive>>. Acesso em: 17 fev. 2015.

ALVES, A. O.. **Planejamento Ambiental Urbano na Microbacia do Córrego da Colônia Mineira - Presidente Prudente/SP**. 2004. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Geografia, Unesp Campus Presidente Prudente, Presidente Prudente, 2004.

ARAÚJO, R. P. Z de. Princípios para Análise Espacial Multicritérios: Capacidade de Suporte e Estoque de Potencial Construtivo no Espaço Urbano. In: MOURA, Ana Clara Mourão et al. **Tecnologias de Geoinformação para Representar e Planejar o Território Urbano**. Rio de Janeiro: Interciência, 2016. p. 91-113.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro - Janeiro 2011**. Brasília: Editora Exclusiva, 2012. Disponível em: http://mi.gov.br/pt/c/document_library/get_file?uuid=74dde46c-544a-4bc4-a6e1-852d4c09be06&groupId=10157>. Acesso em: 21 jun. 2016.

BRASIL. Instituto de Pesquisa Tecnológica. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades, 2007. 176 p

CASTRO, A. L. C. **Glossário de defesa civil: estudo de riscos e medicina de desastres**. Brasília: MPO/ Departamento de Defesa Civil, 1998. 283 p.

CASTRO, M.; PEIXOTO, M. N. de O.; RIO, G. A. P. **Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas**. Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ, Rio de Janeiro, Vol. 28, no. 2, p. 11-30, 2005. Disponível em: <http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2005/Anuario_2005_11_30.pdf> Acesso em 21 de ago

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec/Edusp. 1979

CHRISTOFOLETTI, A. **A aplicação da abordagem em sistema na geografia física**. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 2, n. 52, p.21-35, jun. 1990.

CODAR, Codificação De Desastres, Ameaças e Riscos. Sistemática de codificação. Brasília: Diário Oficial, 1995.

CODAR, Codificação De Desastres, **Ameaças e Riscos**. Sistemática de codificação. Brasília: Diário Oficial, 1995

DEFESA CIVIL. **Plano de contingência de proteção e defesa civil**. São João del-Rei, 2015, 159 p.

EMBRAPA SOLOS, **Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos da Zona Campo das Vertentes – MG**, Rio de janeiro, 2006.

FIDALGO, E. C. C. **Critérios para a Análise de Métodos e Indicadores Ambientais Usados na Etapa de Diagnóstico de Planejamentos Ambientais**. 2003.

LINDELL, M. K.; PRATER, C. S.; PERRY, R. W. **Fundamentals of Emergency Management**. Emmitsburg: Emergency Management Institute, 2006. (479). Disponível em: <<http://training.fema.gov/hiedu/aemrc/booksdownload/fem/>>. Acesso em: 13 fev. 2015.

MAGALHÃES, C. R.. **Bacia Hidrográfica como Referência de Planejamento e Expansão Urbana para as Cidades do Século XXI**. 2013. 223 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013

MAUS, J. J et. al. . Análisis multicriterio y vulnerabilidad a la ocupación urbana: estudio de caso en la cuenca del Rio São Francisco Xavier -São João del-Rei - MG - Brasil. In: **Séptimo Congreso de la Ciencia Cartográfica**, 2014, Buenos Aires. Logros y desafios de la cartografía, 2014.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2003.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE.

POSSA, E. M. ; VENTORINI, S. E. . Expansão Urbana Para Áreas De Risco De Inundação E De Movimento De Massa: O Estudo No Município De São João Del-Rei - MG. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, p. 49-67, 2014.

ROSS, J.L.S. Análise E Síntese Na Abordagem Geográfica Da Pesquisa Para O Planejamento Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 9, n. 1, p.65-75, 1995.

SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. ; ALMEIDA, G. P.. **Mapeamento De Áreas Suscetíveis A Ocorrência De Enchentes E Inundações Na Bacia Do Córrego Do Lenheiro**. In: Giovanni Seabra. (Org.). TERRA Paisagens, Solos, Biodiversidade e os Desafios para um Bom Viver. 1ed.Ituiutaba: Barlavento, 2016, v. 1, p. 1331-1341

SDR, International Strategy for Disaster Reduction. **Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives**. New York And Geneva: United Nations, 2004. 127 p. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/we/inform/publications/657>>. Acesso em: 11 fev. 2015

SOUZA, T. A.; CUNHA, C. M. L. Análise Dos Atributos Físico-Ambientais Do Município De Praia Grande-SP. **Sociedade & Natureza, Uberlândia**, v. 2, n. 24, p.303-318, 11 set. 2012.

STAAY, T. L.. Decision making with the analytic hierarchy process. **Int. J. Services Sciences**. Pittsburgh, p. 83-98.. 2008. Disponível em:

<http://www.colorado.edu/geography/leyk/geog_5113/readings/saaty_2008.pdf>. Acesso em: 02 set. 2016.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Disponível em: <<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads>>

UITTO, J. I. **The geography of disaster vulnerability in megacities**: a theoretical framework. Applied Geography, Great Britain, v. 18, n. 1, p.7-16, jun. 1998.

VALENTE, R. O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. 2005.

WISNER, B. et al. **At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters**. 2. ed. New York: La Red (Latin America), Duryog Nivaran (South Asia) And Peri-peri (Southern Africa), 2003. 124 p. Disponível em: <http://www.preventionweb.net/files/670_72351.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2015

ZACHARIAS, A. A. **A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental**. São Paulo: Editora Unesp, 2007. 211 p. de 2014.