



VICTOR HENRIQUE RESENDE LIMA

**ÁREAS DE RISCO DE EROSÕES DO TIPO MOVIMENTO DE
MASSA DO SOLO EM LAGOA DOURADA, MINAS GERAIS –
BRASIL**

**LAVRAS - MG
2021**

VICTOR HENRIQUE RESENDE LIMA

**ÁREAS DE RISCO DE EROSÕES DO TIPO MOVIMENTO DE MASSA DO SOLO
EM LAGOA DOURADA, MINAS GERAIS – BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Solos e Sua Interface com o Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Junior Cesar Avanzi
Orientador

**LAVRAS - MG
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Lima, Victor Henrique Resende.

Áreas de risco de erosões do tipo movimento de massa do solo
em Lagoa Dourada, Minas Gerais – Brasil / Victor Henrique
Resende Lima. - 2021.

40 p. : il.

Orientador(a): Junior Cesar Avanzi.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. SRTM. 2. Declividade. 3. Desastres socioambientais. I.
Avanzi, Junior Cesar. II. Título.

VICTOR HENRIQUE RESENDE LIMA

**ÁREAS DE RISCO DE EROSÕES DO TIPO MOVIMENTO DE MASSA
DO SOLO EM LAGOA DOURADA, MINAS GERAIS – BRASIL**

**AREAS OF RISK OF EROSION BY SOIL MASS MOVEMENT IN LAGOA
DOURADA, MINAS GERAIS – BRAZIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Solos e Sua Interface com o Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 26 de fevereiro de 2021.

Profa. Dr. Camila Silva Franco DRS/UFLA

Prof. Dr. Sergio Teixeira Da Silva DEG/UFLA

Prof. Dr. Junior Cesar Avanzi

Orientador

**LAVRAS - MG
2021**

RESUMO

A identificação de áreas de risco de erosão do tipo movimentos de massa de solo em centros urbanos é de suma importância para a prevenção de desastres socioambientais. Desse modo, objetivou-se identificar áreas com potenciais riscos de erosão do tipo movimento de massa de solo no perímetro urbano de Lagoa Dourada - Minas Gerais, Brasil. Neste estudo foram utilizados dados de declividade estruturados em quadrículas no formato GeoTiff do portal TOPODATA, visando a identificação das áreas de risco localizadas no perímetro urbano do município Lagoa Dourada, Minas Gerais - Brasil. Para realizar o processamento das imagens, conversão para arquivos vetoriais e geração de mapas utilizou-se o software QGIS versão 3.10.5, SIG de código aberto. Os locais com declividades entre 20 e 30% e aqueles acima de 30% foram consideradas, respectivamente, como de risco “Forte” e “Muito Forte” de erosão do tipo movimento de massa de solo. Observou-se uma área de 577,385 ha considerados como sendo de risco de erosão, representando 46,11% da área total de estudo, a maioria das áreas de riscos de erosão estavam localizadas nos arredores do perímetro urbano do município, ocorrendo em quantidades expressivas em Cambissolos (256,239 ha, representando 44,39% das áreas de risco de erosão), mesmo este apresentando menor abrangência em área quando comparado aos Latossolos (321,130 ha, representando 55,61% das áreas de risco de erosão). O alto índice pluviométrico no início de 2020, provocaram movimentos de massa de solo expressivos no município, sendo que a maioria destes deslocamentos estiveram nas áreas classificadas como sendo de risco a erosão, o que demonstrou que os intervalos de declividade utilizados foram adequados e podem auxiliar na prevenção de desastres socioambientais e no planejamento urbano.

Palavras-chave: SRTM. Declividade. Desastres socioambientais.

ABSTRACT

The identification of erosion risk areas, such as soil mass movements in urban centers, is of paramount importance for the prevention of socio-environmental disasters. Thus, the objective was to identify areas with potential risks of erosion by soil mass movement in the urban perimeter of Lagoa Dourada - Minas Gerais, Brazil. In this study, slope data structured in grid in the GeoTiff format of the TOPODATA portal were used, aiming at the identification of risk areas located in the urban perimeter of the municipality Lagoa Dourada, Minas Gerais - Brazil. To perform image processing, conversion to vector files and map generation, QGIS software version 3.10.5, open source GIS, was used. Locations with slopes between 20 and 30% and those above 30% were considered, respectively, as "Strong" and "Very Strong" risk of erosion by soil mass movement. There was an area of 577.385 ha considered at erosion risk, representing 46.11% of the total study area, most of the erosion risk areas was located around the urban perimeter of the municipality, occurring in expressive quantities in Cambisolos (256.239 ha, representing 44.39% of the erosion risk areas), even with less coverage in the area when compared to Latosols (321.130 ha, representing 55.61% of the erosion risk areas). The high rainfall depth in the beginning of 2020, caused significant mass movements in the municipality, and most of these displacements were in areas classified as being at erosion risk, which demonstrated that the slope intervals used were adequate and can assist in prevention socio-environmental disasters and urban planning.

Keywords: SRTM. Slope. Socio-environmental disasters.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	8
1.	INTRODUÇÃO	8
2.	OBJETIVOS	9
2.1	Objetivos gerais	9
2.2	Objetivos específicos	9
3.	RERÊNCIAL TEÓRICO	10
3.1	Erosão e conservação do solo: ambiente rural e urbano	10
3.2	Movimentos de massa de solo	11
3.3	Aplicação do SIG para conservação do solo e gestão de risco	13
3.4	QGIS	14
3.5	Pesquisas relacionadas com as áreas de risco e SIG	15
	REFERÊNCIAS	18
	SEGUNDA PARTE	22
	ARTIGO: ÁREAS DE RISCO DE EROSÕES DO TIPO MOVIMENTO DE MASSA DO SOLO EM LAGOA DOURADA, MINAS GERAIS – BRASIL	22
1.	INTRODUÇÃO	23
2.	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.1	IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS COM RISCO DE MOVIMENTO DE MASSA DE SOLO	29
3.2	MOVIMENTOS DE MASSA DE SOLO OCORRIDOS EM 2020	30
3.3	TIPO DE SOLO E MOVIMENTOS DE MASSA OBSERVADAS	32
3.4	ÁREAS DE ELEVADA DECLIVIDADE NÃO CLASSIFICADAS	34
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS	36

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa de solo (deslizamento, escorregamento, ruptura de talude e queda de barreiras), enxurradas, tornados e trombas d'água, inundações e secas são os principais tipos de ameaças naturais no Brasil. Embora a maioria das ameaças naturais com risco de desastres estejam relacionados aos fatores climáticos, pode-se minimizar seus impactos entendendo como e por que elas acontecem (CEMADEN, 2020).

A identificação dos processos erosivos, sua caracterização e mensuração necessitam de conhecimento técnico e multidisciplinar, uma base de dados sobre aspectos sociais e econômicos da ocupação espacial, aspectos climatológicos e características físicas, químicas e biológicas do solo. Assim, a incidência de chuvas, classificação pedológicas, morfologia e adoção de atividades preservacionistas são tópicos essenciais para a prevenção de desastres ambientais e uso e ocupação de forma ordenada (CARVALHO et al., 2019).

Um dos principais desastres ambientais e forma de degradação do solo no perímetro urbano consiste no movimento de massa de solo, definido como os movimentos de decida de solos e rochas influenciados pela gravidade e intensificados pela ação da água, popularmente conhecidos como deslizamentos, escorregamentos, ruptura de talude e queda de barreiras (CMADEN, 2020). Assim, a atuação dos órgãos públicos apresenta uma fiscalização ineficiente e a falta de conscientização da população acerca da construção de moradias em áreas de risco de deslizamento de solo são grandes desafios a serem superados. Deste modo, trabalhos que identificam as áreas vulneráveis a este tipo de erosão são necessários para o planejamento urbano de qualquer cidade (PINTO; MAGDALENA; BEATI, 2019).

Uma forma de identificar pontos de movimentos de massa e erosão do solo consiste no uso do sensoriamento remoto, gerando informações que permite a análise de uso e cobertura do solo para fins de planejamento da ocupação, avaliação e monitoramento de áreas de preservação da vegetação natural. Assim, essas informações permitem a criação de mapas temáticos e informações a respeito da prevenção e identificação de áreas de risco de degradação do solo com o emprego de Sistema de Informação Geográficas (SIG), sendo essa uma ferramenta de grande relevância para a identificação, prevenção, diagnóstico e monitoramento das áreas de degradação do solo (MOREIRA et al., 2019).

O município de Lagoa Dourada (MG) encontra-se na região de ocorrência de

precipitação intensa transcorrida no início do ano de 2020, que acarretou severos problemas de enchentes e movimento de massa de solo no perímetro urbano do município. Logo, o estudo sobre áreas de risco de movimentos de massa de solo tomando o referido município como estudo de caso auxilia profissionais e gestores públicos a atuarem de forma preventiva, evitando tragédias, desastres ambientais, promovendo o desenvolvimento planejado e o melhor uso e ocupação do solo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Objetivou-se identificar áreas com potenciais riscos de erosão do tipo movimento de massa de solo no perímetro urbano de Lagoa Dourada - Minas Gerais, Brasil, utilizando ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e conseqüentemente as áreas prioritárias para ações e medidas de prevenção.

2.2 Objetivos específicos

Obter mapas de declividade no perímetro urbano de interesse, relacionar o risco de deslizamento em função da declividade, tipo de solo, chuvas intensas e identificar áreas prioritárias para ações de prevenção de deslizamento de solo.

3. RERÊNICAL TEÓRICO

3.1 Erosão e conservação do solo: ambiente rural e urbano

A erosão do solo está condicionada aos fatores ambientais e antrópicos, necessitando de estudos e técnicas para estimar a sua abrangência, encontrar soluções compatíveis para a sustentabilidade da agricultura e produção agrosilvopastoril. A exploração agropecuária sem adoção de práticas conservacionistas tem acarretado severos problemas socioeconômicos e ambientais, podendo citar a erosão hídrica como a mais importante e que tem gerado grandes prejuízos, tanto no meio rural quanto no meio urbano (PEREIRA; TÔSTO; CARVALHO, 2015).

