
Mapeamento de áreas suscetíveis

aos desastres humanos de natureza
na bacia do córrego do Lenheiro,
Minas Gerais, Brasil

Mapping of the areas susceptible
to nature human disaster
in Lenheiro's creek basin, Minas Gerais, Brazil

Thiago Gonçalves Santos

Silvia Elena Ventorini

Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ)
Departamento de Geociências (DEGEO)
Minas Gerais, Brasil
thiaguim.13@gmail.com; sventorini@ufsj.edu.br

Resumo

No Brasil, os desastres naturais não ocasionam danos significativos a população. Os prejuízos socioeconômicos e os óbitos são gerados por desastres humanos de natureza. Neste artigo apresenta-se o mapeamento dos fatores que tornam áreas suscetíveis a esses desastres na bacia do córrego do Lenheiro, localizada no município de São João del - Rei, Minas Gerais, Brasil. A fundamentação teórico-metodológica tem como base a Teoria Geral dos Sistemas aplicados a geografia. Os procedimentos consistiram em pesquisa e aquisição de material cartográfico base e dados secundários; elaboração de base digital cartográfica; sobreposição e análises de mapas temáticos e perfis topográficos e longitudinais, coleta e análise de dados primários e secundários e trabalho de campo para validar a veracidade das informações mapeadas. As enchentes e inundações estão relacionadas as ações humanas como ocupação e impermeabilização de margens de rios, precária infraestrutura para coleta de esgoto e águas pluviais, canalização de córregos e rios etc.

Palavras chave: cartografia digital; planejamento urbano; inundações.

Abstract

In Brazil, natural disasters do not cause significant damage to the population. The socioeconomical losses and obits are generated by nature induced human disasters. This paper presents the mapping of the factors, which make these areas susceptible to disasters in Lenheiro's creek basin, in the municipality of São João del Rei - Minas Gerais, Brazil. The theoretical and methodological grounding is based on the General Theory of Applied Systems in Geography. The procedures consist of scientific research and acquisition of base map data and secondary data; elaboration of digital cartographic database; overlap and analysis of thematic maps as well as topographic and longitudinal profiles, collection and analysis of primary and secondary data and field work to validate the accuracy of the mapped information. The floods and inundations are related to human actions such as occupation and waterproofing of river banks, poor infrastructure for sewage work and pluvial water, stream and river plumbing, etc.

Key words: digital cartography; urban planning; floodings.

1. Introdução

O termo desastre natural remete a fenômenos de caráter restritamente naturais, como os terremotos, furacões e tsunamis. Já os eventos intensificados pela ação antrópica, como as enchentes e inundações, são definidos como desastres humanos de natureza. No Brasil esses desastres ampliam-se no período chuvoso¹, causando prejuízos econômicos e sociais a população (Brasil, 2007; Tominaga *et al.*, 2009; Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2011).

O termo enchente é definido como processo natural do aumento da vazão nos rios, onde as águas escoam até seu limite máximo ao longo das margens plenas de um canal. Já inundação é definida como a extrapolação das águas para as áreas de várzeas dos canais fluviais (Tucci & Bertoni 2003; Brasil, 2007; Hora e Gomes, 2009; Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2011; Santos *et al.*, 2016).

As frequentes inundações em áreas urbanas no Brasil estão associadas à: impermeabilização do solo, canalização dos cursos d'água, inadequada infraestrutura para coleta de águas pluviais e fluviais, ocupação de área de várzea etc. Tais fatores aceleram o escoamento superficial, intensificam o aumento natural da vazão dos rios e a extrapolação das águas (Tucci & Bertoni, 2003).

Os dados do Anuário Brasileiro de Desastres Naturais do ano de 2013 mostram que a quantidade de pessoas afetadas pelas inundações foi de 1.389.454, dessas 59.023 ficaram desabrigadas, 1.461 feridas e 36 morreram. A região Sul do Brasil foi a mais afetada com 33,33% do número total de atingidos, seguida das regiões Norte (27,45%), Sudeste (25,98%), Centro Oeste (8,82%) e Nordeste (4,41%), (Brasil, 2013).

No estado de Minas Gerais, localizado na região Sudeste, os dados do Plano de Emergência Pluviométrica 2014/2015 apontam que no período chuvoso entre 2008 até 2014, 7.461.173 pessoas foram afetadas pelas chuvas. Nesse período foram registrados 45.732 desabrigados, 1.577 feridos e 154 óbitos. O total de prejuízos econômicos aos sistemas coletivos e aos danos materiais (infraestrutura) ultrapassa o valor de US\$ 2,9 bilhões (Minas Gerais, 2014).

O município de São João del-Rei, localizado no estado de Minas Gerais, é frequentemente atingido por enchentes e inundações ao longo do período chuvoso. Historicamente, motivados pela exploração aurífera em meados de 1700, as margens dos rios e córregos foram ocupadas sem planejamento, fato que acarreta transtornos na atualidade (Maldos, 2000; Santos *et al.*, 2016). A expansão urbana irregular expõe a população a situações de riscos, perigos e vulnerabilidades ocasionadas por enchentes e alagamentos. Somado a esse fato o município carece de mapeamento das referidas situações (Pôssa & Ventorini, 2014; 2015).

O mapeamento e identificação das áreas de risco auxiliam o planejamento e a gestão urbano-ambiental e subsidiam os órgãos públicos a tomarem medidas mitigadoras para a redução dos riscos, perigos e vulnerabilidades causados pelos desastres humanos de natureza.

Os produtos cartográficos permitem a identificação e análise dos fenômenos. Por meio do cruzamento de mapas temáticos é possível gerar modelos representando áreas sucessíveis a ocorrências dos desastres humanos de natureza. Entretanto, a ausência de base digital de dados cartográficos e alfanuméricos dificulta a ação dos órgãos públicos.

Por isso, o objetivo deste artigo é apresentar a pesquisa sobre o mapeamento de fatores que causam enchentes e inundações em área urbana inserida na bacia do córrego do Lenheiro, localizada no município de São João del-Rei. Primeiramente, são apresentadas discussões teóricas referentes aos desastres de natureza humana registrados no Brasil e a importância da cartografia como ação mitigadora pra redução dos riscos ocasionados por esses desastres. Depois, apresentam-se a investigação que permitiu mapear e analisar os fatores que intensificam os desastres de natureza humana na bacia.

2. Planejamento urbano e áreas de riscos às enchentes e inundações

Desastre natural faz referência a qualquer evento catastrófico causado pela natureza ou por processos naturais. Tal desastre quando intensificados pela ação antrópica são denominados de desastre humano de natureza. Ambos, ao atingirem regiões habitadas pelo homem, geram prejuízos econômicos e sociais (Tominaga *et al.*, 2009).

Os furacões, os terremotos, os tsunamis, as intensas precipitações são exemplos de fenômenos que resultam em desastre natural. Anualmente, os meios de comunicação divulgam notícias relacionadas às catástrofes geradas por esses fenômenos. Como exemplo o terremoto *Hanshin-Awaji Daishinsa* que ocorreu no Japão em 1995, o furacão *Katrina*, que em 2005 atingiu a região litorânea no sul dos Estados Unidos da América.

