

A UTILIZAÇÃO DAS GEOTECNOLOGIAS EM REDUÇÃO DE RISCOS

Cynthia Maria Amaral (UFF) • Claudio Henrique Reis (UFF)
José Augusto Ferreira da Silva (IFFluminense) • Raul Reis Amorim (Unicamp)

Introdução

A expansão urbana e sua forma de ocupação interferem nos impactos ambientais em áreas denominadas de risco, ou seja, áreas que podem ser atingidas por fenômenos, processos naturais ou induzidos, que causem perdas materiais e patrimoniais e efeito danoso à integridade física dos que ali habitam¹. Esses processos são importantes para compreensão e identificação das rápidas transformações da paisagem, sobretudo nas encostas urbanas e fundos de vale. As intervenções antrópicas nesses ambientes afetam as formas do relevo e seus processos naturais operantes, podendo gerar desequilíbrio natural e catástrofes, a depender da localização da área e do seu material constituinte^{2,3}.

O relevo acidentado, com altas declividades e dissecação profunda vertical, e as chuvas concentradas são as principais variáveis que possibilitam a frequente ocorrência de movimentos de massa nas encostas por meio do rápido escoamento superficial, que se intensifica quando há aumento da urbanização⁴.

Os movimentos de massa, processo natural de modificação da paisagem, são caracterizados como o transporte coletivo de material, seja rochoso e/ou de solo, em que a ação da gravidade tem função principal, podendo ou não ser potencializado pela ação da água, sobretudo das precipitações⁵.

Estudos especializados sobre o tema têm destacado a continuidade e frequência desse evento, caracterizando seus elementos naturais em conjunto com as alterações antrópicas nas feições do relevo, comumente com elevado grau de declividade. Nesse sentido, Guimarães

¹ BRASIL. Ministério das Cidades. IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília, 2007. 176 p. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicacao/Livro_Mapeamento_Enconstas_Margens.pdf. Acesso em: 29 jul. 2016.

² GUERRA, A. J. T. Encostas Urbanas. In: GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 13-42.

³ 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.

⁴ VIEIRA, V. T; CUNHA, S. B. Mudanças na rede de drenagem urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). In: CUNHA, S. B; GUERRA, A. J. T. (orgs.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. p. 111-145.

⁵ GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. 192 p.

et al. (2008)⁶ expõem que as atividades e alterações humanas nos espaços urbanos têm se tornado de maior preocupação devido à irregular e intensa ação nas encostas, com corte de sopés, retirada de taludes e da cobertura vegetal, acelerando e promovendo a ocorrência dos movimentos de massa, principalmente dos escorregamentos de terra.

Essas alterações, sobretudo a urbanização desordenada alinhada ao processo de desmatamento, também aumentaram significativamente o número de pessoas afetadas pelo processo de inundação nas áreas de fundos de vale. A inundação, por sua vez, caracteriza-se pelo extravasamento dos cursos d'água que passam a atingir o leito maior, ainda dentro do limite da planície de inundação, mas que se encontra irregularmente ocupado nas áreas urbanas⁷.

Os tipos de inundação que podem atingir essas áreas são as graduais e as bruscas, sendo que as primeiras acontecem em maior intervalo de tempo, ou seja, a cheia dos rios ocorre vagarosamente até sua cota e, assim, há o extravasamento. Nesse tipo de inundação, é possível que se alarme a população residente para que saia de suas residências. Por outro lado, na inundação brusca, não há tempo de fato para avisos, a cheia acontece em um curto espaço de tempo, e ocorre o extravasamento de forma repentina, gerando prejuízos e promovendo catástrofes⁸.

As áreas não recomendadas para instalação ou qualquer tipo de construção para atividade humana são denominadas áreas de risco. Por risco, entende-se como objeto social a percepção do perigo, da catástrofe possível. Uma determinada área somente será considerada de risco se ali houver presença e/ou interferência antrópica. Assim, o risco é a percepção humana de ameaça à sua vida, integridade física e/ou socioeconômica⁹.

A potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma determinada área denomina-se suscetibilidade. Diz-se, portanto, que uma determinada área é suscetível ao risco de escorregamentos e inundações, por exemplo, de acordo com classes de probabilidade. A vulnerabilidade se confirma para um elemento, grupo ou comunidade dentro de uma área passível de ser atingida ou afetada por um fenômeno ou processo natural. Assim, quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco¹. Portanto, faz-se necessário levar em conta os fatores físicos, históricos e sociais para a compreensão do processo de ocupação das áreas de risco, a sua dinâmica e desenvolvimento.

Essa problemática tem ganhado ênfase nas últimas décadas, sobretudo nos ambientes demasiadamente antropomorfizados das áreas urbanas. A identificação desses ambientes, propícios aos processos de movimento de massa e inundações, pode elencar estratégias para conservação do solo, minimizando a sua degradação e visando aos agentes modificadores do relevo, sejam naturais ou artificiais, bem como para atuação preventiva junto à população residente nessas áreas.

⁶ GUIMARÃES et al. Movimentos de massa. In: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 159-184.

⁷ GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. Disponível em: http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf. Acesso em: 29 jul. 2016.

⁸ KOBAYAMA, M. et al. **Prevenção de Desastres Naturais**: Conceitos Básicos. 1ª ed. Curitiba: Editora Organic Trading, 2006. 109 p.

⁹ VEYRET, Y. **Os riscos**: o homem como agressor e vítima do meio ambiente (org.); [tradutor Dilson Ferreira da Cruz]. 2. ed., 1ª reimpressão. São Paulo: Contexto, 2015. 319 p.

A utilização das Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) colaboram não somente para uma melhor análise e identificação das áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações, como também para a caracterização da população residente vulnerável. O emprego de imagens de satélite e radar é inerente a esta pesquisa devido à sua importância e agilidade em promover resultados mais específicos e de qualidade.

A utilização das geotecnologias em prevenção de riscos

Sistemas de Informações Geográficas

De acordo com Rosa (2005)¹⁰, o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica constitui as geotecnologias. Essas, por sua vez, são compostas por *hardware*, *software* e *peopleware* que, acoplados, constituem ferramentas eficientes, dentre as quais se destacam os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global (GPS) e Topografia.

As aplicações das geotecnologias em diferentes campos têm sido cada vez maiores e frequentes, sendo que as referentes ao Sensoriamento Remoto e aos SIGs estão mais integradas¹¹.

Os SIGs são um sistema com capacidade para coleta, aquisição, armazenamento, processamento, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos, que viabilizem dados e informações a ele vinculados^{12,13}.

Assim, as principais características dos SIGs, segundo Câmara e Davis (2001)¹⁴, são:

- a) inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- b) oferecer mecanismos para combinar as várias informações, por meio de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

As técnicas de Sensoriamento Remoto associadas a outras geotecnologias, como os SIGs, apresentam potencialidades para execução e melhorias de diversas atividades, sobretudo nos processos de gestão integral de riscos e desastres naturais, sendo assim indispensáveis para o planejamento de áreas urbanas e identificação de áreas de risco^{15,16}.

¹⁰ ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 16, p. 81-90. 2005. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>. Acesso em: 25 jul. 2016.

¹¹ FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 17, p. 24-29, 2005. Disponível em: http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_17/Teresa_Gallotti_Florenzano.pdf. Acesso em: 10 jul. 2016.

¹² FITZ, P. R. *Geoprocessamento sem complicação*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

¹³ ROCHA, C. H. B. *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar*. 3ª ed. rev. e atual. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2007. 220 p.

¹⁴ CAMARA, G.; DAVIS, C. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 25 maio 2016.

¹⁵ GREGORIO, L. T.; SAITO, S. M.; SAUSEN, T. M. Sensoriamento Remoto para a Gestão (de risco) de Desastres Naturais. In: SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. (org.). *Sensoriamento Remoto para Desastres*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 44-67.

¹⁶ LANG, S.; BLASCHKE, T. *Análise da paisagem com SIG*. Tradução Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 424 p.

A sua funcionalidade nos estudos de alguns processos, como erosões, movimentos de massa e inundações, é dar condições que facilitem a representação e análise desses processos, na busca pelo seu controle e prevenção, na tentativa de reduzir ao máximo quaisquer tipos de problemas que esses fenômenos naturais e facilmente agravados pela ação antrópica possam causar¹⁷.

Desse modo, os SIGs expressam atualmente uma ferramenta prática e de alta capacidade de compreensão da dinâmica espacial, para quaisquer estudos que possam sintetizar dados. O auxílio das imagens de satélite proporciona a elaboração de um planejamento mais eficiente e a facilitação dos estudos voltados para a área. Sobretudo, ressalta-se a importância dos trabalhos de campo para acompanhar e verificar os resultados obtidos pelo SIG, ou seja, não se pode dispensar a forma de comprovação dos resultados obtidos em gabinete. Atualmente, com a grande gama de informações, utilizam-se os SIGs para o planejamento, no âmbito social ou físico.

Geoprocessamento

O conceito de Sistema de Informação Geográfica (SIG), apesar da sua larga utilização, é por vezes confundido com geoprocessamento, sendo que o conceito deste é mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, enquanto um SIG, conforme citado anteriormente, processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos), com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies¹⁸.

Geoprocessamento é, portanto, o conjunto de tecnologias para coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. Diversas áreas do mercado já atuam com os procedimentos e as técnicas do geoprocessamento, que oferecem maior domínio do espaço analisado, agilidade e subsídio para tomada de decisões¹⁹.

O geoprocessamento é utilizado atualmente para atender à necessidade de conhecer a distribuição e o comportamento espacial das unidades geomorfológicas, bem como serve como base para ações e intervenções administrativas²⁰.

Sensoriamento Remoto

Em 1960, o termo sensoriamento remoto aparecia pela primeira vez na literatura científica e, desde então, vem abrigando tecnologia e conhecimento complexos que perpassam por vários campos da ciência²¹.

¹⁷ LOUREIRO, H.A.S.; FERREIRA, S.M. O papel das geotecnologias no estudo de feições erosivas e de movimentos de massa no Brasil. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O (orgs.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 95-125.

¹⁸ MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 4ª. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011. 422 p.

¹⁹ INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. DPI. Departamento de Processamento de Imagens. **Tutorial de Geoprocessamento**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>. Acesso em: 13 dez. 2015.

²⁰ GOES, M.H.B. et al. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento e análise geomorfológica de áreas urbanas. In: XAVIER DA SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. (orgs.). **Geoprocessamento & meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 167-200.

²¹ NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. - São Paulo: Blucher, 2010. 387 p.

O Sensoriamento Remoto pode ser definido como a aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, nos permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra, sem contato físico com os objetos^{21,13}.

Para Florenzano (2008)²², o Sensoriamento Remoto é a tecnologia de aquisição de dados da superfície terrestre a distância, ou seja, através de sensores localizados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais. Loch (2008)²³ complementa dizendo que sensoriamento é o conjunto de atividades cujo objetivo é a caracterização das propriedades de alvos naturais, através da detecção, registro e análise de fluxo de energia radiante refletido ou omitido por eles.

Na gestão de risco de desastres naturais, o Sensoriamento Remoto, nos últimos anos, tem se revelado uma ferramenta essencial para identificação das ameaças e caracterização das populações vulneráveis e pode vir a contribuir com informações de ocorrências anteriores de processos que resultaram em desastres, técnica essa também importante para os estudos e análises de uso e ocupação da terra, na esfera físico-ambiental ou na esfera econômica¹⁵.

Ao se tratar dos movimentos de massa e dos processos erosivos, o Sensoriamento Remoto tem grande vantagens na detecção, no mapeamento e no seu monitoramento. Com imagens de satélites, é possível, por exemplo, fazer identificação de cicatrizes de escorregamentos de terra, bem como da área de abrangência desses processos. A forma das vertentes, umidade do solo, canais de drenagem, tipo e densidade de cobertura vegetal e uso da terra também são passíveis de identificação e mapeamento¹⁷.

Sistemas Sensores Orbitais

Os sistemas sensores orbitais operam em faixas espectrais desde o visível até às micro-ondas¹⁸ e exploram as características de uma plataforma embarcada em uma órbita que: deve ser circular, para garantir que as imagens tomadas em diferentes regiões da Terra tenham a mesma resolução e escala; permita o imageamento cíclico da superfície, para garantir a observação periódica e repetitiva dos mesmos lugares; seja heliossíncrona, ou seja, síncrona com o Sol, para que as condições de iluminação da superfície terrestre se mantenham constantes; e, por fim, permita que o horário da passagem do satélite atenda às solicitações de diferentes áreas de aplicação (geologia, geomorfologia, agricultura, entre outros)¹⁹.

De acordo com Reis (2007)²⁴, as imagens orbitais possuem quatro características básicas: Resolução espectral – é definida pelo número de bandas espectrais de um sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda. Quanto maior o número de bandas, menor é a largura do intervalo e maior é a resolução espectral de um sensor;

²² FLORENZANO, T. G. Sensoriamento remoto para geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 31 – 71.

²³ LOCH, C. **A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. 5. ed. rev. atual. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2008. 103 p.

²⁴ REIS, C. H. **Caracterização espacial do uso da terra em áreas de manguezais utilizando diferentes sistemas orbitais: um caso aplicado aos manguezais da APA Guapimirim**. Rio de Janeiro, 2007. xix, 148 f. Tese (Doutorado) – IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

Resolução espacial – é definida pela capacidade do sistema sensor em discriminar os objetos na superfície terrestre: quanto menor o objeto possível de ser visto, maior a resolução espacial;

Resolução radiométrica – é definida pelo número de níveis digitais, representando níveis de cinza, usados para expressar os dados coletados pelo sensor. Quanto maior o número de níveis de cinza, maior é a resolução radiométrica;

Resolução temporal – é definida pelo intervalo entre a passagem do satélite no mesmo lugar. Quanto menor o intervalo de tempo entre uma passagem e outra, maior será a resolução temporal.

A seguir, serão discutidos os sensores RapidEye e SRTM (projeto TOPODATA), que foram utilizados nesta pesquisa.

Sensor RapidEye

O sistema RapidEye é formado por uma constelação de cinco satélites de Sensoriamento Remoto, idênticos e posicionados em órbita síncrona com o Sol, com igual espaçamento entre cada satélite, permitindo estabelecer novos padrões de eficiência relacionados à repetitividade de coleta e à exatidão das informações geradas sobre a superfície da Terra. O sistema é capaz de produzir imagens de qualquer ponto do globo, todos os dias, permitindo assumir uma postura proativa ao capturar imagens de regiões relevantes e torná-las disponíveis mais rapidamente e com maior eficácia²⁵. As especificações gerais do sensor encontram-se dispostas a seguir (Quadro 1).

352

SENSOR RAPIDEYE	
Órbita	Heliossíncrona; Altitude: 630 km
Horário do Imageamento	11 h 00 min AM
Bandas do Sensor	Vermelha, Verde, Azul, Vermelho Limitrofe e Infrav. Próximo
Resolução Espacial	5 m
Resolução Radiométrica	12 bits por pixels
Resolução Temporal	Diária - 30° off nadir
Resolução Espectral	Banda 1 (440-510 μm)
	Banda 2 (520-590 μm)
	Banda 3 (630-685 μm)
	Banda 4 (690-730 μm)
	Banda 5 (760-850 μm)
Comprimento da faixa	77 km no nadir
Frequência de Revisita	Diariamente fora do nadir/5,5 dias (no nadir)
Espaçamento de pixel	6,5 m no nadir
Ângulo máximo de visada	+/- 65° off-nadir
Capacidade de coleta	4 milhões km ² por dia
Acurácia posicional	Acurácia especificada de 50 m CE90% no nadir excluindo efeitos de terreno

Quadro 1 - Especificações técnicas básicas do sensor RapidEye

Fonte: Adaptado de Felix, Kazmierczak e Espindola (2014)²⁵; Ehlers (2007)²⁶

²⁵ FELIX, I. M.; KAZMIERCZAK, M. L.; ESPINDOLA, G. M. RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 25-30 abril 2009, Natal, Brasil. **Anais** [...]. São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7619-7622. Disponível em: <http://mar.tecid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.14.18/doc/7619-7622.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2016.

²⁶ EHLERS, M. Sensoriamento Remoto para usuários de SIG – Sistemas Sensores e Métodos: entre as exigências do usuário e a realidade. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG avançados**: novos sistemas sensores: métodos inovadores. [tradução de Herman Kux]. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 304 p.

Sensor SRTM e Projeto TOPODATA

A aquisição de imagens por radar é capaz de coletar dados, independente do clima ou das condições de iluminação do ambiente, a qualquer momento e lugar. Em alguns casos, o radar é a única forma de explorar regiões de difícil acesso na superfície terrestre, sendo que determinadas ondas de radar podem até penetrar nuvens e, dependendo de outras condições, podem também ver através da vegetação, gelo e areia seca. Diferente do sensor apresentado anteriormente, as imagens são obtidas na banda de micro-ondas²⁷.

A missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), lançada em fevereiro de 2000, teve como objetivo gerar um modelo digital de elevação (MDE) de 80% do globo terrestre (entre as latitudes 54°S e 60°N), através de interferometria por Sensoriamento Remoto operante na faixa de micro-ondas²⁸.

Os dados foram obtidos com resolução espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30m no Equador), mas, com esse nível de detalhamento, estão disponíveis somente para a área dos Estados Unidos. Para outros países, houve uma reamostragem dos dados para 3 segundos de arco (aproximadamente 90m) de resolução espacial²⁹.

O projeto TOPODATA foi desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) com dados elaborados a partir da SRTM disponibilizados pelo USGS (*United States Geological Survey*). Esses dados disponíveis sofreram correções, passando por um processamento computacional para refinamento no tamanho do pixel, para aproximadamente 30 metros³⁰.

A resolução (aproximadamente 90m) dos dados SRTM disponíveis é considerada razoável para análises em escalas pequenas ou médias, portanto não deve ser aplicada em estudos de maior detalhe²⁹. Assim, para resultados mais refinados, foram utilizados nesta pesquisa dados do projeto TOPODATA, mencionado como TOPODATA/SRTM.

Comportamento Espectral dos Alvos

De acordo com Moraes (2002)³¹, o comportamento espectral de um objeto (alvo) pode ser definido como o conjunto dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, também conhecido como a assinatura espectral do alvo. A assinatura define as feições deste, sendo que a forma, a intensidade e a localização de cada banda de absorção é que caracterizam o objeto.

²⁷ GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento Digital de Imagens**. Revisão técnica: Marcelo Vieira e Maurício Escarpinati; [tradução Cristina Yamagami e Leonardo Piamonte]. 3ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 640 p.

²⁸ LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, SBSR, 30 de abril a 05 de maio de 2011, Curitiba, PR, Brasil. **Anais** [...]. São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4003

²⁹ GROHMANN, C.H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S.S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v.2, n.2, p. 73-83, 2008. Disponível em: http://www.igc.usp.br/pessoais/guano/downloads/Grohmann_etal_2008_RGA.pdf. Acesso em: 29 jul. 2016.

³⁰ VALERIANO, M. M. **Topodata**. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (2008). Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 27 jul. 2016.

³¹ MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2002. Disponível em: http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf. Acesso em: 29 de jul. 2016.

É de suma importância o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre, bem como dos fatores que interferem nesse comportamento, para a extração de informações de dados de Sensoriamento Remoto. Esse conhecimento é importante também à própria definição de novos sensores, do tipo de pré-processamento a que devem ser submetidos os dados brutos ou mesmo à definição da forma de aquisição dos dados (geometria de coleta de dados, frequência, altura do imageamento, resolução limite, etc.)²¹.

A partir de diferentes formas e intensidades de reflectância, consegue-se discriminar e identificar os diferentes alvos existentes na natureza³² (**Figura 1**).

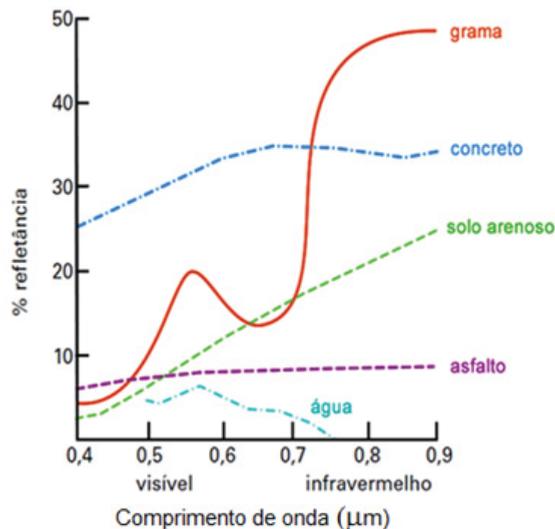


Figura 1 - Comportamento espectral dos alvos

Fonte: Adaptado de Moreira (2011)¹⁸

A seguir serão apresentadas, com melhor detalhamento, características básicas observadas no comportamento espectral de alguns objetos.

Comportamento Espectral em Áreas Urbanas

As áreas urbanas são compostas por inúmeros tipos de alvos, dentre os quais se destacam o asfalto, concretos, telhados de diferentes materiais, vegetação, água, etc. Sousa e Kux (2005)³³ afirmam que o conhecimento das características espectrais dos alvos urbanos é de suma importância na classificação do uso e cobertura da terra com utilização de imagens de satélites. A **Figura 2** mostra as curvas espectrais do concreto e do asfalto, que são materiais que compõem as áreas urbanas edificadas pelo homem²¹.

³² ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7ª ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 260 p.

³³ SOUSA, R. C. A.; KUX, H. J. H. Comportamento espectral de alvos urbanos: simulação com as bandas espectrais do satélite CBERS. In: SÍMPOSIOS BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, SBSR, 12., 2005, Goiânia. **Anais** [...]. São José dos Campos: INPE, 2005, p. 1099-1106.