A identificação e estudo acerca dos processos erosivos e seus efeitos no ambiente rural já são objetos de estudos há muito tempo. Baena (1983) demonstra que uma pesquisa de âmbito nacional iniciada em 1934 estimou que 20 milhões de hectares apresentavam a camada superficial erodida com sulcos e voçorocas, impossibilitando o cultivo dessas áreas. No que diz respeito às áreas produtivas, 113 milhões de hectares foram prejudicadas pela erosão e que tiveram seu uso para agricultura ou pecuária inviável. As áreas que tiveram os piores quadros de erosão e que necessitavam de medidas urgentes para manter a produtividade chegaram a 314 milhões de hectares.

Assim, para evitar os processos de degradação e comprometimento de uso do solo no meio rural, Silva (1995) define que a conservação do solo representa o conjunto de técnicas aplicadas ao solo para obter o máximo de rendimento e manter sua capacidade produtiva. Para isso é necessário o uso adequado do solo, boas práticas de manejo (adubação, correção de pH, irrigação e drenagem), controle da erosão e da poluição agrícola. Em contexto mais atual, Oliveira et al. (2020) observaram uma baixa fertilidade, baixa infraestrutura e condições climáticas pouco favoráveis para cultivo em povoados e assentamentos da região nordeste do Brasil, onde a principal atividade econômica é a agropecuária, e iniciaram um diagnóstico das práticas de uso da terra empregadas pelos agricultores, identificando as vulnerabilidades e a viabilidade de adoção de práticas conservacionistas.

No perímetro urbano também são frequentes as diversas formas de degradação do solo pelos processos erosivos. A maioria das cidades brasileiras foram aumentando gradativamente dia após dia, cujo processo de urbanização não levava em conta a qualidade de vida dos recém-chegados, uma vez que não havia uma legislação especificando as condições mínimas para a construção de loteamentos (MACHADO, 1980).

Os processos erosivos são intensificados pela precipitação, causando o escoamento superficial, a saturação do solo e aumento das pressões geostáticas (devido ao impedimento de percolação no solo) e redução na resistência ao cisalhamento, favorecendo o processo de ruptura e movimento de massa de solo (CARVALHAIS et al., 2019). Assim, são observadas as áreas críticas a ocupação urbana, definido como sendo a faixa do território mais vulnerável a um determinado perigo, obtendo maior sensibilidade em sofrer os impactos de eventos negativos decorrentes de ações antrópicas ou naturais (ANDRADE; CALHEIROS; CONCEIÇÃO, 2018).

Carvalho et al (2019) evidenciam que no perímetro urbano a identificação dos riscos de desastres relacionados a erosão do solo é uma tarefa de difícil caracterização e mensuração, precisando de uma base de extensa e de qualidade acerca das características físicas, sociais e econômicas do espaço geográfico. Também há necessidade de equipe multidisciplinar para a elaboração de estratégias para aumentar a resiliência diante da ocorrência de desastres, avaliar e estabelecer diretrizes de gestão e mitigação dos riscos (CARVALHO et al., 2019).

Para Pinto et al. (2020) a atuação do governo com uma ineficiente fiscalização juntamente com a falta de conscientização da população sobre os riscos do uso e ocupação irregular são fatores que contribuem para a construção de casas em áreas de risco de deslizamento de solo. Santos, Falcão e Lima (2020) relatam sobre a importância do planejamento e gestão de políticas públicas no que concerne à expansão urbana, avaliando a responsabilidade dos gestores públicos e a inter-relação com aspectos sociais, políticos, ambientais e culturais nos problemas ambientais devido as ações antrópicas.

3.2 Movimentos de massa de solo

O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2020), tomando como referência Higland e Bobrowsky (2008) e IPT (1991), apresenta na Figura 1 quais são os principais tipos de movimentos de massa de solo e traz os seguintes conceitos e definições:

- **Quedas (tombamentos/rolamentos):** representam os movimentos de queda livre de fragmentos rochosos que se desprendem de taludes íngremes. No tombamento, ocorre quando um bloco rochoso sofre um movimento de rotação frontal para fora do talude enquanto que no rolamento o movimento do bloco rochoso transcorre ao longo de encostas devido aos descalçamentos.

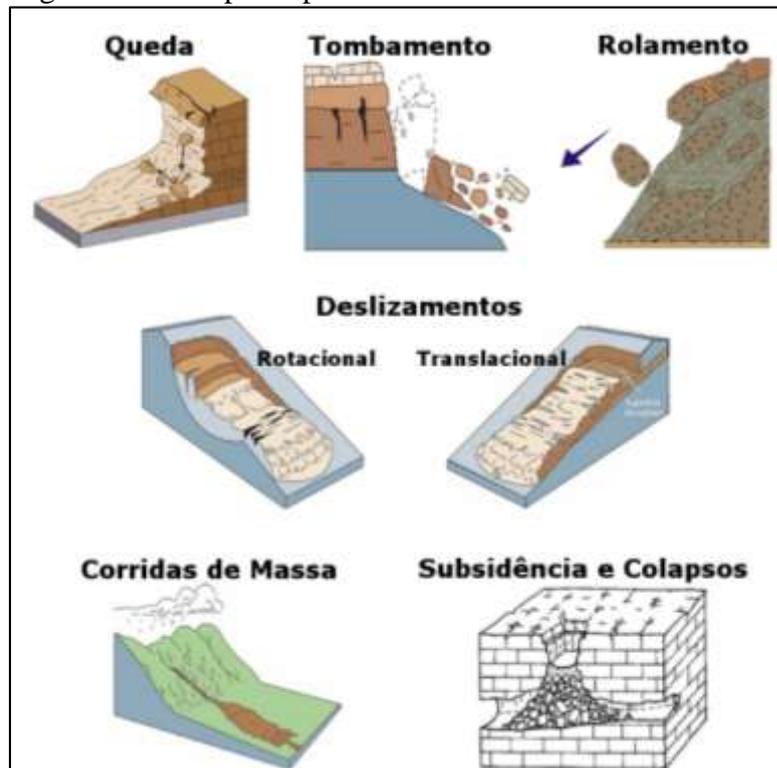
- **Deslizamentos ou escorregamentos:** consiste nos movimentos de solo, fragmentos rochosos em superfície de ruptura. Os deslizamentos são divididos em suas categorias:

Deslizamento Rotacional, caracterizado por uma superfície de ruptura curvada no sentido superior (em forma de colher) com movimento rotatório em materiais superficiais homogêneos, e Deslizamento Translacionais, que ocorre em superfície mais plana e geralmente em solos mais rasos.

- **Fluxos de lama e detritos (corridas de massa):** são movimentos de massa rápidos e provocados pelo intenso fluxo de água na superfície (de origem pluviométrica), que altera a liquidez das camadas superiores de solo e que passa a se comportar como um material viscoso. Esse movimento de massa possui um alto poder destrutivo e uma grande área de abrangência.

- **Subsidência e colapso:** são movimentos de massa caracterizados por afundamento rápido ou gradual do terreno devido ao colapso de cavidades, redução da porosidade do solo ou deformação de material argiloso.

Figura 1 - Principais tipos de movimentos de massa de solo.



Fonte: CEMADEN (2020).

As ocorrências desses fenômenos estão relacionadas aos riscos naturais, que representam a probabilidade de ocorrer perdas de vidas ou ferimentos provocados por um desastre em um determinado local ou região, ocasionadas pelas ações de um fenômeno natural ou pela interferência do homem (FREIRE; LIMA; SILVA, 2018).

As condições climáticas juntamente com o relevo representam as principais condições para que o Brasil apresente grande suscetibilidade aos movimentos de massa de solo

(GUIMARÃES et al., 2008). Aliados a esses fatores naturais, as atividades antrópicas, tais como: aterros, depósitos de resíduos sólidos, corte verticalizados em taludes, remoção da cobertura vegetal e má drenagem aumentam a vulnerabilidade dos processos erosivos do tipo movimento de massa de solo no perímetro urbano, causando uma série de desastres socioambientais (SEPÚLVEDA; PETLEY, 2015; FERNANDES et al., 2001).

De acordo com as informações do Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED, 2013) compilados de Brasil (2013), entre as décadas de 1990 e 2000 o desastre que mais teve variação foi o movimento de massa, com aumento de 21,7 vezes, gerando 15,6% das mortes, ficando atrás somente de enchente, que gerou 58,15% das mortes. No período de 1991 a 2012 foram registrados 699 eventos de movimento de massa em território brasileiro, 79,8% deles localizados na região sudeste do país, afetando em torno de cinco milhões e meio de pessoas, com um total de 535 mortes, a maioria na região sudeste (3.980.016 de afetados e 525 mortos –98% do total de mortes–). Diante de tantos efeitos adversos, é necessário compreender os processos que ocasionam e favorecem os movimentos de massa de solo e as formas de prevenção desse desastre.

3.3 Aplicação do SIG para conservação do solo e gestão de risco

Uma ferramenta de grande aplicabilidade na gestão de riscos e desastres consiste no emprego do Sistema de Informações Geográficas (SIG), gerando informações e dados para a identificação de áreas com potencial de movimento de massa de solo, acompanhar o uso e ocupação do solo, a influência do relevo e da declividade para a adoção de medidas de prevenção (MEIRELLES; CAMARA; ALMEIDA, 2007; SBROGLIA et al., 2016). Os SIG permitem a integração e correlação de diferentes tecnologias de obtenção e análise de dados geográficos, tais como: Sensoriamento Remoto, o CAD (*Computer Aided Design*) e o GNSS (*Global Navigation Satellite System*) (SILVA et al., 2016).

De acordo com Silva et al. (2016), a aplicação dos SIG possibilita a análise e representação de informações geográficas, permitindo avaliar várias camadas e a sobreposição entre as mesmas, manipulação análise e visualização de dados espaciais, demonstrando como as informações, fenômenos e dados gerados estão correlacionados com a representação do objeto de estudo. Desse modo, a obtenção e coleta de dados (*in situ* ou digital), o formato de armazenamento das informações (dados matriciais, vetoriais e alfanuméricos), a caracterização dos elementos em função de suas características geográficas (ou não espaciais), edição, cálculos e operações numéricas sobre os dados com a geração dos resultados por meio de mapas,

gráficos, relatórios, imagens e representação em 3D são as principais funções e vantagens na aplicação de um SIG (SILVA et al., 2016).

A utilização de SIG por órgãos ambientais e fundiário facilita e otimiza os processos relacionados ao planejamento de uso e ocupação do solo juntamente com a delimitação de áreas de restrição legal em assentamento rurais (SILVA et al., 2018). No que diz respeito ao ambiente aos centros urbanos, o ambiente virtual dos SIG auxilia no diagnóstico do parcelamento urbano e na tomada de decisões pelos gestores municipais, sendo de grande importância para a melhor caracterização e representação das áreas de interesse (MACEDO et al., 2018).