O terremoto no Japão atingiu 7.2 na escala Richter e resultou em: destruição da cidade de Kobe e Região, 5.502 óbitos, 41.521 pessoas feridas e mais de 100 mil casas

destruídas. Os prejuízos econômicos foram de, aproximadamente, 10 trilhões de *yenes*² (Sato & Kumagai, 1996).

O furacão Katrina atingiu com ventos de, aproximadamente, 280 km/h a cidade de *New Orleans*, localizada no estado de Louisiana. Os prejuízos socioeconômicos da população, das indústrias privadas e públicas entre outros, ultrapassaram a soma de 100 bilhões de dólares. Além disso, houve significativos danos aos recursos naturais e mais de 972 óbitos (Burton & Hicks, 2005).

No Brasil, a intensidade de desastres naturais de maior expressão é pequena comparada à ocorrência e magnitude em outros países, como os citados anteriormente. Em 2004, no sul do Brasil, o ciclone Catarina atingiu o estado de Santa Catarina com ventos de até 150 km/h e afetou 40 municípios no estado. Este fenômeno ocasionou quatro óbitos, deixou 518 pessoas feridas e 33.000 desabrigados. Os danos e/ou destruição somam 35.000 casas (Baptista Neto, 2011).

Os terremotos são frequentes no Brasil, mas devido à baixa magnitude não ocasionam danos à população e a economia, por isso não são divulgados nos meios de comunicação. O registro do terremoto de maior intensidade, 6,1 na escala Richter, é de 1955 e o estado mais atingido foi o do Mato Grosso. Apesar de sua magnitude, não há dados sobre prejuízos socioeconômicos e de óbitos.

A região Nordeste brasileira corresponde a área mais ativa por esse tipo de fenômeno, com escala entre 2 e 4 graus de magnitude e não apresenta diferenças na variação de magnitude quando comparado aos demais tremores registrados no país (Ceará, 2008; Rede Sismográfica Brasileira, 2014).

As publicações científicas mostram que no Brasil a ocorrência de fenômenos de caráter restritamente natural não ocasionam danos materiais ou sociais, significativos (Santos *et al.*, 2016). Os desastres humanos de natureza são os que mais ocasionam danos à população. Esses desastres têm como principal característica ações ou omissões do homem em relação à natureza.

Ações antrópicas como a ocupação urbana imprópria em áreas de várzea e margens de rios, córregos e vertentes tem resultado em desastres, principalmente no período chuvoso de cada ano. As intensas precipitações como chuvas convectivas que são caracterizadas por abrangência local e intensidade alta, influenciam as ocorrências de enchentes e inundações no Brasil (Castro, 1998; Codar, 1995; Kobiyama *et al.*, 2006; Brasil, 2012). No ano de 2012, mais de 5,1 milhões de pessoas foram atingidas por inundações cujos resultados foram 14 mortes, 2.409 feridos e 52.041 desabrigados (Brasil, 2012).

Os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais registram óbitos e prejuízos econômicos e sociais em quase todos os períodos chuvosos. No ano de 2011 foram registrados mais de 795 desastres humanos de natureza no Brasil. Os registros mostram ainda que nesse ano 12.535.401 pessoas foram atingidas e ocorreram 1.094 óbitos. Os dados indicam ainda que, 16,3 % do total (2.050.431 pessoas) foram atingidas por inundações (Brasil, 2012).

Em janeiro de 2011, sete municípios localizados na região serrana do estado do Rio de Janeiro foram atingidos por chuvas intensas. A quantidade mais intensa de precipitação foi na cidade de Nova Friburgo, que em dois dias choveu 166 mm.

Os danos totais dos sete municípios foram: 304.562 pessoas com algum tipo de prejuízo socioeconômico, 16.458 pessoas desabrigadas, 2.351 pessoas feridas e 905 óbitos. O prejuízo econômico foi estimado em US\$ 2,8 bilhões (Banco Mundial, 2012).

A cidade Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, surgiu e ampliou-se sobre a área de duas bacias hidrográficas: a do Ribeirão Arrudas e a do córrego da Onça. Seu desenvolvimento urbano não considerou a dinâmica natural das bacias hidrográficas. Fato que atualmente dificulta o planejamento para a redução dos impactos causados nas áreas ocupadas (Cajazeiro, 2012). No período chuvoso entre os anos de 2008 e 2009 foram registrados 14 inundações (Reis, 2011). No período de setembro de 2008 até março de 2009, foram registrados 33 óbitos (Bragon, 2009).

No município de São João del-Rei, também localizado no estado de Minas Gerais, o desenvolvimento urbano iniciou-se com a ocupação das margens do córrego do Lenheiro, motivado pela exploração aurífera no início do século XVIII. O processo de urbanização a partir dessa data cominou com a fundação do primeiro núcleo urbano que, posteriormente foi subdividido formando os primeiros bairros da cidade como o Senhor dos Montes, Tijuco e Centro (Maldos, 2000).

Tais bairros ampliaram-se ao longo de três séculos sem planejamento e gestão adequados, fatos que ocasionam os desastres humanos de natureza em área da bacia do córrego do Lenheiro. Somado a isso, o município não possui uma base cartográfica como apoio ao mapeamento das áreas de riscos, vulnerabilidade e perigos de ocorrências de desastres humanos de natureza.

O mapeamento dos fenômenos e aspectos físicos, sociais econômicos etc. são funda-

mentais para o planejamento e gestão do espaço urbano. Além disso, é fundamental para que as leis de preservação dos recursos naturais e para a minimização dos riscos de desastres naturais sejam exercidas nos municípios.

3. Cartografia como apoio à aplicação das leis: Mapeamento de áreas vulneráveis às enchentes e inundações

As discussões ambientais em escala global sediadas no Brasil como duas Conferências das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, conhecidas como ECO-92 e RIO+20 subsidiam a criação de leis fundamentais na gestão de desastres humanos de natureza no país.

Conhecida como ‘Lei das Águas’, a Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Brasil, 1997), institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SNGRH). A lei em seu Art. 1º parágrafo V determina a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da PNRH e legitima a atuação do SNGRH para o gerenciamento dos recursos hídricos. No. Art. 3º parágrafo IV é apresentada a diretriz para a articulação do planejamento de Recursos Hídricos com setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional.

Em 17 de julho de 2000 foi criada a Lei 9.984 (BRASIL, 2000) que dispõe da criação da Agência Nacional das Águas (ANA), como integrante do SNGRH. No. Art.4º parágrafo VIII é destacado que compete a ANA planejar e/ou promover ações para minimizar os efeitos de inundação e seca no âmbito do

SNGRH. As ações devem ser articuladas e desenvolvidas juntas com o Sistema Nacional de Defesa Civil (SNDIC).