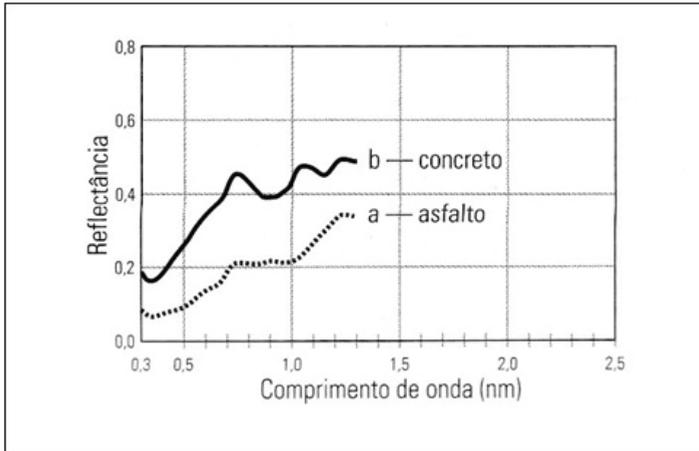


Figura 2 - Comportamento espectral do concreto e asfalto

Fonte: Bowker et al. (1985) apud Novo (2010)²¹

Comportamento Espectral da Vegetação

As plantas, independente das suas características fisionômicas, apresentam um conjunto de órgãos designados à sua sobrevivência, sendo estes de nutrição (raiz, caule e folhas para plantas superiores) e de reprodução (flor, fruto e semente). Para o Sensoriamento Remoto, é suficiente entender os órgãos de nutrição e, com mais detalhe, as folhas, pois nelas são realizados os processos fotossintéticos, ou seja, é onde há interação da energia solar com a planta, basicamente¹⁸.

Segundo Moraes (2002)³¹, a vegetação sadia apresenta alta absorção de energia eletromagnética na região do espectro visível; a absorção é mais fraca na região que caracteriza a coloração da vegetação. A alta reflectância no infravermelho próximo (até 1,3 μ m) é devida à estrutura celular, visto que, a partir desse comprimento de onda, é o conteúdo de água na vegetação que modula as bandas de absorção presentes no seu comportamento espectral.

A medida da reflectância da vegetação depende também de uma série de outros fatores, como as condições atmosféricas, espécie, solo (granulometria, água e nutrientes), índice de área foliar (cobertura da vegetação por unidade de área), estado fenológico (variação sazonal da vida vegetal), biomassa (densidade total da vegetação), folha (forma, posição, água, pigmentação, estrutura interna, etc.), geometria de medida, tipo de sistema sensor e cobertura da copa³².

É importante mencionar que o comportamento espectral da vegetação se altera ao longo do seu ciclo vegetativo. Os impactos das modificações fenológicas e morfológicas sofridas pelas plantas que formam o dossel sobre o comportamento espectral variam, portanto, com a região do espectro, com o tipo de cultura e com o ângulo de visada²¹. A **figura 3** mostra a porcentagem de reflectância de uma vegetação fotossinteticamente ativa em relação ao comprimento de onda e aos elementos envolvidos.

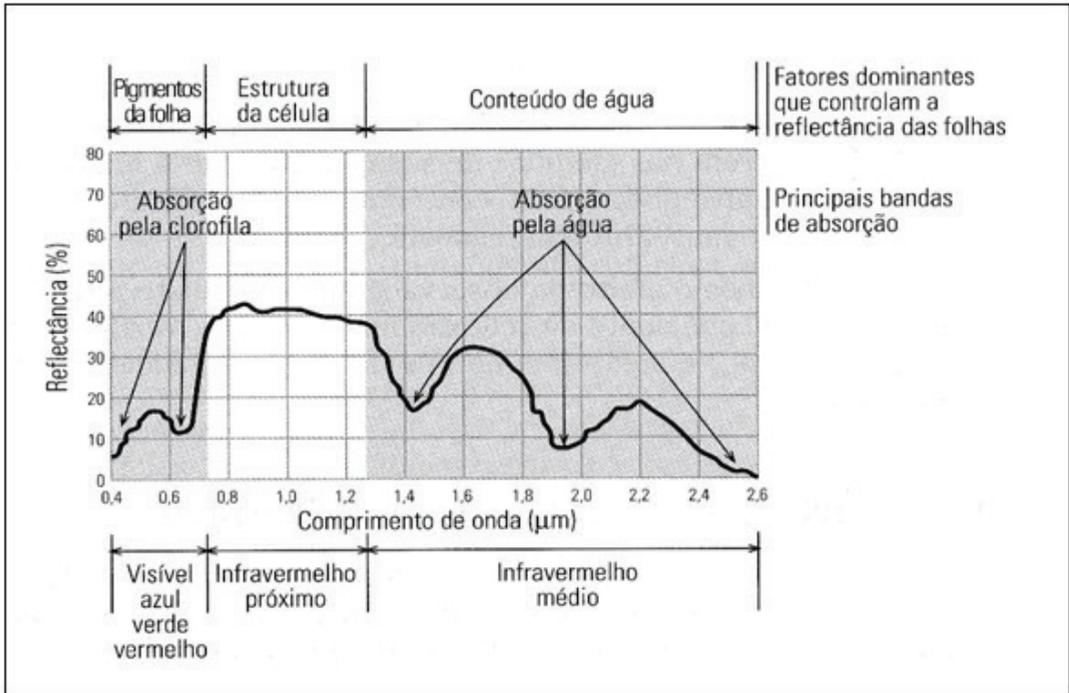


Figura 3 - Curva média da vegetação fotossinteticamente ativa

Fonte: Araújo (1999) apud Novo (2010)²¹

Comportamento Espectral dos Solos

De acordo com Moreira (2011)¹⁸, o solo pode ser definido como um corpo natural da superfície terrestre cujas propriedades são derivadas dos efeitos integrados do clima e dos organismos vivos (plantas e animais), sobre o material de origem, condicionado pelo relevo durante um período de tempo. Em geral, considera-se que os constituintes principais do solo são as partículas minerais, os materiais orgânicos, a água e o ar, mas, devido à ação de agentes externos, esses componentes podem ocorrer em diferentes concentrações. O solo ocupa um espaço tridimensional e está circundado por outros solos com propriedades distintas.

A constituição mineral, a matéria orgânica, a umidade, a granulometria (textura e estrutura) e a capacidade de troca catiônica são os principais fatores que definem o comportamento espectral do solo, ou seja, o comportamento espectral do solo é resultante das combinações e arranjos dos materiais constituintes^{18,32,31}. Assim, afirma Moreira (2011)¹⁸ que a quantidade de energia refletida por determinado tipo de solo é função de todos esses fatores citados que, por sua vez, se encontram no próprio solo.

O **Quadro 2** apresenta cinco tipos de curvas cuja análise permitiu criar condições para sugestão de faixas espectrais para estudos de propriedades do solo²¹.

Tipo de Curva	Região do Espectro	Feição Espectral	Características do Solo
1	0,32 - 1,00 μm	Baixa reflectância Forma côncava	-
2	0,32 - 0,60 μm 0,60 - 0,70 μm 0,70 - 0,74 μm 0,32 - 0,75 μm	Gradiente decrescente Gradiente acentuado Gradiente decrescente Forma convexa	Solos bem drenados pouca matéria orgânica
3	0,32 - 0,60 μm 0,60 - 0,74 μm 0,76 - 0,78 μm 0,88 - 1,00 μm	Gradiente acentuado Gradiente pequeno Gradiente decrescente Gradiente aumenta c/d	Solos com conteúdo de ferro razoavelmente elevado
4	0,32 - 2,30 μm 0,88 - 1,30 μm	Baixa reflectância Redução da reflectância	Alto conteúdo de ferro e matéria orgânica
5	0,75 - 1,30 μm	Gradiente decrescente. Não há banda de absorção de água em 1,45 μm	Alto conteúdo de ferro e baixo conteúdo de matéria orgânica

Quadro 2 - Principais características das curvas espectrais de solos

Fonte: Novo (2010)²¹

Comportamento Espectral da Água

O conhecimento das propriedades físicas da água é fundamental para compreender sua influência no comportamento espectral dos demais alvos da superfície terrestre¹⁸.

Assim, de acordo com Moraes (2002)³¹, a definição do comportamento espectral da água dependerá da sua forma encontrada na natureza, ou seja, se no estado sólido, líquido ou gasoso (**Figura 4**).

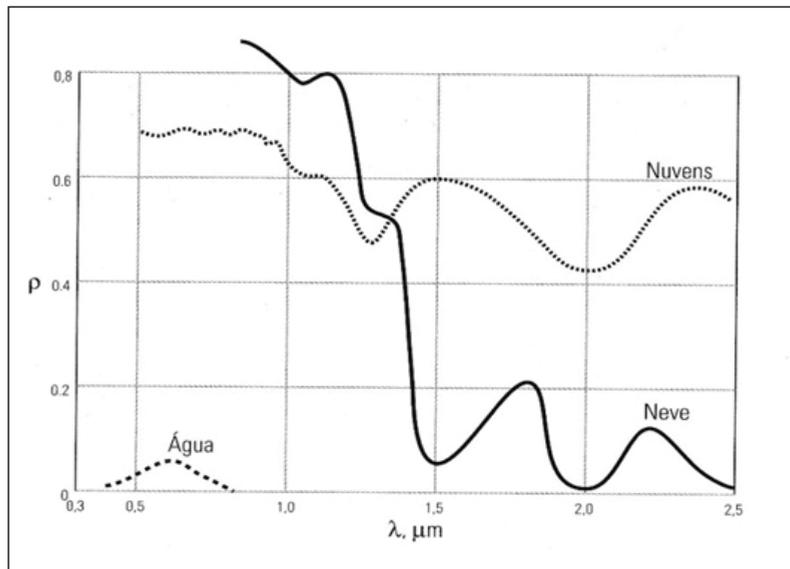


Figura 4: Comportamento espectral da água em seus diferentes estados físicos

Fonte: Bowker et al. (1985) apud Novo (2010)²¹

Em se tratando da água líquida, sua reflectância é menor que 10% (baixa) na faixa compreendida entre 0,38 e 0,7 μ m, e a máxima absorção se dá acima de 0,7 μ m. O comportamento espectral de corpos d'água é modulado principalmente pelos processos de absorção e espalhamento produzidos por materiais dissolvidos e em suspensão, sendo verificado que a presença de matéria orgânica dissolvida em corpos d'água desloca o máximo de reflectância espectral para o verde-amarelo, enquanto a presença de matéria inorgânica em suspensão resulta em deslocamento em direção ao vermelho³⁴.

Estudo de caso em Viçosa/MG

Caracterização da Área de Estudo

O município de Viçosa (**Figura 5**) está inserido a noroeste da Zona da Mata de Minas Gerais, situado entre as coordenadas geográficas de 20°45'14'' de latitude Sul e 42°52'54'' de longitude Oeste, com área total de 299,418 Km² e população de 72 220 mil habitantes, sendo que 4 915 (6,8%) estão na área rural³⁴. Limita-se ao norte com os municípios de Teixeiras e Guaraciaba, ao sul com Paula Cândido e Coimbra, a leste com Cajuri e São Miguel do Anta e a oeste com Porto Firme. O município é formado por quatro distritos: o da sede, Silvestre, São José do Triunfo e Cachoeira de Santa Cruz³⁵.

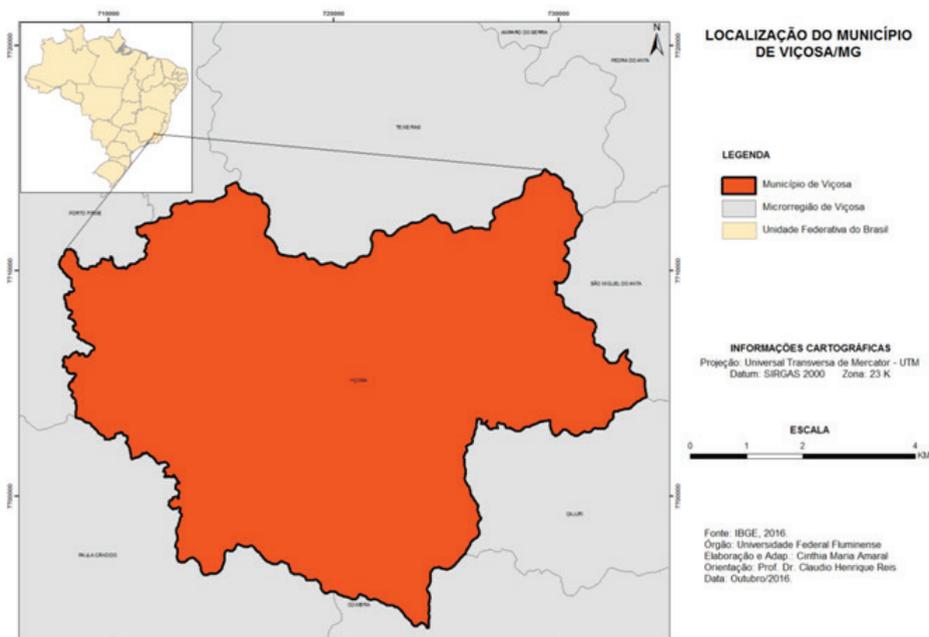


Figura 5: Localização da área de estudo

Fonte: Próprio Autor (2016)

³⁴ IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010:** Características da População. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

³⁵ CENSUS. Centro de Promoção do Desenvolvimento Sustentável. **Retrato Social de Viçosa V (2014).** Disponível em: http://www.censusvicosa.com.br/?pg=ver_publicacao&id=480. Acesso em: 25 jul. 2016.

O município está inserido no Planalto de Viçosa, no Domínio Morfoclimático dos Mares de Morros, e compreende uma área deprimida entre o Planalto do Alto Rio Grande, na Serra da Mantiqueira, e prolongamentos da Serra de Caparaó³⁶. A área urbana está concebida em um vale estreito com altitude próxima a 649 metros³⁵ e, no que tange à geologia, a maior parte do seu território insere-se no Complexo da Mantiqueira e, em menor proporção, no Complexo São Sebastião do Soberbo³⁷.

O clima é classificado como tropical de altitude³⁸ e apresenta dois períodos bem definidos e distintos: um caracterizado por volumes acentuados de chuva e temperaturas mais altas (meses de dezembro a fevereiro), e outro que assinala baixos índices pluviométricos (meses de maio a agosto)³⁹.

Devido às condições morfoclimáticas características de zonas intertropicais úmidas, o processo de intemperismo é bastante significativo, o que contribuiu com a formação de um manto de intemperismo bem espesso pela ação conjunta de processos químicos/biogênicos e processos mecânicos⁴⁰.

As vertentes desenvolvem-se conforme uma linha côncava-convexo-topo, seguindo para vertentes íngremes. Nos topos, parte mais elevada das encostas, encontram-se solos do tipo Latossolos Amarelos e, nas encostas de elevações, os Latossolos Vermelhos^{41,42}. Esses solos, de maior predominância na região, são pouco férteis (carência em nutrientes e composição química) e não apresentam alta produtividade agrícola. Para tal atividade, é necessário desenvolver e utilizar manejo adequado^{36,35}.

As encostas íngremes e topos de morro dispõem, majoritariamente, de fragmentos florestais de Mata Atlântica, que são remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual de formação secundária em regeneração, que possuem papel fundamental na manutenção de ecossistemas para a conservação da biodiversidade local⁴³. A maior parte das terras está ocupada por pastagens, sendo naturais ou artificiais (brachiárias). O café é tradicionalmente a cultura da região⁴⁰, entretanto o cultivo do eucalipto aparece em forte crescimento.

As áreas de vales correspondem ao leito maior seguido por terraços assimétricos, onde é frequente a instalação de habitações. Nesses fundos de vale, são identificados solos do tipo Neossolos associados aos Vertissolos e, nos terraços, são encontrados Argissolos^{41,42}. Em sítio urbano, essas áreas são drenadas pelo rio Turvo Sujo e, principalmente, pelo ribeirão São Bartolomeu, que intercepta a área urbana central do município de Viçosa⁴⁰. Esses cursos d'água fazem parte da bacia hidrográfica do rio Piranga, o principal formador do rio Doce⁴⁴.

³⁶ PREFEITURA DE VIÇOSA. **O território**. Disponível em <http://www.vicosas.mg.gov.br/a-cidade/territorio>. Acesso em: 6 jun. 2016.

³⁷ CPRM. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais**. Escala 1: 1 000 000. Edição atualizada. Brasília: CPRM, 2014.

³⁸ VALVERDE, O. Estudo regional da Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia**, IBGE, v.20, n. 1, p.1958.

³⁹ BATISTA, M. S.; RODRIGUES, R. A. Análise climática de Viçosa associada à ocorrência de eventos pluviométricos extremos. **Caminhos de Geografia**, Instituto de Geografia, UFU, v. 11, n.36, p. 52 - 67, dez. 2010. Disponível em: www.ig.ufu.br/caminhosdegeografia. html. Acesso em: 18 jul. 2016.

⁴⁰ ROQUE, L. A. **Áreas de risco geológico-geotécnico associadas a movimentos de massa no núcleo urbano de Viçosa-MG**. 97 f. Viçosa, MG, 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 2013.

⁴¹ CARNEIRO, P. A. S.; FARIA, A. L. L. Ocupação de encostas e legislação urbanística em Viçosa, MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n.14, p.121-138, fev. 2005. Disponível em: www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15376/8675. Acesso em: 4 jan. 2017.

⁴² REZENDE, S. B. **Estudo de crono-topossequência em Viçosa**, Minas Gerais. 1971. 71 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Solos, UFV, 1971.

⁴³ AGUIAR, O. B. M.; TEIXEIRA, H. M. Espécies florestais da mata atlântica: Usos e ocorrência na bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG. **Cadernos de Agroecologia**, v.10, n. 3, 2015. ISSN 2236-7934 Disponível em: <http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/17959>. Acesso em: 18 jul. 2016.

⁴⁴ ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS. **Atualização dos estudos hidrológicos na bacia hidrográfica do rio Doce**. 3ª ed. Disponível em: http://www.atlasdasaguas.ufv.br/doce/resumo_doce.html. Acesso em: 18 jul. 2016.

Devido ao padrão de exploração e ocupação da terra nas áreas urbanas, a vegetação original sofreu redução significativa, limitando-se aos topos de morros e encostas íngremes⁴¹. Nas extensões das margens dos cursos d'água, a mata ciliar deu lugar a construções civis e, quando há cobertura vegetal, esta é insuficiente e/ou inapropriada para o local.

A cidade originou-se, no início do século XIX, no vale do rio Turvo Sujo^{45,36} e procurou se orientar ao longo dos terraços, áreas de amenidades significativas quanto à topografia. Posteriormente, seguiu para a ocupação de áreas com topografia restrita, encostas e topos de morros, além das margens dos cursos d'água⁴⁰, como do ribeirão São Bartolomeu.

Desde a origem do povoado, as atividades agropecuárias foram o principal eixo na economia. Inicialmente, a produção era concentrada em produtos de subsistência e abastecia a população residente e a das áreas de mineração de Piranga, Ouro Preto e Mariana. Ademais, somente na primeira metade do século XIX, o café foi introduzido na região, provocando novo impulso à economia local, especialmente a partir da chegada da ferrovia. A cafeicultura passou por periódicas crises, destacando-se as dos anos de 1905, 1930 e 1960, que praticamente erradicaram a cultura na região. Nas últimas décadas do século XX, a cultura cafeeira retornou com novo impulso, como atividade de peso na localidade³⁵.

Na década de 1920, foram criados no município o Patronato Agrícola Arthur Bernardes e a Escola Superior de Agricultura e Veterinária (ESAV), que em 1948 foi transformada em Universidade Rural do Estado de Minas Gerais (UREMG) e, mais tarde, em 1969, federalizada como Universidade Federal de Viçosa (UFV). De acordo com CENSUS (2014)³⁵, a partir da instalação da universidade, a dinâmica física, social, cultural, política e econômica sofreu total mudança. A cidade passou a desenvolver-se com a expansão da Universidade, caracterizando-se por novos investimentos, sobretudo da construção civil. Assim, propiciou-se o surgimento de escolas particulares na rede de ensino fundamental, médio e superior, transformando o município em um polo educacional de expressão.

Nos últimos quarenta anos, a população viçosense cresceu e apresenta atualmente um número três vezes maior, passando de 25.784 habitantes em 1970 para 72.220 em 2010, sendo estimada em 77.502 em 2014. Esse crescimento populacional foi acompanhado por um significativo processo de urbanização que, em Viçosa, fez com que a população rural diminuísse de 34,07% em 1970 para 6,81% em 2010 (Tabela 1).

⁴⁵ IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Disponível em <http://cod.ibge.gov.br/69o>. Acesso em: 11 maio 2016.

Tabela 1 - Evolução da população urbana e rural – 1970 a 2014

Anos	POPULAÇÃO					
	Urbana		Rural		Total	
	Absoluta	%	Absoluta	%	Absoluta	%
1970	17.000	65,93	8.784	34,07	25.784	100
1980	31.179	80,6	7.507	19,4	38.686	100
1991	46.456	89,93	5.202	10,07	51.658	100
2000	59.792	92,19	5.062	7,81	64.854	100
2010	67.305	93,19	4.915	6,81	72.220	100
2014*	72.231	93,2	5.271	6,8	77.502	100

Fonte: IBGE (2010)⁴⁴; CENSUS (2015)⁴⁶

*Valores estimados pelo CENSUS

O aumento populacional expressivo, a partir da segunda metade da década de 1970, se deu em razão da federalização da então Universidade Rural do Estado de Minas Gerais (UREMG), que aumentou significativamente o número de cursos ofertados (médio/técnico, graduação, mestrado e doutorado), e decuplicou seu orçamento, gerando, assim, oportunidades de emprego. A cidade passa, portanto, a ser mais atrativa para as atividades urbanas e se torna polo educacional, recebendo pessoas do campo e também de outras localidades do país⁴⁷.