Uma das aplicações dos SIG consiste na identificação de áreas de risco de erosão do solo. Como exemplo, Andrade, Cavalheiros e Conceição (2018) estudaram as áreas críticas à ocupação urbana sujeitas a deslizamento de terra na bacia hidrográfica do riacho Reginaldo em Maceió (AL), Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (2016) utilizaram ferramentas computacionais para previsão de deslizamentos de terra e Silva e Mendes (2019) mapearam as áreas susceptíveis à erosão laminar no alto curso do rio Banabuiú (CE).

3.4 QGIS

O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto (gratuito) licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU, trata-se de um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) e impulsionado por voluntários. No QGIS é possível trabalhar com dados e informação em arquivos vetoriais, matriciais e base de dados, permitindo a visualização, edição, análise e criação de mapas para impressão (QGIS, 2020).

Almeida, Aragão e Santos (2019) demonstram que a liberdade para executar o QGIS, realizar adaptações de acordo com as necessidades da atividade, liberdade de redistribuição das alterações bem como o aperfeiçoamento do programa consistem em grandes benefícios que fazem essa ferramenta sendo amplamente utilizadas em estudos geográficos.

A cada dia o QGIS ganha mais usuários, a praticidade de seu uso aliado à aplicabilidade em áreas multidisciplinares demonstra que essa ferramenta pode ser amplamente usada por profissionais e órgãos públicos. Santos (2019) realizou estudo sobre a elaboração de mapas temáticos com estudantes do ensino médio de geografia usando o QGIS, observando que é uma possibilidade para incentivar o discente para o desenvolvimento de pesquisas no âmbito da cartografia temática.

3.5 Pesquisas relacionadas com as áreas de risco e SIG

Tabela 1 - Estudos envolvendo áreas de risco de movimento de massa de solo (continua).

Autor (es)	Foco do estudo	Método utilizado
Machado e Zacarias (2016)	Análise de risco de deslizamento	Critérios para a determinação dos graus de risco e avaliação por não especialista
Sbroglia et al. (2016)	Mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC, com o uso de modelagem matemática	Uso de MDE, sobreposição de mapa pedológico, litológico, curvas de nível e caracterização física do solo
Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (2016)	Utilização de ferramentas computacionais para previsão de deslizamentos de terra	Uso de MDT, <i>softwares</i> TerraMA e QGIS, base de dados geográficas TerraView e Hidroestimador do satélite GOES 13
Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e Congresso nacional de Geografia Física (2017)	Relação da precipitação pluviométrica e ação antrópica com os deslizamentos de terra ocorridos na Escarpa da Serra da Esperança (PR)	Correlação dos eventos de deslizamento com dados pluviométricos mensais e diários
Castrignano, Casalvara e Oliveira (2017)	Estudo preliminar sobre deslizamento de terra em Iretama-PR	Análise das formações fitogeográfica, solo, bacias hidrográficas, cartas climática, geomorfologia, carta topográfica e <i>software</i> Google Earth
Andrade, Calheiros e Conceição (2018)	Áreas críticas à ocupação urbana sujeitas a deslizamento de terra na bacia hidrográfica do riacho Reginaldo (Maceió/AL)	Integração de informações da hipsometria, geomorfologia, pedologia, litologia e declividade no QGIS
Freire, Lima e Silva (2018)	Riscos geológicos em áreas urbanas: implicações socioambientais em duas cidades paraenses	Levantamento bibliográfico e trabalho de campo com observações <i>in loco</i> utilizando o Garmin eTrex 20 e registros fotográficos
Golembiewski (2018)	A responsabilidade civil do estado por danos decorrentes de deslizamentos de solo em áreas de risco a erosão	Caracterização da responsabilidade segundo a legislação

Tabela 1 - Estudos envolvendo áreas de risco de movimento de massa de solo (conclusão).

Macedo et al. (2018)	Sistema de informação geográfica (SIG) como ferramenta de gestão - Gestão de passivos ambientais urbanos	Organização de um banco de dados demonstrando a eficiência do SIG como ferramenta no gerenciamento de passivos ambientais
Santos et al. (2018)	Análise metodológica de estudos referentes a eventos de movimentos de massa e erosão ocorridos na região Nordeste do Brasil	Informações do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais e da Codificação Brasileira de Desastres para elaboração de mapa em ambiente SIG
Toniazzo et al. (2018)	Escorregamento de solos na região oeste do estado de Santa Catarina: consequências socioambientais	Dados do setor de Assistência Social e Habitação do município, coleta de dados geográficos com GPS, registros fotográficos do local e pesquisa bibliográfica
Andrade, Melo e Silva (2019)	Geoprocessamento aplicado a análise da cobertura e uso da terra na área de proteção ambiental dos mananciais do córrego Lajeado (Campo Grande/MS)	Classificação supervisionada de imagens orbitais do satélite LANDSAT 5 e LANDSAT 8, imagens do <i>software</i> Google Earth Pro e a plataforma MapBiomias
Carvalhais et al. (2019)	Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares (revisão bibliográfica)	Levantamentos bibliográficos, selecionando as informações necessárias para os métodos de recuperação de encostas
Júnior e Cabral (2019)	Tecnologias no mapeamento de áreas de risco de deslizamento em Teófilo Otoni (MG)	Elaboração das cartas/mapas em função do perigo, risco e vulnerabilidade a movimentos gravitacionais de massa segundo o MDE e <i>software</i> ArcGIS
Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão (2020)	Uso de Aeronave Remotamente Pilotada aplicado em estudo de alta resolução em área de risco a erosão – Nova Friburgo (RJ)	Uso de Aeronave Remotamente Pilotada na fotogrametria e sensoriamento remoto
Pinto et al. (2020)	Mapeamento de áreas de risco de deslizamento de solo e técnicas de prevenção no Município de Bragança Paulista(SP)	Localização via satélite, visitas locais, uso do levantamento da CPRM e DEGET sobre as áreas de risco a inundação e movimentos de massa de solo
Santos, Falcão e Lima (2020)	Deslizamento de encostas urbanas: consequências e implicações sociais, ambientais e políticas, em Viçosa (AL)	Revisão bibliográfica

Fonte: Do autor (2021).

Conforme pesquisas demonstradas na Tabela 1, observa-se que a temática relacionada com as áreas de risco de erosão é atual e de interesse em ramos multidisciplinares do conhecimento. Assim, são apresentadas várias metodologias para identificação, prevenção e responsabilização do poder público pelos desastres socioambientais decorrentes dos movimentos de massa de solo.

Dentre as metodologias de identificação de áreas de risco, destaca-se a classificação em função das moradias e pessoas envolvidas, características do local (declividade, tipo de talude, tipo de solo, precipitação), uso e ocupação do solo (cobertura vegetal, impermeabilização do solo, rede de drenagem), grau de probabilidade de ocorrência e de uso de *softwares* e ferramentas computacionais.

A utilização de ferramentas computacionais e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) necessitam de uma base de dados e informações acerca do tipo de solo, vegetação predominante, elevação, declividade, pedologia, litologia, precipitação, clima, uso e ocupação do solo (para a classificação supervisionada de imagens de satélite) para a elaboração de mapas temáticos.

Uma etapa crucial na caracterização das áreas de risco consiste na vistoria em campo e amostragem do solo. Os ensaios laboratoriais e a identificação *in situ*, conciliados com os dados de plataformas federais, estaduais e municipais de armazenamento de informações (em sua grande maioria com disponibilização gratuita de conteúdo) permitem uma maior acurácia na identificação, caracterização e prevenção dos desastres socioambientais.

Carvalhais et al. (2019) apresenta que as principais técnicas corretivas para recuperação de encostas e locais afetados pelos movimentos de massa de solo são: cobertura vegetal (hidrossemeadura e uso de espécies com vasto sistema radicular), retaludamento (suavização da declividade), sistema de drenagem de água pluvial (canaletas, escadas e caixa de dissipação de energia, drenos horizontais e colchões drenantes) e estruturas de contenção de talude (muro de gabião, muro de arrimo, solo envelopado, solo grampeado e cortina atirantada).

Por fim, o que tem de mais atual e inovador relacionado a identificação de áreas de risco de erosão consiste no emprego de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) ou Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), conhecido popularmente como drones. Com o desenvolvimento tecnológico o preço de tais equipamentos está se tornando cada vez mais acessíveis, devido a sua praticidade e qualidade da informação a sua utilização vem se expandindo em vários ramos de atuação, sejam eles urbanos e rurais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. M. G. de B.; ARAGÃO, H. G.; SANTOS, R. A. Utilização de SIG na Gestão dos Impactos da Água Residual da ETE no Município de Candeias - Bahia. **Revista Ciência**, Salvador. v. 2, n. 9, p. 60-69, 2019.
- ANDRADE, B. S.; MELO, M. R. da S., SILVA, M. H. S. da. Geoprocessamento aplicado a análise da cobertura e uso da terra na área de proteção ambiental dos mananciais do córrego Lajeado, Campo Grande - MS. **Sociedade e Território**. Natal. v. 31, n. 1, p. 200-221, 2019.
- ANDRADE, E. de L.; CAVALHEIROS, S. Q. C.; CONCEIÇÃO, D. N. Áreas críticas à ocupação urbana sujeitas a deslizamento de terra na bacia hidrográfica do riacho Reginaldo, Maceió-AL. **Revista Contexto Geográfico**. n. 3. n. 5. p. 1-11, 2018.
- BAENA, A. R. C. **A erosão do solo: histórico e influência do homem**. Belém, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 1983. p. 6.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID)**. 2013. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/>>. Acesso em: 24 mai. 2020.
- CARVALHAIS, R. M. *et al.* Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 5, n. 7, p. 9765-9772, jul, 2019.
- CARVALHO, H. J. M. *et al.* Estimativa de perda de solo por erosão laminar em Lucena-PB. **REGNE**. v. 5, nº Especial, p. 57-98, 2019.
- CASTRIGNANO, B. M.; CASALVARA, H. F. A., OLIVEIRA, D. Estudo preliminar sobre deslizamento de terra em Iretama-PR. **Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino**. v.8, n. Especial, p. 69 – 77, 2017.
- CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). **Ameaças Naturais: Movimento de Massa**. Disponível em: <<https://www.cemaden.gov.br/deslizamentos/>>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED). **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012**. 2ª ed. Florianópolis. SC. 2013. p. 126.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA. 44., 2016, Natal. **Artigo** [...]. Natal: COBENGE, 2016. p. 1-9. Tema: Utilização de ferramentas computacionais para previsão de deslizamentos de terra.
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L., ZIMBACK, C. R. L. Estimativa de perda de solos por erosão laminar e linear na bacia hidrográfica do Ribeirão das Perobas (SP), nos anos 1962 e 2011. **Revista Ra'e Ga - O Espaço Geográfico em Análise**. Curitiba, v.46, p. 110-131, 2019.
- FERNANDES, N. F. *et al.* Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.
- FREIRE, L. M.; LIMA, J. S. de; SILVA, J. N. da. Riscos geológicos em áreas urbanas: implicações socioambientais em duas cidades paraenses. **Revista Geoamazônia**. v. 6, n. 11. p.