No Brasil por causa, principalmente, dos inúmeros desastres humanos de natureza foi criada a Lei 12.608 de 10 de abril de 2012 que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), dispôs do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e do Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC) e criou o Sistema de Monitoramento e Informações sobre Desastres.

O Art.4º, parágrafo IV da Lei 12.608 (Brasil, 2012) normatiza como diretriz da PNPDEC a adoção de bacia hidrográfica como unidade de análises aos desastres relacionados aos corpos d’água e no Art.5º são descritos que os objetivos da PNPDE consistem em:

- I. *Reduzir os riscos de desastres.*
- II. *Prestar socorro e assistência às populações atingidas por desastres.*
- IV. *Incorporar a redução do risco de desastre e as ações de proteção e defesa civil entre os elementos da gestão territorial e do planejamento das políticas setoriais.*
- VII. *Promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência (Brasil, 2012: 2).*

O Art.7º, parágrafo IV determina a competência dos estados para identificar, mapear e realizar investigações em áreas vulneráveis e suscetíveis aos riscos de desastres naturais e/ou desastres humanos de natureza. A mesma lei em seu Art. 8º, parágrafos IV e V, atribui aos municípios a responsabilidade para identificar, fiscalizar e mapear as áreas suscetíveis a desastres e proibir a ampliação e/ou novas ocupações urbanas nesses locais. O intuito é permitir ao poder público atuar

na fase mais prioritária de qualquer evento, o antes que se refere ao momento que precede o evento.

Toda ocorrência de desastres envolve basicamente três fases diferentes: **a)** anterior: corresponde ao momento em que precede o evento; **b)** durante: refere-se ao momento do impacto e suas consequências, e **c)** posterior: é o momento da reestruturação das áreas afetadas (Marcelino, 2008; Almeida & Ventorini, 2014; Almeida, *et al.*, 2014).

O mapeamento pode subsidiar os órgãos públicos na elaboração de propostas mitigadoras visando à redução de danos socioeconômicos e óbitos causados pelos desastres humanos de natureza, além de auxiliar no planejamento e na gestão urbano.

Os mapas em meio digital permitem, além de uma leitura ampla em escalas diferentes, extrair informações sobre as variáveis que envolvem os aspectos naturais como declividade, hipsometria, geologia, pedologia, hidrografia, vegetação etc. além de aspectos culturais (construídos pelo homem) como urbanização, agricultura, industriais, mineração, dentre outros.

Mapas temáticos em meio digital possibilitam, ainda, análise e sobreposições das representações dos fenômenos, ao mesmo tempo em que permitem a interação dos dados gerados. Os resultados das análises das sobreposições contribuem para o diagnóstico e pro-diagnóstico de áreas vulneráveis aos riscos e perigos às enchentes e inundações (Zacharias, 2007; Hora & Gomes, 2009; Santos *et al.*, 2016).

No Brasil, os municípios possuem dificuldades para a elaboração de tal base devido à precariedade de investimentos. Os maiores investimentos em levantamentos territoriais e em mapeamento base provêm

do setor privado. No estado de Minas Gerais a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), no início da década de 1980, investiu em produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento para mapear os municípios mineiros (Silva, 2002). Planimetria das áreas rurais foram mapeadas na escala 1:10.000 e a planimetria de áreas urbanas na escala 1:2.000. A altimetria foi representada com equidistância de 1 metro entre as curvas de nível. Embora a CEMIG tenha doado a base para os municípios mapeados, muitas prefeituras enfrentam duas dificuldades:

- a)** ausência de recursos humanos especializados (funcionários e/ou apoio de pesquisadores) para processar os dados e gerar modelos que possibilitem mensurar áreas com probabilidades de desastres;
- b)** base de dados não danificadas e em escala maior, por exemplo, equidistâncias de curvas de nível coerente para o mapeamento urbano (menores que 10 metros), mapas de solo com escalas maiores, mapas de uso da terra etc.

Por causa das dificuldades citadas foi criado o Decreto No. 1.524, de 20 de junho de 1995 (Brasil, 1995), para auxiliar os administradores municipais realizarem ações para identificar e mapear áreas suscetíveis a desastres. Esse decreto legitima os profissionais do Estatuto da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) para realizar tal função. A CPRM é uma empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia e ao Serviço Geológico do Brasil (SGB).

No. Art. 4º paragrafo IV, do Decreto No. 1.524, é destacado que o objetivo do CPRM consiste em elaborar sistemas de informações, a partir de dados cartográficos, registros de

desastres e visitas técnicas, que auxiliem os administradores municipais a identificar e monitorar as áreas suscetíveis aos riscos de desastres.

No entanto, quando o município não possui uma base de dados digital contendo mapas base como topografia, hidrografia, uso da terra etc., o trabalho do CPRM é dificultado, conforme constatou-se na análise do Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil (PCPDC) do município de São João del-Rei.

No município a ausência de um mapeamento com critérios técnicos e científicos dificultam os órgãos públicos como a Defesa Civil e o CPRM a realizarem ações mitigadoras para diminuir e/ou sanar danos causados pelas enchentes e inundações.

A Defesa Civil do município publicou no ano de 2013 o Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil, contendo um mapeamento precário, com imagens retiradas do *Google Maps* sem nenhum critério técnico e científico. Conforme ilustra a figura 1a, as representações das áreas suscetíveis a desastres humanos de natureza foram demarcadas por meio de um programa para desenhos simples.

No ano de 2015 com o apoio de profissionais do CPRM o Plano de Contingência e Defesa Civil foi atualizado. A qualidade do mapeamento melhorou, mas ainda não apresenta um mapeamento sobre as regras cartográficas. As áreas suscetíveis aos desastres humanos de natureza ainda são apresentadas com imagens do *Google Maps*. A **figura 1b** ilustra como as áreas com suscetibilidade a enchentes e alagamentos foram representadas.

A Defesa Civil e o CPRM fazem ressalva sobre a qualidade das imagens de satélites utilizadas no plano: *“É importante ressaltar que as imagens de satélite devem ser utilizadas com parcimônia quando se tratam de áreas de risco, pois elas nem sempre apresentam boa resolução ou representam as condições atuais do setor, principalmente tendo em vista a dinâmica das áreas de risco”* (Defesa Civil, 2015: 49).

Os fatos apresentados instigou a investigação para mapear as áreas suscetíveis a enchentes e alagamentos na bacia do córrego do Lenheiro

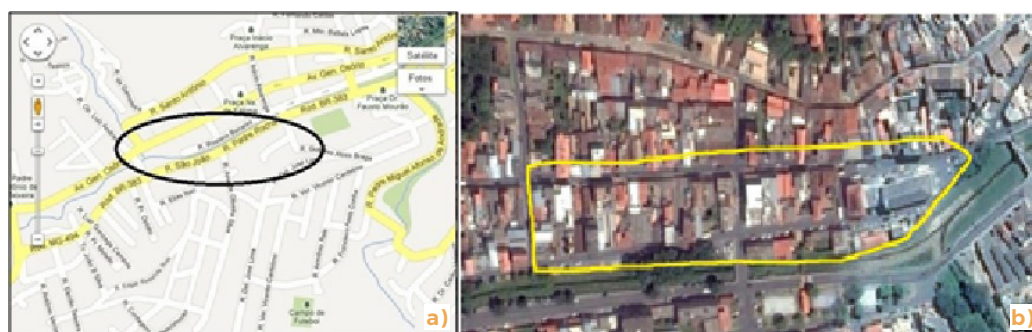


Figura 1 a) Mapeamento de área suscetível a enchente e inundação; b) Mapeamento de área suscetível a enchente e inundação elaborado pela CPRM. Fonte: Plano de Contingência e Defesa Civil – São João del-Rei - MG, (Defesa Civil, 2013; 2015)

4. Matérias e Métodos

4.1 Fundamentação teórica

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” (Christofolletti, 1990: 21).