O ritmo de expansão demográfica do município vem se reduzindo significativamente. Nas décadas de 1970, 1980 e 1990, houve aumento do crescimento populacional (aproximadamente 15 000 habitantes por década). Em contrapartida, nas décadas seguintes, de 2000 e 2010, houve um decréscimo nesse crescimento (aproximadamente 8 000 habitantes na década), que, entretanto, ainda permanece positivo.

Aspectos metodológicos e resultados

A descrição da metodologia utilizada será feita a seguir, com a apresentação dos procedimentos essenciais utilizados para atingir os objetivos propostos, bem como aqueles que se encontram possíveis em (re)análises direcionadas. Incorporou-se a esta pesquisa a abordagem sistêmica como embasamento teórico-metodológico que, segundo Marques Neto (2008)⁴⁸, constitui método de importante significação para o estudo do meio físico, principalmente para a Geografia Física e a Geomorfologia.

Na **Figura 6**, apresentam-se, em síntese, os principais artifícios e produtos elaborados nesta pesquisa.

⁴⁴ CENSUS. Centro de Promoção do Desenvolvimento Sustentável. **Boletim estatístico de Viçosa**, atualizado em agosto de 2015. Disponível em: <http://www.censusvicoso.com.br/images/publicacoes/493/boletim-estatistico-2015-julhopdf.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2016.

⁴⁷ PEREIRA, M. F. V. Contradições de uma "cidade científica": processo de urbanização e especialização territorial em Viçosa, MG. **Caminhos da Geografia**, [online], 2005. ISSN 1678-6343. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. Acesso em: 26 jul. 2016.

⁴⁸ MARQUES NETO, R. A Abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Revista Geografia**, Londrina, v. 17, n. 2, 2008. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/issue/view/306>. Acesso em: 1 mar. 2017.

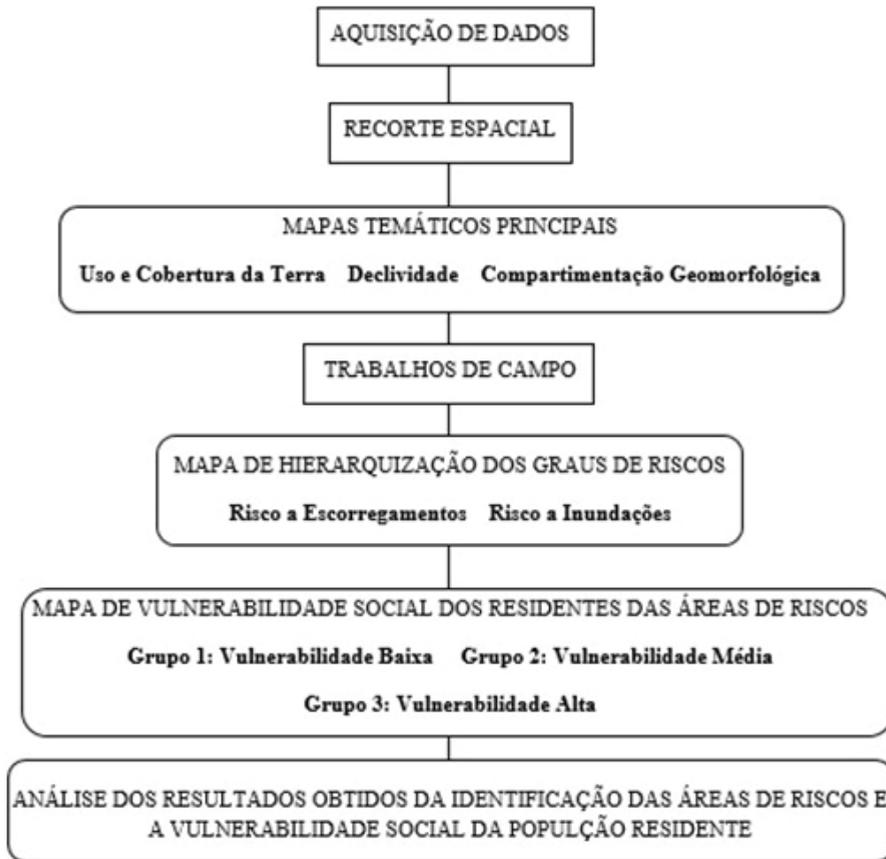


Figura 6 - Fluxograma dos procedimentos principais

Elaboração: Próprio Autor (2016)

Aquisição de dados

Para elaboração desta pesquisa, utilizaram-se imagens de satélite RapidEye, dados em formatos *shapefile* (divisão territorial, setores censitários, etc.) e curvas de nível (5 metros), extraídos do IBGE e do projeto TOPODATA (imagens oriundas da SRTM) e cedidas para *download* pelo INPE, respectivamente.

As resoluções, bandas, composição colorida e data da imagem (**Quadro 3**) são escolhidas de acordo com as características físicas da área de estudo e com os objetivos da pesquisa. A data da imagem é uma informação de relevante importância, pois é a representação de parte da superfície terrestre no momento da passagem do satélite²².

Quadro 3 - Informações da imagem de satélite utilizada – sensor RapidEye

Anos	POPULAÇÃO					
	Urbana		Rural		Total	
	Absoluta	%	Absoluta	%	Absoluta	%
1970	17.000	65,93	8.784	34,07	25.784	100
1980	31.179	80,6	7.507	19,4	38.686	100
1991	46.456	89,93	5.202	10,07	51.658	100
2000	59.792	92,19	5.062	7,81	64.854	100
2010	67.305	93,19	4.915	6,81	72.220	100
2014*	72.231	93,2	5.271	6,8	77,502	100

Fonte: Adaptado de Felix, Kazmierczak e Espindola (2014)²⁵; Ehlers (2007)²⁶
Elaboração: Próprio Autor (2016)

A escolha do sensor RapidEye se deu não somente pela importância da utilização de imagens de satélite na área de Sensoriamento Remoto, mas também pela agilidade e eficácia ao identificar as influências antrópicas e acontecimentos de processos naturais aplicados a estudos de cunho socioambientais. Para as bandas escolhidas, levou-se em consideração o contraste dos alvos nas faixas operantes, bem como a facilidade em identificá-los durante os procedimentos (**Figura 7**). Já a imagem do projeto TOPODATA/SRTM opera na faixa de micro-ondas, ou seja, fora da faixa do visível e infravermelho; sendo assim, sua visualização é permitida em modo pancromático.

363

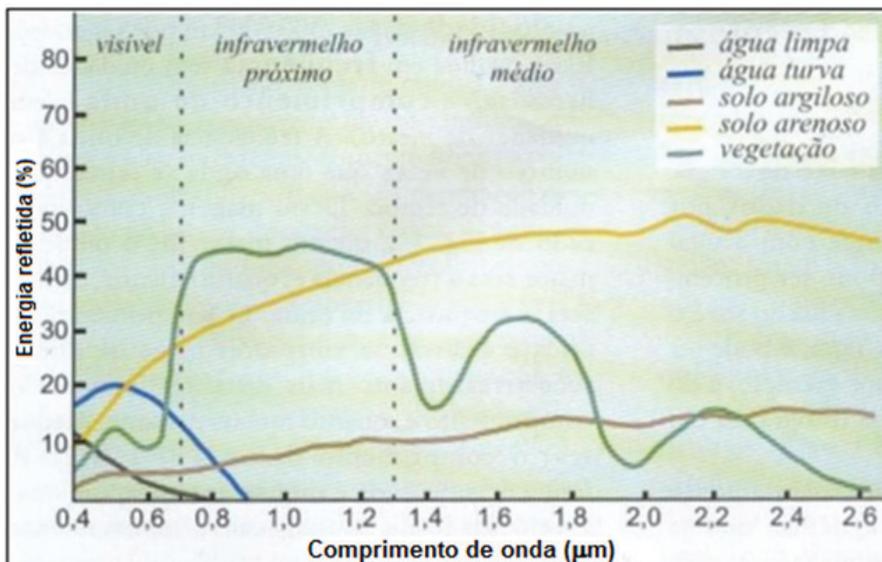


Figura 7 - Curva espectral da vegetação, água e solo

Fonte: Florenzano (2011)⁴⁹

⁴⁹ FLORENZANO, T. G. *Iniciação em sensoriamento remoto*. 3ª ed. ampl. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128 p.

Para confecção dos mapas em ambiente de geoprocessamento, foram utilizados os *softwares* Spring 5.4.1 (desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE), para o mapa de Uso e Cobertura da Terra, e o ArcGIS 10.1 (desenvolvido pela *Environmental Systems Research Institute* - ESRI), para a elaboração dos demais mapas e sua edição final, pois esse *software* possui maior receptibilidade e variedade de elementos componentes de um mapa (escala, grade, norte geográfico, etc.).

A escala cartográfica utilizada para análise foi diferenciada de acordo com os elementos e objetivos propostos: para Sobreposição de Curvas de Nível e Setores Censitários, escala de 1: 15 000; para Uso e Cobertura da Terra, escala de 1: 25 000; e, para os demais fatores, a escala cartográfica utilizada foi de 1: 50 000. Os produtos finais foram exportados em 1: 40 000, devido à melhor visualização dos resultados obtidos.

A seguir, serão discutidos em detalhes os procedimentos realizados para confecção de cada mapa listado acima.

Recorte Espacial

A área urbana do município de Viçosa está inserida, em sua maior parte, em locais de média a alta declividade e com significativa concentração populacional. Assim, definiu-se como recorte espacial, uma vez que os riscos se estabelecem conforme as ocupações antrópicas e as interferências por elas causadas ou não.

O limite da área urbana foi confeccionado conforme os limites dos setores censitários utilizados e definidos pelo IBGE. Essas áreas de setores censitários são classificadas em “Rurais” ou “Urbanas”, sendo que estas últimas foram selecionadas para se atingirem os objetivos aqui elencados. Essa perspectiva se dá devido ao fato de que será caracterizado posteriormente o tipo de população residente nas áreas de risco (com as variáveis de população total por setor e renda média mensal por setor), por meio dos resultados obtidos no Censo Demográfico de 2010, realizado pelo órgão citado acima.

De forma a direcionar os estudos para as áreas de maior ocorrência de escorregamentos e inundação, bem como para as de maior concentração populacional em relação à declividade, os distritos de São José do Triunfo e Cachoeira de Santa Cruz não foram incluídos nesta pesquisa.

Processamento Digital de Imagens

O processamento de imagens consiste na manipulação de uma imagem por meio de computador em que entrada/saída do processo são imagens. Busca-se a melhora do aspecto visual de feições estruturais, permitindo analisar uma cena nas várias regiões do espectro eletromagnético, possibilitando também a integração de dados georreferenciados (DPI - INPE, 2015).

A partir desse momento, adota-se a rotina descrita a seguir na plataforma do *software* Spring 5.4.1., utilizando a imagem de satélite mencionada anteriormente, a RapidEye.

Carregamento de Cena

O carregamento de cena consiste na mostra das bandas das imagens e sua sobreposição por meio do sistema RGB (*Red, Green and Blue*)²⁴. A **Figura 8** ilustra a imagem e seu sistema de canal, utilizado em falsa-cor.

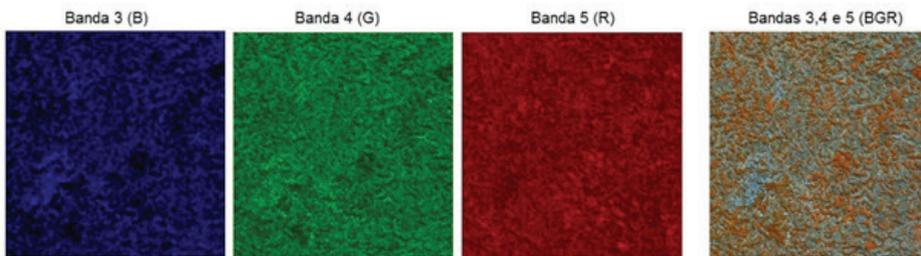


Figura 8 - Bandas e sistema de canal utilizados da imagem do sensor RapidEye realçada

Elaboração: Próprio Autor (2016)

Realce de Contraste

A finalidade das técnicas do realce é aprimorar a qualidade da imagem, permitindo melhor entendimento e descrição dos objetos presentes e facilitando sua interpretação^{19,22}. O resultado do realce tem múltiplas interpretações, ou seja, sua análise é feita de forma subjetiva, dependendo assim de cada pesquisador.

Entre os vários tipos existentes de contraste, o linear (**Figura 9**) é a forma mais simples. Segundo DPI-INPE (2015)¹⁹, sua função de transferência é uma reta onde apenas dois parâmetros são controlados: a inclinação da reta (que controla a quantidade de aumento de contraste) e o ponto de interseção com o eixo X (que controla a intensidade média da imagem final). As barras que formam o histograma da imagem de saída são espaçadas igualmente. O histograma de saída será semelhante em formato ao histograma de entrada, mas este terá um valor médio e um espalhamento diferentes.

Ainda de acordo com DPI – INPE (2015)¹⁹, a função de mapeamento linear pode ser representada da seguinte maneira:

$$Y = AX + B$$

Onde:

Y = novo valor de nível de cinza;

X = valor original de nível de cinza;

A = inclinação da reta (tangente do ângulo);

B = fator de incremento (definido pelos limites mínimo e máximo fornecidos pelo usuário).

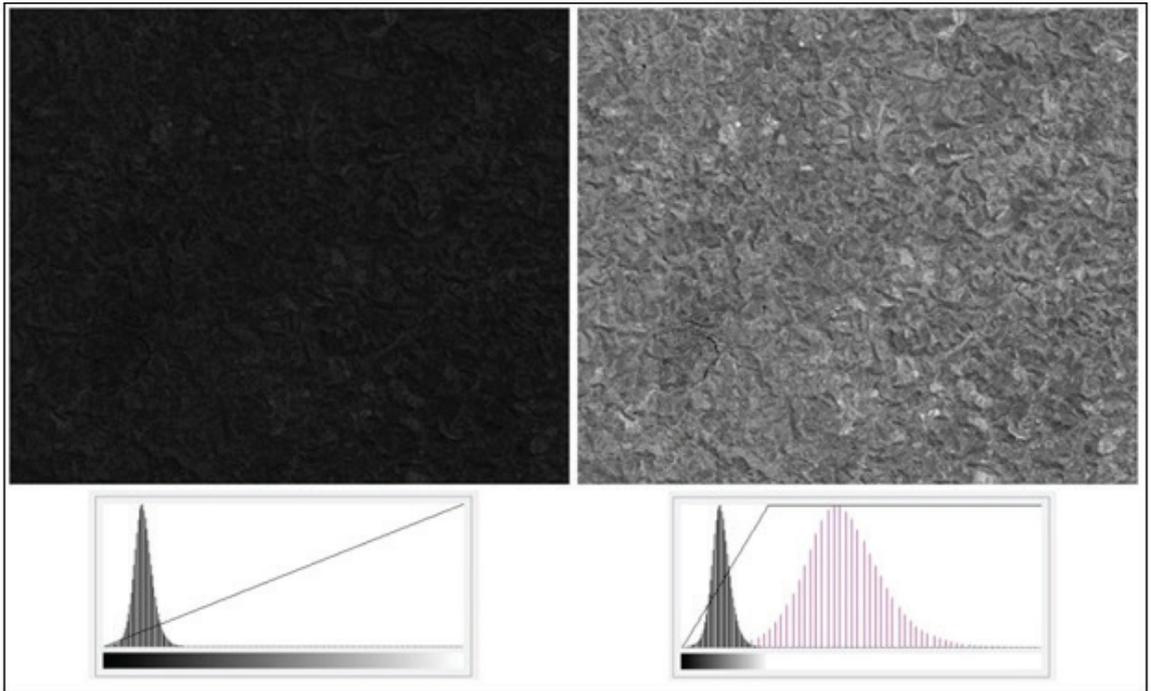


Figura 9 - Contraste linear realizado na banda 5 do sensor RapidEye

Elaboração: Próprio Autor (2016)

Segmentação de Imagens

Florenzano (2008)²² explicita que a segmentação de imagens é um procedimento computacional que permite a divisão da imagem em regiões espectralmente homogêneas, realizado antes de um algoritmo de classificação automática. Assim, na aplicação da segmentação, de acordo com a autora, devem ser definidos dois limiares:

- a) Limiar de similaridade: limiar abaixo do qual duas regiões são consideradas similares e agrupadas em uma única região;
- b) Limiar de área: valor de área mínimo, representado em número de pixels, para que uma região seja individualizada.

Desse modo, os limiares utilizados foram escolhidos de acordo com as características espacial, espectral e radiométrica do sensor, permanecendo, portanto, 200 para limiar de similaridade e 300 para limiar de área (**Figura 10**). O tamanho da área urbana, 41,9 Km², facilita o nível de detalhamento em comparação à área total do município, que é de aproximadamente 299,5 Km².

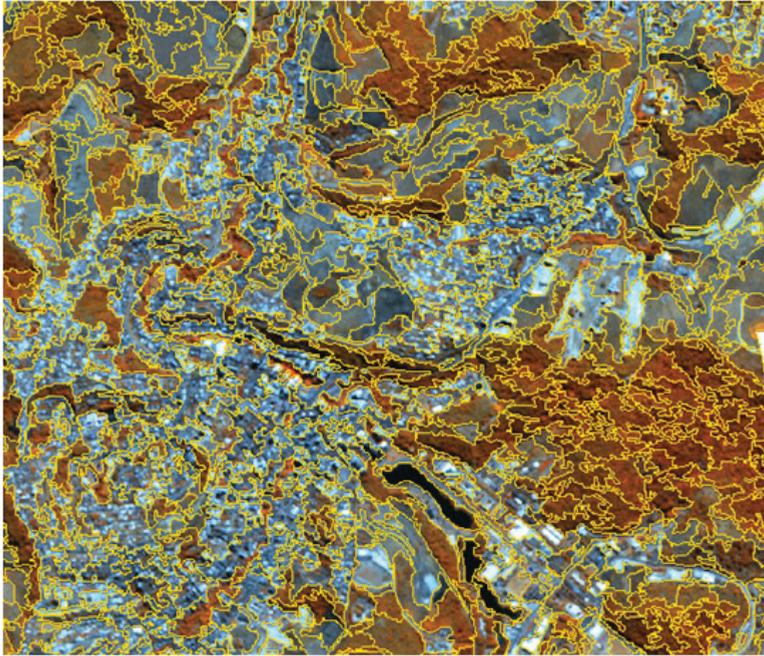


Figura 10 - Segmentação da imagem do sensor RapidEye em parte central da área urbana

Elaboração: Próprio Autor (2016)

367

Classificação por Regiões

Para as técnicas de classificação de imagens digitais, é visado o reconhecimento automático de objetos agrupando-os em classes que apresentam similaridade em suas respostas espectrais. De tal modo, as classificações podem ser de dois tipos: supervisionada ou não supervisionada⁵⁰.

Para a imagem de satélite selecionada nessa pesquisa, foi utilizada a classificação supervisionada por regiões Bhattacharya, que é um algoritmo que requer a seleção de áreas de treinamento, podendo utilizar as regiões separadas durante o processo de segmentação ou polígonos representativos das regiões a serem classificadas. Utilizam-se, assim, as amostras de treinamento para estimar a função de probabilidade das classes apontadas no treinamento⁵⁰.

Durante o treinamento, há escolha e nomeação das classes, e esse procedimento se repete no momento de pós-classificação. Ao identificar os elementos que compõem a área de estudo e que de fato estão visíveis nas imagens, as classes e subclasses estabelecidas (Quadro 5) ficaram assim definidas:

⁵⁰ SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M.; SAITO, N. S. **Spring 5.1.2 Passo a Passo**. Aplicações Práticas. Alegre: Mundo da Geomática, 2010. 155 p. Disponível em: http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_Spring_5.1.2_Aplicacoes_Praticas/LivrosSPRING512PassoaPassoAplicacaoPratica.pdf. Acesso em: 12 ago. 2016.

Área	Classes	Subclasses	Descrição
	Drenagem	-	Cursos d'água de pequeno a médio porte (ribeirões, córregos, lagoas, tanques, rios, etc.)
	Área Urbana	Ocupação Urbana de Alta Densidade (UrbAD)	Área com característica espectral mais escura e fechada. Áreas de ocupação com maior declive, encostas.
	Área Urbana	Ocupação Urbana de Média Densidade (UrbMD)	Área com características espectrais diversas, com coloração mediana. Áreas de ocupação com médio a alto declive.
	Área Urbana	Ocupação Urbana de Baixa Densidade (UrbBD)	Área com características espectrais mais claras e abertas. Áreas de ocupação mais planas ou baixo declive.
	Mata Secundária	Mata Secundária Regenerada (MSecReg)	Fragmentos de mata homogêneos, de médio a grande porte no clímax. Áreas de topos de morro.
	Mata Secundária	Mata Secundária em Regeneração (MSecemReg)	Fragmentos de mata heterogêneos, de pequeno a médio porte e mais espaçados. Áreas próximas às MSecReg.

Quadro 5 - Classes estabelecidas para classificação da imagem do sensor RapidEy (continua)

Área	Classes	Subclasses	Descrição
	Cultura	Café	Mesmo em área urbana, há grande frequência de cultivo em pequena e média escalas.
	Cultura	Eucalipto	Encontrado também na área urbana. Usado às vezes erroneamente, como reflorestamento.
	Pastagem	-	Área cuja vegetação é predominantemente rasteira. Dependendo da estação do ano, esta se apresenta em tonalidades distintas (do mais escuro para o mais claro).
	Solo Exposto	-	Sem presença de vegetação. Solo nu.