273-292. 2018.

GUIMARÃES, R. F. *et al.* Movimentos de Massa. In: FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2008. Cap. 6, p. 159 - 184.

GOLEMBIEWSKI, M. A responsabilidade civil do Estado por danos decorrentes de deslizamentos em áreas de risco. **Revista Jurídica do Ministério Público Catarinense**. Florianópolis, v. 13, n. 29, p. 159-172, dez, 2018.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. The landslide handbook – A guide to understanding landslides. **United States Geological Survey (USGS)**. Reston, Virginia, p. 129. 2008. Disponível em < <https://pubs.usgs.gov/circ/1325/>>. Acesso em: 24 mai. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A.(IPT). **Ocupação de encostas**. Marcio Angeli Cunha (coordenador). Publ. IPT 1831. IPT, S. Paulo, 1991.

JÚNIOR, H. C. CABRAL, S. C. Tecnologias no mapeamento de áreas de risco de deslizamento em Teófilo Otoni. **Research, Society and Development**. v. 8, n. 12, p. 1 - 31, 2019.

MACEDO, R. R. *et al.* Sistema de informação geográfica (SIG) como ferramenta de gestão: Gestão de passivos ambientais urbanos em sub-bacia do lago bolonha. **Anais do Colóquio Organizações, Desenvolvimento e Sustentabilidade – CODS**, Belém. v. 9. p. 441-456, 2018.

MACHADO, P. A. L. O parcelamento do solo urbano e a defesa do meio-ambiente. **Revista de Direito Administrativo**. v. 139. p. 269-285, 1980.

MACHADO, R. R.; ZACARIAS, G. M. Análise de risco de deslizamento. **Revista Ordem Pública e Defesa Social**, v. 9, n. 1, p. 79-92, jan./jun., 2016.

MEIRELLES, M. S. P.; CÂMARA, G.; ALMEIDA, C. M. de. **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 593 p.

MOREIRA, K. F. *et al.* Geotecnologias aplicado na análise de uso da terra de uma microbacia. In: CAMPOS, S. *et al.* **SIG aplicado no diagnóstico do uso e ocupação do solo de microbacias hidrográficas**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. cap. 2, p. 7-8.

PEREIRA, L. C.; TÔSTO, S. G.; CARVALHO, J. P. de. **Erosão do solo e valoração de serviços ambientais**. In: PARRON, L. M. *et al.* Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. Distrito Federal: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2015. Cap. 28, pag. 317-324.

PINTO, R. da. *et al.* Mapeamento de áreas de risco de deslizamento de solo e técnicas de prevenção no Município de Bragança Paulista com cálculos detalhados para aplicação de muro de arrimo de gabião. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 3, p. 1873-1889 mai/jun, 2020.

PINTO, R.; MAGDALENA, R.; BEATI, A. Mapeamento de áreas de risco de deslizamento de solo e técnicas de prevenção no município de Bragança Paulista com cálculos detalhados para aplicação de muro de arrimo de gabião. **Ensaios USF**. v. 3, n. 1, p. 42-54, 2019.

QGIS. A liderança do SIG de código aberto. 2020. Disponível em: <https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html>. Acesso em: 24 mar. 2020.

SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO. 12., 2020, Bagé. **Resumo expandido** [...]. Bagé: Universidade Federal do Pampa, 2020. v. 12, n. 2. Tema: Uso de RPA em um estudo de alta resolução em uma área de risco.

SANTOS, E. de O.; FALCÃO, N. A. de M.; LIMA, J. V. A. de. Deslizamento de encostas urbanas: consequências e implicações sociais, ambientais e políticas, em Viçosa/AL, Brasil. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p.1859-1886, jul./set, 2020.

SANTOS, *et al.* Análise metodológica de estudos referentes a eventos de movimentos de massa e erosão ocorridos na região Nordeste do Brasil. **Caderno de Geografia**. v. 28, n. 55, p. 959 – 979, out/dez, 2018.

SANTOS, J. S. dos. Elaboração de mapas temáticos com estudantes do Ensino Médio através do QGIS. **Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC)**, v. 5, n. 12, dez. 2019.

SBROGLIA, R. M. *et al.* Mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC, com o uso de modelagem matemática. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 2, p. 339-354, fev. 2016.

SILVA, A. N. *et al.* Sistemas de Informação Geográfica: Análise Espacial. Lisboa: **SOPHIA: Conhecimento para a gestão do ambiente marinho**. DGRM - Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos, 2016. 49 p.

SILVA, I. B. da; MENDES, L. M. S. Mapeamento de áreas susceptíveis à erosão laminar no alto curso do rio Banabuiú-CE. **Revista Geoaraguaia**, Barra do Garças, v.9, n.2, p.48-64, ago. 2019.

SILVA, S. L. da. **Estudos da erosão**. Petrolina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1995. pag. 1 - 20.

SILVA, L. N. A. *et al.* O uso de sistemas de informação geográfica (SIGs) na gestão sustentável do assentamento jardim, Baturité-CE. **Conexões Ciência e Tecnologias**. v.12, n. 3, p. 119 - 129, 2018.

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17.; CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA, 1., 2017, Campinas. **Artigo** [...]. Campinas, Instituto de Geociências – Unicamp, 2017. 3 v. p. 2274-2279. Tema: Relação da precipitação pluviométrica e ação antrópica com os deslizamentos de terra ocorridos na escarpa da Serra da Esperança: evento de 29 de setembro de 2014.

SEPÚLVEDA, S. A.; PETLEY, D. N. Regional trends and controlling factors of fatal landslides in Latin America and the Caribbean. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 15, p. 1821-1833, 2015.

TONIAZZO, F. *et al.* Escorregamento de solos na região oeste do estado de SANTA Catarina: consequências sócio-ambientais. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. Florianópolis, v. 7, n. 1, p. 397-417, jan./mar. 2018.

ARTIGO SUBMETIDO A REVISTA BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT (BJD)

SEGUNDA PARTE

ARTIGO: ÁREAS DE RISCO DE EROSÕES DO TIPO MOVIMENTO DE MASSA DO SOLO EM LAGOA DOURADA, MINAS GERAIS – BRASIL

Erosion risk and soil mass movement areas in Lagoa Dourada, Minas Gerais – Brazil

Victor Henrique Resende Lima

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais
Universidade Federal de Lavras

Endereço: Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento - Universidade Federal de Lavras (UFLA), Caixa Postal 3037 – 37200-900 – Lavras, MG – Brasil

E-mail: victor.lima@estudante.ufla.br

Junior Cesar Avanzi

Doutor em Ciência do Solo e Professor Adjunto no Departamento de Ciência do Solo
Universidade Federal de Lavras

Endereço: Departamento de Ciência do Solo - Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Caixa Postal 3037 – 37.200-900 – Lavras, MG – Brasil

E-mail: junior.avanzi@ufla.br

Marx Leandro Naves Silva

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas e Professor Titular no Departamento de Ciência do Solo
Universidade Federal de Lavras

Endereço: Departamento de Ciência do Solo - Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Caixa Postal 3037 – 37.200-900 – Lavras, MG – Brasil

E-mail: marx@ufla.br

RESUMO

A identificação de áreas de risco de erosão do tipo movimentos de massa de solo em centros urbanos é de suma importância para a prevenção de desastres socioambientais. Neste estudo foram utilizados dados de declividade estruturados em quadrículas no formato GeoTiff do portal TOPODATA, visando a identificação das áreas de risco localizadas no perímetro urbano do município Lagoa Dourada, Minas Gerais - Brasil. Para realizar o processamento das imagens, conversão para arquivos vetoriais e geração de mapas utilizou-se o *software* QGIS, SIG de código aberto. Os locais com declividades entre 20 e 30% e aqueles acima de 30% foram consideradas, respectivamente, como de risco “Forte” e “Muito Forte” de erosão do tipo movimento de massa de solo. Observou-se que a maioria das áreas de riscos estão localizadas nos arredores do perímetro urbano do município, ocorrendo em quantidades expressivas em Cambissolos, mesmo este apresentando menor abrangência em área quando comparado aos Latossolos. O alto índice pluviométrico no início de 2020, provocaram movimentos de massa de solo expressivos no município, sendo que a maioria destes deslocamentos estiveram nas áreas classificadas como sendo de risco, o que demonstrou que os intervalos de declividade utilizados foram adequados e podem auxiliar na prevenção de desastres socioambientais e no planejamento urbano.

Palavras-chave: SRTM. Declividade. Desastres socioambientais. TOPODATA.

ABSTRACT

Identification of erosion risk and soil mass movements areas in urban centers is of paramount

importance for the prevention of socio-environmental disasters. In this study, slope data structured in squares in the GeoTiff format of the TOPODATA portal were used, aiming at the identification of risk areas located in the urban perimeter of the municipality Lagoa Dourada, Minas Gerais - Brazil. To perform image processing, conversion to vector files and mapping, QGIS –open source GIS– was used. Location with slopes between 20 and 30% and above 30% were considered, respectively, as “Strong” and “Very Strong” risk of soil mass movements. It was observed that most of the risk areas are located in the vicinity of the urban perimeter of the municipality, occurring in a significant amount in Cambisol (Inceptisol), even though they present less coverage in area when compared to the Latosol (Oxisol). The high rainfall in early 2020, caused soil mass movements in the municipality, and most of these displacements were in the areas classified as being at risk, which demonstrated that the slope intervals used were adequate and can help in prevent socio-environmental disasters and urban planning.

Keywords: SRTM. Slope. Socio-environmental disasters. TOPODATA.