A abordagem sistêmica é amplamente utilizada na Geografia 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 do objeto de estudo (Ross, 1995).

Os estudos 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).

4.2 Procedimentos metodológicos

A pesquisa teve como procedimentos metodológicos: **a)** pesquisa e aquisição de material cartográfico de base; **b)** elaboração da base digital de dados; **c)** pesquisa e aquisição de dados secundários; **d)** trabalho de campo para coleta de dados primários; **e)** sobreposição e cruzamento de informações para realização das análises.

4.2.1 Aquisição de material

Primeiramente, realizou-se o levantamento de material cartográfico e dados secundários sobre a ocorrência de desastres em órgãos públicos. Dados e mapas foram pesquisados no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na Prefeitura Municipal de São João del-Rei - MG, na Defesa Civil Municipal, no Comitê de Bacias do Estado de Minas Gerais e no Departamento de Geociências da Universidade Federal de São João del-Rei.

O material base é composto por duas cartas topográficas: uma elaborada pelo Exército Brasileiro, ano de 1993, escala de 1:25.000 e equidistância das curvas de nível de 10 metros e outra elaborada pelo IBGE, ano 1971, escala de 1:50.000, equidistância de 20 metros; ortofotocartas, ano de 1984, escala 1:10.000 disponibilizada pela Prefeitura Municipal, imagem do satélite *Ikonos*, ano de 2005, resolução espacial de 1 metro e 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).

4.2.2 Elaboração da base de dados

A elaboração da base digital de dados cartográficos foi realizada no software *ArcGis@10.1* (módulos *ArcMap*, *ArcCatalog* e *ArcToolbox*).

A aquisição de material cartográfico base em escalas distintas e em meio analógico exigiu a adoção de procedimentos sistemáticos. Inicialmente, realizou-se o georreferenciamento da carta topográfica na escala 1:50.000 na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) Datum Córrego Alegre e a reprojeteu para Datum da base *South American Datum* (SAD-69). Depois, realizou-se o georreferenciamento em projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e Datum da

base *South American Datum (SAD-69)* da carta topográfica na escala de 1:25.000 e das ortofotocartas. A imagem de satélite *Landsat 8/OLI* foi recortada e reprojeta para SAD69 e depois aplicou-se o método de fusão de bandas por meio da ferramenta *Create Pan-Sharpned e Raster Dataset*, ambas disponibilizadas no *ArcGis*. A imagem *Ikonos* também foi reprojeta para o mesmo *Datum*. Posteriormente, as imagens e ortofotocartas foram vetorizada através de métodos de interpretação, como tonalidade, textura, forma, padrão, sombra e tamanho. Assim geraram-se três cenários urbanos (anos de 1984, 2005 e 2015) para a análise espaço-tempo, bem como o mapa de uso da terra para o ano de 2015. A veracidade das informações foi validada em campo.

A carta topográfica na escala de 1: 25.000 não representa toda a área da bacia, mas representa a extensão do perímetro urbano, fato que possibilitou a geração de um mapa de declividade com melhor detalhamento, comparado ao elaborado a partir da carta na escala de 1:50.000, que representa a toda área da bacia hidrográfica.

Em ambas as cartas foram vetorizadas as curvas de nível, pontos cotados e hidrografia. A base vetorizada permitiu a geração do Modelo Numérico do Terreno - MNT (mapa hipsométrico), utilizado para gerar e reclassificar o mapa de declividade nas duas escalas citadas anteriormente. As ferramentas utilizadas foram *Slope e Reclass*, respectivamente.

A partir do MNT foram elaborados dois perfis topográficos: perfil AB no sentido Noroeste/ Nordeste; perfil CD no sentido Norte/Nordeste. Ambos cortam áreas em expansão urbana, sendo que o perfil AB corta a confluência do rio Acima com o córrego do Lenheiro.

A partir do MNT e da representação da hidrografia foram elaborados os perfis longitudinais dos córregos do Lenheiro e rio Acima. Para analisar o crescimento urbano foram sobrepostos nos perfis os cortes transversais dos cenários dos anos de 1984 e 2015. Para isso, adotaram-se as mesmas orientações dos perfis topográficos e longitudinais. A ferramenta utilizada foi a *Create Profile Graph*.

As ortofotocartas e as imagens de satélites foram vetorizadas e classificadas por meio de métodos de interpretação como tonalidade, textura, forma, padrão, sombra e tamanho. Na imagem *Landsat-8/OLI*, de 2015, aplicou-se o método de fusão de bandas por meio da ferramenta *Create Pan-Sharpned e Raster Dataset*, ambas disponibilizadas no *ArcGis*.

A pesquisa abrangeu ainda aquisição de dados primários e secundários.

4.2.3 Dados primários e secundários

Para verificar a veracidade das informações mapeadas foram realizados nove trabalhos de campo nos períodos chuvosos, secos e intermediários³ entre os anos de 2013 a 2015. Em campo foi realizado registro fotográfico, identificação de áreas suscetíveis a riscos de enchentes e inundações, além de entrevistas e diálogos dirigidos com os moradores locais.

Um questionário contendo 12 questões objetivas sobre os riscos e ocorrências de alagamentos e enchentes foi respondido por 24 moradores residentes ao longo das margens do córrego do Lenheiro.

A coleta de dados secundários incluiu dados da Defesa Civil (2013; 2015), publicações de Pôssa e Vantorini (2014), Almeida *et al.* (2014) e Almeida & Vantorini (2014), Maus *et al.* (2014) e Santos *et al.* (2016).

Para realizar as análises houve sobreposições e cruzamentos das informações coletadas e mapeadas.

4.2.4 Sobreposição e cruzamento de informações

A sobreposição dos dados permite uma análise integrada entre as variáveis estudadas. Por isso, o cenário urbano do ano de 2015 foi sobreposto aos mapas hipsométrico e de declividade com o objetivo de analisar a distribuição urbana sobre a dinâmica morfológica da bacia.

A expansão urbana foi analisada, ainda por meio da sobreposição dos cenários urbanos dos anos de 1984, 2005 e 2015. O processo de análise consiste na identificação das áreas ocupadas, loteamentos e locais onde os mesmos foram regularizados pela prefeitura (próximos aos rios e córregos, as voçorocas e a encosta).