Quadro 5 - Classes estabelecidas para classificação da imagem do sensor RapidEy (conclusão)

Fonte: Elaboração do Autor (2016)

Processamento Digital de Imagens para obtenção dos mapas de Declividade, Modelo Digital de Elevação (MDE), Hierarquização Fluvial e Compartimentação Geomorfológica

Carregamento de Cena

A **Figura 11** mostra a imagem TOPODATA/SRTM visualizada de forma pancromática, pois, conforme explicado anteriormente, a faixa utilizada é a micro-ondas, assim como em todas as imagens oriundas de sensores ativos que possuem uma fonte própria de radiação eletromagnética, diferente dos sensores passivos que não possuem essa característica (ROSA, 2009).

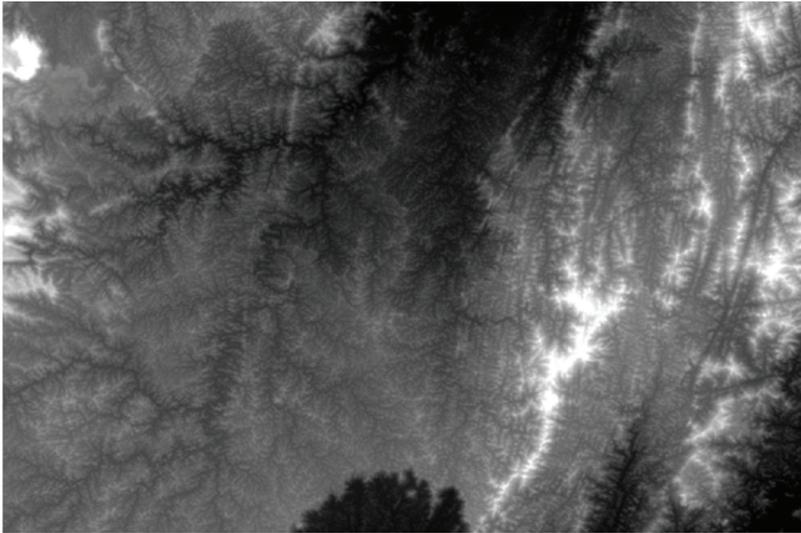


Figura 11 - Imagem de radar do projeto TOPODATA do sensor SRTM - Folha 20S435

Fonte: INPE (2015)⁵¹

A imagem TOPODATA/SRTM foi inserida no *software* ArcGis 10.1, em que todos os procedimentos a seguir elencados foram realizados.

370

Reamostragem e Redimensionamento da Imagem

A imagem TOPODATA/SRTM fornecida pelo INPE tem resolução radiométrica de 32 bits com escala de 1:250 000, com resolução espacial de 30 metros e sem referência espacial. Sendo necessário, foi realizada conversão para 16 bits inteiro não sinalizado através da ferramenta *Data Management Tools*>*Raster*>*Raster Dataset*>*Copy Raster*. Entretanto, esse procedimento não o referencia espacialmente, sendo necessário realizar o passo a seguir.

Reprojeção

As imagens do projeto TOPODATA são disponibilizadas sem referência espacial. Para definir a projeção de um *raster*, segue-se a seguinte rotina: *Data Management Tools*> *Projections and Transformations*> *Define Projection*. Escolhe-se o sistema de coordenadas (geográficas); nesse caso, SIRGAS 2000, que é o adotado oficialmente pelo IBGE, e, em seguida, reprojeta-se para um sistema de coordenadas planas (Universal Transversa de Mercator - UTM) na ferramenta: *Data Management Tools*> *Projections and Transformations*> *Raster*>*Project Raster*. O *Datum* inserido foi o SIRGAS 2000 UTM Zone 23S, o mesmo adotado para todos os mapas elaborados neste trabalho.

⁵¹ INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagem TOPODATA Folha 20S435**. Articulação 1 250 000. INPE, 2015.

Procedimentos

Após o processo de reamostragem e reprojeção, o primeiro passo realizado foi o recorte da área (*shapefile* limite da área urbana de Viçosa, de acordo com os limites dos setores censitários disponibilizados pelo IBGE) para agilizar o processamento. Em seguida extraíram-se as curvas de nível por meio da ferramenta *3D Analyst Tools >Raster Surface>Coutour*. A definição do espaçamento das curvas de nível para 5 metros se deu no nível de detalhamento visual e melhor compreensão do relevo local que essa definição proporciona, uma vez que as cartas topográficas disponibilizadas pelo IBGE (escala 1: 50.000), por exemplo, são espaçadas em 20 metros.

Sobreposição de Curvas de Nível sobre os limites dos Setores Censitários

A fim de analisar, inicialmente, como está disposta a divisão dos setores censitários frente ao relevo local, foi elaborado o mapa de sobreposição com recorte da área urbana central do município, utilizando os *shapefiles* dos setores censitários urbanos e de curvas de nível, confeccionado em escala de maior detalhamento, 1: 15 000. Esse mapa foi apoio fundamental para os trabalhos de campo, já que permitiu identificar, pela sobreposição, quais são os setores mais problemáticos no que diz respeito aos riscos em estudo. Com isso, otimizou-se o tempo gasto para realização do campo, agilizando a coleta de dados.

371

Modelo Digital de Elevação (MDE)

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) são arquivos que contêm registros altimétricos, ou seja, com valores de altitude do relevo para que o modelo seja uma representação da topografia, sendo que as curvas de nível são a principal fonte de dados para a sua construção⁵².

Para elaboração do MDE da área de estudo, utilizaram-se as curvas de nível como elemento chave, seguindo o caminho *3D Analyst Tools>Data Management>TIN>create TIN*. Ao finalizar esse procedimento, já é possível identificar visualmente as características do relevo, analisar suas feições e estabelecer preliminarmente potenciais áreas de risco, tanto para escorregamentos quanto para inundações.

Declividade

A declividade é o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal. Seus valores podem ser expressos em graus (0 a 90) ou em porcentagem (0 ao infinito), sendo que, nos MDEs, sua estimativa se baseia na análise dos desníveis entre pixels vizinhos. O cálculo da declividade é favorecido pela alta resolução espacial, e, por

⁵² VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008a.

esse e outros motivos, a imagem do projeto TOPODATA (resultado do refinamento dos dados SRTM) foi utilizada nesta pesquisa a fim de que se obtenha um melhor resultado, com a menor margem de erro possível. Todas essas particularidades devem ser levadas em consideração nas estimativas realizadas por geoprocessamento⁵².

Para essa requisição, utilizou-se a imagem TOPODATA/SRTM (reamostrada e reprojeta) por meio da ferramenta *3D Analyst Tools >Raster Surface>Slope*. Os intervalos definidos estão dispostos no quadro abaixo (**Quadro 6**).

DECLIVIDADE	
Classes	Intervalos (%)
Muito Baixa	<2
Baixa	2 – 7
Mediana	7 – 15
Alta	15 – 30
Muito Alta	>30

Quadro 6 - Classificação da declividade com intervalos em porcentagem

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Hierarquização Fluvial

A hierarquia fluvial é o processo que consiste em estabelecer a classificação de determinado curso d'água, ou da área drenada que lhe pertence, no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra⁵³.

Assim, alguns modelos de classificação foram propostos a fim de que se facilitassem e otimizassem os estudos morfométricos das bacias hidrográficas⁵³. Os sistemas e critérios mais utilizados para o ordenamento em bacias hidrográficas são os modelos propostos por Horton (1945) e Strahler (1952), seguidos pelos modelos de Scheidegger (1965) e Shreve (1966;1967)⁵⁴.

Para hierarquização dos cursos d'água da área de estudo, adotou-se o método proposto por Strahler (1952), que, além de ser atualmente utilizado, apresenta metodologia para classificação automática junto ao *software* ArcGIS 10.1. Esse método, de acordo com Christofletti (1980)⁵³, considera os canais de primeira ordem (1) aqueles que são menores e sem tributários, que se estendem da nascente até a confluência. Os canais de segunda ordem (2) se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, recebendo apenas afluentes de primeira ordem. Já os canais de terceira ordem (3) surgem da confluência de dois canais de segunda ordem e podem receber afluentes de primeira ordem. Da confluência de dois canais de terceira ordem, surgem os canais de quarta ordem (4), que podem receber tributários de ordens inferiores e, assim, sucessivamente (**Figura 12**).

⁵³ CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.

⁵⁴ TORRES, F. T. P.; MARQUES NETO, R.; MENEZES, S. O. **Introdução à geomorfologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 322p.

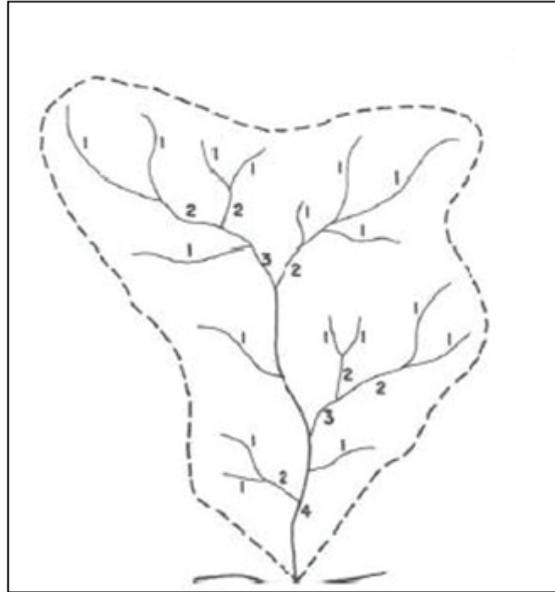


Figura 12 - Hierarquia fluvial - método Strahler (1952)

Fonte: Adaptado de Christofoletti (1980)⁵³

Em ambiente de geoprocessamento, utilizou-se como base a imagem TOPODATA/SRTM e seguiu-se a rotina para extração de drenagens com a ferramenta “*Hidrology*” em *Spatial Analyst Tools*, criando os arquivos *Fill*, *Flow Direction* e *Flow Accumulation*. Após esse procedimento, foi necessário editar e reclassificar as classes para prosseguir e criar o “*Stream Link*” que será base para o “*Stream Order*”, passo final em que se classifica de acordo com o método Strahler. O arquivo final *raster* foi exportado para arquivo vetorial em quatro classes de cores azul (para canais de primeira ordem), vermelho (para canais de segunda ordem), amarelo (para canais de terceira ordem) e verde (para canais de quarta ordem).

Para a área urbana de Viçosa, destacou-se parte da bacia do rio Turvo Sujo e da sub-bacia do ribeirão São Bartolomeu e a micro-bacia do córrego da Conceição.

Compartimentação Geomorfológica

Com a proposição de fazer uma classificação taxonômica do relevo, Ross (1992)⁵⁵ estabelece seis níveis de táxons elaborados a partir do aspecto fisionômico das formas e tamanhos de relevo, levando em conta diversos fatores (gênese, idade, influências estruturais e esculturais de cada um, etc.). São eles (em ordem crescente de táxons): Unidades Morfoestruturais; Unidades Morfoesculturais; Unidades Morfológicas ou Padrões de Formas Semelhantes; Formas de Relevo; Tipos de Vertentes e Formas de Processos Atuais. A **Figura 13** exemplifica a distribuição da classificação dessa taxonomia.

⁵⁵ ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p. 17-29, 1992.

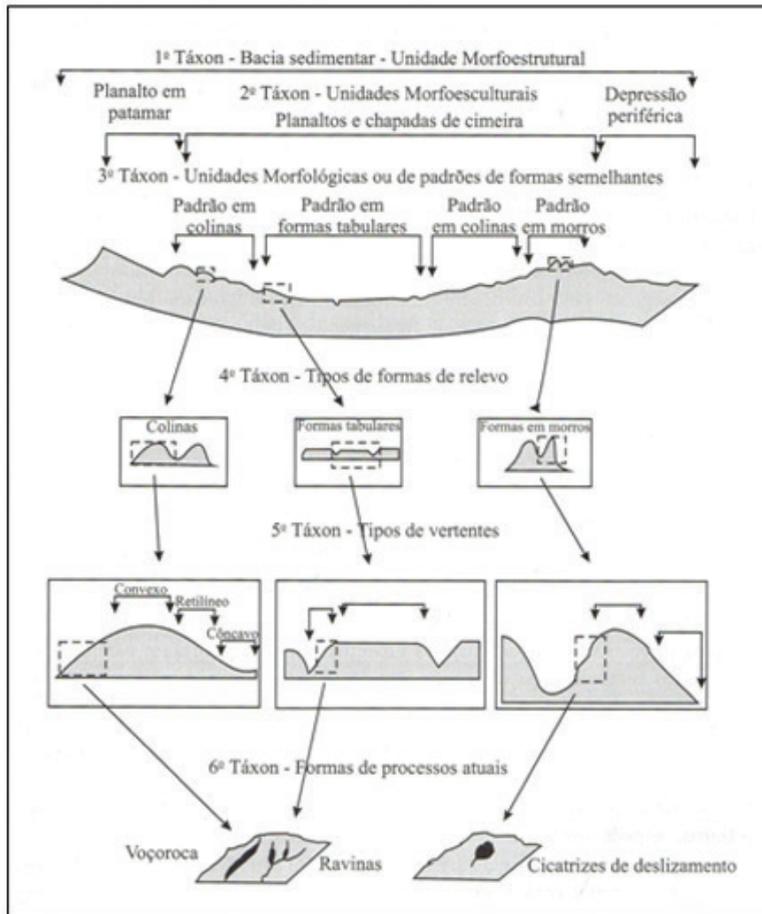


Figura 13 - Representação esquemática das unidades taxonômicas propostas por Ross (1992)⁵⁵

Fonte: Casseti (2005 apud TORRES; MARQUES NETO; MENEZES, 2012)⁵⁴

A metodologia aplicada pelo IPT (1981)⁵⁶ para mapeamento do relevo baseia-se fundamentalmente em dois critérios morfométricos: declividade e amplitude altimétrica⁵⁴. O procedimento ainda propõe a seguinte subdivisão elementar, aplicável ao contexto geomorfológico do estado de São Paulo e de regiões que apresentam tais padrões de formas: 1) Relevos de Agradação; 2) Relevos de Degradação 3) Relevos Residuais suportados por Litologias Particulares; 4) Relevos Cársticos; e 5) Relevos de Transição^{57,54,56}. Para a realização da compartimentação do relevo da área urbana do município de Viçosa, atenuou-se somente a Relevos de Agradação (A) e Relevos de Degradação (D) referentes ao 4º táxon proposto por Ross (1992)⁵⁵.

⁵⁶ IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. 94 p.

⁵⁷ 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 (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

Conjunto de Sistemas de Relevo	Declives predominantes	Amplitudes Locais
Relevo colinoso	0 a 15%	<100 m
Relevo de morros com encostas suavizadas	0 a 15%	100 a 300 m
Relevo de morrotes	>15%	< 100 m
Relevo de morros	>15%	100 a 300 m
Relevo montanhoso	>15%	> 300 m

Quadro 7 - Critérios morfométricos aplicados para definição de categorias de relevo de degradação

Fonte: IPT (1981)⁵⁶

Assim, para identificação dos relevos de degradação, utilizou-se a declividade, que havia sido definida em momento anterior com intervalos em porcentagem e paralelamente de acordo com a metodologia aqui proposta. Para a amplitude altimétrica local, que, segundo o IPT (1981)⁵⁶, é a altura máxima da unidade em metros, entre seu topo e os vales maiores adjacentes, utilizaram-se curvas de nível com espaçamento de 20 metros e a rede de drenagem da área, dados extraídos da imagem TOPODATA/SRTM. A escolha pelo espaçamento de 20 metros das curvas de nível se deu pela melhor visualização na escala utilizada (1:50.000), que permitiria, também, o auxílio das cartas topográficas (elaboradas pelo IBGE), já que essas cartas foram confeccionadas com curvas de equidistância de 20 metros e apresentam a mesma escala de análise (1:50.000) utilizada nesta pesquisa.

Para identificação dos relevos de degradação, nesse caso os de origem continental, foi utilizada metodologia de interpretação visual de dados com imagens do *Google Earth*, porém sempre acompanhadas de imagens em escalas menores, pois estas servem de orientação na definição mais precisa dos limites entre as unidades³². A observação da delimitação da curva de nível que envolve o canal fluvial nos segmentos permitiu perceber distintamente a existência de Planície Fluvial e de Rampas de Colúvio. As imagens, em escala maior, propiciaram a identificação dos Terraços Fluviais. Algumas áreas foram identificadas e reconhecidas em campo.

Desse modo, a integração da proposição de Ross (1992)⁵⁵ e do IPT (1981)⁵⁶ permitiu identificar os compartimentos geomorfológicos, condizendo-os com o 4º táxon na classificação de Ross (1992)⁵⁵, que se refere às formas de relevo individualizadas na unidade padrão de formas semelhantes. Para a área urbana de Viçosa, identificaram-se planície fluvial, terraço fluvial e rampas de colúvio (relevos agradacionais) e colinas, morros em encostas suavizadas, morrotes e morros (relevos denudacionais).

Riscos de Escorregamentos e Inundações

A análise multicriterial consiste em estruturar e combinar diferentes tipos de análises, em situações mais complexas e envolvendo fatores diversos. A análise multicritério é comumente utilizada para situações de conflito, para formular

recomendações ou propiciar orientações frente à tomada de decisão⁵⁸, sendo, no entanto, uma das formas para se chegar a um produto síntese de áreas de risco. Das análises de multicritérios existentes atreladas aos SIGs, a Álgebra de Mapas (ou a Álgebra de Campo) consiste na associação que o mapa faz a cada local de uma dada área de estudo, seja em valor quantitativo (escalar, ordinal, cardinal ou intervalar), seja em valor qualitativo (nominal)⁵⁹.

Para dar início à metodologia de Álgebra de Mapas, foi necessário fazer uma operação de ponderação nos mapas de Uso e Cobertura da Terra, Declividade e Compartimentação Geomorfológica que, através da soma e multiplicação, compuseram o mapa síntese de hierarquização de riscos. Desse modo, estabeleceram-se pesos para cada fator cujo intervalo variou de 0 a 1; para as classes, os pesos foram distribuídos no intervalo de 1 a 5, de forma que ambas as ponderações criassem um grau de importância e correlação com os riscos em questão (**Quadro 8**).

Fatores	Classes	Escorreg. (E)	Inund. (I)
Uso e Cobertura da Terra x 0.20 (E)* 0.25 (I)*	Drenagem	1	5
	Área Urbana	4	4
	Mata Secundária	2	1
	Cultura	2	2
	Pastagem	3	2
	Solo Exposto	5	3
Declividade (%) x 0.10 (E) (I)*	<2	1	5
	2 – 7	2	4
	7 – 15	3	3
	15 – 30	4	2
	>30	5	1
Compartimentação Geomorfológica x 0.30 (E) (I)*	Planície Fluvial	1	5
	Terraço Fluvial	2	4
	Rampas de Colúvio	2	3
	Colinas	3	2
	Morros com encostas suavizadas	3	2
	Morrotos	4	1
	Morros	5	1

Quadro 8 - Distribuição dos pesos para os fatores e suas classes para hierarquização dos riscos

Elaboração: Próprio Autor (2017)

*Valor dos pesos multiplicados para hierarquização de escorregamentos (E) e inundações (I).

⁵⁸ MEDEIROS, A. **Análise Multicritério em SIG**. 2017. Disponível em: <http://andersonmedeiros.com/analise-multicriterio-em-sig-1/>. Acesso em: 14 fev. 2017.

⁵⁹ CORDEIRO, J. P.; BARBOSA, C. C. F.; CAMARA, G. Álgebra de Campos e Objetos. In: CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 25 maio 2016.

Após definição da ponderação, realizou-se o procedimento de conversão para arquivo *raster* para aqueles que estavam em formato vetorial (Uso e Cobertura da Terra e Compartimentação Geomorfológica). Em seguida, foi efetuada a reclassificação dos fatores de modo que substituísse a classe nominal por classe numérica (pesos).

O passo que antecede o resultado do produto final de riscos é o *raster calculator*, ferramenta de Álgebra de Mapas do *software* ArcGIS 10.1. Para finalizar o procedimento, foram elaboradas e efetuadas duas fórmulas de cálculo com os mapas: a primeira (E1) com soma simples dos fatores, e a segunda (E2) com soma dos fatores com multiplicação de seus pesos, conforme equações abaixo:

$$E1: \text{USO E COBERTURA DA TERRA} + \text{DECLIVIDADE} + \text{COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA} = \text{HIERARQUIZAÇÃO DE RISCOS}$$

$$E2: \text{USO E COBERTURA DA TERRA} * (\text{peso}) + \text{DECLIVIDADE} * (\text{peso}) + \text{COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA} * (\text{peso}) = \text{HIERARQUIZAÇÃO DE RISCOS}$$

O intuito foi observar o quanto há de interferência quando se estabelecem pesos para os mapas, dizendo a maior ou menor importância de cada um perante os riscos apontados. Com a identificação de diferenças significativas na aplicação das fórmulas, obteve-se uma escolha de acordo com o melhor resultado verificado. O produto final de áreas de risco foi elaborado por meio de uma hierarquização (graus de 1 a 3), em que quanto maior o grau, maior o risco, seja para inundações, seja para escorregamentos.

As subclasses UrbAD, UrbMD e UrbBD foram unidas e classificadas como Área Urbana. O mesmo ocorreu para MSecReg e MSecemReg, permanecendo como Mata Secundária, e para Café e Eucalipto, estabelecidos como Cultura. Essa junção se fez necessária, pois o *software* utilizado não aceita números fracionados para cálculos de *raster*.

Vulnerabilidade Social

Após identificar as áreas de riscos de escorregamentos e inundações e hierarquizar os graus dos riscos de um determinado lugar, é imprescindível que se conheça a população residente dessas áreas e o quão vulnerável elas estão a esses riscos.