1. INTRODUÇÃO

O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2020) define o movimento de massa de solo como os movimentos de decida de solos e rochas influenciados pela gravidade e intensificados pela ação da água, popularmente conhecidos como deslizamentos, escorregamentos, ruptura de talude e queda de barreiras. A ocorrência desses fenômenos está relacionada aos riscos naturais, que representam a probabilidade de ocorrer perdas de vidas ou ferimentos provocados por um desastre em um determinado local ou região, ocasionadas pelas ações de um fenômeno natural ou pela interferência do homem (FREIRE; LIMA; SILVA, 2018).

De acordo com as informações do Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED, 2013) compilados de Brasil (2013), entre as décadas de 1990 e 2000 o desastre que mais teve variação foi o movimento de massa, com aumento de 21,7 vezes, gerando 15,6% das mortes, ficando atrás somente de enchente, que gerou 58,15% das mortes. No período de 1991 a 2012 foram registrados 699 eventos de movimento de massa em território brasileiro, 79,8% deles localizados na região sudeste do país, afetando em torno de cinco milhões e meio de pessoas, com um total de 535 mortes, a maioria na região sudeste (3.980.016 de afetados e 525 mortos –98% do total de mortes–).

Estudos conduzidos por Braz e Gaspar Junior (2017) relatam que a topografia do terreno pode desencadear modificações nas condições naturais da erodibilidade do solo –facilidade do solo em sofrer erosão–, podendo ser agravada pelas atividades antrópicas. Carvalhais et al. (2019) destacaram que a remoção da vegetação, os cortes verticalizados no talude, despejo do material sem a devida compactação, a construção de moradias em locais irregulares, a

precipitação intensa aliados à baixa capacidade de infiltração, armazenamento e escoamento superficial de água no solo são os principais fatores que influenciam na instabilidade de taludes e encostas, favorecendo o processo de ruptura e movimento de massa, que pode ser hidráulico ou por pressão.

Para avaliar áreas críticas à ocupação urbana sujeitas a erosão por deslocamento de massa do solo, Andrade, Cavalheiros e Conceição (2018) utilizaram pesos de 25% para declividade e 20% para o tipo de solo como variáveis para obtenção do mapa das áreas com potencial risco de deslizamento de solo. Ferrão et al. (2016) utilizaram a declividade como indicador de risco e o peso de 23,53% no que tange à estabilidade dos taludes de corte.

Machado e Zacarias (2016) citam que a gestão de risco e desastres representa uma maneira de reduzir os efeitos de enchentes, desabamentos e deslizamentos de solo à sociedade, sendo necessário o uso de ferramentas adequadas para avaliação e previsão de desastres socioambientais por parte do órgão públicos.

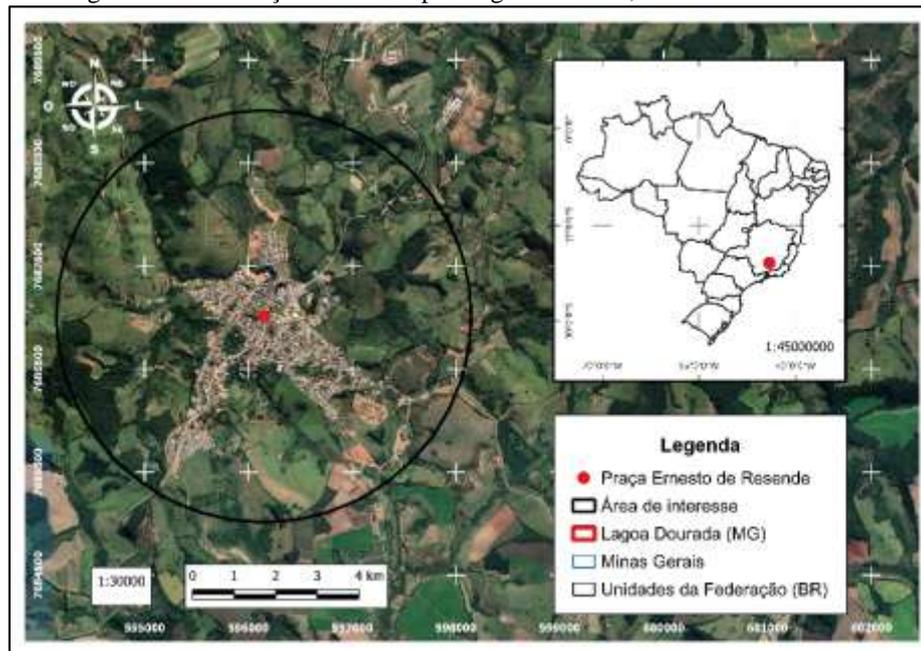
A partir de então, uma ferramenta de grande aplicabilidade na gestão de riscos e desastres consiste no emprego do Sistema de Informações Geográficas (SIG), gerando informações e dados para a identificação de áreas com potencial de movimento de massa de solo, acompanhar o uso e ocupação do solo, a influência do relevo e da declividade para a adoção de medidas de prevenção (MEIRELLES; CAMARA; ALMEIDA, 2007; SBROGLIA et al., 2016).

Deste modo, o objetivo desse trabalho consistiu em identificar áreas com potenciais riscos de erosão e movimento de massa de solo no perímetro urbano de Lagoa Dourada - Minas Gerais, Brasil, utilizando de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica. A escolha por esse município foi influenciada pela ocorrência de precipitação intensa na região no início do ano de 2020, que acarretou severos problemas de enchentes e movimento de massa de solo no município.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo consistiu no perímetro urbano do município de Lagoa Dourada, Minas Gerais, Brasil, que está localizado na região Campos das Vertentes e no bioma da Mata Atlântica. Possui uma população estimada de 13.063 habitantes e uma área de 476.693 km² (IBGE, 2020). A Figura 1 demonstra a localização do município e a praça central como referência.

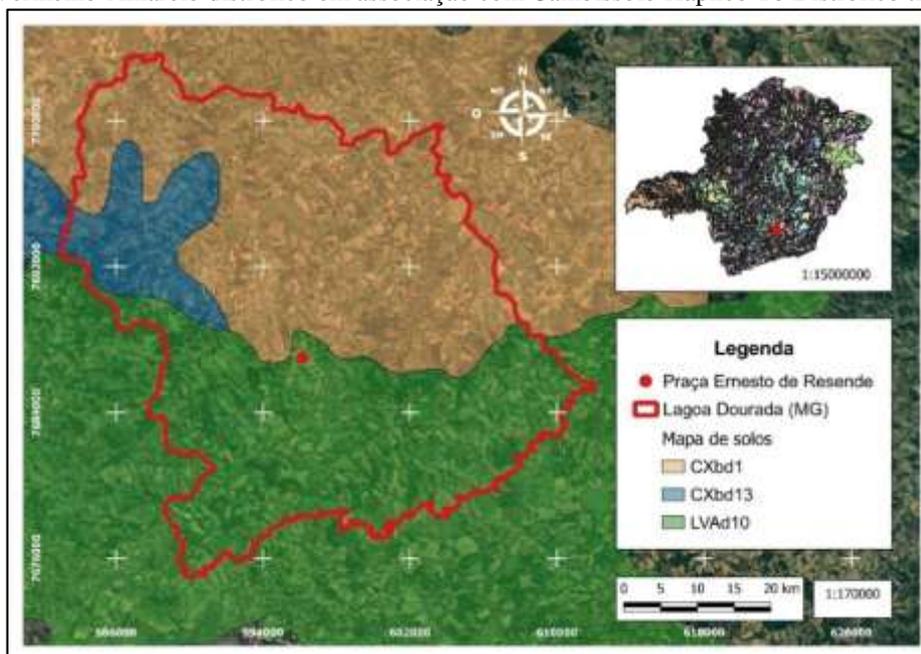
Figura 1 - Localização do município Lagoa Dourada, Minas Gerais - Brasil.



Fonte: SISEMA (2020) e Google Earth (2020).

Segundo informações da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA, 2020), o município está inserido nas UPGRH GD 2 - CBH Vertentes do Rio Grande e SF 3 - CBH do Rio Paraopeba. O solo do município corresponde às classes do Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd 10) e Cambissolo Háptico Tb Distrófico (CXbd 1 e CXbd 13) (EMBRAPA, 2018), e como compartimentos de relevo o Planalto Centro-Sul Mineiro e Planalto dos Campos das Vertentes (SISEMA, 2020). Em razão da escala de mapeamento, os solos citados acima ocorrem associados à outras classes de solo. O CXbd1 (Cambissolo Háptico distrófico típico) encontra-se em associação com o Neossolo Litólico Distrófico típico; o CXbd13 (Cambissolo Háptico distrófico típico) ocorre em associação com o Neossolo Litólico Eutrófico típico e o Argissolo Acinzentado Distrófico típico; já o LVAd10 (Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico) está em associação com o Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico (Figura 2). Estas associações de solo, no caso deste estudo, podem apontar a classe predominante como de maior vulnerabilidade à ocorrência de erosão.

Figura 2 – Mapa de solo no município de Lagoa Dourada, MG – Brasil. CXbd1 - Cambissolo Háptico distrófico típico em associação com Neossolo Litólico Distrófico típico; CXbd13 - Cambissolo Háptico distrófico típico em associação com Neossolo Litólico Eutrófico típico e Argissolo Acinzentado Distrófico típico; LVAd10 - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em associação com Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico.



Fonte: SISEMA (2020) e Google Earth (2020).

No que se refere à zona climática, o município está localizado em uma Zona Tropical Brasil Central, mesotérmico brando, média entre 10 e 15°C, semi-úmido de 4 a 5 meses e índice de umidade de Thornthwaite Úmido B2 ($40 \leq Iu < 60$) (SISEMA, 2020). A Classificação climática de Köppen para a região é Cwa, clima temperado húmido com inverno seco e verão quente (MARTINS et al., 2018) e precipitação normalmente varia entre 1400 e 1500 mm por ano (ANA, 2020).

Para avaliar as áreas de risco de erosão do tipo movimento de massa de solo foi utilizado os dados do projeto TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil da Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esta informação de declividade encontra-se estruturada em quadrículas no formato GeoTiff (raster), com pixel de resolução de 30 por 30 m e expressos em porcentagem (%). Os dados foram gerados a partir do processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (INPE, 2020).

Para realizar o processamento das imagens, conversão para arquivos vetoriais e geração de mapas foi utilizado o *software* QGIS 3.10.5, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU (QGIS, 2020).