5. Resultados

A bacia do córrego do Lenheiro está localizada na porção sul do município de São João del-Rei - MG (**Figura 2**). Possui amplitude altimétrica de 320 metros (900 a 1.220 metros) e declividades entre 2° a 25° na área urbana e 25° a 65° próximo a serra do Lenheiro.

A cidade de São João del-Rei, surgiu nas margens do córrego do Lenheiro e se expandiu ao longo do seu curso e de seus afluentes.

A análise do mapa de expansão urbana (**Figura 3**) aponta a consolidação da área urbana nas margens do córrego do Lenheiro e afluentes entre 1984 a 2005. Os dados coletados junto a prefeitura aponta a regularização dos loteamentos próximo as voçorocas no período de 2005 a 2015. Os dados coletados junto a prefeitura aponta a

regularização dos loteamentos próximo as voçorocas no período de 2005 a 2015.

Embora o cenário de 2015 aponte para uma pequena expansão urbana, quando comparada com os cenários anteriores, as observações em campo e análise das imagens de satélites indicam intenso adensamento urbano. A análise dos padrões de moradia mostram mais de uma residência no mesmo lote. Popularmente conhecido como ‘puxadinho’, o dono do lote amplia o número de residências no mesmo espaço para fornecer moradia para as famílias de parentes (filhos, pais, sobrinhos etc).

A retificação (canalização) do curso do córrego do Lenheiro que corre na área urbana, somado 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 etc.

A análise do questionário respondido pelos moradores indica que eles vivem conflitos diários relacionados ao mau cheiro proveniente do córrego, à presença de insetos e/ou roedores, à problemas de infraestrutura sanitária etc. Os moradores destacaram que em muitas ruas há uma única rede para a coleta do esgoto e das águas pluviais e no período chuvoso é corriqueiro o retorno das águas pluviais juntamente com o esgoto para dentro das residências.

Alguns moradores avaliam as situações de riscos conforme são atingidos pelas enchentes e inundações, conforme o relato de um morador “*Minha casa está em uma área normal, na última chuva entrou água só na garagem dentro de casa isso nunca aconteceu*”.

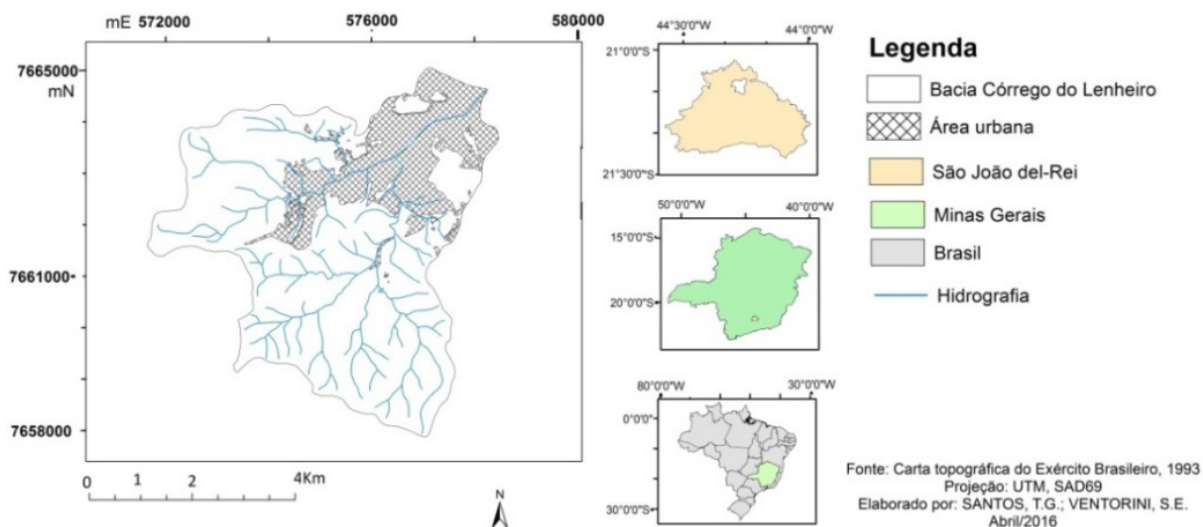


Figura 2 Mapa de localização da bacia do córrego do Lenheiro

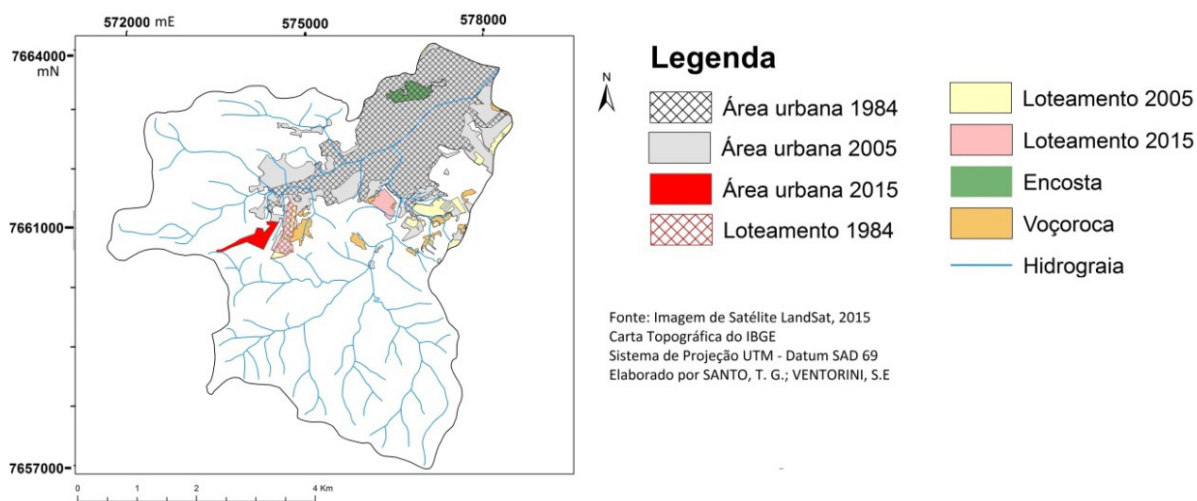


Figura 3 Expansão urbana de 1984 a 2015

A análise do perfil topográfico indica que de 1984 a 2015 a área urbana da bacia do córrego do Lenheiro expandiu-se em direção às vertentes. A área urbana da bacia possui maior expressão nas cotas altimétricas menores (880 a 940 metros). A ocupação dessas áreas de várzea é resulante do pro-

cesso histórico de exploração aurífera e se perpetua até hoje, mas a ausência de espaço para novos loteamentos impulsionam a ocupação das vertentes, próximas ao núcleo urbano antigo. A **figura 4** mostra o mapa hipsométrico com os traçados para a elaboração dos perfis e os perfis topográficos.