Para definição da vulnerabilidade da população residente na área urbana do município de Viçosa, foram consideradas duas variáveis: número total de habitantes e renda média mensal, ambos por setor censitário. Dentre muitas variáveis, essas foram escolhidas porque mostram, de forma direta, a densidade populacional e o perfil socioeconômico das pessoas que lá vivem. O objetivo foi chegar à classificação de grupos de vulnerabilidade social, conforme adaptação da metodologia proposta pela Fundação SEADE (2013)⁶⁰, para a elaboração do Índice Paulista de Vulnerabilidade Social – IPVS.

⁶⁰ FUNDAÇÃO SEADE. Sistema Estadual de Análise de Dados. **Índice Paulista de Vulnerabilidade Social, IPVS (Versão 2010)**. Disponível em: <http://indices-ilp.al.sp.gov.br/view/index.php?prodCod=2>. Acesso em 14 fev. 2017.

Com a finalidade de facilitar e otimizar a análise comparativa dos dados para concepção da vulnerabilidade social, foram constituídos mapas de concentração populacional e de distribuição de renda. Na base de dados para esse mapeamento, criaram-se divisões de classes, para cada variável, de forma que se abrangesse todo intervalo do número de população e faixas salariais, aplicando posteriormente ponderação de 1 a 4 (do menor para o maior associado) para cada variável (**Quadro 9**). As equações para criação dos grupos de vulnerabilidade social foram, assim, estabelecidas:

$$\mathbf{E1: DENSIDADE\ POPULACIONAL + RENDA\ MÉDIA\ SALARIAL = GRUPOS\ DE\ VULNERABILIDADE\ SOCIAL}$$

$$\mathbf{E2: DENSIDADE\ POPULACIONAL * (peso) + RENDA\ MÉDIA\ SALARIAL * (peso) = GRUPOS\ DE\ VULNERABILIDADE\ SOCIAL}$$

Variáveis	Intervalos	Pesos (1 a 4)
Renda Média Mensal por Setor Censitário (em salário mínimo)* x 0.30	Até 2	4
	De 2 a 5	3
	De 5 a 10	2
	Acima de 10	1
Densidade Populacional por Setor Censitário (em número de habitantes totais) x 0.10	Até 325	1
	De 326 a 650	2
	De 651 a 975	3
	De 976 a 1300	4

Quadro 9 - Distribuição dos pesos para definição dos grupos de vulnerabilidade social

*Valor do salário mínimo adotado: R\$ 510,00 - ano 2010.

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Ao todo, são 96 setores censitários, com 63 752 habitantes, dos 72 220 habitantes totais do município de Viçosa (IBGE, 2010). Com a aplicação da metodologia, chega-se ao resultado de três grupos de vulnerabilidade social, classificados em Baixa, Média e Alta Vulnerabilidade, grupos 1, 2 e 3 respectivamente.

Trabalhos de Campo

O trabalho de campo é imprescindível, pois permite melhor compreensão da realidade e proporciona comprovação ou refutação dos resultados gerados a partir de procedimentos digitais, utilizando SIGs e Sensoriamento Remoto. Atualmente, o trabalho

de campo tem função mais sistemática, ou seja, em campo já é possível correlacionar os resultados obtidos a partir de uma análise digital de forma a sistematizar os resultados, não sendo necessária, assim, a realização de campo para coleta de dados prioritariamente, salvo em algumas situações.

Os campos realizados para desenvolvimento desta pesquisa tiveram como objetivos o reconhecimento das áreas de maior incidência de escorregamentos e inundações e a verificação dos resultados obtidos na classificação digital com as características reais de cada tipo de ocupação urbana, utilizando o mapa de Uso e Cobertura da Terra elaborado a partir do sensor RapidEye e os mapas de Declividade, MDE e Sobreposição das Curvas de Nível sobre os limites dos Setores Censitários, que permitiram distinguir os locais (ou setores censitários) de maiores declividades e identificar as formas de relevo.

Mapa de uso e cobertura da terra da área urbana – Imagem do sensor RapidEye

A classificação do Uso e Cobertura da Terra (**Figura 14**), elaborada a partir da imagem do sensor RapidEye, propiciou resultados mais refinados a partir de uma análise mais detalhada (escala de 1:25 000), pois, quanto maior a resolução espacial, maior a escala cartográfica para análise. Esse detalhamento do produto cartográfico foi muito importante para indicação de supostas áreas de risco.

A partir dessa característica favorável, o sistema de classificação definido para o mapa de Uso e Cobertura da Terra admitiu, para as classes de Área Urbana, Mata Secundária e Cultura, as seguintes subclasses: Área Urbana de Alta Densidade (UrbAD), Área urbana de Média Densidade (UrbMD) e Área Urbana de Baixa Densidade (UrbBD); Mata Secundária Regenerada (MSecReg) e Mata Secundária em Regeneração (MSecemReg); Café e Eucalipto. Essas subclasses são visíveis na imagem realçada da RapidEye, na composição RGB das bandas 3,4 e 5, em falsa-cor, como mostra a **Figura 15**.

A UrbAD se caracteriza por ter uma tonalidade mais escura e estruturas espaciais mais fechadas e densas, sendo encontrada em áreas de maior declividade, conforme configuração do relevo local. A UrbMD mescla as tonalidades e a homogeneidade referente às construções que compõem a área urbana. Sua imparcialidade também se configura junto ao relevo e à declividade, já que pode ser encontrada em ambas as partes. Por fim, a UrbBD tem tonalidade mais clara e é mais aberta espacialmente, sendo identificada em áreas menos declivosas. A UrbMD apresenta maior área (9,20%), seguida pela UrbAD (7,15%) e UrbBD (6,55%).

A MSecReg são fragmentos mais encorpados, fechados e que já atingiram o clímax, diferenciando-se da MSecemReg, que conforma vegetação arbustiva de pequeno a médio porte, mais espaçada e geralmente com algum tipo de interferência antrópica. As duas classes somam, aproximadamente, 36% de área verde significativa dentro da área urbana, sendo encontradas com mais frequência em topos de morros. A MSecemReg apresenta maior área, totalizando 19,06%.

A identificação dos cultivos de Café e Eucalipto foi concretizada por meio da configuração geométrica de cada uma, e, mesmo que em menor frequência nas áreas urbanas, essas culturas representam 3,5% da área urbana e comumente são instaladas do meio da encosta para seu topo.

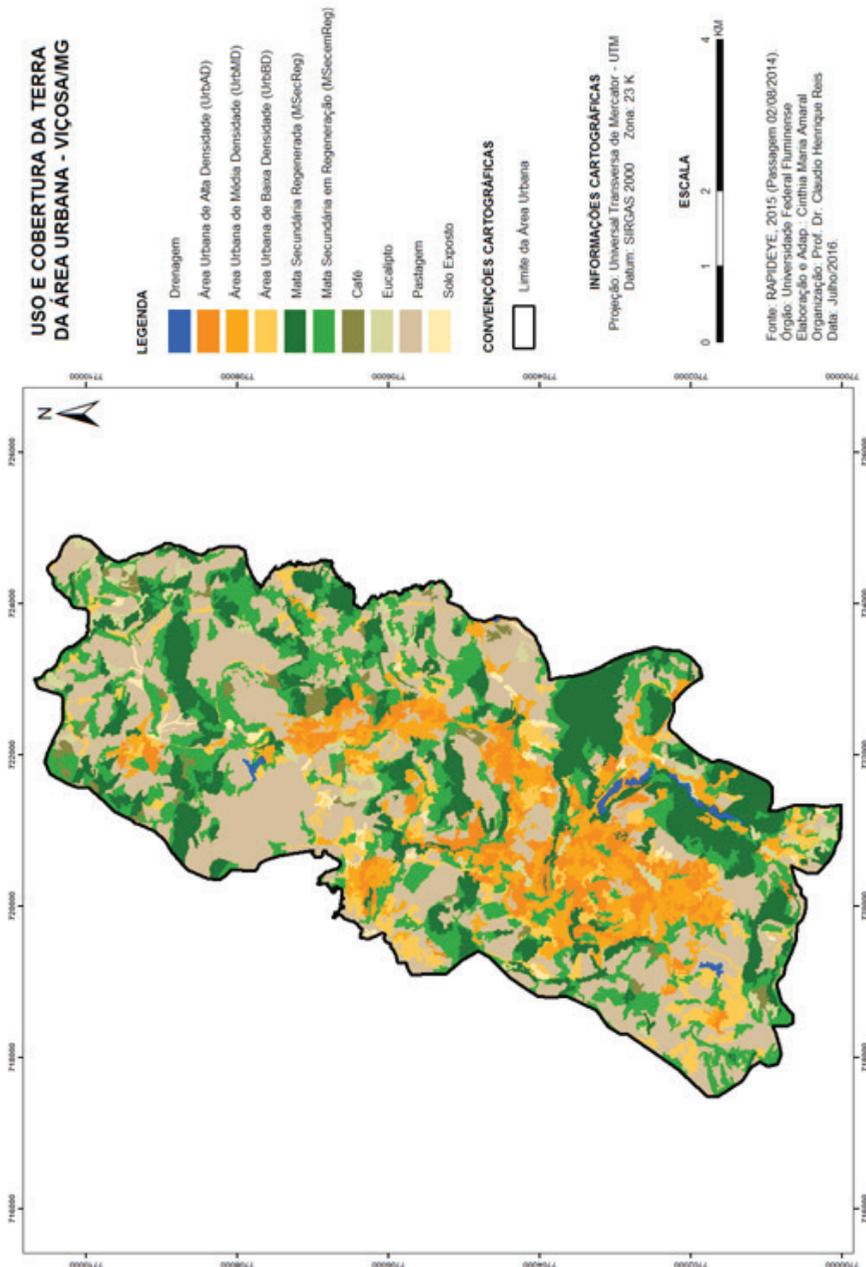


Figura 14 - Mapa de Uso e Ocupação da Terra

Elaboração: Próprio Autor (2016)

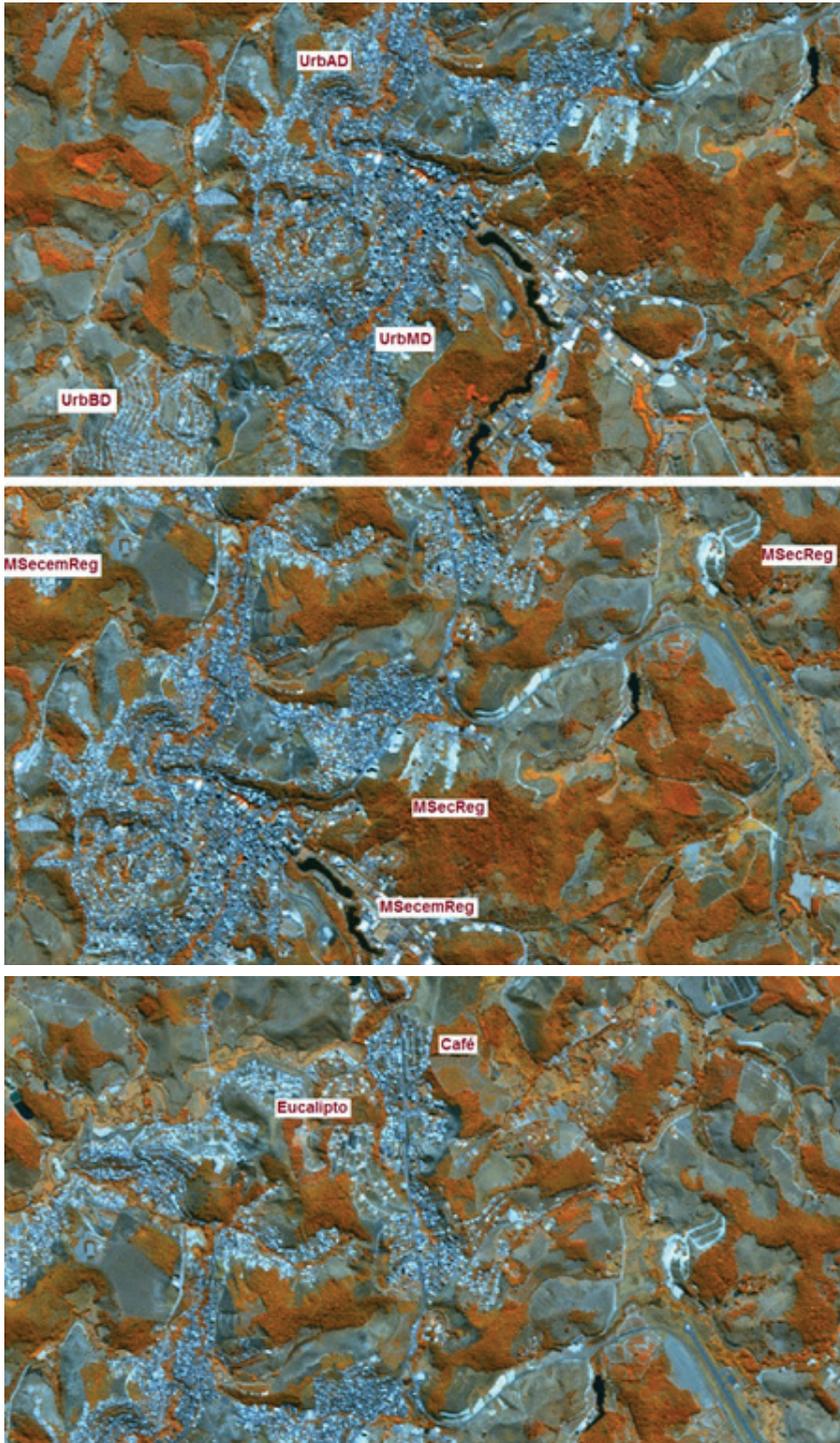


Figura 15 - Subclasses identificadas na imagem RapidEye realçada

Elaboração: Próprio Autor (2016)

A Pastagem representa a maior porcentagem de área no recorte analisado (35,45%), apresentando-se de forma intercalar com os outros elementos (classes) espacialmente. A Drenagem é representada (nessa classificação) pelas lagoas e tanques (0,45%), não sendo possível a identificação dos cursos d'água de menor porte que compõem a rede de drenagem urbana, por mais que a imagem do sensor RapidEye tenha melhor resolução espacial (5 metros) em comparação com Landsat 8 (30 metros), por exemplo. Por fim, os Solos Expostos representam, da área total de aproximadamente 42 Km², apenas 0,90%. Fato positivo em relação à política de conservação dos solos, prevenção e mitigação de riscos, principalmente dos escorregamentos e assoreamento dos rios. A **Tabela 2** mostra, em área e porcentagem, a representatividade de cada classe e subclasse identificadas.

Tabela 2 - Cálculo de área (Km²) das classes em Km² da imagem do sensor RapidEye

Classes	Subclasses	Área (Km ²)	%
Drenagem	-	0,19	0,45
Área Urbana	UrbAD	3,00	7,15
Área Urbana	UrbMD	3,86	9,20
Área Urbana	UrbBD	2,75	6,55
Mata Secundária	MSecReg	7,38	17,58
Mata Secundária	MSecemReg	8,00	19,06
Cultura	Café	0,56	1,33
Cultura	Eucalipto	0,98	2,33
Pastagem	-	14,88	35,45
Solo Exposto	-	0,38	0,90
Área total das classes	-	41,98	100,00
Área total dos polígonos não classificados	-	0,00	0,00

Fonte: Resultado extraído da classificação da imagem RapidEye no Spring 5.4.1.
Elaboração: Próprio Autor (2016)

O trabalho de campo realizado objetivou identificar e confirmar (ou refutar) os resultados acima obtidos do mapa de Uso e Cobertura da Terra. Desse modo, foram escolhidos pontos estratégicos na área urbana central, em conformidade com a concentração populacional, graus de declividade e com o mapa em maior escala (1:15 000), de sobreposição das curvas de nível com os limites dos Setores Censitários (**Figura 16**). Esses limites, definidos pelo IBGE, seguem na maioria das vezes o padrão do relevo (no que tange à declividade) e induzem que essa configuração também caracteriza a população residente de cada setor. Ressalta-se, portanto, que poderá haver população de maior poder aquisitivo nas encostas e fundos de vale, mas as condições de instalação e infraestrutura são bem distintas das condições daquela população cujo poder econômico não corrobora para sua habitação adequada em áreas de maior declive e próximas às margens dos cursos d'água.

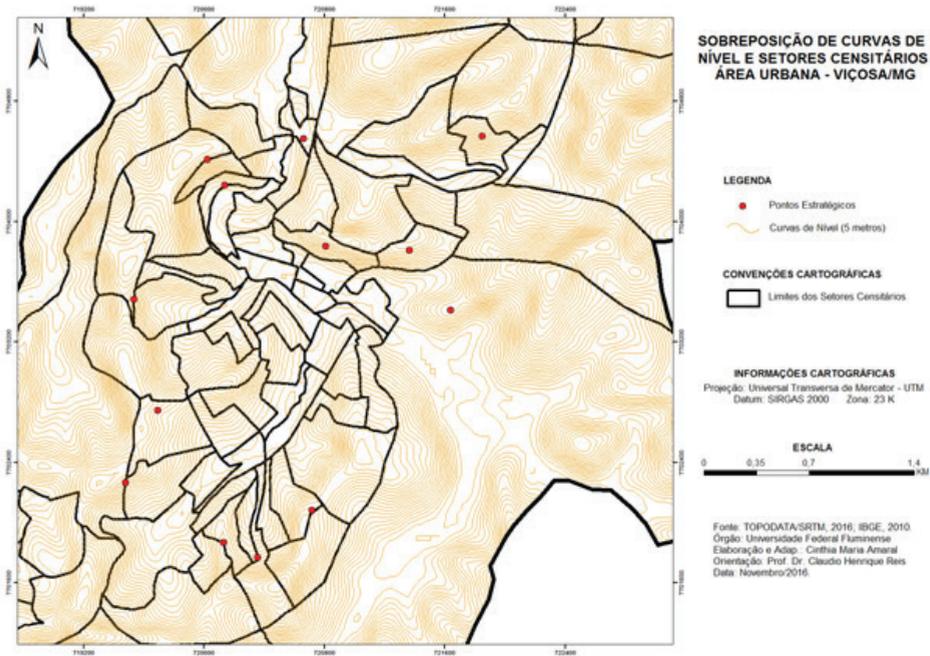


Figura 16 - Mapa de sobreposição das curvas de nível e setores censitários

Elaboração: Próprio Autor (2016)

383

Assim, a exemplo do que foi discutido acima e confirmando os resultados encontrados na classificação do Uso e Cobertura da Terra, a **Figura 17** mostra os tipos de ocupação encontrados em alguns pontos observados em campo dentro da área urbana, sendo evidenciados da seguinte forma: **A** (UrbMD), **B** (UrbBD), **C** (UrbMD/UrbAD) e **D** (UrbMD/UrbAD).

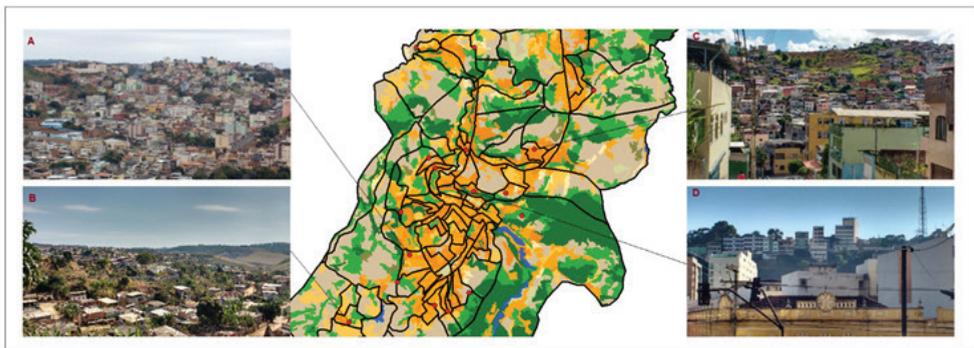


Figura 17 - Tipos de ocupação na área urbana central

Elaboração: Próprio Autor (2016)

Em suma, a área urbana, constituída por apenas 14,02% da área total do município de Viçosa (299,41 Km²), apresenta áreas ocupadas mais concentradas na porção centro-sul. As áreas mais planas densamente ocupadas e as encostas, mesmo que em menor proporção, também apresentam esse adensamento, mas ainda é cabível (dentro das condições de segurança e que não sejam de riscos potenciais) um crescimento horizontal, diferente das áreas mais planas e centrais que, atualmente, em sua maioria, permitem crescimento vertical.

Mapas de Compartimentação Geomorfológica, Declividade e Modelo Digital de Elevação (MDE)

Com vales mais encaixados, exutórios estreitos e/ou canalizados, forte carga de sedimentos originados a montante, com presença majoritária de morros e declividades superiores a 15% (**Figura 18**), a área urbana de Viçosa constitui-se de fatores físicos que, somados à ação humana, favorecem e/ou agravam a ocorrência e frequência dos processos de escorregamentos e inundações.

No que tange à compartimentação geomorfológica (**Figura 19**), as áreas mais planas (declividade inferior a 15%) são constituídas de planícies e terraços fluviais, rampas de colúvio e colinas e, para áreas mais declivosas (declividade superior a 15%), a configuração morfológica se estende a morros com encostas suavizadas, morrotes e morros.

As áreas com declividade inferior a 2% abrangem a planície fluvial. Os terraços, que são acumulações fluviais de forma plana e levemente inclinada, e as rampas de colúvio, que são originadas a partir de processos de dissecação e atuam sobre uma superfície aplainada (IBGE, 2009), no caso, os terraços, começam a se configurar com declividade superior a 2%. As colinas e morros com encostas suavizadas detêm declividade menor que 15% e se diferenciam pela amplitude do relevo, sendo menor que 100 metros para as colinas e entre 100 a 300 metros para os morros suavizados.