As imagens de declividade obtidas pelo portal TOPODATA foram reprojctadas no QGIS para o DATUM SIRGAS 2000 Fuso 23 Sul, código 31.983 definido pela *European*

Petroleum Survey Group (EPSG). Desse modo, a simbologia contendo essa camada foi alterada para banda simples falsa-cor, com gradiente de cor espectral, adotando os intervalos de declividade em função dos riscos de processos erosivos e escorregamentos de solo, expressos na Tabela 1.

Tabela 1. Classes de declividade em função dos riscos de erosão e escorregamentos de solo.

Declividade (%)	Categorias Hierárquicas
0 - 6	Muito Fraca
6 - 12	Fraca
12 - 20	Média
20 - 30	Forte
> 30	Muito Forte

Fonte: Ross (1994).

Estudos conduzidos por Costa Júnior e Cabral (2019) e Andrade, Cavalheiros e Conceição (2018) utilizam valores próximos de 30° (graus) de declividade –i.e. 58%– como parâmetro para caracterizar as principais áreas de risco de erosão e movimentos de massa. Entretanto, no presente estudo optou-se por utilizar a metodologia e categorização proposta por Ross (1994) por se tratar de intervalos de classe mais preservacionista e que propõem o uso mais restrito do solo. Juntamente com esse argumento, as categorias hierárquicas “Forte” e “Muito Forte” englobam os três tipos de relevos mais declivosos, demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2. Classes de relevo em função da declividade.

Declividade (%)	Relevo
0 - 2	Plano
2 - 5	Suave Ondulado
5 - 10	Moderadamente Ondulado
10 - 15	Ondulado
15 - 45	Forte Ondulado
45 - 70	Montanhoso
>70	Escarpado

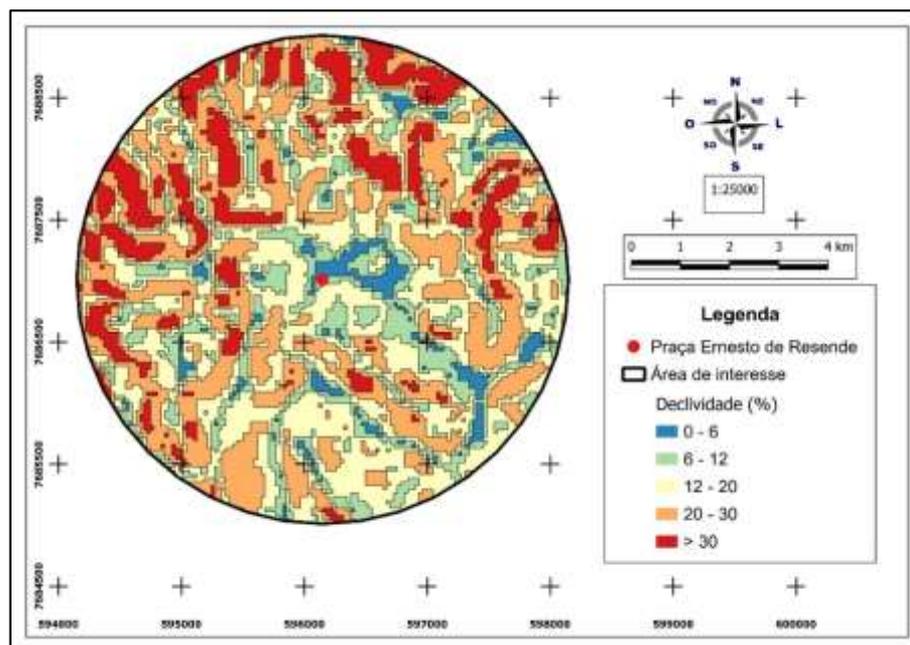
Fonte: INCRA (2007).

Uma vez que o objeto de estudo foi o perímetro urbano do município de Lagoa Dourada (MG), para delimitar a área de interesse foi criado um arquivo vetorial no formato *Shapefile* (SHP) do tipo ponto para localizar a Praça Ernesto de Resende, principal ponto de referência no centro da cidade, situada nas coordenadas 20° 54' 53,07" Sul de latitude e 44° 4' 31,51" Oeste de longitude. A partir dessa camada, utilizou-se a ferramenta Buffer para criar um círculo com raio de 2 km, adotando a referida praça como centro e possuindo área de 1252,191 ha. A

distância do raio adotada englobou o perímetro urbanizado, loteamentos em construção, áreas de expansão urbana e alguns imóveis rurais.

Após a reprojeção, alteração da simbologia da camada raster e criação do arquivo vetorial da área de interesse, foi realizada a poligonização da camada raster contendo a declividade, transforando para um arquivo vetorial tipo *Shapefile*, permitindo o cálculo de áreas com os intervalos de declividades predefinidas. No processo de transformação de raster para vetor, os valores de declividades expressos em casa decimais acima de 0,5 foram arredondados para o valor inteiro acima (exemplo: 24,55% foi considerado como 25%). Deste modo, trabalhou-se com números inteiros de declividade e com uma condição mais restrita de uso e ocupação do solo. Em seguida, utilizou-se todos os polígonos contendo a declividade que estavam dentro da camada máscara da área de interesse, o círculo com raio de 2 km, usando a ferramenta Recorte, conforme Figura 3.

Figura 3 - Poligonização do raster e interseção na camada máscara, na área de interesse no município de Lagoa Dourada, MG – Brasil.



Fonte: Os autores, adaptado de SISEMA (2020).

Por fim, as áreas de riscos de erosão do tipo movimento de massa de solo foram classificadas como os locais que possuem declividade superior a 20% de inclinação, conforme proposto por Ross (1994). Deste modo, nessas áreas manteve-se a simbologia de cores, enquanto nas demais –declividades inferiores a 20%–, foram desabilitadas, para facilitar a identificação e mensuração na área de interesse.

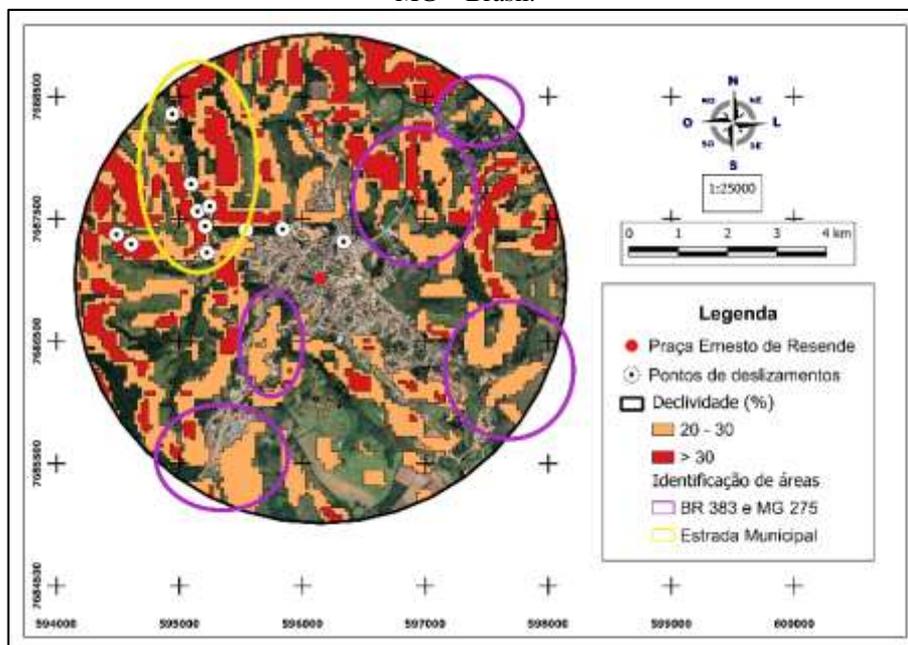
Para validação da metodologia aplicada, foram selecionadas áreas aleatoriamente na região em que poderia gerar maior ocorrência de vítimas fatais, em razão do risco de deslocamento de massa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS COM RISCO DE MOVIMENTO DE MASSA DE SOLO

Dentro da área de interesse foram identificados 407,514 ha com declividade de 20 a 30% e 169,871 ha para declividade superior a 30%, o somatório dessas áreas representam 46,11% da área de estudo, conforme pode ser visualizado na Figura 4. Deste modo, pode-se inferir que o município de Lagoa Dourada (MG) apresentou elevado risco de movimento de massa, uma vez que uma porcentagem significativa da área possui declividade superior a 30%. Ressalta-se ainda que declividades mais acentuadas possui maior probabilidade de ocorrência de solos mais rasos, os quais são naturalmente mais vulneráveis ao movimento de massa de solo.

Figura 4 - Identificação das áreas de risco de movimentos de massas no perímetro urbano de Lagoa Dourada, MG – Brasil.



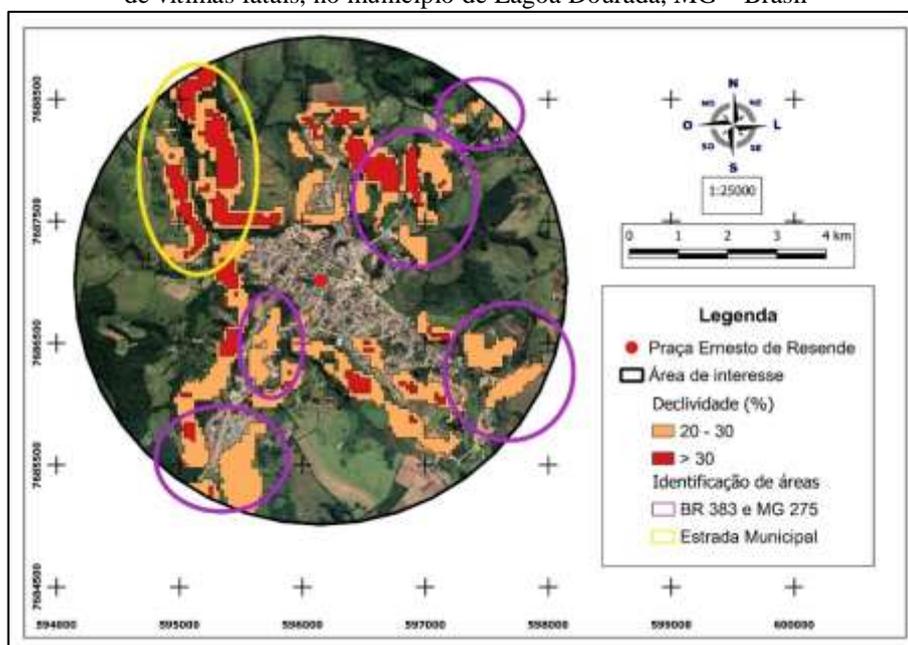
Fonte: Os autores, adaptado do Google Earth (2020).