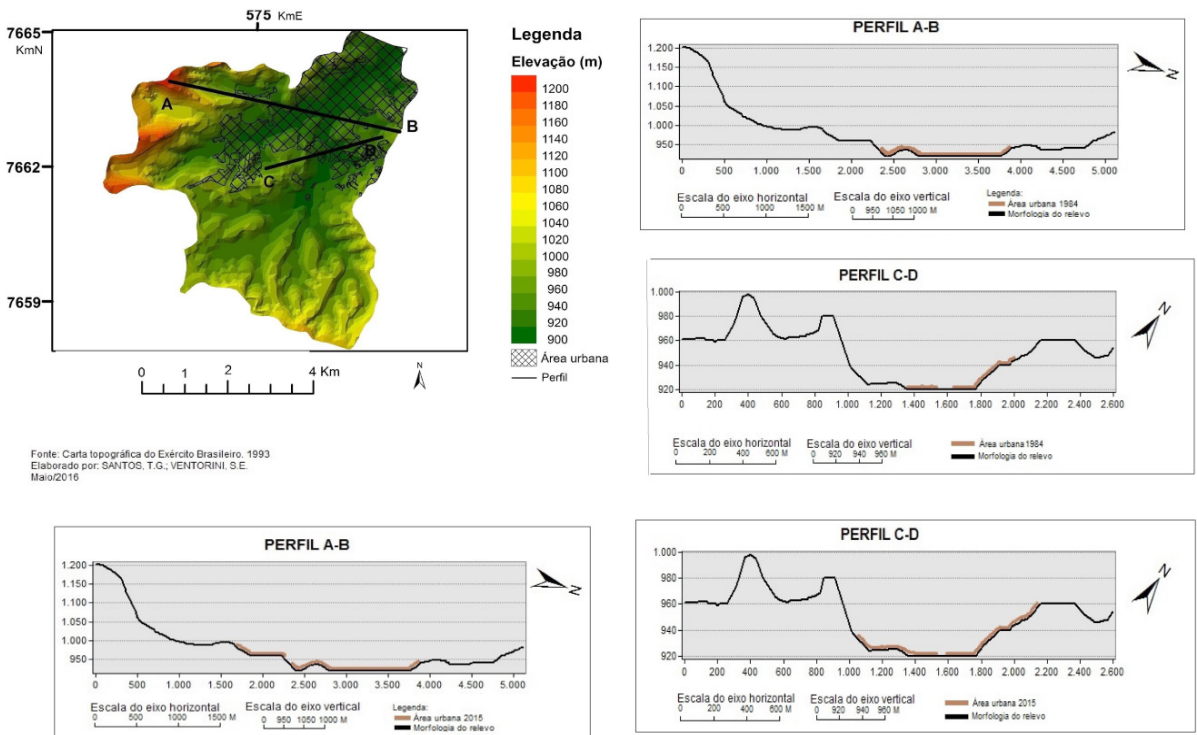


Figura 4 Perfil topográfico referente as áreas de vale

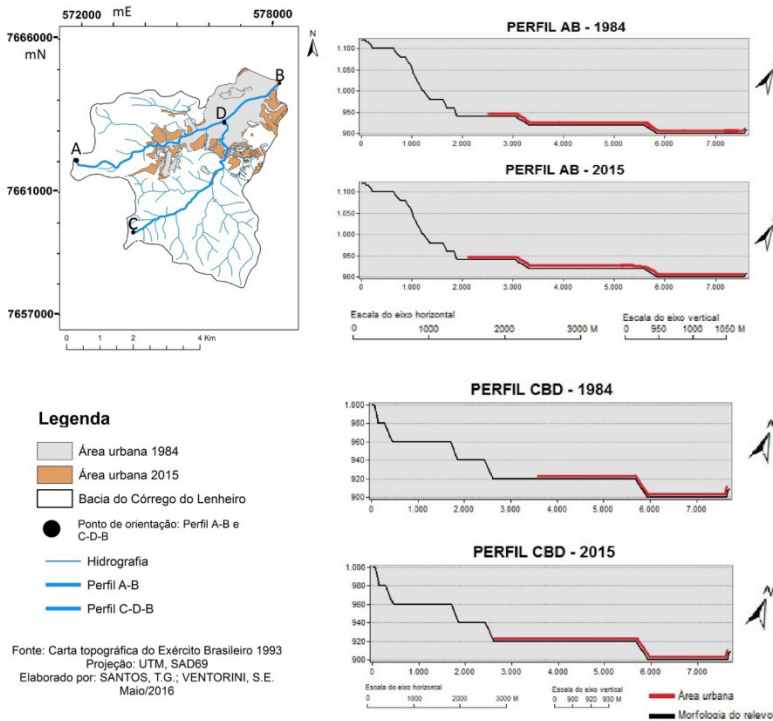


Figura 5 Mapa da expansão urbana e perfis longitudinais do córrego do Lenheiro (A-B) e do córrego do rio Acima (C-B-D)

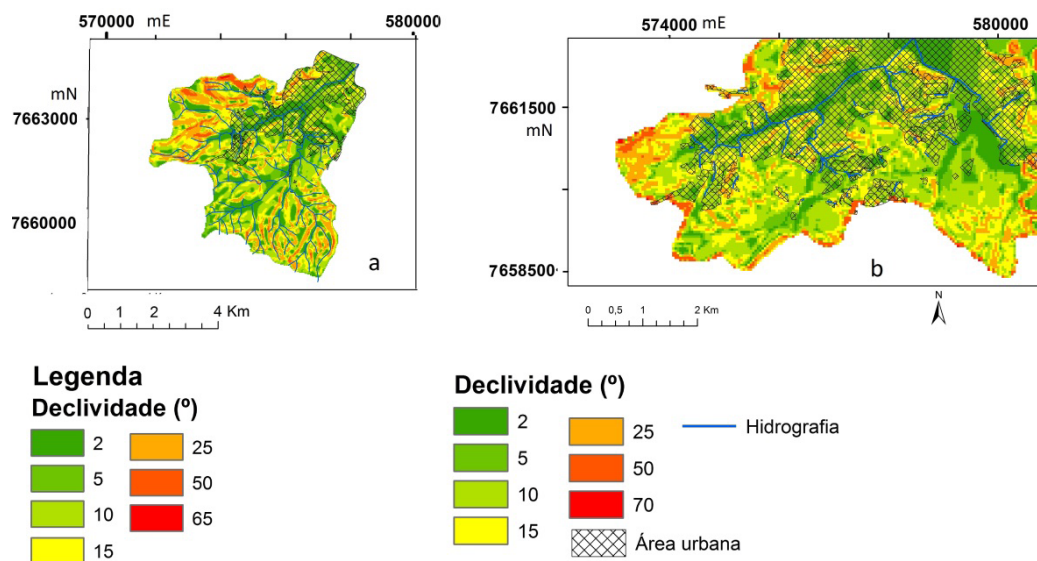
Em períodos de precipitação, a dinâmica natural da bacia somada a impermeabilização do solo, acelera o escoamento das águas superficiais que são depositadas em um único ponto. A **figura 5** mostra o mapa da expansão urbana nos anos de 1984 e 2015 e os perfis longitudinais, com a área urbana, do córrego do Lenheiro (A/B) e do rio Acima (C/D/B).