Os morrotes e os morros encontram-se nas declividades acima de 15%. Os morros, que perpassam por vezes a declividade de 30%, constituem metade da compartimentação geomorfológica da área urbana do município, seguidos pela formação de morrotes. A diferenciação na amplitude altimétrica deve-se ao fato de ser menor que 100 metros para morrotes, e superior a essa cota e não ultrapassando 300 metros para os morros (**Quadro 10**). Constata-se, assim, que a variação altimétrica da área urbana do município de Viçosa é de aproximadamente 225 metros (**Figura 20**).

Declividade (%)	Elevação * (m)	Compartimentação Geomorfológica *
<2	620 - 665	Planície Fluvial
2 - 7	665 - 710	Terraço Fluvial; Rampas de Colúvio
7 - 15	710 - 755	Rampas de Colúvio; Colinas e Morros com encostas suavizadas
15 - 30	755 - 800	Morrotes; Morros
>30	800 - 845	Morros

Quadro 10 - Caracterização morfométrica e morfológica da área urbana

Elaboração: Próprio Autor (2017)

*Referência aproximada originada a partir de cada fator.

A sintetização dos resultados dos mapas de Compartimentação Geomorfológica, Declividade e MDE objetivou caracterizar de forma aproximada a morfologia do relevo urbano do município por meio das características (mencionadas em intervalos) de cada fator.

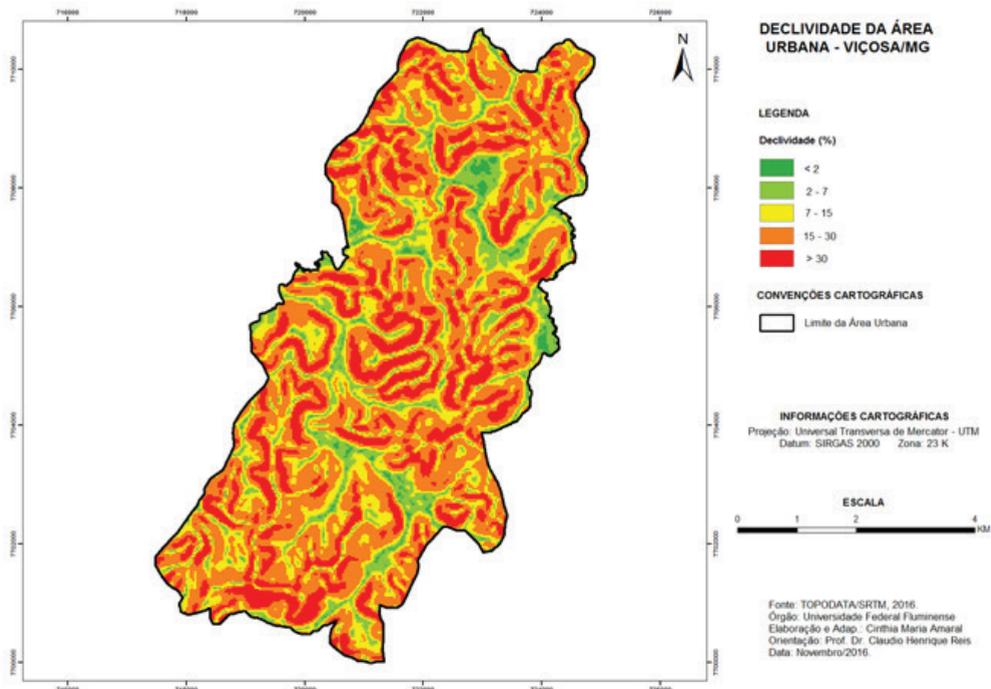


Figura 18 - Mapa de declividade

Elaboração: Próprio Autor (2016)

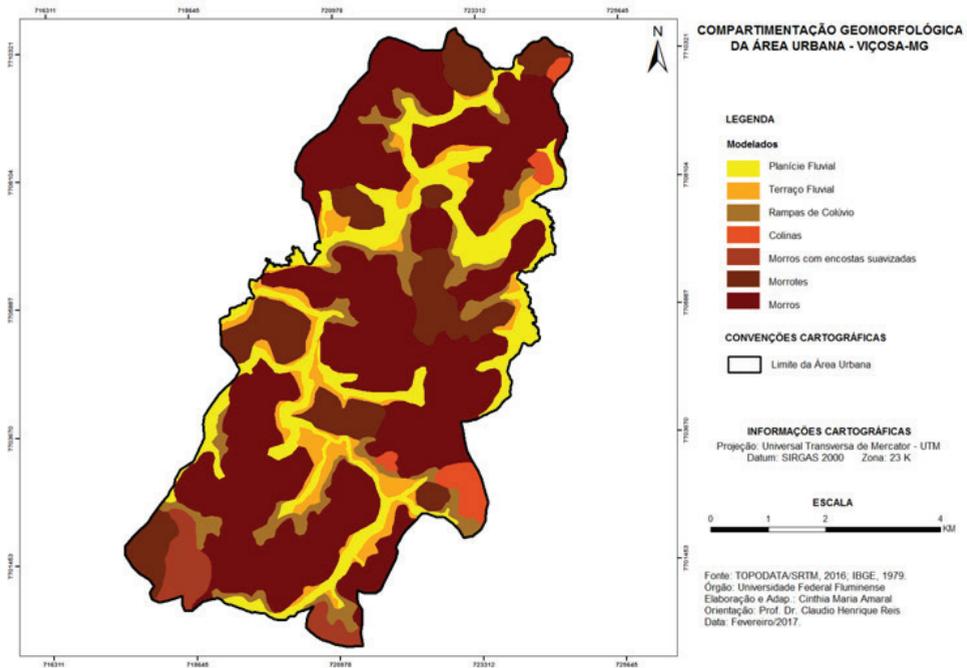


Figura 19 - Mapa de compartimentação geomorfológica

Elaboração: Próprio Autor (2017)

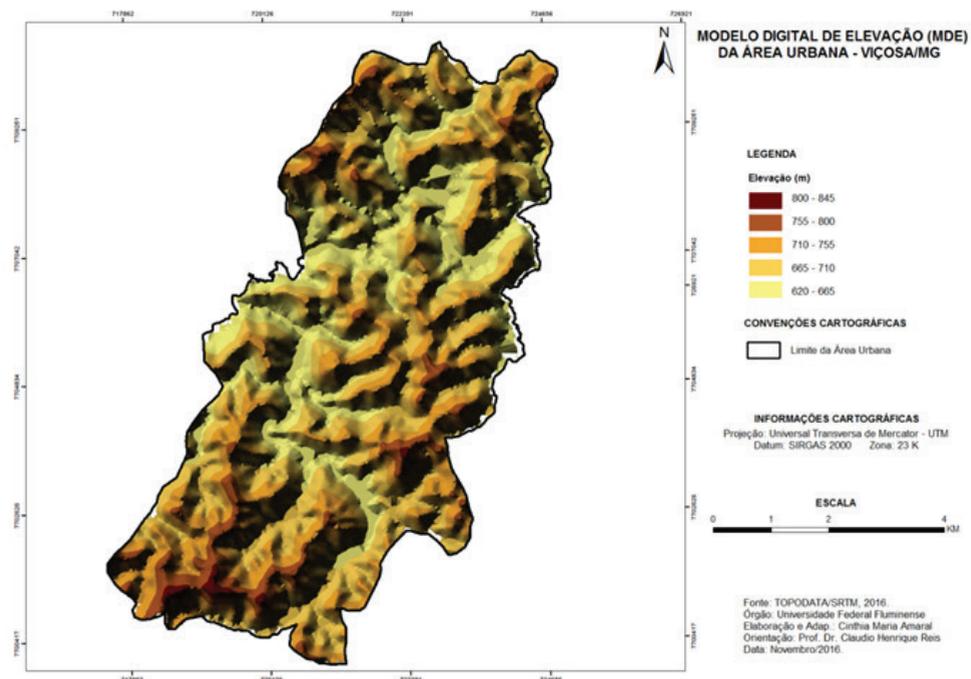


Figura 20 - Modelo Digital de Elevação

Elaboração: Próprio Autor (2016)

Mapas de Densidade Populacional e Distribuição de Renda Média Salarial por Setor Censitário

Com base nos dados do Censo Demográfico do IBGE de 2010, as variáveis de número de habitantes totais e renda média mensal, ambas por setor censitário, contribuíram para uma caracterização preliminar da população residente nos 96 setores censitários urbanos destacados nesta pesquisa. O código dos setores e os dados brutos das variáveis estão elencados no **Quadro 11**, que contém, também, uma atribuição numérica cardinal crescente para identificação e menção de cada setor censitário, seguindo para o enquadramento em intervalos das variáveis citadas para análise estatística.

Sobre o quantitativo populacional em cada setor, mais da metade (75%) dos setores apresentam baixa (326 a 650 habitantes/setor) e média (651 a 975 habitantes/setor) densidade (37,50% cada). Seguem-se 13,54% de setores de alta densidade (976 a 1300 habitantes/setor) e 11,46% de setores de baixíssima densidade (até 325 habitantes/setor).

Do total de setores por densidade, somou-se a população total (absoluta e percentual), a fim de esclarecer qual o quantitativo populacional que reside de fato nas classes estabelecidas. Assim, verificou-se que os setores de média densidade detêm o maior número populacional (45,20%), seguidos pelos setores de baixa densidade (28,46%), alta densidade (22,37%) e baixíssima densidade (3,97%), ressaltando que, independentemente do tamanho (área) e do número de setores, poderá haver maior população em menor grupo de setores somados por densidade e assim sucessivamente (**Tabela 3**).

Especialmente, essa distribuição da população dentro da área urbana se configura de forma mista, sendo notável o destaque para os setores de baixíssima densidade que se concentram em parte da área central e da UFV, fato justificado por se tratar de áreas mais comerciais e para fins educacionais, respectivamente (**Figura 21**).

Tabela 3: Resultado da classificação para densidade populacional por setor censitário

Número de Habitantes (por Setor)	Densidade	Número de Setores (Absoluto)	Número de Setores (%)	População Total (absoluto)	População Total (%)
Até 325	Baixíssima	11	11,46	2532	3,97
De 326 a 650	Baixa	36	37,50	18144	28,46
De 651 a 975	Média	36	37,50	28817	45,20
De 976 a 1300	Alta	13	13,54	14259	22,37
Total Urbano	-	96	100	63752	100
Total Município	-	110	100	72220	100

Fonte: IBGE (2010). Elaboração: Próprio Autor (2017)

Em relação à renda média, após o agrupamento estipulado (**Tabela 4**), chega-se a uma identificação e caracterização de pessoas mais e menos favorecidas socioeconomicamente. A maior parcela da população da área urbana (45,83%) recebe entre 2 a 5 salários, seguida dos 31,25% que recebem apenas até 2 salários mínimos. Essa porcentagem passa a diminuir de acordo com o aumento da renda salarial: 19,8% detêm de 5 a 10 salários, e somente 3,12% dessa população, o equivalente a mais de 10 salários mínimos.

Tabela 4: Resultado da classificação para renda salarial por setor censitário

Renda (Salário Mínimo*)	Número de Setores (Absoluto)	Número de Setores (%)	Setores
Até 2	30	31,25	6,8;10-12;15-18;35;37;41;44;47-50;53-55;63-66;71;80;81;85;89 e 95.
De 2 a 5	44	45,83	1;4;7;9;13;14;19;20;22;25;29;31-34;36;38-40;42;43;45;46;51;52;56-59;62;70;72;76-79;82;84;86-88;90;92 e 96.
De 5 a 10	19	19,8	2;3;5;21;23;24;26-28;30;60;68;69;73;75;83;91;93 e 94.
Acima de 10	3	3,12	61, 67 e 74.

*Valor do Salário Mínimo: R\$ 510,00 – ano base de 2010.

Fonte: IBGE (2010).Elaboração: Próprio Autor (2017)

Os extremos da concentração de renda são especialmente percebíveis quando considerada sua localização frente à valorização imobiliária no município. Desse modo, aqueles detentores de mais de 10 salários mínimos mensais se encontram (como referência) em parte do Centro e nos bairros Ramos e Acamari (próximo à UFV), Setores 67, 74 e 61, respectivamente. Em contrapartida, aqueles que possuem renda média mensal inferior a 2 salários mínimos se distribuem especialmente com mais frequência na porção oeste da área urbana (**Figura 22**). O bairro Nova Viçosa (setores 18, 64, 66 e 71) é um dos que apresentam essa indicação socioeconômica inferior.

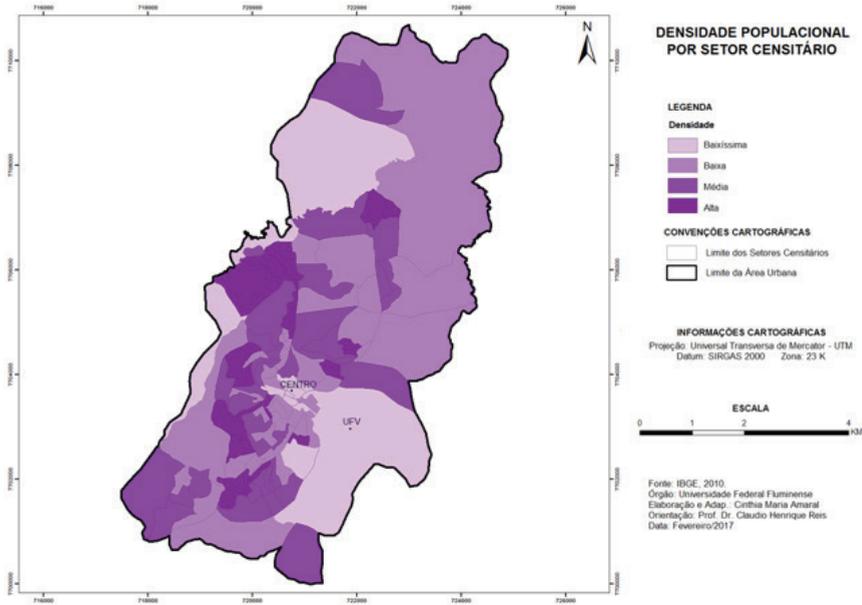


Figura 21 - Mapa de densidade populacional por setor censitário

Elaboração: Próprio Autor (2017)

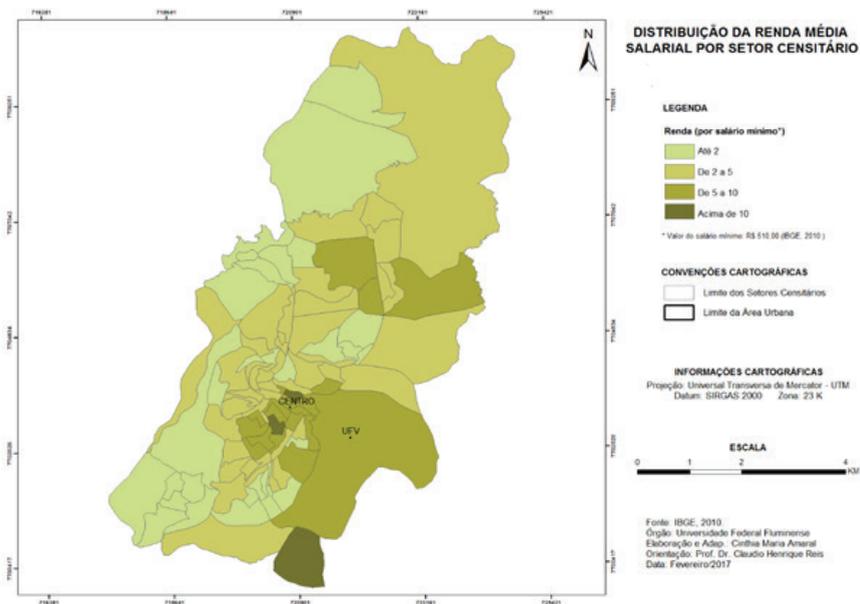


Figura 22 - Mapa de distribuição de renda média salarial por setor censitário

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Mapas de Riscos a Escorregamentos e Inundações e de Vulnerabilidade Social

A aplicação da metodologia de Álgebra de Mapas permitiu, por meio de duas equações, chegar a dois resultados distintos para o risco de escorregamentos, risco de inundações e para a vulnerabilidade social, totalizando seis mapas. Esses resultados se embasaram na soma simples dos fatores, que têm integrado a suas classes valor de ponderação (Equação 1), e na soma desses fatores com multiplicação de pesos específicos (Equação 2), atribuídos de acordo com a importância que cada fator tem frente aos riscos e à vulnerabilidade aqui estudados.

A aplicação da Equação 2 (E2), para identificação das áreas de risco de escorregamentos, se mostrou mais viável e confiável, principalmente na detecção das áreas de maior grau de risco, pois obteve resultados mais homogêneos entre os graus definidos, facilitando, assim, o enquadramento das áreas de alto risco, especialmente (**Figura 23**). Na análise da Equação 1 (E1), a área detectada de grau máximo se mescla às informações de graus inferiores, dificultando o apontamento das áreas de maior risco (**Figura 24**).

Em relação aos resultados de risco de inundação, na E2, os resultados de alto grau foram concentrados próximos aos cursos d'água, na compartimentação geomorfológica e declividade correspondentes, sendo mais bem observados com a rede de drenagem que compõe a área urbana (**Figura 25**); já com os resultados obtidos com a E1, as áreas de alto e médio risco foram expandidas para áreas que são, de fato, de baixo grau (**Figura 26**), não se obtendo, assim, resultado satisfatório.

E, por fim, com as informações coletadas das variáveis de renda média e número de habitantes por setor censitário, disponíveis no resultado do Censo Demográfico (IBGE, 2010), aplicaram-se E1 e E2 (para essas variáveis), sendo que o resultado mais apropriado mostrou ser desta última, pois houve maior abrangência dos setores de vulnerabilidade alta, que foram caracterizados na E1, erroneamente, como grupos de baixa e média vulnerabilidade em determinadas áreas (**Figura 27 e 28**, respectivamente). A identificação dessa diferença foi facilmente conferida, uma vez que houve, em momento anterior, trabalhos de campo e análises mais detalhadas dos indicadores das variáveis base para esse fator.

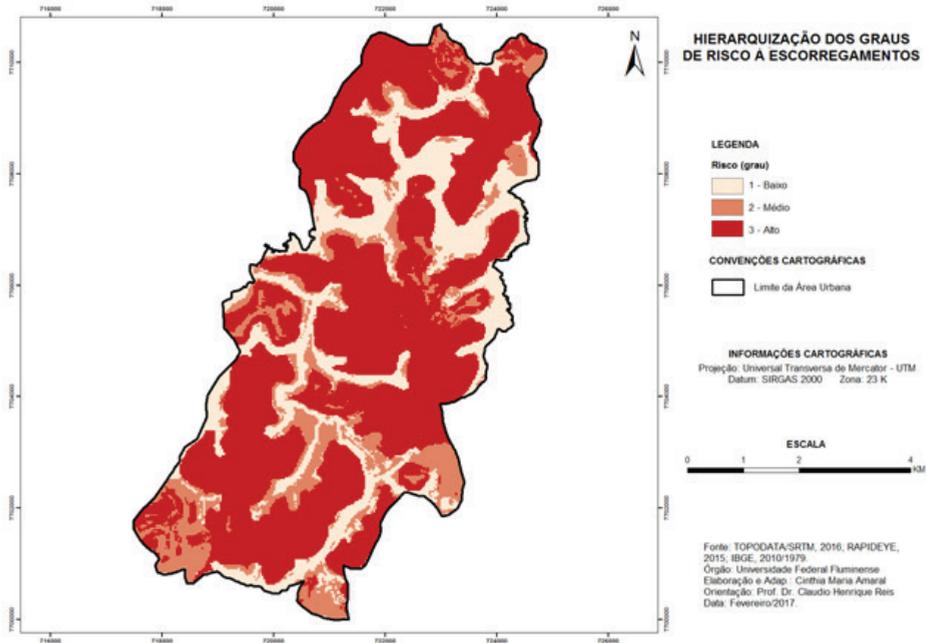


Figura 23 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de escorregamentos com aplicação da E2

Elaboração: Próprio Autor (2017)

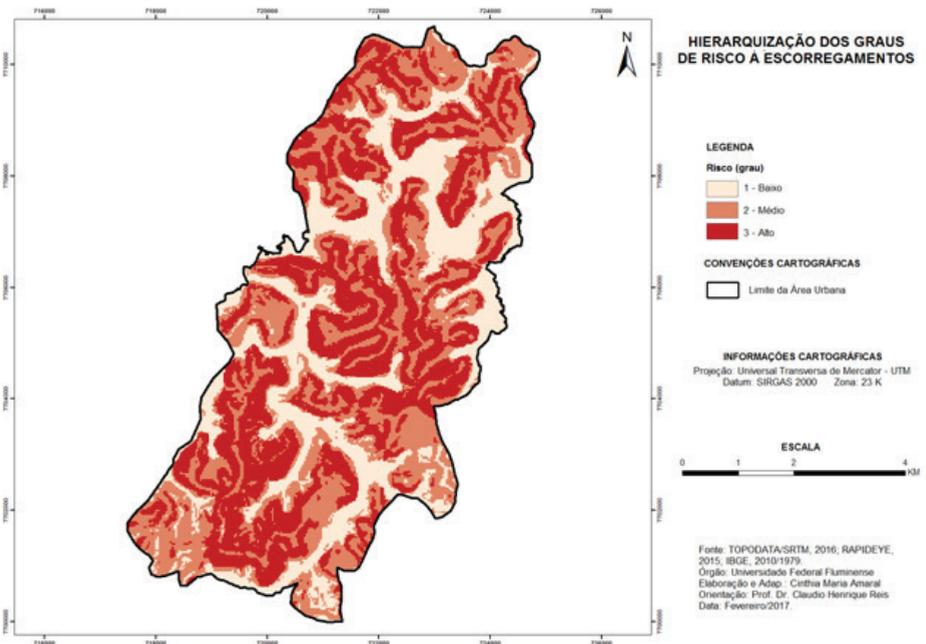


Figura 24 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de escorregamentos com aplicação da E1