Em estudo sobre áreas críticas à ocupação urbana sujeitas a deslizamento de terra na bacia hidrográfica do riacho Reginaldo em Maceió (AL), Andrade, Cavalheiros e Conceição (2018) observaram que 77% da região estudada possui áreas críticas a algum grau de risco de

deslizamento, levando em conta a declividade, tipo de solo, geomorfologia, pluviometria e litologia.

No presente estudo, verificou-se que grande parte das áreas com elevado risco de movimento de massa de solo localiza-se em imóveis rurais. Entretanto, para validação e verificação dos resultados gerados, optou-se pelos locais mais próximos das áreas residenciais, loteamentos em construção, estradas municipais e rodovias (Figura 5), uma vez que nestas condições, um desastre pode acarretar em vítimas fatais. Após este procedimento, as áreas com declividade de 20 a 30% reduziram para 209,863 ha e aquelas com declividade superior a 30% reduziu-se para 63,126 ha.

Figura 5 - Identificação das áreas de risco ao deslocamento de massas, considerando as regiões com maior risco de vítimas fatais, no município de Lagoa Dourada, MG – Brasil



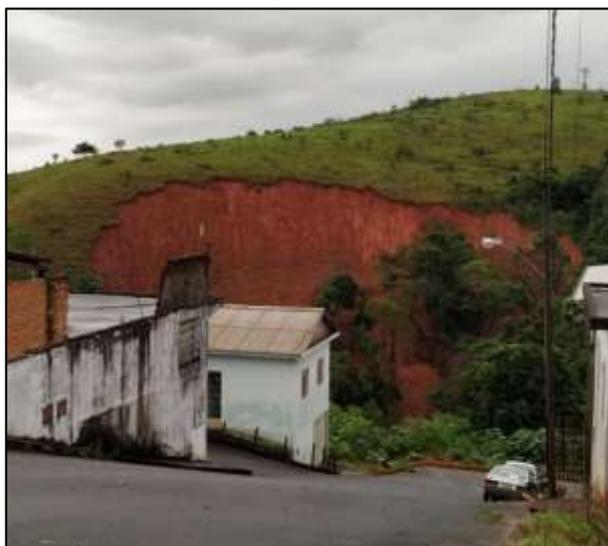
Fonte: Os autores, adaptado do Google Earth (2020).

Observou-se que as áreas classificadas como risco de movimento de massa de solo e erosão foram observadas predominantemente no entorno dos bairros residenciais. A Figura 5 demonstra as principais áreas de risco que foram próximas às rodovias BR 383 e MG 275, sendo destacadas na cor roxo, enquanto as áreas próximas a estrada municipal que liga aos povoados do Matatu, Canjica, Ressaca, Mutuca, Ressaca e Cachoeira dos Forros, foram destacadas na cor amarelo.

3.2 MOVIMENTOS DE MASSA DE SOLO OCORRIDOS EM 2020

Diante das intensas precipitações ocorridas nos meses de janeiro e fevereiro de 2020, a população vivenciou situações de deslizamento de solo proporcionados pelas chuvas em excesso. Conforme informações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020), o Índice de Precipitação Padronizado (*Standard Precipitation Index – SPI*) correspondente à precipitação mensal em fevereiro de 2020 foi de umidade severa e extrema para a região. De acordo com a Figura 6, é possível observar o pior cenário que foi registrado no perímetro urbano do município.

Figura 6 - Movimento de massa de solo ocorrido no início de 2020 em área urbana da cidade de Lagoa Dourada, MG - Brasil.



Fonte: Os autores (2020).

A maioria dos cenários de movimento de massa de solo ocorreram próximos ou nos locais identificados nesse trabalho como sendo as áreas de risco, o que demonstra que os intervalos de declividades utilizados foram adequados para identificação dessas áreas. A Figura 7 identifica espacialmente na área de estudo, algumas situações observadas no município.

Figura 7 - Localização de pontos de movimento de massa de solo, com registro fotográfico, ocorridos no início de 2020 no município de Lagoa Dourada, MG – Brasil.



Fonte: Os autores, adaptado do Google Earth (2020).

Castrignano, Casalvara e Oliveira (2017) observaram que em áreas de relevo forte ondulado, juntamente com precipitação de 125,9 mm (valor acumulado de 5 dias), foram as principais causas ocorrência de deslizamento de solo em uma vertente em Iretama (PR), sendo que a presença da vegetação de grande porte intensificou este processo. Neste sentido, o presente estudo corroborou com os resultados de Castrignano, Casalvara e Oliveira (2017). Provavelmente, o maior peso da vegetação mais exuberante favoreceu a quebra do equilíbrio ocasionando um cisalhamento do solo.

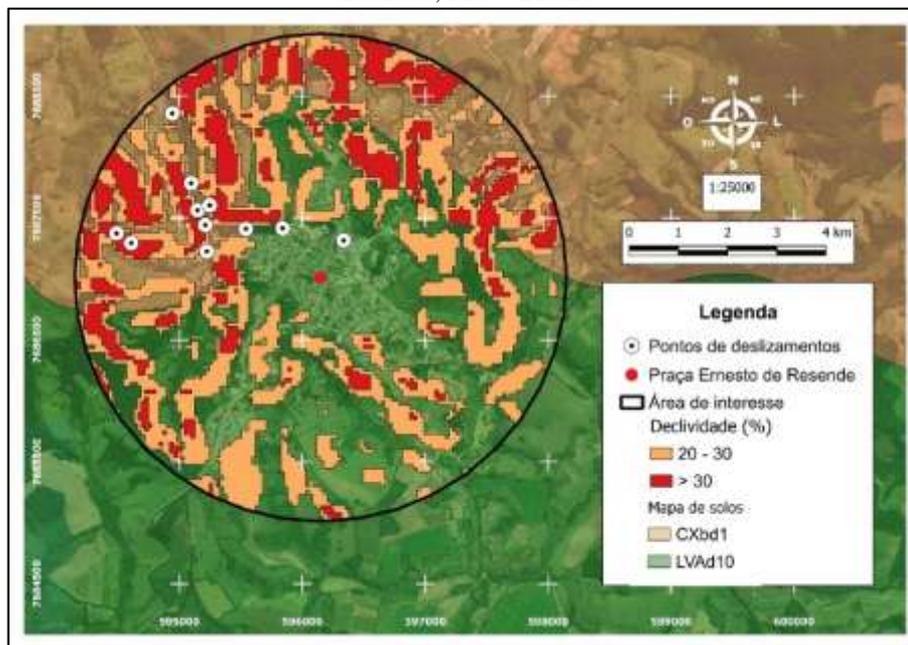
Costa Júnior e Cabral (2019) afirmam que a aplicação do SIG é uma ferramenta robusta para determinar áreas de restrição de ocupação do solo. A manipulação de dados traz grandes benefícios para aperfeiçoar o levantamento em campo e na representação dos resultados com mapas, imagens de satélites e fotos aéreas. Desse modo, o conhecimento em detalhes do local de estudo e os eventos ocorridos no município foram cruciais para aprimorar e validar os resultados obtidos no presente trabalho.

3.3 TIPO DE SOLO E MOVIMENTOS DE MASSA OBSERVADAS

Conforme demonstrado pela Figura 8, observa-se as áreas de risco de erosão e movimento de massa de solo em função de sua tipologia. Nos locais de ocorrência de Cambissolos, foram observados 141,069 ha (34,62%) com declividade de 20 a 30% e 115,170 ha (67,80%) para declividade superior a 30%, totalizando 256,239 ha de áreas de risco na área de interesse (44,39%). Outro fato observado, a maioria dos cenários de movimento de massa

ocorridos no município no início de 2020 ocorreram nas áreas classificadas como Cambissolo - CXbd 1 (ou próximos da faixa de transição com Latossolo Vermelho-Amarelos Distróficos - LVAd 10, mesmo o primeiro possuindo menor representatividade dentro da área de interesse que o segundo, 408,605 ha versus 843,586 ha.

Figura 8 - Mapa de solos com as áreas de risco elevado para o deslocamento de massa no município de Lagoa Dourada, MG – Brasil.



Fonte: Os autores, adaptado de SISEMA (2020) e Google Earth (2020).

Sabe-se que em razão da escala do mapeamento, as classes de solo apresentadas na Figura 8 estão em associação com outras classes de solo. Normalmente, os Latossolos estão localizados em regiões de baixa declividade, e, portanto, menor risco à erosão.

No Latossolo - LVAd 10, foram observados 266,437 ha (65,38%) com declividade de 20 a 30% e 54,693 ha (32,20%) para declividade superior a 30%, totalizando 321,130 ha de áreas de risco na área de interesse (55,61%). Desse modo, conclui-se que os Cambissolos, mesmo possuindo área duas vezes menor que os Latossolos, possuem quase metade das áreas de risco observadas no presente estudo.

As áreas mais críticas para erosão e movimento de massa de solo (maior que 30% de declividade) estão em maior representatividade no Cambissolo – CXbd 1 (67,80%). Assim, quando expansão urbana não considera um planejamento de ocupação as áreas podem sofrer impactos ambientais, como o processo de erosão e movimento de massa de solo (Figura 4), mesmo em solos altamente resistente a esse processo, como no caso dos Latossolos (Figura 8 e Tabela 3). A Tabela 3 permite analisar e comparar criticamente os dados informados acima.

Tabela 3. Comparação das áreas de risco em função do tipo de solo.

Declividade (%)	Área de interesse (ha)	CXbd 1 (ha)	Percentual (%)	LVAd 10 (ha)	Percentual (%)
20 - 30	407,514	141,069	34,62	266,437	65,38
> 30	169,871	115,170	67,80	54,693	32,20
Total	577,385	256,239	44,39	321,130	55,61

Fonte: Os autores (2020).