O mapa de declividade indica a ocupação urbana em declividades inferiores a 10° ao longo das áreas de várzea do córrego do Lenheiro e seus afluentes (**Figura 6**). As menores declividades, escoamento superficial lento, somado a impermeabilização do solo e lançamento de esgoto e águas pluviais direto no córrego do Lenheiro intensificam a suscetibilidade da área a ocorrências dos desastres humanos de natureza. Além disso, a ocupação urbana em declividades entre 15° a 50° ao longo das vertentes em sentido

a serra do Lenheiro. A impermeabilização das vertentes acelera o escoamento superficial, cujas águas são depositadas na planície do córrego do Lenheiro e elevando o nível das margens plenas.

A análise dos registros do PCPDC (Defesa Civil, 2015) vem ao encontro dos resultados e análises da pesquisa. Na área urbana referente a bacia do córrego do Lenheiro houve registros nos anos de 2001, 2004, 2007, 2012 e 2013. Os registros são obtidos por meio de informes da população junto a Defesa Civil Municipal. No período chuvoso de 2011/2012, as precipitações contribuíram para a ocorrência de desastres humanos de natureza –enchentes, inundações e deslizamentos– onde 2.218 pessoas foram afetadas e duas desabrigadas (**Figura 7**).

Os danos as edificações, vias de acesso, pontes e sistema de distribuição de água e captação de esgoto somam o valor de R\$ 2.780.865,00 (Defesa Civil; 2015).



Fonte: Carta topográfica do Exército Brasileiro, 1993
Carta Topográfica do IBGE, 1971

Projeção: UTM, SAD69
Elaborado por: SANTOS, T.G.; VENTORINI, S.E. Abril/2016

Figura 6 Mapas de declividade elaborados a partir de cartas topográficas nas escalas 1:50.000 (a) e 1:25.000 (b).



Figura 7 Elevação das águas do correjo do Lenheiro em janeiro de 2012. Fonte: Rei (2013)

No período chuvoso de 2013/2014, as enchentes e inundações atingiram 1.500 pessoas, algumas edificações foram danificadas e os prejuízos foram estimados no valor de R\$ 170.868,36 (Defesa Civil, 2015).

6. Conclusões

No Brasil os desastres naturais não ocasionam danos significativos a população. Os prejuízos socioeconômicos e os óbitos são ocasionados por desastres humanos de natureza. As enchentes e inundações estão relacionadas às ações humanas como ocupação e impermeabilização de margens de rios, precária infraestrutura para coleta de esgoto e águas pluviais, canalização de córregos e rios etc.

Embora a legislação brasileira legitime a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão urbana, assim como para as medidas mitigadoras para o mapeamento de áreas suscetíveis aos desastres, os municípios brasileiros enfrentam dificuldades para identificar e mapear estas áreas. Os gestores e planejadores municipais enfrentam dois problemas relacionados à ausência de recursos humanos especializados para elaborar uma base de dados cartográfica que possibilite diagnosticar áreas com probabilidades de desastres e mapas bases em escalas adequadas e com informações confiáveis. Realidade vivenciada pelo município de São João del-Rei - MG.

A pesquisa apresentada nesse artigo mostrou que a ocupação das margens do córrego do Lenheiro no século XVII se perpetua até hoje, devido à proximidade da área em relação à zona central da cidade. Indicou ainda, que as enchentes e inundações são potencializadas na bacia devido à ação antrópica como ocupações das áreas de várzea, precária infraestrutura de saneamento básico e impermeabilização do solo etc.

O lançamento de esgoto *in natura* e resíduos direto para os cursos d'água contribui para a ocorrência de enchentes e inundações e ainda,

degrada a bacia do rio Acima, uma vez que, são sistemas indissociáveis. Entender a dinâmica de fenômenos que geram impactos em bacias menores permite uma análise e compreensão a relação entre as partes e o todo (Pôssa & Ventorini, 2014).

A pesquisa indica, ainda, a precariedade do PCPDC de 2013 e 2015, no que se refere ao mapeamento apresentado e reforça a importância da elaboração de uma base de dados com critérios técnicos e/ou científicos. Embora o documento tenha sido atualizado, o mapeamento apresentado demanda de atualizações e colocações técnicas e/ou científicas.

Desta forma, esta pesquisa contribui para que medidas mitigadoras possam ser tomadas para a diminuição dos prejuízos socioeconômicos e para a amenização dos impactos ambientais na bacia.

7. Notas

- ¹ No Brasil, o período chuvoso corresponde aos meses de outubro a março.
- ² Segundo o autor, em 1995 no dia do terremoto, o valor convertido em dólar era de aproximadamente 100 bilhões. Na mesma data cada US\$1 correspondia a 100 yenes.
- ³ No estado de Minas Gerais, o período chuvoso corresponde aos meses de outubro a março; período seco aos meses de maio a agosto e o período intermediário, os meses de abril e setembro. Realizou-se três campos por ano, um em cada período.

8. Referências citadas

- ALMEIDA, G. P.; VENTORINI, S. E.; MAUS, J. J. & T. G. SANTOS. 2014. Mapeamento da expansão urbana em áreas suscetíveis à ocorrência de processos perigosos em São João del-Rei, MG. In: *Encontro Internacional De Vulnerabilidades E Riscos Socioambientais*. 1-10. Anais.
- ALMEIDA, G. P. & S. E. VENTORINI. 2014. “Mapeamento participativo de áreas de risco a movimento de massa no bairro Senhor dos Montes, São João del-Rei, MG”. *Caderno de Geografia*, 24(1): 79-93. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/issue/archive>>. [Acesso em: fevereiro, 2015].
- BANCO MUNDIAL. 2012. *Avaliação de perdas e danos: Inundações e deslizamentos na região serrana do Rio de Janeiro - Janeiro 2011*. Editora Exclusiva, Brasília. Disponível em: http://mi.gov.br/pt/c/document_library/get_file?uuid=74dde46c-544a-4bc4-a6e1-852d4c09be06&groupId=10157>. [Acesso em: junho 2016].