Elaboração: Próprio Autor (2017)

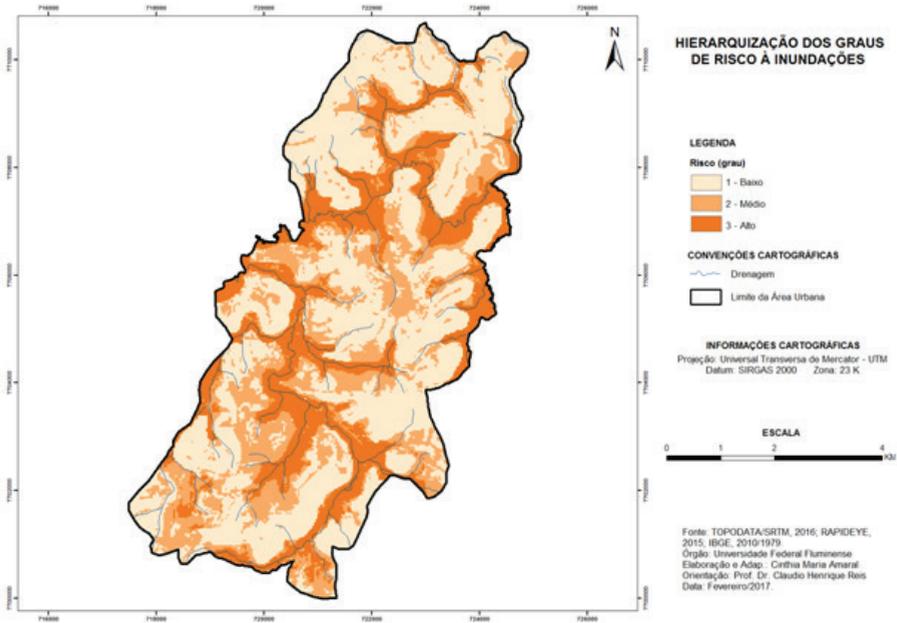


Figura 25 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de inundações com aplicação da E2

Elaboração: Próprio Autor (2017)

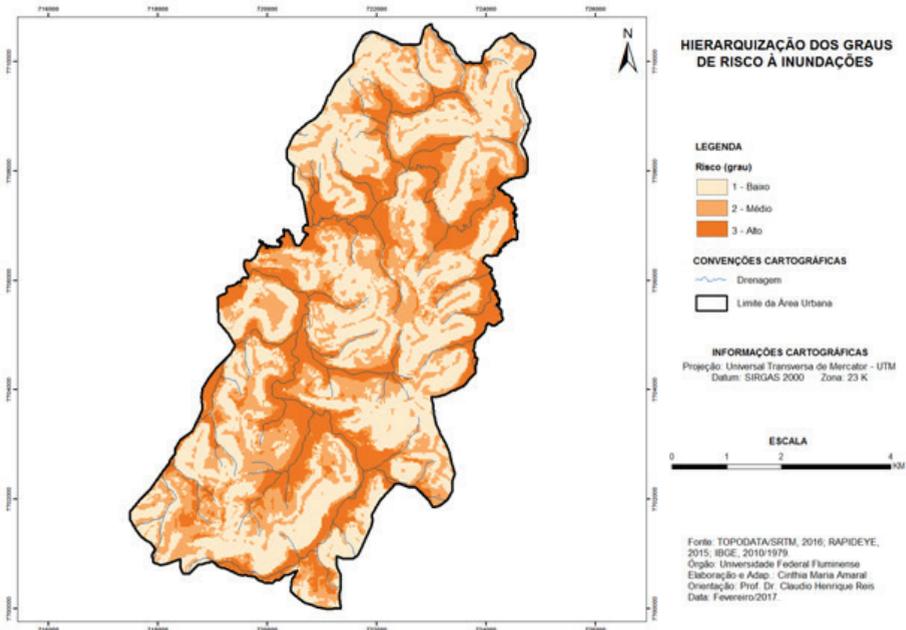


Figura 26 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de inundações com aplicação da E1

Elaboração: Próprio Autor (2017)

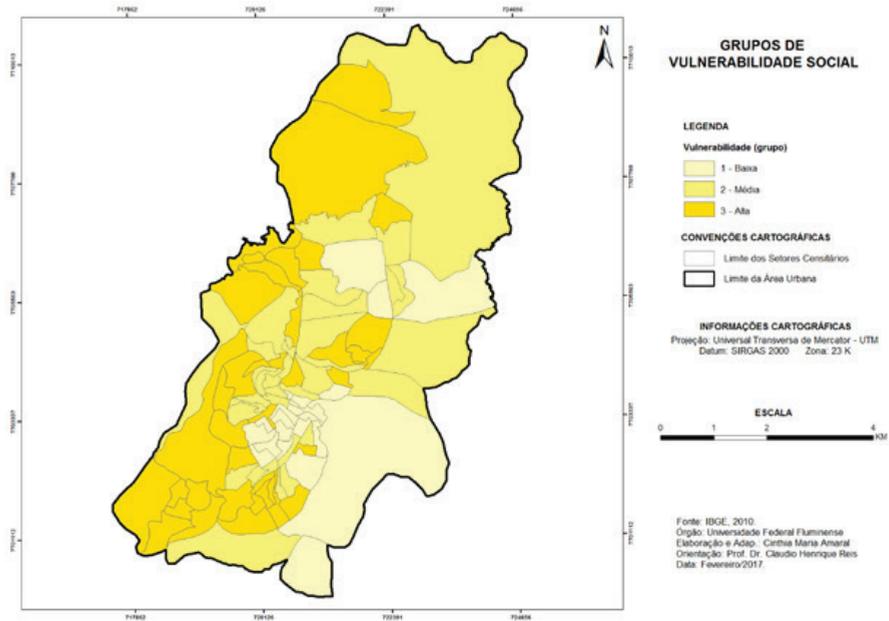


Figura 27 - Mapa de grupos de vulnerabilidade social com aplicação da E2

Elaboração: Próprio Autor (2017)

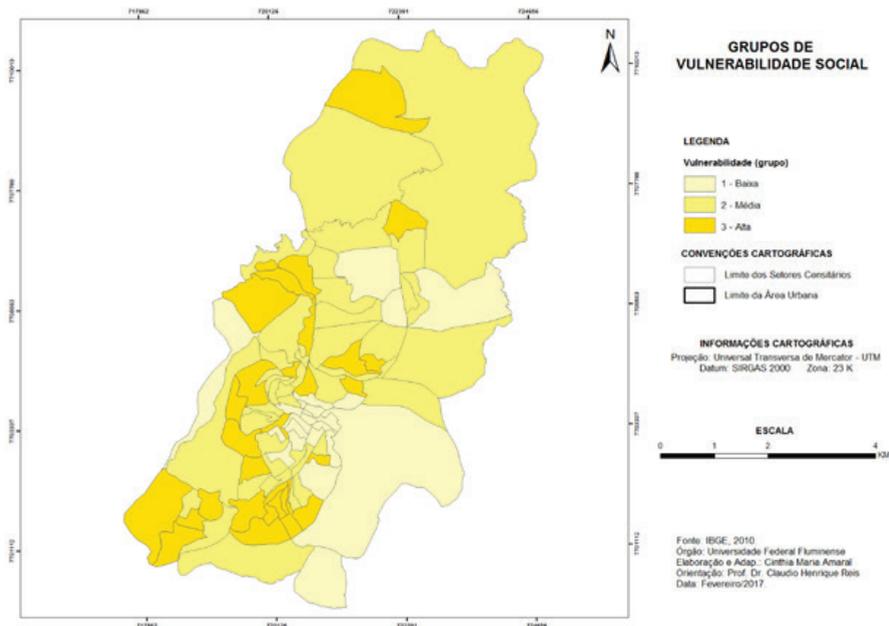


Figura 28 - Mapa de grupos de vulnerabilidade social com aplicação da E1

Elaboração: Próprio Autor (2017)

A **Tabela 5** explicita o argumentado acima, mostrando as diferenças de soma de áreas (em Km²) entre os resultados dos mapas. Nota-se que, para os resultados da E1, o valor do intervalo das áreas para risco de escorregamentos é mais próximo, sendo que há diferença relevante para essas áreas conforme explicado e justificado por fatores como declividade e compartimentação geomorfológica. Para as áreas de risco de inundação, o que se destaca são as áreas de risco baixo darem maior valor no mapa de ponderação, fato verídico, pois o relevo da área é composto justamente por compartimentos mais elevados (>15%) e, para a vulnerabilidade, é notável que o Grupo 3 (vulnerabilidade alta) tem maior área em comparação ao mapa de soma simples (E1).

Tabela 5 - Resultado em área para riscos de escorregamentos e inundações e para a vulnerabilidade social com aplicação da E1 e E2

Fatores	Risco/Grupo	E1 - Área (Km ²) (Absoluto)	E2 - Área (Km ²) (Absoluto)
Escorregamentos	1	10,36	8,79
	2	15,70	6,89
	3	15,53	25,90
Inundações	1	18,78	21,06
	2	12,48	10,50
	3	10,33	10,03
Vulnerabilidade	1	9,90	9,17
	2	24,22	18,03
	3	7,47	14,39
Total Área Urbana	-	41,98	41,98
Total Área por Fator	-	41,59	41,59
Área não classificada	-	0,39	0,39

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Desse modo, os mapas resultantes da E2, elaborados com a soma e multiplicação de pesos específicos para cada fator, serão utilizados para discussão e análise que instigaram o objetivo principal deste trabalho, pois promulgaram um resultado mais satisfatório para a hierarquização dos graus dos riscos e para a identificação e definição dos grupos de vulnerabilidade.

Com o cruzamento dessas informações e das análises dos Itens **4.1**, **4.2** e **4.3**, os critérios caracterizadores (**Quadro 12**) para obtenção dos graus de risco (1,2 e 3) e dos grupos de vulnerabilidade (1, 2 e 3), com enfoque no meio físico (compartimentação geomorfológica e declividade), no homem (perfil socioeconômico) e no homem-meio (Uso e Cobertura da Terra), permanecem assim definidos:

		RISCOS
Escorregamento	Inundação	Critérios*
Risco1 (Baixo)	Risco 3 (Alto)	Áreas com declividade inferior a 15%, abrangendo principalmente as planícies e terraços fluviais. São áreas demasiadamente ocupadas em toda sua extensão da área urbana, com insuficiente ou inexistente cobertura vegetal ciliar.
Risco 2 (Médio)	Risco 2 (Médio)	Áreas com declividade variando em intervalos inferiores e superiores a 15%, a depender da forma do relevo (rampas de colúvio, colina, morro em encostas suavizadas ou morrotes). Nessas áreas há ocupação significativa se ramificando pelas encostas. A vegetação consiste em Mata Secundária em Regeneração e Pastagem, que abrange maior área, mesmo que em setor urbano.
Risco 3 (Alto)	Risco 1 (Baixo)	Áreas com declividade superior a 15%, com presença de morrotes e principalmente de conjunto de morros, que podem chegar a declividade superior a 30%. Nessas declividades (topos de morros), quando não ocupadas, há presença de Mata Secundária Regenerada ou pastagem.
VULNERABILIDADE SOCIAL		
Vulnerabilidade	Critérios*	
Grupo 1 (Baixa)	Setores que apresentam entre baixíssima a baixa densidade populacional e com renda superior a 5 salários mínimos, principalmente acima de 10 salários.	
Grupo 2 (Média)	Setores que apresentam média densidade populacional com renda variando entre o intervalo de 2 a 5 salários mínimos.	
Grupo 3 (Alta)	Setores que apresentam alta densidade populacional com renda inferior a 2 salários mínimos.	

Quadro 12 - Descrição dos critérios para obtenção dos graus de riscos e dos grupos de vulnerabilidade social

Elaboração: Próprio Autor (2017)

*Os critérios foram definidos de acordo com os resultados e análises obtidas nos itens anteriores.

A análise dos resultados referentes aos riscos e vulnerabilidade acima dispostos está apresentada a seguir.

Risco de Escorregamentos

O risco de escorregamentos existe independentemente da intervenção humana, entretanto a má gestão da ocupação espacial e territorial pode agravar e/ou acelerar esses processos, principalmente nas áreas urbanas, onde há falta de planejamento e fiscalização dos órgãos competentes frente à ocupação das áreas de risco.

A configuração morfológica de Viçosa, composta em sua maioria por áreas mais declivosas (>15%) e por formações de morros e morrotes (amplitudes altimétricas maiores que 100 metros), consiste em fator determinante para delimitação das áreas de risco de escorregamentos. Assim, mais de 60% da área urbana total se classifica como de alto risco (Grau 3), e um pouco mais de 16%, de risco médio (Grau 2). As áreas mais planas (intervalos inferiores a 15%) correspondem ao risco baixo (Grau 1), com representação de 21,14% (**Tabela 6**).

Tabela 6 - Total em área (Km²) para os graus de hierarquização de risco de escorregamentos

Grau	Classificação	Área (km ²) Absoluto	Área (km ²) %
1	Baixo	8,79	21,14
2	Médio	6,89	16,58
3	Alto	25,90	62,28
Área Total Analisada	-	41,59	100,00

Elaboração: Próprio Autor (2017)

O mapa final de hierarquização de risco de escorregamentos (**Figura 29**), mostra espacialmente que as delimitações das áreas de risco de Grau 3 correspondem de fato às formas de relevo mais declivosas (>15%), principalmente os morros e morrotes, e localizam-se sem uma concentração evidente, abrangendo toda a área urbana, desde as áreas centrais até as mais periféricas. As áreas de Grau 2 (formas morfológicas mescladas) perfazem a transição com as áreas de Grau 1, que têm declividade inferior a 15% e configuração do relevo mais aplainada (planícies e terraços fluviais).

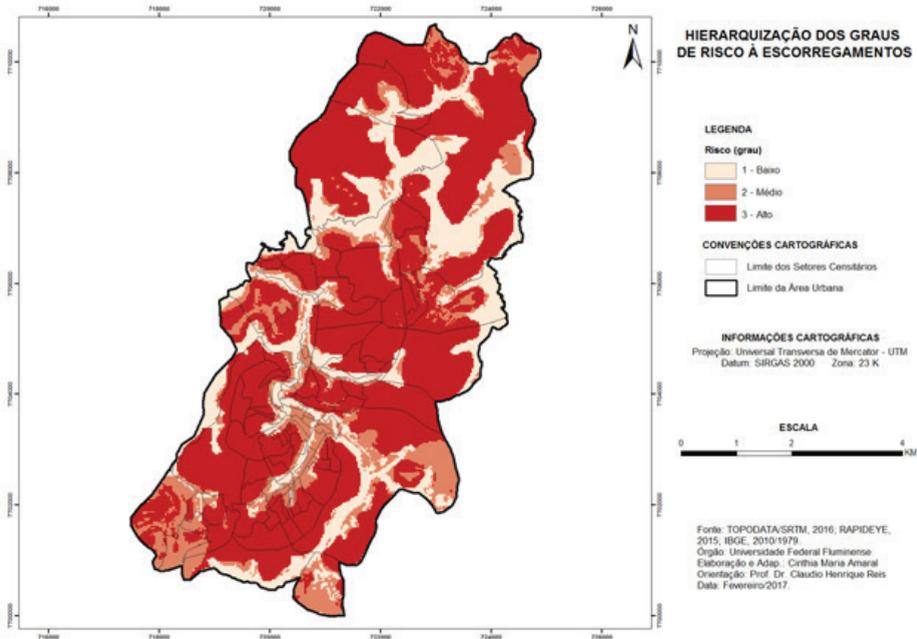


Figura 29 - Mapa de hierarquização dos graus de riscos de escorregamentos e setores censitários

Elaboração: Próprio Autor (2017)

397

Os escorregamentos são processos muito frequentes na área em estudo, seja por consequência de alta pluviosidade, seja por problemas diversos com a rede pluvial, instabilidade/movimentação do terreno (natural ou criada), retirada inadequada do sopé da encosta ou outros fatores. Dos tipos de escorregamentos existentes, translacional e rotacional (FERNANDES; AMARAL, 2009), o rotacional é o que mais ocorreu (**Figura 30**). Em campo, é possível verificar cicatrizes desses escorregamentos (**Figura 31**), o tamanho da área atingida, impactos causados e locais suscetíveis à ocorrência desse movimento de massa. Ressalta-se que, em épocas de maiores volumes de chuva, a ocorrência desses eventos aumenta, mesmo sabendo que, para ocorrer, esses movimentos independem da ação da água.



Figura 30 - Escorregamento rotacional ocorrido em área com cobertura vegetal. UFV, Viçosa-MG

Fonte: Arquivo Pessoal (2015)



Figura 31 - Cicatrizes de escorregamento em encosta acima de áreas (de risco) ocupadas. Bairro Sagrada Família, Viçosa, MG

Fonte: Arquivo Pessoal (2015)

Risco de Inundações

Para o risco de inundação, a maior porcentagem é referente ao baixo risco (Grau 1) com metade (50,64%) da área total urbana, seguido pelo risco médio (Grau 2), com 25,25%. Essas posições são justificadas, já que a maior parcela territorial é composta por áreas de maiores declividades que, portanto, não interferem com tenacidade na definição das áreas de risco de inundação. Assim, 24,11% são áreas consideradas de alto risco (Grau 3) (**Tabela 7**).

Tabela 7 - Total em área (Km²) para os graus de hierarquização de risco de inundação

Grau	Classificação	Área (km ²) Absoluto	Área (km ²) %
1	Baixo	21,06	50,64
2	Médio	10,50	25,25
3	Alto	10,03	24,11
		41,59	100,00
Área Total Analisada	-	41,59	100,00

Elaboração: Próprio Autor (2017)

As áreas de Grau 3 estão, em suma, nas áreas menos declivosas estabelecidas nas planícies e terraços fluviais. Espacialmente, essas áreas se configuram nas margens do Ribeirão São Bartolomeu (sentido sudeste-noroeste), do córrego da Conceição (parte sul da área central) e do rio Turvo Sujo (sentido meandrante de leste-oeste) (**Figura 32**).

Em análise mais detalhada para os cursos d'água que compõem a área urbana do município de Viçosa, no que tange à sua hierarquização, estes, em sua maioria, se classificam como canais de primeira ordem, seguidos pelos canais de segunda, terceira e por fim, de quarta ordem (**Figura 33**), de acordo com o método Strahler (1952)⁵³. Essa hierarquização é um importante instrumento, pois facilita os estudos da dinâmica fluvial local, permitindo compreender como ocorrem os processos de inundações, por exemplo.

O rio Turvo Sujo (A) é o curso d'água de maior expressão, dando origem à bacia hidrográfica principal que compõe o município de Viçosa e que corta parte da área urbana, já com ordenamento 4, trazendo forte carga de sedimentos para jusante. Um de seus afluentes, o ribeirão São Bartolomeu (B), é o principal curso d'água urbano de Viçosa, de classificação de 4ª ordem, interceptando toda área central até desaguar no rio Turvo Sujo, no limite da área urbana/rural. O ribeirão São Bartolomeu, assim como o rio Turvo Sujo, sofre represamento para captação e abastecimento de água para o município. O córrego da Conceição (C), de 3ª ordem, é um dos braços do ribeirão São Bartolomeu dentro da área urbana e, atualmente, ocasiona inundações esporádicas (a depender do volume, intensidade da chuva, etc.) próximo ao seu ponto de confluência com o ribeirão São Bartolomeu, trecho que se encontra canalizado.

Em suma, as áreas de maior risco de inundação são compostas por drenagens de 4ª Ordem ou 3ª Ordem. As áreas de riscos inferiores são compostas por cursos d'água de 2ª e 1ª Ordem, para riscos de grau médio e baixo, respectivamente.

Em evento ocorrido em março de 2015, choveu 111 milímetros (acumulado aproximado de 3 horas), o que gerou transbordamento do córrego da Conceição, que subiu cerca de 7 metros acima do nível normal e atingiu construções que margeiam o curso d'água na Avenida Santa Rita, Rua Francisco Machado e mediações da Praça Mário Del Giudice no Centro da cidade. Esse trecho do córrego, conforme mencionado anteriormente, é canalizado (com galeria subterrânea), e o excesso de lixo acumulado entupiu a entrada dessa galeria e impediu que a água escoasse, causando o transbordamento no trecho em questão⁶¹. Além da contribuição humana para a gravidade do evento, os fatores físicos devem ser considerados. O rápido escoamento superficial, a forte carga de sedimentos originadas a montante e o acumulado excessivo de volume pluviométrico são fatores que impulsionaram a ocorrência, mencionando também que a área em questão é de grau 3, em relação a risco de inundações (**Figuras 34 e 35**).