A ocorrência de Cambissolos é frequentemente observada em locais de relevo íngremes. Esta classe de solo apresenta pouca profundidade dos horizontes A e B incipiente –horizonte C mais próximo a superfície–, e maior presença do silte, com ausência de estrutura e o domínio de pseudomorfos de caulinitas, propicia uma baixa capacidade de retenção e infiltração de água possibilitando o aumento do escoamento de água superficial, condições estas que favorecem a ocorrência de erosão por deslocamento de massa (EMBRAPA, 2002; OLIVEIRA et al., 2010). Rocha (2003) verificou em taludes de voçorocas que o horizonte C apresenta menor resistência ao cisalhamento quando comparado aos horizontes subjacentes.

Oliveira et al. (2010) reportaram que o avanço do processo de desabamento de encosta progride muito mais rápido quando os sulcos atingem o horizonte C. Estudos de Silva et al. (2005) demonstraram que sob chuva natural os Cambissolos Háplicos Tb Distróficos (CXbd) possuem maiores valores anuais de perda de solo, potencial de arraste de sedimentos (PAS) e perda de água quando comparados ao Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), o que demonstra uma maior susceptibilidade dos Cambissolos aos processos erosivos, conforme observado no presente trabalho.

Estudos de Ferreira et al. (2011) em Nazareno (MG) avaliando a vulnerabilidade de solos à ocorrência de voçorocas, observaram que o Cambissolo apresentou maiores teores de silte + areia fina do que os Latossolos, tornando-os mais propensos ao processo de erosão. Oliveira et al. (2010), avaliando a erosão em estradas, identificaram Cambissolo com teores elevados de silte em relação à argila e baixas quantidade de matéria orgânica. Tais condições influenciam significativamente nos aspectos físicos do solo para infiltração e retenção de água, resistência a impactos de chuva e carreamento de partículas, acarretando em maior risco a erosão dessa classe de solo em comparação aos Latossolos, conforme também observado no presente estudo.

3.4 ÁREAS DE ELEVADA DECLIVIDADE NÃO CLASSIFICADAS

Alguns locais situados dentro do perímetro urbano do município não foram classificados como área de risco de movimento de massa de solo mesmo estando em relevo muito íngreme e tendo ocorridos desastres em 2020. Tal fato se deve a resolução das imagens SRTM, a partir das quais geraram os dados de declividade com pixel de 30 por 30 m, o que pode superestimar as áreas de riscos (aspecto positivo e de cunho preservacionista) ou subestimar-las (ponto negativo para prevenção de desastres). Na Figura 9 observamos o exemplo de uma área cuja observação *in situ* demonstra a ocorrência de declividade superior a 30%, condição considerada como de risco, e que não foram computadas com o uso das imagens de declividade do TOPODATA.

Figura 9 - Área de elevada declividade, contudo não classificadas como de risco.



Fonte: Os autores (2020).

Em estudo utilizando imagens SRTM, Catalani et al. (2018) observaram como inconveniente a percepção da superfície do terreno, principalmente em áreas planas, em função da sensibilidade a objetos na superfície do mesmo, tais como antenas, edificações e mesmo variações da cobertura vegetal. Fatores esses, aliados a resolução das imagens SRTM, podem ter influenciados na não compatibilização de áreas íngremes observadas em campo dentro do período urbano do município.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego do QGIS para processar os dados de declividade estruturados em quadrículas no formato GeoTiff do portal TOPODATA do INPE demonstraram ser uma técnica de fácil

aplicação e de grandes benefícios para a identificação de áreas com risco de erosão do tipo movimento de massa no solo.

A utilização de dados do portal TOPODATA e do software QGIS se constitui uma combinação vantajosa por não necessitar de investimentos financeiros. O uso de pixel com resolução espacial de 30 m apresentou subestimativas dos locais de risco à erosão do tipo deslocamento de massas, como observado *in situ*.

As áreas identificadas como de risco indicam locais em que a declividade apresentou maior susceptibilidade aos processos erosivos do solo, o que não determina que nesses locais ocorrerão desastres. Da mesma forma, os locais que não foram considerados como de risco não estão isentos de sofrerem com processos erosivos. Desse modo, é crucial o processo de investigação em campo para aferir sobre o uso do solo, tipo de solo, grau de urbanização, estruturas de drenagem de água pluvial e de controle de erosão são utilizados.

Trabalhos envolvendo áreas de riscos de erosão e movimento de solo, recomenda-se que façam o uso de imagens de satélite com melhor resolução espacial a fim de aumentar a precisão e confiabilidade das informações acerca do fenômeno estudado.

O mapeamento mais detalhado de solo poderá obter resultados mais precisos sobre a ocorrência dos processos de deslocamento de massa em função da tipologia do solo.

O presente trabalho revela uma ferramenta para auxiliar os profissionais e órgãos públicos que atuam na identificação de áreas de risco de erosão e movimentos de massa de solo a realizarem ações de planejamento, prevenção de desastres socioambientais e elaboração de medidas que promovam segurança e bem-estar à população.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Mapa interativo da precipitação média anual e tempo de retorno. 2020. Disponível em: <<http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=da8c9edf91804682b269e9d631117619>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

ANDRADE, E. de L.; CALHEIROS, S. Q. C.; CONCEIÇÃO, D. N. Áreas críticas à ocupação urbana sujeitas a deslizamento de terra na bacia hidrográfica do riacho Reginaldo, Maceió - AL. **Revista Contexto Geográfico**, Maceió, v. 3, n. 5, jul. 2018, p. 1-11. Disponível em: < <http://www.seer.ufal.br/index.php/contextogeografico/article/view/6742/4820>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID). 2013. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

BRAZ, J. S.; GASPAR JUNIOR, L. A. Identificação da susceptibilidade aos processos erosivos por meio da análise geotécnica em um talude artificial de corte no bairro do Rosário, Areado-MG. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 4605-4617. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2593>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

CARVALHAIS, R. M. et al. Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 7, p. 9765-9772, jul. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv5n7-150>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

CASTRIGNANO, B. M.; CASALVARA, H. F. A.; OLIVEIRA, D. Estudo preliminar sobre deslizamento de terra em Iretama - PR. **Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino**. Campo Mourão, v. 8, n. 3, p. 69 - 77, 2017. Disponível em: <<http://www.fecilcam.br/revista/index.php/geomae/article/view/1739>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

CATALANI, T. G. T. et al. Aplicação de Geotecnologias na Geração do Divisor de Bacias Hidrográficas: Uma Ferramenta para a Política de Recursos Hídricos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 3, p. 153-166, 2018. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/13044/12638>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). Ameaças Naturais: Movimento de Massa. Disponível em: <<https://www.cemaden.gov.br/deslizamentos/>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED). Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012. 2ª ed. Florianópolis. SC. 2013. p. 126. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

COSTA JÚNIOR, H.; CABRAL, S. C. Tecnologias no mapeamento de áreas de risco de deslizamento em Teófilo Otoni. **Research, Society and Development**. v. 8, n. 12, p. 1-31, 2019. Disponível em: <<https://rsd.unifei.edu.br/index.php/rsd/article/view/1353/1182>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed. Brasília. DF. 2018. p. 356. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Solos e aptidão agrícola das terras da área de proteção ambiental de Cafuringa, Distrito Federal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 45. 1ª ed. Palatina. DF. 2002. p. 54. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/568939/solos-e-aptidao-agricola-das-terras-da-area-de-protecao-ambiental-de-cafuringa-distrito-federal>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

FERRÃO, G. V. et al. Aplicação de métodos quantitativos de mapeamento de deslizamento de terra nas encostas de Vitória - ES. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 18., 2016, Belo Horizonte. **Anais**, Belo Horizonte: COBRAMSEG, 2016. p. 1-8. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Rogério_Goncalves_Sarmento_Junior/publication/309910146_Aplicacao_de_metodos_quantitativos_de_mapeamento_de_deslizamento_de_terra_nas_encostas_de_Vitoria-ES/links/58261f0908ae5c0137eb9ebc/Aplicacao-de-metodos-quantitativos-de-mapeamento-de-deslizamento-de-terra-nas-encostas-de-Vitoria-ES.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2020.

FERREIRA, V.M. et al. Influência antrópica e atributos de solo: inter-relações em ambientes de voçorocas na mesorregião campos das vertentes, MG. **GEOGRAFIA**, Rio Claro, v. 36, n. 1, p. 209-219, jan./abr. 2011. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/4915>>. Acesso em: 13 abr. 2020.

FREIRE, L. M.; LIMA, J. S. de; SILVA, J. N. da. Riscos geológicos em áreas urbanas: implicações socioambientais em duas cidades paraenses. **Revista Geoamazônia**. v. 6, n. 11. p. 273-292. 2018. Disponível em: <<http://www.geoamazonia.net/index.php/revista/article/view/175>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). Manual de Obtenção de Terras e Perícia Judicial. Brasília. DF. 2007. p. 137. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/servicos/publicacoes/manuais-e-procedimentos/manual_de_obtencao.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidade e Estados. Portal Cidades@. 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/lagoa-dourada/panorama>>. Acesso em: 21 dez. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Divisão de Sensoriamento Remoto. Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. 2020 Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - Índice de Precipitação Padronizado (SPI). 2020 Disponível em: <<http://clima1.cptec.inpe.br/spi/pt>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

MACHADO, R. R.; ZACARIAS, G. M. Análise de risco de deslizamento. **Revista Ordem Pública e Defesa Social**, v. 9, n. 1, p. 79-92, jan./jun., 2016. Disponível em: <<https://rop.emnuvens.com.br/rop/article/view/111>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

MARTINS, F. B. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dossiê climatologia de Minas Gerais, p. 129-156. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60896>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

MEIRELLES, M. S. P.; CÂMARA, G.; ALMEIDA, C. M. de. **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais. Brasília**: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 593 p.

OLIVEIRA, F. P. de. et al. Avaliação de perdas de solo em estradas florestais não pavimentadas no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 331-339, set. 2010. Disponível em <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr87/cap01.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2020.

QGIS. A liderança do SIG de código aberto. 2020. Disponível em: <https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html>. Acesso em: 24 mar. 2020.

ROCHA, W. W. Resistência ao cisalhamento e estabilidade de taludes de voçorocas em solos da região de Lavras, MG. 2003. 101p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

ROSS, J. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista Do Departamento De Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>>. Acesso em: 24 mar. 2020.

SILVA. A. M. da. et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.12, p.1223-1230, dez. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100->

204X2005001200010>. Acesso em: 24 mar. 2020.

SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: IDE-SISEMA, 2020. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

SBROGLIA, R. M. et al. Mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC, com o uso de modelagem matemática. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 2, p. 339-354, fev. 2016. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44399>>. Acesso em: 23 mar. 2020.