- BAPTISTA NETO, A. 2011. “Histórico dos desastres naturais em Santa Catarina e ações da Secretaria de Estado da Defesa Civil”. Secretaria de Estado da Defesa Civil. Color. Florianópolis, Brasil. Disponível em: <http://circam.epagri.sc.gov.br/circam_arquivos/arquivos/portal/imprensa/seminario/palestra_defesa.pdf>. [Acesso em: maio, 2016].
- BRAGON, R. 2009. *Temporal causa morte e prejuízos em Belo Horizonte (MG)*. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/cotidiano/2009/03/17/ult5772u3256.jhtm>>. [Acesso em: março, 2009].
- BRASIL. Decreto nº 1.524, de 20 de junho de 1995. Estatuto da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CRPM). Brasília, Brasil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D1524.htm>. [Acesso em: junho, 2016].
- BRASIL. Lei No. 9.433, de 9 de janeiro de 1997. Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, Brasil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. [Acesso em: junho, 2016].
- BRASIL. Lei No. 9.984, de 9 de julho de 2000. Criação da Agência Nacional das Águas - ANA. Brasília, Brasil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm>. [Acesso em: junho, 2016].
- BRASIL. Lei No. 12.608, de 10 de abril de 2012. *Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC*. Brasília, Brasil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. [Acesso em: junho, 2016].
- BRASIL. 2007. *Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*. Instituto de Pesquisa Tecnológica, Ministério das Cidades. Brasília, Brasil.
- BRASIL. 2012. *Anuário brasileiro de desastres naturais: 2012*. Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD). Brasília, Brasil.
- BRASIL. 2013. *Anuário brasileiro de desastres naturais: 2013*. Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD). Brasília, Brasil.
- BURTON, M. L. & M. J. HICKS. 2005. *Hurricane Katrina: Preliminary Estimates of Commercial and Public Sector Damages*. Center for Business and Economic Research Marshall University One John Marshall Way Huntington, WV 25755.
- CAJAZEIRO, J. M. D. 2012. *Análise da susceptibilidade à formação de Inundações nas bacias e áreas de contribuição do Ribeirão Arrudas e córrego da Onça em termos de Índices morfométricos e impermeabilização*. Curso de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. Dissertação de Mestrado.

- CASTRO, A. L. C. 1998. *Glossário de defesa civil: estudo de riscos e medicina de desastres*. MPO / Departamento de Defesa Civil. Brasília, Brasil.
- CEARÁ. GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. 2008. *O Brasil e os terremotos*. Defesa Civil, Color. Fortaleza, Brasil.
- CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS e PESQUISAS SOBRE DESASTRES. 2011. *Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Minas Gerais*. CEPED UFSC. Florianópolis, Brasil.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1979. *Análise de sistemas em Geografia*, Hucitec/Edusp. São Paulo, Brasil.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1990. “A aplicação da abordagem em sistema na geografia física”. *Revista Brasileira de Geografia*, 2(52): 21-35.
- CODIFICAÇÃO DE DESASTRES, AMEAÇAS e RISCOS (CODAR). 1995. *Sistemática de codificação*. Diário Oficial. Brasília, Brasil.
- DEFESA CIVIL. 2013. *Plano de contingência de proteção e defesa civil*. São João del-Rei. Minas Gerais, Brasil.
- DEFESA CIVIL. 2015. *Plano de contingência de proteção e defesa civil*. São João del-Rei. Minas Gerais, Brasil.
- HORA, S. B. da & R. L. GOMES. 2009. “Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA”. *Sociedade & Natureza*, 2(21): 57-75. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sn/v21n2/a05v21n2.pdf>>. [Acesso em: setembro, 2016].
- KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. de O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F. & F. de M. RUDORFF. 2006. *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*. Editora Organic Trading. Florianópolis, Brasil. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima/files/2014/05/prevencaodedesastresnaturaisconceitosbasicos1.pdf>>. [Acesso em: fevereiro, 2015].
- MALDOS, R. 2000. *A formação urbana da cidade de São João del-Rei*. Disponível em: <<http://www.saojoaodelreitransparente.com.br/works/view/605>> [Acesso em: janeiro, 2013].
- MARCELINO, E. V. 2008. “Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos”. *Caderno Didático* nº 1. INPE/CRS. Disponível em <<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>> [Acesso em: outubro, 2014].
- MAUS, J. J.; VENTORINI, S. E. & ALMEIDA, G. P.; T. G. SANTOS. 2014. 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. *Séptimo Congreso de la Ciencia Cartográfica, Logros y desafíos de la cartografía*. Buenos Aires, Argentina.

- MINAS GERAIS. 2014. *Plano de Emergência Pluviométrica 2014/2015*. Gabinete Militar do Governador. Coordenadoria Estadual de Defesa Civil-Cedec/MG. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- MOURA, A. C. M. 2003. *Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano*. Ed. da autora. Belo Horizonte, Brasil.
- PÔSSA, E. M. & S. E. VENTORINI. 2014. “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*, 2: 49-67.
- PÔSSA, E. M. & S. E. VENTORINI. 2015. “Mapeamento digital da bacia do córrego Do Julio - São João Del-Rei - Mg Como Suporte Ao Diagnóstico Geoambiental”. *Boletim de Geografia* (Online), 33: 64-80.
- REDE SISMOGRÁFICA BRASILEIRA. 2014. *Boletim Sísmico Brasileiro*. Disponível em: <<http://www.rsbr.gov.br/catalogo/bsb-2014.06.zip>>. [Acesso em: maio, 2016].
- REI (Notícias de São João Del). 2013. *Tromba d'água deixa o bairro Tijuco com ruas alagadas*. 2013. Disponível em: <<http://noticiasdesaojoaodelrei.blogspot.com.br/2012/03/>>. [Acesso em: junho, 2017].
- REIS, P. O. 2011. *O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG: estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas*. Curso de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. Dissertação de Mestrado. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MPBB-8JAJ8X/disserta_o_completa_impress_o.pdf?sequence=1>. [Acesso em: outubro, 2016].
- ROSS, J. L. S. 1995. “Análise e síntese na abordagem Geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental”. *Revista do Departamento de Geografia*, 9(1): 65-75.

- SANTOS, T. G.; VENTORINI, S. E. & G. P. ALMEIDA. 2016. “Mapeamento de Áreas suscetíveis a ocorrência de enchentes e inundações na bacia do córrego do Lenheiro”. In: G. SEABRA (Org.). *TERRA Paisagens, Solos, Biodiversidade e os Desafios para um Bom Viver*. V. 1. pp. 1.331-1.3411. ed. Ituiutaba, Barlavento, Brasil.
- SATO, J. M. & Y. KUMAGAI. 1996. “Kobe: ¿Un desastre no anunciado?”. *Desastres y Sociedad, América Latina*, 6(4): 1-20.
- SILVA, E. S. 2002. *Utilização de ortofotocartas digitais no sistema de gerenciamento de redes da distribuição*. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização).
- SOUZA, T. A. & C. M. L. CUNHA. 2012. “Análise dos atributos físico-ambientais do município de Praia Grande-SP”. *Sociedade & Natureza*, 2(24): 303-318.
- TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J. & R. AMARAL. 2009. *Desastres Naturais: conhecer para prevenir*. Instituto Geológico, São Paulo, Brasil. Disponível em: <<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>>. [Acesso em: maio, 2015].
- TUCCI, C. E. M. & J. C. BERTONI. (Org.). 2003. *Inundações urbanas na América do Sul*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (Abrh). Porto Alegre, Brasil. Disponível em: <<http://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/inbr02803.pdf>>. [Acesso em: abril, 2016].
- ZACHARIAS, A. A. 2007. *A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental*. Editora Unesp. São Paulo, Brasil.

Lugar y fecha de finalización del artículo:
São João del-Rei, Minas Gerais, Brasil;
noviembre, 2016