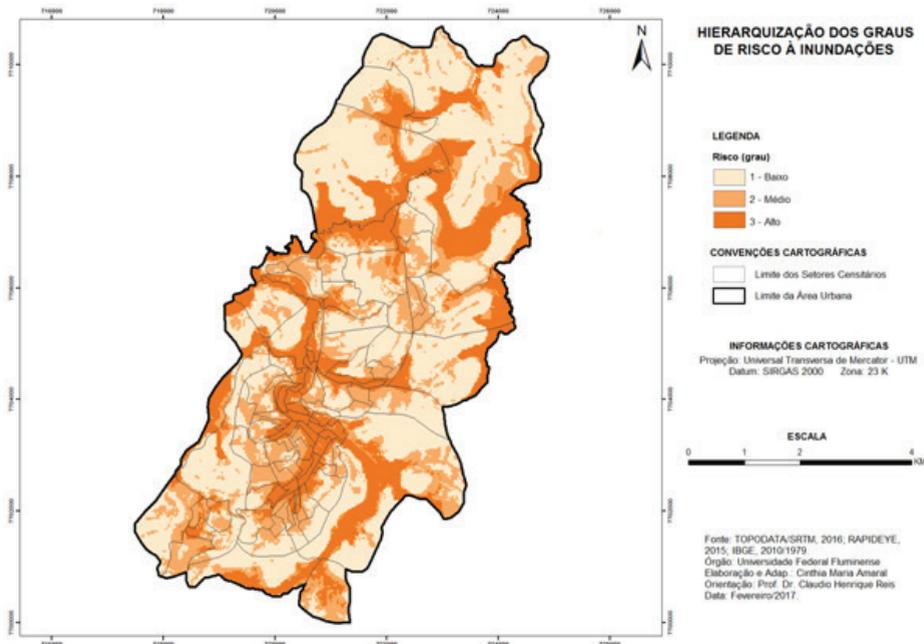


Figura 32 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de inundação e setores censitários

Elaboração: Próprio Autor (2017)

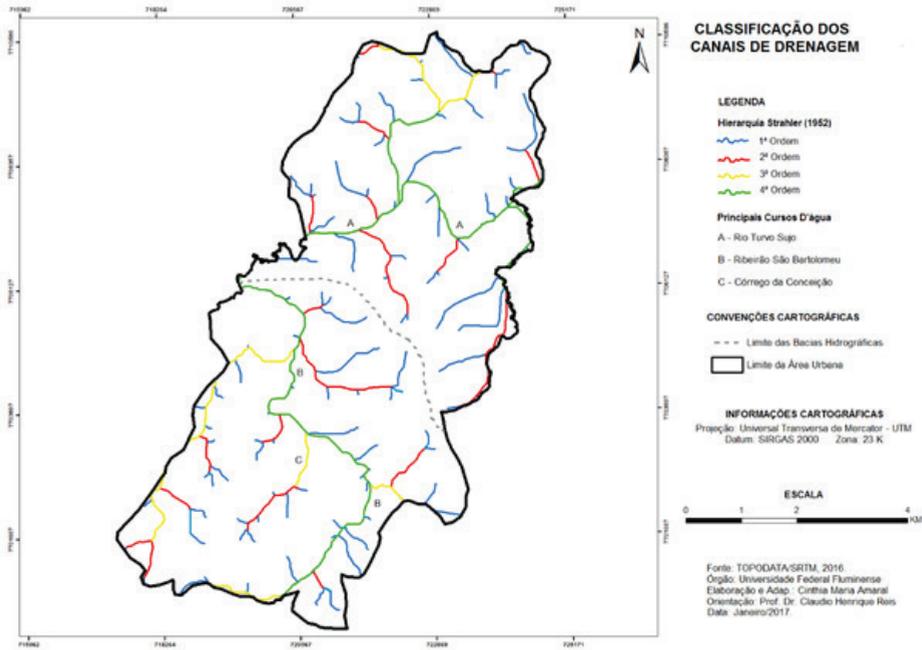


Figura 33 - Hierarquização fluvial – método Strahler (1952)

Fonte: Próprio Autor (2017)

401



Figura 34 - Inundação causada pelo transbordamento do córrego da Conceição. Centro, Viçosa, MG

Fonte: Enviada para a Defesa Civil (2015)



Figura 35 - Leito do córrego da Conceição após inundação sofrida. Centro, Viçosa, MG

Fonte: Enviada para a Defesa Civil (2015)

As inundações que mais ocorrem na área urbana do município de Viçosa são a do tipo brusca, devido ao grande volume de chuva (mm) em relação ao curto espaço de tempo (min/hora). Esses eventos estão concentrados nos meses de maior volume de chuva, mas podem ocorrer, esporadicamente, em outras ocasiões. Com exceção dos processos naturais (inundações), comumente ocorrem problemas de alagamentos nas áreas centrais devido ao rápido escoamento superficial oriundo das partes mais declivosas, bueiros insuficientes ou entupidos e impermeabilização do solo, que é quase total nas áreas urbanas. Esses problemas são agravados pela m  condição do sistema urbano de drenagem (como a rede de captação pluvial) do município.

402

Vulnerabilidade Social

Após definição do mapa a ser utilizado para esta análise, chegou-se   conclusão de que o maior número de setores (40,62%)   de vulnerabilidade alta, pertencentes ao Grupo 3. Em seguida, estão os setores que somam vulnerabilidade média (36,46%) e vulnerabilidade baixa (22,92%), pertencentes aos Grupos 2 e 1, respectivamente.

O Grupo 3 soma ao todo 32 754 habitantes, pouco mais da metade dos 63 752 habitantes inseridos em toda área urbana, isto é, 51,38% dessas pessoas são de vulnerabilidade alta, e mais de 20 953 habitantes (32,87%) são de vulnerabilidade média (Grupo 2). O Grupo 1 é de menor expressividade, tanto para o número de setores quanto para o total da população residente nessas áreas (**Tabela 8**), somando um total de 10 045 habitantes (15,75%).

Tabela 8 - Total de setores censitários e população por cada classe de vulnerabilidade

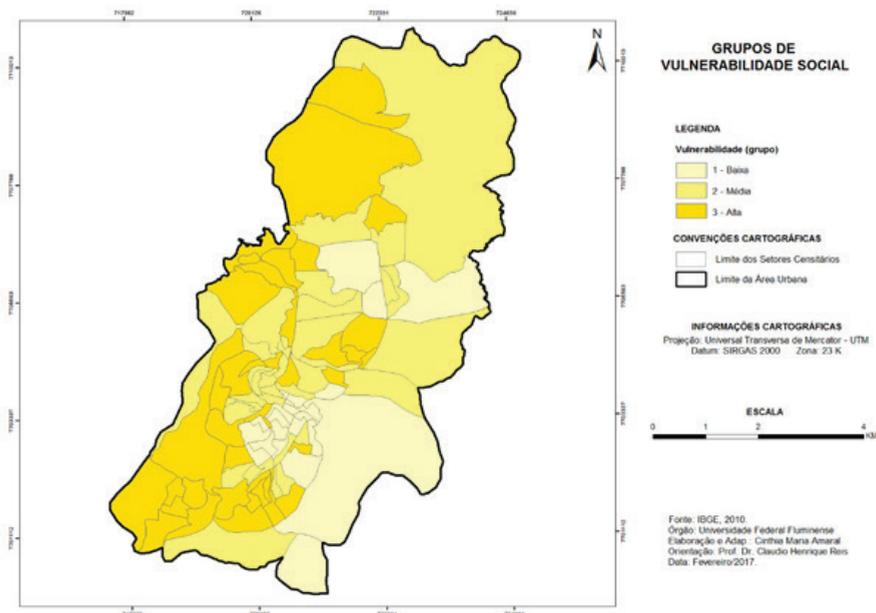
Grupos	Vulnerabilidade	Número de Setores (Absoluto)	Número de Setores (%)	População Total (Absoluto)	População Total (%)
1	Baixa	22	22,92	10045	15,75
2	Média	35	36,46	20953	32,87
3	Alta	39	40,62	32754	51,38
Total	-	96	100	63752	100,00

Fonte: IBGE (2010).Elaboração: Próprio Autor (2017)

Sobre a espacialização da Vulnerabilidade Social (**Figura 36**), o Grupo 1 é representado principalmente pelos setores da área central, UFV e os bairros Acamari, João Brás, Violeira e Inconfidência. O Grupo 2 encontra-se bem dissipado e se estabelece em todos os sentidos da área urbana, perfazendo também parte da região central e bairros localizados ao sul e a leste da área urbana. O Grupo 3, o qual merece maior destaque em razão dos objetivos deste trabalho, pois é o que apresenta maior vulnerabilidade, ocupa, em sua maior parte, a porção oeste e determinadas áreas próximas às centrais.

É válido ressaltar que o resultado dos grupos de vulnerabilidade estabelece relação com o mapa de sobreposição das curvas de nível com os setores censitários (**Figura 16**). Já foi mencionado que, provavelmente, essas delimitações não só acompanhariam as limitações do relevo local, mas também funcionariam como uma pré-caracterização da população residente.

403

**Figura 36 - Grupos de vulnerabilidade social e setores censitários**

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Análise do cruzamento de informações dos mapas de risco de escorregamentos e inundações com identificação dos grupos de vulnerabilidade social para cada setor censitário

Na sobreposição dos resultados de hierarquização dos graus de risco de escorregamentos e inundações com os grupos de vulnerabilidade social, alguns setores, devido à sua localização e disposição no território, apresentam dois ou três tipos de riscos e um ou mais grupos de vulnerabilidade, conforme observado nas **Figuras 37 e 38**. Mas há, também, áreas que estão quase ou totalmente inseridas nas áreas de alto risco (Grau 3) e vulnerabilidade alta (Grupo 3) e outras áreas que apresentam Grau 3 para os riscos de escorregamentos e inundações simultaneamente. Essas áreas, que são consideradas neste trabalho como áreas de estado prioritário, apresentam maior abrangência territorial urbana e, por esse motivo, merecem maior atenção frente a políticas de prevenção e mitigação de riscos e desastres naturais.

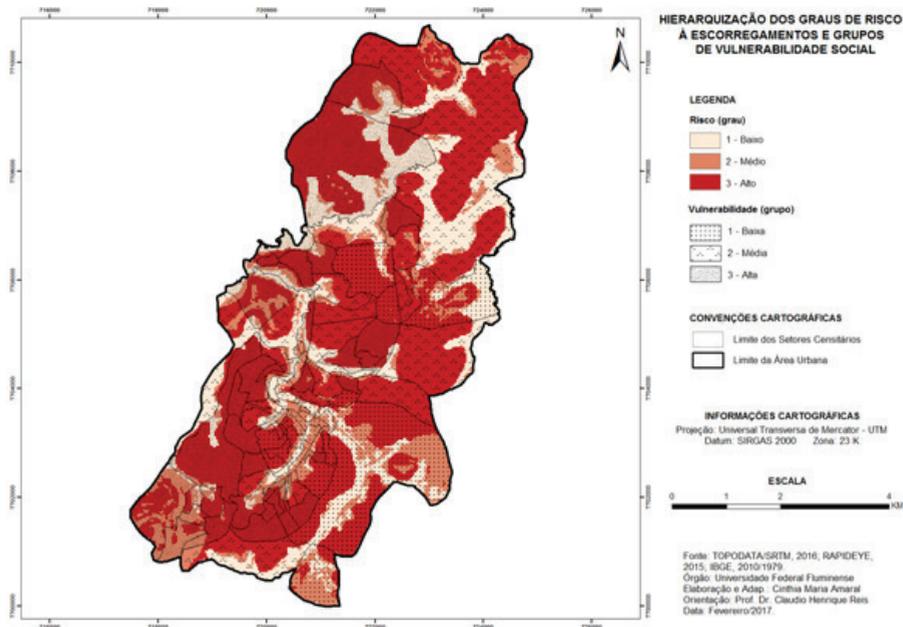


Figura 37 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de escorregamentos e grupos de vulnerabilidade social

Elaboração: Próprio Autor (2017)

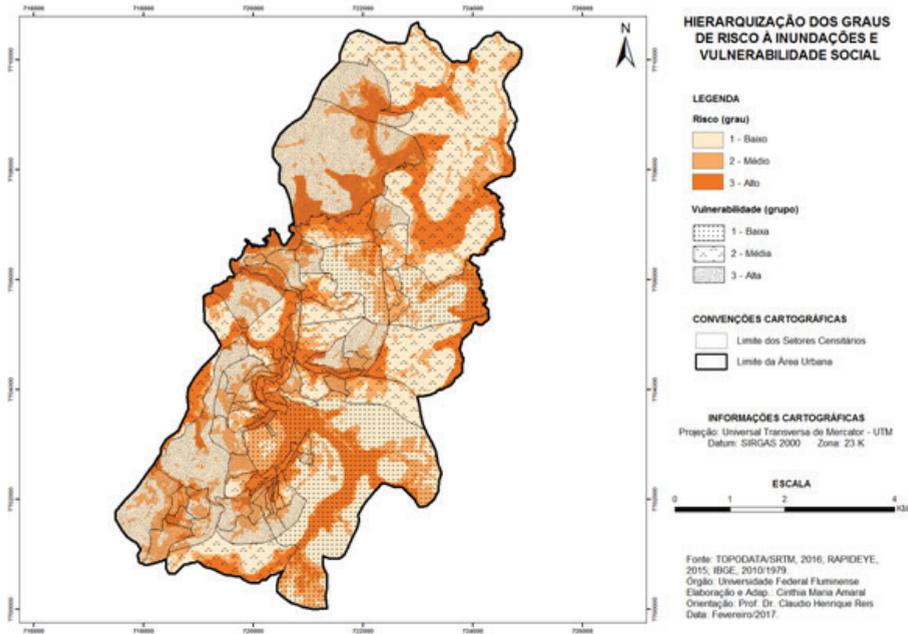


Figura 38 - Mapa de hierarquização dos graus de risco de inundações e vulnerabilidade social

Elaboração: Próprio Autor (2017)

405

Desse modo, as análises e mapeamentos realizados permitiram estabelecer quais são os setores censitários que são de atenção prioritária frente aos riscos de escorregamentos e inundações, junto à caracterização da população de vulnerabilidade alta residente nessas áreas.

O **Quadro 13** elenca os setores que somam alto risco (escorregamento e/ou inundações) e alta vulnerabilidade. Cabe ressaltar que alguns setores, que não estão inseridos nesta listagem, apresentam áreas de risco de Grau 3, porém em menor proporção de área. As localizações mencionadas são referência base, podendo haver um ou mais bairros/ruas por setor ou vice-versa.

Setor	Risco	Localização
49	Inundação	Laranjal
8	Escorregamento	Bom Jesus
12	Escorregamento	Bom Jesus; Sagrada Família.
15	Escorregamento	Sagrada Família

Quadro 13 - Quadro síntese dos setores de alto risco (Grau 3) e vulnerabilidade alta (Grupo 3) (continua)

Setor	Risco	Localização
16	Escorregamento	Estrelas
17	Escorregamento	Posses
19	Escorregamento	Fátima
29	Escorregamento	Santa Clara
35	Escorregamento	São Sebastião
36	Escorregamento	Maria Eugênia
37	Escorregamento	Santa Clara
41	Escorregamento	João Mariano
50	Escorregamento	Amoras
53	Escorregamento	Santo Antônio
54	Escorregamento	Santo Antônio
58	Escorregamento	Santo Antônio
64	Escorregamento	Nova Viçosa
65	Escorregamento	Nova Viçosa
80	Escorregamento	São José
81	Escorregamento	Vau Açu; Morro do Escorpião.
6	Escorregamento/Inundação	Bela Vista; Centro; Rua São José.
10	Escorregamento/Inundação	Bom Jesus; Centro
11	Escorregamento/Inundação	Bom Jesus
13	Escorregamento/Inundação	Fátima; Rua da Conceição
14	Escorregamento/Inundação	Fátima
31	Escorregamento/Inundação	Lourdes
44	Escorregamento/Inundação	Morro do Café; Vale do Sol
46	Escorregamento/Inundação	Nova Era
48	Escorregamento/Inundação	Vau Açu
63	Escorregamento/Inundação	Santo Antônio
85	Escorregamento/Inundação	Posses e adjacências.
87	Escorregamento/Inundação	Silvestre
89	Escorregamento/Inundação	Novo Silvestre
95	Escorregamento/Inundação	Silvestre

Quadro 13 - Quadro síntese dos setores de alto risco (Grau 3) e vulnerabilidade alta (Grupo 3) (conclusão)

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Dos 96 setores censitários analisados nesta pesquisa, 34 são considerados de alto risco e têm vulnerabilidade social alta, ou seja, somando-se o número de habitantes em todos esses setores, aproximadamente 40% da população da área urbana de Viçosa encontram-se nas áreas de alto risco e são pertencentes ao Grupo 3 de vulnerabilidade. Em relação à área (Km²) abrangida, 31,25% do total de 41,98 Km² configuram essa identificação de alerta (**Tabela 9**).

Tabela 9 - Resultado referente ao número de setores, área (Km²) e população para as áreas identificadas como prioridade

	Número de Setores (Abs.)	Número de Setores (%)	Área (Km ²) (Abs.)	Área (Km ²) (%)	População Total (Abs.)	População Total (%)
Apontados	34	35,41	13,12	31,25	25919	40,65
Analisados	96	100	41,98	100	63752	100
Município	110	-	299,41	-	72220	-

Elaboração: Próprio Autor (2017)

Em Viçosa, assim como acontece na maioria das áreas urbanas brasileiras, as áreas de risco são, majoritariamente, ocupadas por população de baixo poder aquisitivo, mas frequentemente os eventos atingem todo tipo de população, sem diferenciação socioeconômica. O que difere, portanto, é o impacto que o evento/fenômeno causa nessas pessoas.

É de conhecimento que não há planejamento eficiente para as instalações urbanas e tampouco fiscalização vigente e atuante para que outras áreas de risco ou proteção não sejam ocupadas de forma irregular. O Art. 5º do Capítulo I da Lei municipal n. 1.469/2001, que institui o parcelamento do solo do município de Viçosa e dá outras providências, ressalta que nenhuma modalidade de parcelamento do solo será permitida em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações sem que haja obras específicas que assegurem o escoamento adequado das águas, e também não poderá ocorrer em terrenos com declividade superior a 40% e de condições geológicas desfavoráveis à ocupação antrópica. Em instância nacional, o Novo Código Florestal (Lei n. 12.651/2012), Art. 4º, considera essas áreas, dentre outras, como Áreas de Preservação Permanente (APP), e que, para cada especificidade de ocupação, deve-se observar o cumprimento da lei.

Parte das instalações antrópicas em áreas de risco foi concretizada antes da sanção das leis citadas, e, mesmo essas leis estando vigentes, boa parcela da população continua a se instalar nessas áreas, de forma inapropriada, em razão, na maioria das vezes, de suas condições socioeconômicas. A remoção da população das áreas de risco é uma questão social, que deve ser planejada junto ao poder público, com intervenção dos setores compatíveis com essa problemática, não desfavorecendo e não colocando em risco a vida dos que ali habitam.

Conclusões

A identificação de áreas de risco é um importante procedimento para auxílio ao planejamento e gestão pública. A hierarquização desses riscos e a caracterização dos grupos de vulnerabilidade permitem esclarecer quais são as áreas de intervenção prioritária e qual o tipo de população ali residente.

Os riscos de escorregamentos e inundações tendem a existir em áreas em que o solo não possui proteção adequada e/ou onde ocorreu ou ainda ocorre interferência antrópica acentuada que pode agravar e/ou acelerar esses processos, já que estes são de ordem natural e ocorrem independentemente da ação do homem.

A área urbana de Viçosa se configura entre médias e altas declividades (>15%), com formação predominante de morros, amplitudes elevadas, vales mais encaixados e exutórios mais estreitos. As áreas de declividades menos acentuadas (<15%), próximas aos cursos d'água, estão demasiadamente ocupadas, e, atualmente, esse processo de instalação urbana ramifica-se pelas encostas, na maioria das vezes de forma inapropriada.

Em referência socioeconômica, mais de 70% dos setores censitários urbanos analisados apresentam baixa e média densidade populacional. Sobre a renda média salarial, cerca de 75% da população ganham abaixo de 5 salários mínimos, sendo que, desse total, mais de 30% ganham até 2 salários mínimos. Assim, identificou-se que a maior parcela (51,38%) da população é de vulnerabilidade alta (Grupo 3), a parcela de 32,87% é de vulnerabilidade média (Grupo 2) e a parcela de 15,75% é classificada como de vulnerabilidade baixa (Grupo 1).

O mapeamento de risco de escorregamentos apontou que 62,28% da área urbana de Viçosa é considerada de Alto Risco (Grau 3), seguida pelas áreas de baixo (Grau 1), com 21,14%, e médio risco (Grau 2), com 16,58%. Para o mapeamento de risco de inundações, as áreas de Grau 3 representam 24,11% da área urbana, as áreas de Grau 2 representam 25,25%, e as áreas de Grau 1 correspondem a 50,64%.

As áreas de maior vulnerabilidade social (Grupo 3) e as áreas de alto risco (Grau 3), somadas, indicam as áreas (por setor censitário) que precisam de maior atenção e intervenção, frente aos riscos de escorregamentos e inundações. Esses setores identificados como estado de prioridade são comumente ligados a eventos dos processos acima citados, principalmente nos meses entre novembro e março, que concentram maior volume pluviométrico.

A aplicação dessa metodologia, além do baixo custo de execução, mostrou-se viável e com resultados satisfatórios para a realidade da área em estudo e passível de ser aplicada e adaptada para outras realidades. Entretanto, é importante frisar que os resultados podem não ser, em sua totalidade, condizentes com a área real, pois dependem da valoração e ponderação aplicada aos fatores e classes correspondentes, nas equações 1 e 2. Essa determinação dependerá do objetivo proposto e do pesquisador em questão, que deve realizar, quando possível, trabalhos de campo para comprovação ou refutação dos resultados alcançados.

Desse modo, a utilização das geotecnologias para pesquisas voltadas à identificação de áreas de riscos, além de promover maior capacidade de análise frente a diferentes escalas, apresenta importância significativa para subsídios aos planejamentos aplicados às medidas preventivas e mitigadoras de riscos de desastres naturais.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Laboratório de Geotecnologias (LAGEOT) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense – UFF Campos.